

00322



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 37

FACULTAD DE CIENCIAS

ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN DE LOS FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS DE LA BAHÍA DE LA PAZ, MÉXICO Y SU RELACIÓN CON LA DINÁMICA OCEÁNICA.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE BIÓLOGA PRESENTA:

LARA BÁRBARA CUESTA CASTILLO



DIR. DRA. MARÍA LUISA MACOAIN CASTILLO.





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

PAGINACION DISCONTINUA



DRA. MARÍA DE LOURDES ESTEVA PERALTA
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito:

Distribución y abundancia de foraminíferos planctónicos en la Bahía de la Paz, México y su relación con la circulación oceánica.

realizado por Cuesta Castillo Lara Bárbara.

con número de cuenta 8900426-9 , quién cubrió los créditos de la carrera de Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis

Propietario Dra. Maria Luisa Machain Castillo. *Ma. Luisa Machain*

Propietario Dra. Maria Adela Monreal Gómez. *Adela monreal*

Propietario Dr. Raúl Gío Argáez. *[Signature]*

Suplente Dra. Dora Azucena Herroz Zamorano. *[Signature]*

Suplente M. en C. Pedro Cervantes Hernández. *[Signature]*

FACULTAD DE CIENCIAS
U. N. A. M.

Consejo Departamental de Biología

[Signature]
 M. en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez.



DEPARTAMENTO
DE BIOLOGIA

**A mis abuelos María y Benjamín
A mi madre Cristina
A mis hermanos Beatriz, Roberto y Tony**

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Lara Bárbara

Cuesta Castillo

FECHA: 24 marzo 03

FIRMA: [Firma manuscrita]

AGRADECIMIENTOS

Por todos los años de sabiduría que guarda y comparte nuestra casa de estudios, agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, institución que me ha brindado la oportunidad de alimentar el espíritu y la cordura como persona y como ciudadana.

Por su confianza, cariño, apoyo, constante enseñanza y por ser mi directora de tesis, expreso mi gratitud a la Dra. Ma. Luisa Machain Castillo.

Por sus críticas objetivas, por su invaluable apoyo docente y por ser un ejemplo a seguir a la Dra. Adela Monreal Gómez.

Al mi maestro Dr. Raúl Gío Argález, por ser amigo de la paciencia, de la enseñanza, de la amistad, de la simpatía, del orden y del apoyo infinito, quiero expresarle mi cariño y eterna gratitud por ser la persona que me ha confiado experiencias y consejos para ser una mejor profesionista y persona.

Agradezco de igual forma por sus comentarios y agradable amistad a la Dra. Azucena Herroz Zamorano y a M. en C. Pedro Cervantes Hernández.

Al apoyo ofrecido del IAI, dentro del proyecto "Los últimos cuatro siglos de la Corriente de California".

A mi familia, quien me ha cuidado y dado la fuerza para seguir adelante. En especial a Evita, Cuquin, Roman, Juan Nafarrate, Christian, Claudia, Paola, Edgar, Rosendo, Alfonso y Rosa.

A todos mis compañeros del Instituto de Ciencias del Mar por las gratas pláticas y apoyo. A Nacho, a los poliquetos (Axa, Vero, Pablo, Cacho, Alex, Sarita y Alma), a Chucho, a Miguelon, Ikebana, Edgar, Beto, Alex y a la ranita preciosa que ahora se divierte correteando canguros y pseudovikingos.

A Gaby Almaraz por su hermosa sensibilidad y cariño para los demás.

A los bien portados y alegres Elsa "le sapé" y Benjas a quienes quiero por ser dos de mis mejores cómplices, maravillosas, y brillantes personas.

A las ratas que más quiero en este casi líquido planeta, a Bety o Krispy por tu fortaleza ante la vida y por ser mi hermana, a Gabo del Angel quien en el nombre lleva las alas, a Bernas y a Henry por la alegría que llevan siempre consigo, a Govas por su espíritu solidario, a July por su cordura y su enorme corazón, a Germancillo por ser un excelente y tranquilo compañero, a Alengendra por su calidad y tenacidad ante la vida, a Kikis por su apoyo y mutuas aventuras, a Kicho o mojojojo por su compañía y confianza, a Guevara por su objetividad y solidaridad, a Mundo y Ofes por ser maestros del buen cariño y de la comprensión, a Gabote por ser lo que un día fue, a Pedro por ese párrafo que escribió y por ser un entrañable compañero y amigo con quien he compartido la felicidad y la tristeza pero sobre todo el respeto y el amor a la vida.

A Tita y a Isra le agradezco la confianza y cariño, con el que siempre me han recibido y la grandeza de espíritu con la que van en el camino.

CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	ANTECEDENTES.....	3
III.	AREA DE ESTUDIO	
	III.1. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	5
	III.2. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS.....	6
	III.3. CLIMA.....	10
	III.4. HIDROGRAFÍA.....	10
	III.5. NUTRIENTES Y CLOROFILA.....	12
	III.6. MASAS DE AGUA.....	13
	III.7. CIRCULACIÓN.....	16
IV.	METODOLOGÍA	
	IV.2. TRABAJO DE LABORATORIO.....	20
	V.2.1. DIVISIÓN DE LA MUESTRA.....	21
	V.2.2. OBTENCIÓN DE TESTAS.....	21
V.	ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	
	V.1. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS.....	22
	V.2. ANÁLISIS DE FACTORES.....	22
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
	VI.1. GRANULOMETRÍA.....	23
	VI.2. ORGANISMOS	
	VI.2.1. SISTEMÁTICA.....	24
	VI.2.2. ABUNDANCIA DE ESPECIES.....	25
	VI.2.3. MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES.....	26
	VI.2.4. PATRONES DE ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN EN EL SEDIMENTO.....	27
	VI.2.5. ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN POR ESPECIE.....	28
	VI.3. DINÁMICA OCEÁNICA, DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA.....	39
	VI.4. ANÁLISIS DE FACTORES	
	VI.4.1. FACTOR I.....	44
	VI.4.2. FACTOR II.....	44
VI.	CONCLUSIONES.....	46
VII.	LITERATURA CITADA.....	47

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Modelo que muestra 3 zonas en la Bahía de la Paz, inferidos a partir de microfósiles de Radiolarios.....	4
FIGURA 2. Ubicación y batimetría (m) de la Bahía de la Paz, México.....	5
FIGURA 3. Patrón de sedimentación en la Bahía de la Paz.....	7
FIGURA 4. Distribución textural de los sedimentos de la Bahía de la Paz.....	7
FIGURA 5. Distribución de porcentajes de materia orgánica en la Bahía de la Paz.....	8
FIGURA 6. Distribución de los porcentajes de carbón orgánico en la Bahía de la Paz.....	9
FIGURA 7. Distribución superficial de a) temperatura (°C) , b) salinidad (ups) y c) densidad potencial.....	11
FIGURA 8. Regionalización de la Bahía de la Paz, basada en la distribución vertical de clorofila-a.....	13
FIGURA 9. Masas de agua a) en la Bahía de la Paz, b) en la bahía región de Boca Grande.....	15
FIGURA 10. Distribución de temperatura a 50 m de profundidad a) en febrero de 2000, b) en noviembre de 2000.....	18
FIGURA 11. Estaciones de muestreo de la Campaña PACMEX I y II.....	19
FIGURA 12. Histograma de frecuencias.....	25
FIGURA 13. Abundancia de organismos (individuos/gramo de sedimento).....	36,37,38
✓ Fig. 13 a	<i>Globigerina bulloides</i>
✓ Fig. 13 b	<i>Globigerinita glutinata</i>
✓ Fig. 13 c	<i>Negloboquadrina dutertrei</i>
✓ Fig. 13 d	<i>Neogloboquadrina pachyderma</i>
✓ Fig. 13 e	<i>Globigerinoides ruber</i>
✓ Fig. 13 f	<i>Globigerina falconensis</i>
✓ Fig. 13 g	<i>Pulleniatina obliquiloculata</i>
✓ Fig. 13 h	<i>Globigerinoides quadrilobatus</i>
✓ Fig. 13 i	<i>Globigerinoides sacculifer</i>
✓ Fig. 13 j	<i>Globigerinoides immaturus</i>
✓ Fig. 13 k	<i>Orbulina universa</i>
FIGURA 14. Abundancias de foraminíferos planctónicos en la Bahía de la Paz y la boca del Golfo de California.....	41
FIGURA 15. Abundancias de foraminíferos planctónicos de la Bahía de la Paz.....	41

FIGURA 16. Abundancia y distribución de los foraminíferos planctónicos (círculos), e isotermas a 50 m de profundidad de febrero (azul oscuro) y noviembre (azul claro) de 2000.....	42
FIGURA 17. Curva que indica el valor y número de factores importantes para el análisis.....	43
FIGURA 18. Distribución del Factor I, representado por la especie <i>Globigerina bulloides</i>	44
FIGURA 19. Distribución del Factor II, representado por la especie <i>Globigerinita glutinata</i>	45

INDICE DE CUADROS

CUADRO I. Resumen de las características de las masas de agua descritas por Cruz-Orozco (1996) y Lavín <i>et al.</i> , (1997).....	16
CUADRO II. Coordenadas y profundidad de las estaciones de muestreo de sedimento en el área de estudio.....	20
CUADRO III. Porcentaje de arenas y limos de las muestras colectadas en el área de estudio.....	23
CUADRO IV. Abundancia absoluta de las especies encontradas en el área de estudio.....	26
CUADRO V. Abundancia relativa de las especies encontradas en el área de estudio.....	26
CUADRO VI. Especies determinadas, individuos por gramo de sedimento y total de organismos por especie (1) y por estación (2).....	27
CUADRO VII. Total de individuos por gramo de sedimento, en cada estación de muestreo.....	28
CUADRO VIII. Resumen del análisis de factores, en el que se indica el porcentaje acumulado de cada factor.....	43

I. INTRODUCCIÓN

Los foraminíferos son protistas ameboideos, fagótrofos, ubicados en el Subphylum Sarcodina, clase Granuloreticulosa, (Capriulo, 1990). Son organismos casi exclusivamente marinos y de distribución muy amplia, tanto batimétrica como geográfica (Boltovskoy, 1965). El Orden Foraminífera, por el hábitat en el que se desarrollan los microorganismos, se divide en el grupo de los planctónicos y el grupo de los bentónicos (Capriulo, 1990).

La célula de estos individuos está protegida por una testa formada principalmente de carbonato de calcio, aunque puede estar construida de diferentes partículas que se encuentran en el sedimento marino (testas aglutinadas que construyen algunos organismos bentónicos). Dicha testa, generalmente está integrada por un número diverso de cámaras que el protozooario va construyendo a lo largo de su desarrollo. Cada lóculo, desde el primero hasta el último, está conectado a través de una apertura característica del grupo nominada foramen, por medio del cual la célula tiene libre movimiento y existe una comunicación entre el endoplasma, la red de pseudópodos y el ambiente (Capriulo, 1990).

Los foraminíferos planctónicos viven en la zona fótica y se encuentran en diversas regiones oceánicas incluyendo aguas tropicales, subtropicales y polares, incluso algunas especies se han encontrado viviendo en hielos marinos en la zona ártica y antártica. Este grupo forma parte del zooplancton y aunque constituye un porcentaje mínimo del total de zooplancton vivo, la constante depositación de las testas vacías de carbonato de calcio en el fondo oceánico permite no solo una importante contribución al sedimento marino, sino la preservación del registro de las características oceanográficas que dominan durante el ciclo de vida de los foraminíferos (Hemleben, *et al.*, 1989).

Los microorganismos planctónicos, constituyen dentro de la cadena alimenticia, una de las bases del recurso. Los foraminíferos planctónicos son importantes como componentes del plancton y uno de los mayores contribuyentes de los depósitos calcáreos que cubren el suelo oceánico. Debido a que los foraminíferos planctónicos varían su morfología, composición química, abundancia y/o distribución con variaciones de los factores físicos, químicos, geológicos y biológicos de su medio, se consideran y son utilizados como indicadores ecológicos, de masas de agua, circulación oceánica y cambios ambientales en general (Bé, 1959; Bradshaw, 1959; Parker, 1962).

Los foraminíferos planctónicos tienen peculiar importancia en el estudio de ecosistemas marinos recientes y antiguos dada su extensa aparición en los océanos con provincias faunísticas bien definidas y por el hecho de generar testas de calcita, lo cual contribuye a su preservación en el registro fósil. Su acumulación en el sedimento permite inferir cambios en el océano a través del tiempo. Aunado a lo anterior, su rápida evolución y su amplia distribución geográfica, los hace valiosos indicadores bioestratigráficos, y una herramienta para estudios paleoceanográficos y de cambios climáticos.

La depositación de las testas de estos organismos en el fondo del mar, puede variar debido a la presencia de corrientes de fondo o redepositación por bioturbación, entre otros, por lo que la señal ecológica incluida en estos organismos puede modificarse. Por ello es necesario realizar estudios paleoceanográficos en sedimentos sin perturbación que permitan el reconocimiento fidedigno de la sucesión de eventos ocurridos. Esto se logra mediante el estudio de sedimentos laminados, los cuales reflejan altas tasas de sedimentación sin perturbación (Thunell, *et al.*, 1999; Parker *et al.*, 1999; Kennett and Srinivasan, 1983).

Los sedimentos laminados se originan generalmente por altas tasas de sedimentación en zonas anóxicas donde en ausencia de macroinvertebrados marinos no existe bioturbación, también se ha observado que estos sedimentos laminados se generan en zonas donde hay una alternancia de periodos de baja y alta productividad (varvas). En el Pacífico Oriental, el agua de fondo (800 m) contiene bajas cantidades de oxígeno disuelto, resultado de las aguas intermedias del Pacífico (carentes de oxígeno) y de las zonas de surgencia. Estas últimas al presentarse llevan agua subsuperficial a la superficie, la cual es fría y con abundantes nutrimentos, lo que permite que se generen "blooms" de fitoplancton y zooplancton. Durante la surgencia, los organismos consumen oxígeno y alimento, y una vez muertos precipitan con el resto de la materia orgánica, la cual en su trayectoria continua oxidándose, lo que mantiene al sistema con condiciones muy particulares, mismas que se reflejan en los organismos que habitan el lugar. Por lo tanto las cuencas anóxicas/dioxicas son de gran importancia para la reconstrucción paleoceanográfica.

La Bahía de la Paz es una región con formación de sedimentos laminados, este hecho aunado a su localización geográfica en la entrada del Golfo de California y la confluencia de las masas de agua frías provenientes del norte de la Corriente de California y las cálidas aguas ecuatoriales provenientes del sur, hacen que sea un sitio de gran interés para estudiar las variaciones superficiales de las masas de agua y su relación con el cambio climático.

OBJETIVOS

Un factor primordial en la interpretación de un registro sedimentario, es el conocimiento adecuado de las condiciones recientes. El presente estudio tiene como objetivo, analizar la abundancia y distribución de los foraminíferos planctónicos depositados en el sedimento marino y su relación con la dinámica oceánica de la Bahía de la Paz.

Asimismo, con el fin de realizar una comparación de la abundancia y distribución de los foraminíferos planctónicos de la Bahía de la Paz, se revisaron muestras de sedimento superficial de la boca del Golfo de California.

II. ANTECEDENTES

Para conocer las características ecológicas de los foraminíferos planctónicos, se han realizado numerosos estudios. Bé, (1959), analizando la abundancia de los foraminíferos planctónicos del Océano Atlántico (Sistema de la Corriente del Golfo), diferenció especies tolerantes al calor y tolerantes al frío. En un estudio más detallado, Bé y Hamlin (1962), categorizaron ecológicamente a los foraminíferos planctónicos como subárticos, subtropicales, tropicales y transicionales. Posteriormente en 1967, Bé, intentó definir aspectos de frontera en la distribución horizontal de estos organismos planctónicos y relacionar dicha distribución con la temperatura promedio en el Sistema de la Corriente del Golfo del Océano Atlántico, encontrando que las provincias de especies tolerantes al frío es más marcada que la de especies de aguas cálidas.

Del Océano Pacífico, se han reportado las especies de foraminíferos planctónicos, que se han encontrado en sedimentos superficiales, aspectos ecológicos, patrones de distribución, así como el flujo de estos según cambios hidrográficos. Bradshaw (1959) reporta la distribución de diferentes especies vivas en el Pacífico Norte y Pacífico Ecuatorial; Parker (1962), estudia los foraminíferos planctónicos de muestras de sedimento del Océano Pacífico; Parker and Berger (1971), analizan los patrones de distribución y disolución en sedimentos del Pacífico Sur; Thunell, et al., 1999, reportan el registro de oxígeno a través de foraminíferos planctónicos y Eileen, et al., 2000, reporta el flujo de foraminíferos planctónicos en la Cuenca de Santa Bárbara, considerando los cambios hidrográficos estacionales e interanuales de dicha cuenca.

En el Pacífico mexicano, en particular en el Golfo de California, se han realizado estudios de distribución de foraminíferos planctónicos, tanto en columna de agua como en sedimento marino, se ha analizado su composición y comportamiento ante diversos factores ambientales, así como especies indicadoras de temperatura, salinidad y masas de agua específicas, Bandy, 1961; Parker, 1973; Rozo-Vera, 1984 y Thunell, 1998.

En la Bahía de la Paz, no se han realizado estudios con foraminíferos planctónicos. Bandy (1961), reportó la presencia de foraminíferos bentónicos en sedimentos superficiales del Golfo de California y Segura-Vernis y Carreño (1991) la de foraminíferos planctónicos y ostrácodos en la localidad "Loma del Tirabuzón" para establecer la edad de las rocas que afloran.

Álvarez-Arellano y Murillo-Jiménez (1989) y Álvarez-Arellano *et al.*, (1997), estudiaron la distribución de radiolarios recientes, encontrando 3 asociaciones localizadas dentro de la Bahía de la Paz, con lo que proponen un modelo con tres zonas de agua, a) una en el canal de San Lorenzo caracterizada por una gran variabilidad anual de los parámetros hidrológicos (salinidad, temperatura y oxígeno disuelto) y por una intensa mezcla producida por las corrientes de marea en dicho canal; b) otra zona en el noroeste de la bahía con las condiciones más estables de los parámetros hidrológicos, sugiriendo una gran influencia de las aguas del Golfo de California que se introducen

por la amplia boca del norte de la bahía, y por último c) una zona transicional que se genera en el contacto de las dos anteriores (figura 1). La distribución estratigráfica de las asociaciones de radiolarios y su interpretación climática durante los últimos años, fue analizada por Pérez-Cruz (2000), en un núcleo en el centro de la Bahía de la Paz.

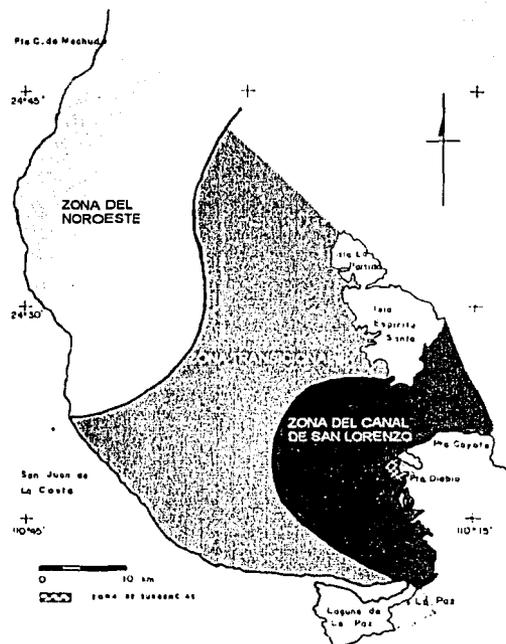


FIGURA 1. Modelo que muestra 3 zonas en la Bahía de la Paz, inferidos a partir de microfósiles de radiolarios, (según Álvarez-Arellano y Murillo-Jiménez, 1989).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III. AREA DE ESTUDIO

III.1. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

Lavín *et al.*, (1997) dividen al Golfo de California en cuatro regiones, las cuales reflejan principalmente la topografía del fondo o batimetría y diferencias en los procesos físicos que controlan la circulación y la estructura termohalina en cada una de las regiones. Estas regiones son: La zona de la boca del golfo (de Cabo San Lucas, B.C.S a Cabo Corrientes y de Cabo San Lucas a El Dorado Sin; y la línea de costa entre el Dorado y Cabo Corrientes), La parte sur de golfo (es la más extensa, y abarca desde Cabo San Lucas – El Dorado hasta los umbrales de las grandes islas –Tiburón y Ángel de la Guarda-), La parte norte (abarca de las grandes islas hasta San Felipe, B.C. y Puerto Peñasco, Son.) y El Alto Golfo (de la desembocadura del Río Colorado en San Felipe y Puerto Peñasco).

Según ésta división, la Bahía de la Paz se localiza en la parte sur del Golfo de California (Fig.2), aproximadamente a 180 Km. de la boca del golfo, entre las latitudes 24.15 N, 24.90 y 110.30° W y 110.75° W a lo largo del este de la costa de la Península de Baja California (Monreal-Gómez *et al.* 2001). Su longitud es de 90 Km. y su ancho de 60 Km. (Jiménez-Illescas *et al.*, 1997).

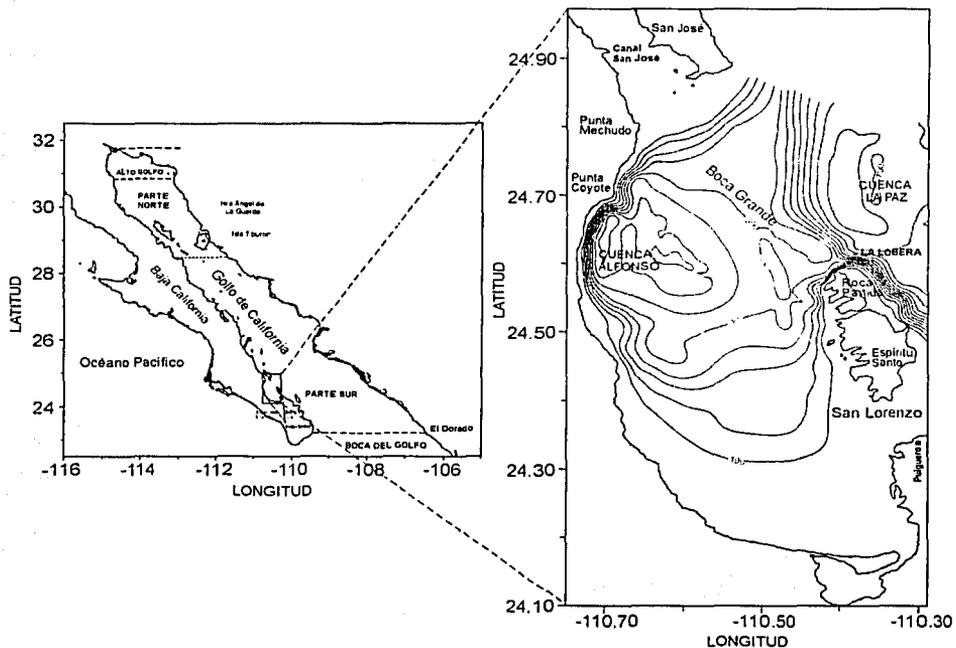


FIGURA 2. Ubicación y batimetría (m) de la Bahía de la Paz, México (modificado de Monreal-Gómez *et al.*, 2001)

La Bahía de la Paz presenta una entrada amplia de agua de mar ubicada sobre la margen suroriental de la península de Baja California. Tiene forma semielíptica con su eje mayor orientado en dirección nornoroeste-sursureste. Está limitada hacia el oeste y sur por tierra firme, hacia el norte y oriente por las aguas del Golfo de California y las Islas Espíritu Santo y Partida (Álvarez-Arellano *et al.*, 1997).

La comunicación entre la bahía y el Golfo de California es a través de dos bocas, una al noreste (Boca Grande) y otra al este (Boca Chica o Canal de San Lorenzo). El Límite sureste de la boca grande se encuentra en los Islotes, lugar conocido regionalmente como la Lobera; el límite al noroeste es Punta de Mechudo, donde hidrodinámicamente se marca la diferencia con el canal de San José, que es un sistema hidrodinámico distinto. La Boca Chica, se encuentra entre la punta sur de la Isla Espíritu Santo y el Pulguero (Jiménez-Illescas *et al.*, 1997).

III.2. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

Estructuralmente, la Bahía de la Paz es un graben tectónico con orientación norte-sur que se extiende hacia el sur incluyendo los valles de la Paz y el Carrizal (Valle La Paz-El Carrizal). El límite norte no está definido pero el límite sur probablemente se encuentre en la convergencia de las fallas La Paz y El Carrizal (límites del graben al oriente y occidente respectivamente) aproximadamente al norte de la población de todos Los Santos. Respecto al relieve submarino cabe mencionar que la margen sureste de la península se caracteriza por tener plataformas y taludes continentales estrechos y de poco desarrollo, debido por una parte, a que son rasgos morfológicos relativamente jóvenes y, por otra, a que el aporte sedimentario sobre ellos, proveniente de la península es escaso. Así las pendientes pronunciadas son rasgos frecuentes en el fondo marino de esta región solo suavizadas en aquellos sitios con aporte considerable de sedimentos desde las áreas continentales contiguas como es el caso del sur de la Bahía de la Paz (Álvarez-Arellano *et al.*, 1997).

Cruz-Orozco *et al.*, (1996) argumenta que dentro de la bahía, existen condiciones ambientales muy particulares que son determinantes en el aporte de sedimentos ya que se trata de una región dominada por el intemperismo físico (calor y frío); la precipitación anual es de 200 mm; las fuentes de suministro de sedimentos cercanas son de alrededor de 40 km. como distancia máxima; las descargas fluviales están ausentes y existe un dominio de fuerzas marinas y eólicas.

Aunado a este aspecto de la sedimentación en la bahía, Nava-Sánchez *et al.*, (2001) indica que los bancos e islas que limitan las cuencas, son trampas para la entrada de terrígenos (Fig. 3).

La distribución del tamaño de sedimento se muestra en la figura 4. El sedimento arenoso ocupa la parte sur de la bahía, sus márgenes, el Canal de San Lorenzo (donde es mayor la velocidad de la corriente, 6.73 cm/seg), Punta Cabeza de Mechudo y el sur de Punta Coyote. El limo se ubica hacia la parte central de la bahía. En el Canal de San Lorenzo la mayoría del material es autigénico, de composición calcárea, con materiales como algas, gravas de algas, calcarenitas y fragmentos de corales (Cruz-Orozco *et al.*, 1996).

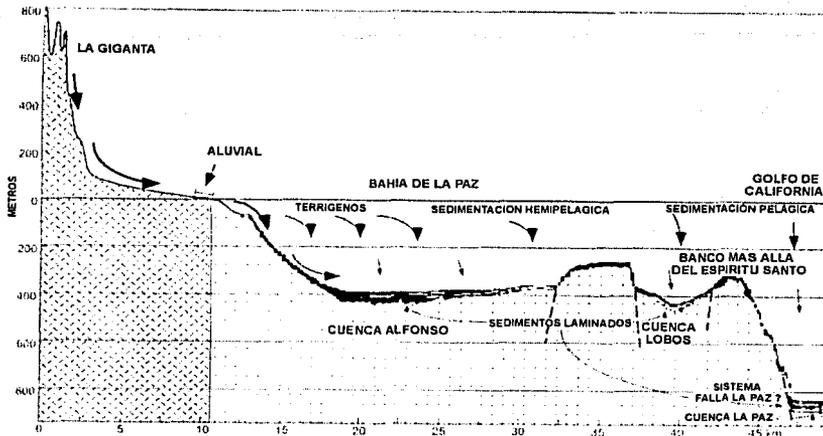


FIGURA 3. Patrón de sedimentación en la Bahía de la Paz (modificado de Nava-Sánchez., *et al.*, 2001)



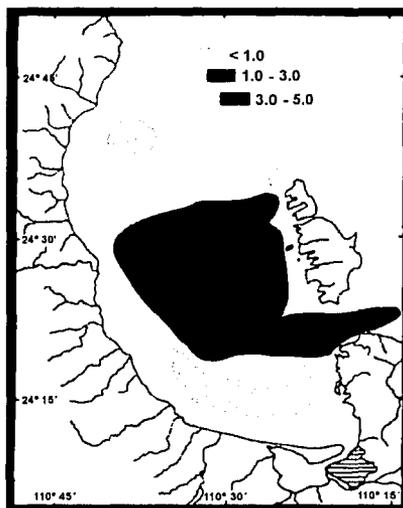
FIGURA 4. Distribución textural de los sedimentos de la Bahía de la Paz (modificado de Cruz-Orozco *et al.*, 1996)

La Bahía de la Paz es muy somera (<420 m) y los sedimentos laminados son formados debido a que el fondo es subanóxico y a que existen fluctuaciones periódicas en la entrada de terrígenos (Molina-Cruz *et al.*, 2002). Pérez-Cruz (2000), ha descrito que en la bahía la productividad biogénica es baja comparada con otras regiones del Golfo de California, a través de los porcentajes de radiolarios en sedimentos laminados.

Igualmente reportó que la tasa de sedimentación calculada para la bahía, es de 0.3 mm/año \pm 0.04, con lo que supone que la productividad primaria es muy baja.

La presencia de una termoclina bien definida en la bahía inhibe la mezcla en la columna de agua, provocando condiciones subanóxicas (Monreal-Gómez *et al.*, 2001).

El contenido de materia orgánica (Fig. 5), fluctúa de 1.0 a 5.0 %, con los valores más bajos en la parte sur y en dos áreas pequeñas en la parte norte; los valores intermedios de 1.0 a 3.0%, se distribuyen en forma de cuña, entrando a través del Canal de San Lorenzo; finalmente el área con forma oval alargada tiene valores de 3.0 a 5.0 % y está ubicada en la parte de sotavento de la isla Espíritu Santo (Cruz-Orozco *et al.*, 1996).



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FIGURA 5. Distribución de porcentajes de materia orgánica en la Bahía de la Paz, B.C.S. (modificado de Cruz-Orozco *et al.*, 1996)

La distribución de los porcentajes de carbonatos se presenta en la figura 6. El patrón de distribución demuestra una fuente de aporte localizada al este del Canal de San Lorenzo, desde donde se interna hacia la bahía y hace una curva en su parte central, para después continuar hacia el norte, entre Isla Partida y Punta Cabeza de Mechudo. El valor más elevado se registra en la parte central, desde el Canal de San Lorenzo hasta Isla Partida, siempre conservándose en la parte central de la distribución valores de 20 % a 25 %. Esta distribución está asociada a la presencia de fragmentos de roca de corales, conchas, testas de foraminíferos y otras formas calcáreas que están en el Canal de San Lorenzo o son introducidas al oriente, por las corrientes de flujo de mareas (Cruz-Orozco *et al.*, 1996).

Thunell (1998), mencionó que en El Golfo de California, el flujo de carbonato varía de los 0.01 a los 0.12 g/m²/d y acumula del 10 al 20 % del flujo total. Generalmente es elevado el flujo durante el verano y principios de invierno y los flujos menores son

durante finales de invierno y primavera, variando año con año. Los foraminíferos planctónicos y los cocolitoforidos son dos de los mayores contribuidores al flujo de carbonatos. En el caso de los foraminíferos planctónicos se espera que como consumidores primarios retracen su aparición a la de productores primarios que en este caso son las diatomeas. Bajo este escenario se espera que tanto el flujo de cocolitoforidos como de foraminíferos sigan los periodos de alta producción de diatomeas y expliquen así, la falta de correlación entre el ciclo de productividad anual y el ciclo del flujo de carbonato en el golfo.

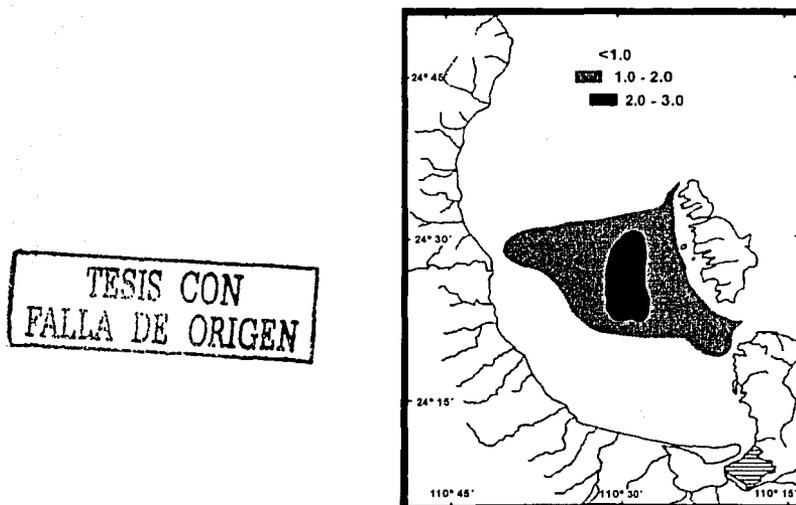


FIGURA 6. Distribución de los porcentajes de carbono orgánico en la Bahía de la Paz (modificado de Cruz-Orozco *et al.*, 1996).

Álvarez-Arellano *et al.*, (1997) reportan como comunicación personal que Larrinaga-Cunningham determinó la concentración de carbono orgánico en sedimentos superficiales de la parte media y sur de la bahía. Este presenta sus niveles mayores (2.7%) en la parte central disminuyendo sistemáticamente al sur, este y oeste; en la parte norte no se reportan valores. Esta distribución descrita del carbono orgánico parece estar indicando principalmente las tasas relativas de sedimentación de material terrígeno, ya que el carbono orgánico está más diluido hacia las orillas de la bahía, donde es mayor la velocidad de depósito o aporte de sedimentos provenientes de las márgenes de la bahía, (Cruz-Orozco *et al.*, 1996).

En lo que se refiere a la profundidad, la bahía tiene los valores más bajos en la parte sur y los máximos en la parte norte. En el extremo sur se ha desarrollado una laguna costera (Ensenada de la Paz) de profundidades muy someras protegida de mar abierto por una barrera arenosa (El Mogote), lugar hacia donde desembocan los principales arroyos de la región. Esta laguna se comunica permanentemente con las aguas de la bahía a través de un canal que se forma entre la barra arenosa y la costa sur de la bahía (Álvarez-Arellano *et al.*, 1997). El intervalo de profundidades en la bahía no es

muy amplio, ya que presenta 420 m en Cuenca Alfonso y va disminuyendo hacia el sur (Monreal-Gómez *et al.*, 2001). Al norte de la Bahía, frente a Punta Coyote, queda la Cuenca Alfonso, la cual está aislada del Golfo de California principalmente por la batimetría a lo largo de Boca Grande, que tiene aproximadamente una profundidad de 250 m (Nava-Sánchez *et al.*, 1997).

III.3. CLIMA

El clima se considera de seco a desértico cálido, con temperatura media de 22° C, con lluvias en verano e invierno y precipitación máxima anual de 200 mm (García, 1973).

En la bahía, se pueden identificar tres patrones de vientos característicos: vientos del noroeste, vientos del norte y vientos del sureste, los cuales han sido denominados por la población mediante nombres que se identifican con puntos geográficos próximos (Jiménez-Illescas, *et al.*, 1997). A los vientos fuertes que soplan del norte-noroeste durante el invierno se les llama "Coyas" y a los del sureste en verano se denominan "Corumel" (Cruz-Orozco *et al.*, 1996).

Existe sobre esta región un centro de baja presión permanente debido a convección por el calentamiento de las capas inferiores de la atmósfera, resultado de la radiación de la tierra calentada por el sol. La cobertura de nubes durante el año es de las más bajas de México (Jiménez-Illescas *et al.*, 1997). La nubosidad, aparece durante tormentas tropicales o frentes atmosféricos, generando lluvias y acarreo de sedimentos terrígenos a la bahía a través de arroyos intermitentes (Monreal-Gómez *et al.*, 2001).

Bernal *et al.* (2001) considera que los patrones de precipitación en la región de la Paz están dominados por las lluvias de verano. Jiménez-Illescas (1983), argumenta que la evaporación (300 mm/año) excede a la precipitación (180 mm/año) y que el aporte de agua dulce por ríos es prácticamente nulo, por lo tanto, la salinidad superficial se incrementa marcadamente en la Bahía de la Paz.

III.4. HIDROGRAFÍA

A partir de valores promedio mensuales de la temperatura superficial González-Navarro *et al.* (1997), describieron un patrón estacional en la bahía. Durante el invierno, la temperatura del agua presenta de 19° a 21° C, en la primavera, se incrementa de 21° a 24° C. Durante el verano, alcanza un máximo con valores que oscilan entre 24° y 28° C y en el otoño se tiene un descenso constante de la temperatura hasta llegar a los valores que se presentan en el invierno.

Los perfiles de temperatura y salinidad son muy parecidos en toda la bahía, las diferencias estriban básicamente en las zonas someras, lugar donde no se presenta la termoclina (Jiménez-Illescas 1983). En general los valores de temperatura superficial de la bahía a finales de la primavera de 1998, están entre 25.68 y 27.60 ° C. El máximo valor está frente a Isla Roca partida y se incrementa hacia Boca Grande (Fig. 7a). A los 50 m de profundidad el intervalo va de 17.25 a 20.25 ° C, mientras que las más bajas se registran alrededor de la latitud 24.55° N longitud 110.58° W (Monreal-Gómez *et al.*, 2001).

En la superficie, a finales de la primavera de 1998, la salinidad tiene valores entre 34.96 y 35.25 y su distribución es inversa a la temperatura superficial, encontrándose que los valores aumentan de Boca Grande hacia el interior de la bahía, (Fig. 7b).

La distribución superficial de la densidad potencial es de 22.55 a 23.31 (Fig. 7c). Las isopicnas a los 50 m tienen valores entre 24.50 y 25.25 donde el máximo valor corresponde al mínimo de temperatura descrito. La densidad potencial decrece hacia la periferia, con el valor mas bajo en Boca Grande, lo que sugiere un giro ciclónico (Monreal-Gómez *et al.*, 2001).

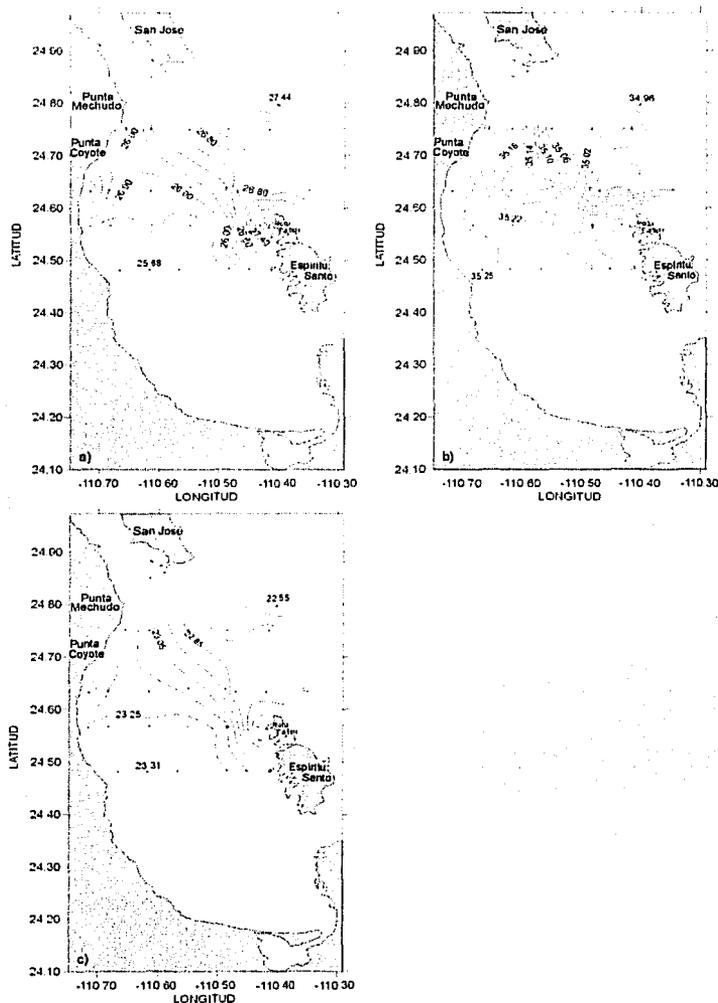


FIGURA 7. Distribución superficial de a) temperatura (°C) , b) salinidad (ups) y c) densidad potencial.

Se ha visto que por debajo de los 75 m de profundidad aproximadamente se define una oxiclina prominente, con un contenido de oxígeno por alrededor de 1 ml/l. En el fondo el oxígeno disuelto muestra valores cercanos a 0.1 ml/l. En Boca Grande se encontraron concentraciones de 0.6 ml/l, valor que es probablemente mayor, debido a que el área es la de mayor comunicación con el Golfo de California. En el caso de la oxiclina, esta no describe un mínimo en la parte profunda como en otras regiones del Golfo de California, lo que sugiere que los procesos de oxidación de la materia orgánica no son tan importantes y en consecuencia, la productividad primaria es despreciable. En la Bahía de la Paz, la columna de agua se encuentra bien estratificada, y la pronunciada picnoclina inhibe la mezcla entre las subsecuentes capas de agua; por debajo de la oxiclina el contenido de oxígeno es muy bajo (Monreal-Gómez *et al.*, 2001).

III.5. NUTRIENTES Y CLOROFILA

En la investigación realizada por Saavedra-Rojas (2003), al analizar la distribución de los nutrientes y de la clorofila, encontró que existe un levantamiento de las isopícnas en el sitio donde se detectó el núcleo frío (al norte de la bahía), así como una relativamente alta concentración de nutrientes. El hundimiento en las isolíneas de NO_3 y PO_4 se ubicó en el núcleo cálido. La distribución de NO_3 y PO_4 mostró que en los primeros 40 m de la columna de agua, la concentración de ambos nutrientes fueron menores a 1.0 $\mu\text{mol/l}$, valores que cambian drásticamente de los 45 a los 50 m de profundidad, donde se detectó la termoclina.

Respecto a la distribución vertical de la clorofila a, en noviembre se registraron máximos de alrededor de 0.5 mg/m^3 . Las estaciones con mayor biomasa fitoplanctónica coincidieron con el núcleo frío localizado (Saavedra-Rojas, 2003).

De acuerdo a la distribución vertical de la clorofila-a en noviembre del 2000, la Bahía de la Paz se dividió en 3 zonas que fueron denominadas como máximo somero, máximo asociado a la termoclina y zona de mezcla (Fig. 8). En el sur y oeste de la bahía predominó la zona de mezcla, ésta es una región somera en la que parece existir un balance entre la cantidad de nutrientes y el régimen de luz, de tal forma que no se desarrolla un máximo de clorofila-a y su distribución se mantiene homogénea en la columna de agua. La zona de máximo asociado a la termoclina, se distribuyó generalmente en el centro de la bahía. En la región de Boca Grande predominó un máximo somero de clorofila-a, que posiblemente responde a la limitación por la luz, ya que el máximo se encuentra ubicado en los primeros 20 m de la capa de mezcla.

A fines de primavera de 1998, dentro de la Bahía de la Paz, los perfiles de clorofila muestra un máximo en la parte superior de la termoclina, mientras que fuera de la bahía o en Boca Grande, esto no ocurre, lo que probablemente es consecuencia de la divergencia causada por la circulación ciclónica (Monreal- Gómez *et al.*, 2001).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

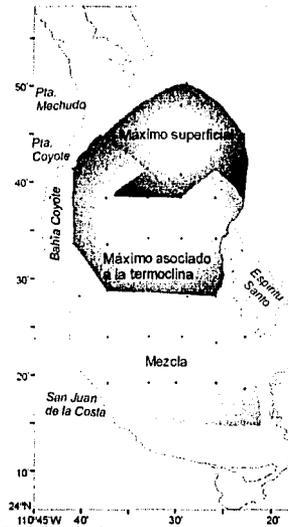


FIGURA 8. Regionalización de la Bahía de la Paz, basada en la distribución vertical de clorofila-a (Saavedra-Rojas, 2003).

III.6. MASAS DE AGUA

Para comprender como se comporta hidrográficamente la Bahía de la Paz, es necesario hacer referencia de la dinámica oceánica que existe en el Golfo de California, ya que sus aguas mantienen un constante intercambio.

El Golfo de California representa el 20 % de 10,000 km de las costas mexicanas. El agua que se encuentra dentro de este golfo, también se encuentra dentro de la región tropical oriental del Océano Pacífico. Asimismo, está sujeto a un forzamiento dinámico por el Océano Pacífico a través de la Boca. Además de las mareas, el golfo presenta ondas internas de diferentes escalas, perturbaciones causadas por los huracanes, ondas de origen ecuatorial atrapadas en la costa, una invasión anual de agua superficial de origen ecuatorial y variaciones de periodo muy largo, como el Niño (Lavín *et al.*, 1997).

Los vientos en el golfo son tales, que durante el invierno vienen del NO y tienen una intensidad máxima de 8-12 m/s, mientras que durante el verano los vientos vienen del SE a 5 m/s. Dentro del Golfo también ocurren procesos físicos (arrastre y mezcla por vientos, mezcla por mareas, intercambios de calor, evaporación, etc.) que afectan la dinámica y alteran las características del agua. Los cambios anuales en el nivel del mar están relacionados con cambios en la temperatura y salinidad de la columna de agua, forzados local y en forma remota por el Océano Pacífico, a través de la boca del Golfo de California (Lavín *et al.*, 1997).

Uno de los aspectos más significativos en la dinámica oceánica del Golfo de California, son las variaciones de temperatura en el agua. En el trabajo realizado por Bernal *et al.* (2001), se reporta que el ciclo anual de la temperatura superficial del mar (TSM), en la Cuenca de la Paz (Bajo Golfo de California), presenta dos estaciones bien definidas con respecto al patrón estacional de vientos. Durante invierno-primavera, los menores niveles de insolación junto con la influencia de los vientos del NW, son los causantes del enfriamiento de las aguas superficiales hasta alcanzar sus mínimos anuales (21-24° C), mientras que las temperaturas más elevadas (27-31° C) se registran durante verano-otoño, cuando la insolación es mayor y vientos más débiles del SE, acarrear por advección aguas cálidas del trópico hacia el Golfo.

Comparando el ciclo anual de la TSMs y la precipitación, se observa que las lluvias de verano ocurren principalmente cuando la TSM sobrepasa los 28° C, lo que indica aportes por actividad convectiva local. Por otro lado, es notorio que las lluvias de verano son las que presentan la mayor variabilidad en el ciclo anual, debido al efecto de las tormentas asociadas con huracanes que, durante el verano, ocasionalmente alcanzan la punta de la Península de Baja California (Bernal *et al.*, 2001).

En 1993, Torres-Orozco identificó y clasificó las masas de agua que se encuentran dentro del Golfo de California y estas son las siguientes:

El agua profunda del Pacífico (APP), El Agua Intermedia del Pacífico (AIP), El Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt), El Agua Superficial Ecuatorial (ASE) y El Agua del Golfo de California (AGC).

El Agua Profunda del Pacífico (APP) se encuentra desde el fondo hasta 1200 m de profundidad, delimitada por la isoterma de 4° C, ocupando un gran volumen (41%; Torres-Orozco, 1993) del Golfo de California. La salinidad aumenta hacia el fondo, de 34.56 a 34.75. No hay evidencia de fluctuaciones en la distribución de esta masa de agua, considerándose muy estable, debido a que está aislada de la influencia meteorológica que tanto afecta a las capas superiores (Lavín M., *et al.*, 1997).

Sobre el APP, se encuentra el **Agua Intermedia del Pacífico (AIP)**, que ocupa el 33% del volumen del Golfo (Torres-Orozco, 1993), desde 1200 m (isoterma de 4°C) hasta 500 m (isoterma de los 9° C). La salinidad máxima de esta masa de agua es de 34.6 y la mínima de 34.5 aproximadamente a los 900 m. La frontera interior del AIP no presenta variaciones apreciables, pero la superior parece retraerse hacia el sur en el verano y avanzar en el invierno, lo cuál sugiere que la entrada de AIP a la zona norte del Golfo tal vez sea estacional o esporádica. Esta masa de agua no penetra al Canal de Ballenas, pues el Umbral de San Lorenzo (400m) está por encima del límite superior del AIP (500 m), (Lavín *et al.*, 1997).

El Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt) se encuentra inmediatamente arriba de la AIP. El límite inferior del ASsSt se encuentra a 500 m (isoterma de los 9° C) y parece tener una variación estacional (Torres-Orozco, 1993). El límite superior está definido por los límites de ambas características T-S ($S < 35$ y $T < 18^\circ \text{C}$), y se encuentra a 150 m de profundidad. En otoño-invierno, el ASsSt presenta su máxima intrusión en la parte

norte del golfo, y se extiende hasta la isóbata de 150 m, mientras que en primavera-verano se retrae hasta la isóbata de 300 a 350 m (250-300 km. del delta)), (Lavín *et al.*, 1997).

El **Agua Superficial Ecuatorial (ASE)**, como su nombre lo indica, proviene de la región ecuatorial y es una de las aguas superficiales del golfo. Tiene su máxima intrusión en verano (puede llegar hasta la cuenca de Guaymas) y la máxima retracción en invierno, cuando se le encuentra solamente en la Boca del Golfo), (Lavín *et al.*, 1997).

El **Agua del Golfo de California (AGC)**, se encuentra por encima de los 150 m. La característica distintiva de esta masa de agua es su salinidad mayor de 35, así que la isohalina de 35 marca claramente la frontera entre el ASE y el AGC, (Torres-Orozco, 1993). El AGC también ocupa los 150 m superiores, pero se encuentra principalmente en la parte norte, donde es la única masa de agua hasta esa profundidad), (Lavín *et al.*, 1997).

BAHÍA DE LA PAZ

Los diagramas T-S (Temperatura-Salinidad) realizados por Monreal-Gómez, *et al.* (2001), demuestran la presencia de tres masas de agua en la Bahía de la Paz durante la primavera de 1998, estas son: el Agua del Golfo de California, Agua Ecuatorial Superficial y Agua Subtropical Subsuperficial (Fig. 9) Adicionalmente se localizó en Boca Grande (fuera de la bahía), Agua Intermedia del Pacífico.

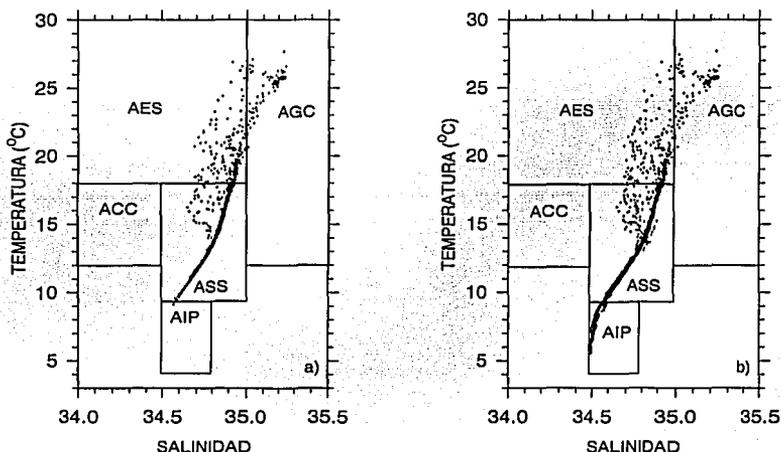


FIGURA 9. Masas de agua a) en la Bahía de la Paz, b) en la bahía región de Boca Grande.

En el estudio de (Saavedra-Rojas, 2003) a partir de datos hidrográficos corregidos (Temperatura, salinidad y presión), se elaboraron diagramas T-S, los que indicaron que en la Bahía de la Paz, las masas de agua presentes tanto en febrero como en noviembre del 2000 fueron: Agua Subsuperficial Subtropical (AS_s , $34.50 < S < 35.00$;

9.00 < T < 18.00° C) y Agua del Golfo de California (AGC, S ≥ 35.00; T ≥ 12.00°C). En Boca Grande, se detectó la presencia de Agua Intermedia del Pacífico (AIP, 34.50 < S < 34.80; 4.00 < T < 9.00° C) por lo que se asumió que esta zona es más parecida al Golfo de California durante el invierno.

En el cuadro I, se resumen las características físicas de las masas de agua que se han registrado en la Bahía de la Paz. La información corresponde a la descripción realizada por Cruz-Orozco (1996) y Lavín M., *et al.* (1997).

NOMBRE	SIGLAS	S ‰	° C	Intervalo prof. (m)
AGUA DEL GOLFO DE CALIFORNIA	AGC	≥ 35.00	≥ 12	< 150
AGUA ECUATORIAL SUPERFICIAL	AES	< 35.00	≥ 18	< 150
AGUA SUBSUPERFICIAL SUBTROPICAL	ASsSt	34.5 < S < 35	9 < T < 18	150-500
AGUA INTERMEDIA DEL PACÍFICO (frente a Boca Grande)	AIP	34.5 < S < 34.80	4 < T < 9	500-1200

CUADRO I. Resumen de las características de las masas de agua descritas por Cruz-Orozco (1996) y Lavín *et al.*, (1997).

III.7. CIRCULACIÓN

De acuerdo con Jiménez Illescas *et al.* (1994), la Bahía de la Paz es influenciada por el Golfo de California, por lo que la variabilidad en el sur del golfo determina en gran parte la variabilidad de mesoescala en el área. Se considera un área donde la columna de agua es estable en toda la bahía excepto en la parte sureste que está próxima a la zona de comunicación entre la bahía y la laguna costera (Jiménez-Illescas *et al.*, 1997). Al estar bien estratificada y al presentarse una pycnoclina pronunciada, se inhibe la mezcla entre las capas subsecuentes, es bajo el contenido de oxígeno debajo de la oxiclina y el consumo de nutrientes es mínimo (Monreal-Gómez *et al.*, 2001).

Entre otras cosas, se ha observado que cuando comienza el invierno, existe una notable estratificación de la columna de agua en la bahía, misma que va disminuyendo hacia finales del invierno. Esta estratificación es considerablemente mayor en el norte y centro del Golfo de California, lo que le confiere a la bahía características probablemente similares a las de la boca del golfo (Saavedra-Rojas, 2003).

Jiménez-Illescas *et al.* (1997) reporta que la marea es uno de los mecanismos de forzamiento más importantes que impulsan la dinámica de la bahía, lo cual se ha corroborado al medir las corrientes de marea y al simularlas en un modelo numérico. Sin embargo, a pesar del gran volumen que se mueve al cooscilar la bahía con el Golfo de California, en ocasiones en las partes poco profundas y en los canales, el viento produce corrientes más intensas que las de la marea y éstas llegan a dominar el patrón de circulación. Dicho patrón muestra la existencia de una corriente intensa paralela a la costa occidental de la bahía, la cual puede ser el mecanismo de transporte de sedimentos hacia el sur. También, aunque las velocidades de las corrientes son

mayores en los canales que en el resto de la bahía, el intercambio es mayor en la Boca Grande, por lo cual, la influencia del Golfo de California en la bahía, a través de esta boca, es mayor que la del Canal de San Lorenzo. En general, la parte más profunda de la bahía presenta las corrientes menos intensas.

Jiménez-Illescas *et al.* (1997) encontraron que el patrón de circulación simulado por un modelo numérico, para corrientes impulsadas por el viento del noroeste, muestra una corriente costera que gira en sentido ciclónico, terminando en una corriente que impulsa agua hacia fuera de la bahía a través del Canal de San Lorenzo, lo que resulta ser el mecanismo más importante de renovación de aguas superficiales de la bahía. Aunado a esto, se ha detectado la existencia de un giro ciclónico semipermanente de invierno, impulsado por el viento del noroeste. Un giro ciclónico causa divergencia superficial y surgencia, en contraparte, al hablar de un giro anticiclónico se dice que este causa una convergencia superficial y a su vez un hundimiento.

Lo antes mencionado se vincula con la investigación realizada por Monreal-Gómez *et al* (2001), donde la característica ciclónica con núcleo frío, se indica por la pendiente de la pycnoclina así como por la anomalía de profundidad. Teóricamente el flujo ciclónico en la bahía podría producir divergencia en el agua, lo cual en su momento, regula la producción primaria biogénica. En el mismo estudio se infirió a partir de la distribución de las isotermas, las isopicnas, la topografía de la isoterma de los 20 °C y a la anomalía de la profundidad dinámica, que a finales de la primavera de 1998 se dio un intercambio en la superficie entre el agua del Golfo de California y la Bahía de la Paz ocurriendo principalmente a través de la región sur de Boca Grande, mientras que el flujo de la bahía al golfo fue a través de la parte norte, particularmente al este de Punta Coyote.

La distribución de temperatura a 50 m de profundidad, tanto en la campaña PACMEXII (febrero de 2000) como en PACMEXIV (noviembre de 2000), mostró un núcleo frío próximo a Boca Grande que en febrero presentó temperaturas de 19.50°C (Fig. 10a) mientras que en noviembre este núcleo se observó más al norte con temperaturas de 22.50°C (Fig. 10b).

En ambas épocas se observa un aumento de temperatura hacia la costa oeste de la bahía, lo que define un giro cálido o anticiclónico con temperaturas alrededor de 24.50°C durante noviembre. Esta distribución lo que revela es un giro ciclónico en la parte norte de la bahía en ambas épocas y un giro anticiclónico al sureste del giro ciclónico en noviembre.

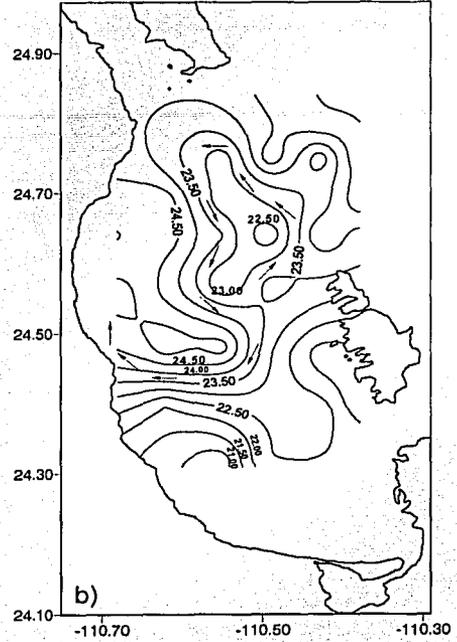
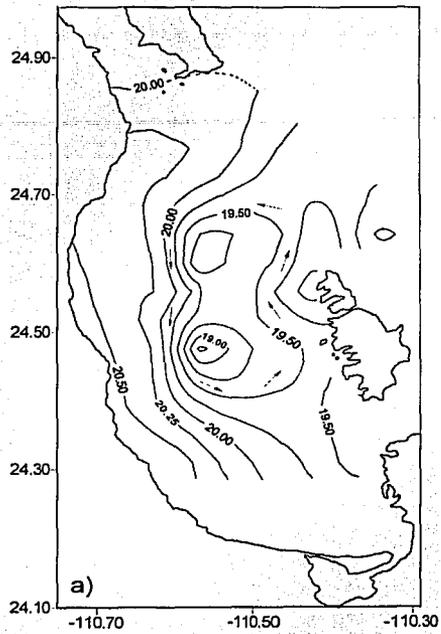


FIGURA 10. Distribución de temperatura a 50 m de profundidad a) en febrero de 2000, b) en noviembre de 2000.

IV. METODOLOGÍA

IV.1. TRABAJO DE CAMPO

Las 26 muestras de sedimento que se utilizaron para obtener los foraminíferos planctónicos, fueron colectadas en la Bahía de la Paz (15 muestras) y en la boca del Golfo de California (11 muestras), durante las campañas oceanográficas denominadas "PACMEX II y IV", realizadas durante el mes de febrero y noviembre del año 2000 respectivamente, a bordo del B/O "EL PUMA" de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Durante dichas campañas oceanográficas, se realizó una fina red de estaciones hidrográficas utilizando un CTD Neil Brown, con el fin de medir conductividad, temperatura y presión. Con ello se calcularon la salinidad y la densidad potencial para inferir la circulación. En las estaciones de muestreo (Cuadro II y Fig. 11), ubicadas mediante un localizador GPS, se obtuvieron muestras de agua para evaluar nutrientes, datos de Oxígeno disuelto a través de un oxímetro y por el método "Winkler" modificado por Carpenter (1966), así como las muestras de sedimento por medio de la caja Reineck.

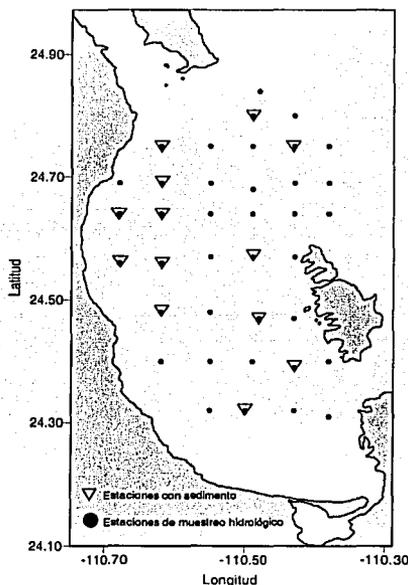


FIGURA 11. Estaciones de muestreo de la Campaña PACMEX I y II.

El sedimento que se requirió para este trabajo, fue superficial, es decir, de 0 a 0.5 cm de espesor. Para coleccionar la muestra, se ubica dentro de la caja Reineck la zona menos perturbada de sedimento y con una espátula se obtiene la muestra, la cual es guardada en un recipiente rotulado (nombre de la campaña, fecha y número de estación).

Bahía de la Paz

Estación	Longitud	Latitud	Profundidad (m)
6	-110.500	24.315	60
12	-110.434	24.401	120
15	-110.483	24.474	200
17	-110.617	24.480	225
20	-110.682	24.567	115
22	-110.543	24.559	340
27	-110.487	24.557	330
29	-110.616	24.638	410
33	-110.617	24.694	380
37	-110.379	24.709	890
39	-110.433	24.749	720
41	-110.548	24.768	300
II-37	-110.659	24.550	80
II-40	-110.686	24.622	150
II-41	-110.655	24.743	160

Boca del Golfo de California

Estación	Longitud	Latitud	Profundidad (m)
2	-107.939	23.873	960
49	-108.999	24.679	2000
51	-108.259	24.766	47
54	-108.886	24.471	1650
61	-108.236	24.094	660
II-37	-110.659	24.550	80
II-40	-110.686	24.622	150
II-41	-110.655	24.743	160
IIBo-42	-110.227	24.675	560
IIBo-43	-109.716	24.590	1280
IIBo-46	-108.714	24.705	900
IIBo-57	-108.286	24.195	870
IIBo-C	-109.735	23.918	580
IIBo-d5	-109.496	23.722	1040

CUADRO II. Coordenadas y profundidad de las estaciones de muestreo de sedimento en el área de estudio.

IV.2. TRABAJO DE LABORATORIO

En este caso, las muestras colectadas en el barco, se trasladaron para ser procesadas al Laboratorio de Ecología de Foraminíferos y Micropaleontología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML), de la UNAM.

El objetivo particular de la técnica que a continuación se menciona, es la obtención de foraminíferos (para este estudio solo los organismos planctónicos), del sedimento superficial y para conseguir esto, es necesario secar lavar y dividir la muestra de sedimento. El primer paso para procesar las muestras es colocar el sedimento a secar en cápsulas de porcelana, para obtener el peso seco de la muestra. Obtenido el peso seco, las muestras que no son muy compactas pueden ser lavadas en ese momento, sin embargo la mayoría de las veces es necesario agregar agua nuevamente a las cápsulas para hidratar y disgregar cúmulos de partículas.

El lavado de las muestras es necesario para separar los organismos de la matriz que los contiene. El tamaño de estos organismos es mayor a 63μ , por lo que se lava el sedimento con agua corriente en un tamiz de malla metálica con apertura de 0.0625 mm (número 250 "Tyler Screen System"). Separando el material que pasa por la malla (limos y arcillas) del que permanece en el tamiz (arena), no solo se obtienen las testas de los organismos, también se obtiene una proporción de arena/lodo (limo y arcillas). Para detectar y evitar que las muestras se contaminen y alteren la cuantificación de los organismos, se sumerge el tamiz en una solución de azul de metileno después de lavar cada muestra, de tal manera que el carbonato de calcio se tiñe y se identifican fácilmente organismos del sedimento antes lavado.

Lavado el sedimento, éste se coloca por segunda ocasión en las cápsulas de porcelana para que sequen a temperatura ambiente y cuando esto sucede, se pesan para obtener el peso seco de la fracción arenosa. Posteriormente, se hace un segundo tamizado con una malla de 0.0149 mm, con el objetivo de separar a los foraminíferos planctónicos juveniles, ya que por su pequeña talla y semejanza morfológica entre especies, es prácticamente imposible diferenciar los especímenes. Esto se debe a que existe un traslape en la morfología ontogenética (Bé, 1959). Por esta razón, la muestra que se revisa es la que contiene las partículas más grandes (fracción gruesa), en donde se encuentran los organismos planctónicos adultos, los cuales pueden identificarse bajo el microscopio estereoscópico.

V.2.1. DIVISIÓN DE LA MUESTRA

Con la finalidad de establecer patrones de abundancia y diversidad, en Biología se acostumbra cuantificar a los organismos en cualesquiera de los cinco reinos existentes. En el caso de los protozoarios, estos no han quedado exentos de esta actividad, y las investigaciones que se han realizado desde los años cincuenta y que ahora se consideran como trabajos clásicos (Be, 1959; Bradshaw, 1959; Bandy, 1961; Parker, 1962; Boltovskoy, 1965), han llevado a la idea unánime de que los foraminíferos así como otros microfósiles marinos tienen una población finamente representada cuando el número de individuos alcanza los 300 organismos aproximadamente. Esto quiere decir que después de encontrar este número, la riqueza de especies ya no cambia, o bien, se mantiene virtualmente constante, lo cual expresa que la población es estadísticamente representativa porque todas aquellas especies susceptibles de aparecer en la muestra están contempladas.

En la mayoría de los casos el sedimento a muestrear, suele ser demasiado y la cantidad de testas puede alcanzar hasta los 3,000 organismos por gramo, razón por lo cual es necesario fraccionar o "cuartear" la muestra para obtener una fracción en la cual se cuantifiquen de 300 a 500 organismos (un número mayor no tendría mucha utilidad debido a que se repetirían las especies). Para esto se utiliza un fraccionador de Otto, el cual es un instrumento de acero, que contiene dos recipientes cuadrados en los que van quedando las fracciones separadas, ya sean medios, cuartos, octavos, etc. De esta forma se determina el número de organismos de las fracciones realizadas y no de un número ilimitado de muestra. En caso de no tener suficiente material para analizar, se cuentan todos los foraminíferos presentes.

V.2.2. OBTENCIÓN DE TESTAS

Con las fracciones de sedimento obtenidas, en una placa de metal cuadrículada y numerada se va agregando la muestra y con un pincel muy delgado cada una de las testas se separa y se coloca en una placa micropaleontológica impregnada con goma de tragacanto, la cual sirve para adherir los organismos y evitar el movimiento de los mismos. La placa tiene dimensiones de 75 por 25 mm, es de cartón, la sostiene un armazón de aluminio y se cubre con un portaobjetos para evitar la contaminación o pérdida de las testas.

V. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

V.1. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS

Para representar gráficamente las abundancias de los organismos en la región de estudio, se realizó un histograma de frecuencias, el cual agrupa los resultados en clases y la frecuencia con la que aparece cada clase.

V.2. ANÁLISIS DE FACTORES

El análisis de factores es un nombre genérico que se da a una clase de métodos estadísticos multivariantes cuyo propósito principal es definir la estructura subyacente en una matriz de datos. Aborda el problema de cómo analizar las estructuras de las interrelaciones (correlaciones) entre un gran número de variables con la definición de una serie de dimensiones comunes, conocidas como factores. Este análisis es una técnica de interdependencia en la que se consideran todas las variables simultáneamente, cada una relacionada con todas las demás. Los dos objetivos principales para el análisis de factores es el resumen y la reducción de datos. Cuando se resumen estos, se obtienen las dimensiones subyacentes que cuando son interpretadas y comprendidas, describe los datos con un número de conceptos mucho más reducido que las variables individuales originales. Desde esta perspectiva, el análisis proporciona una comprensión clara de cuáles de las variables podrían actuar juntas y cuántas de las variables se puede esperar que tenga un impacto en el análisis (Hair *et al.*, 1999).

De las abundancias absolutas de los foraminíferos, se obtuvo el valor porcentual de la población. Posteriormente los datos se analizaron corriendo el análisis de factores en su modo Q, para observar que muestras se agrupaban por sus características comunes y hacer una comparación entre estas. Asimismo se identificaron las especies importantes que definen un factor, a través de los valores del factor (*factor scores*), y las cargas o valores factoriales (*factor loadings*), lo que indica que muestras son las que caracterizan a cada factor. El Programa utilizado para correr este análisis fue el STATISTICA 9.0 de StaSoft Inc.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El conocimiento acerca de los procesos que controlan las abundancias en diferentes horizontes es limitada, la velocidad de sedimentación, persistencia de las testas según su tamaño, el destino de los estados juveniles y las funciones selectivas que determinan la sobrevivencia o muerte de los diferentes estadios de desarrollo son cuestiones que todavía no se tienen bien establecidas en el estudio de dinámica de poblaciones y sedimentología (Hemleben, *et al.*, 1989). Los foraminíferos planctónicos reflejan la ecología de la superficie oceánica a fina escala, contribuyendo principalmente con el flujo de partículas calcáreas pelágicas al fondo. Si se requiere interpretar el flujo vertical de partículas, es primordial entender la dinámica poblacional de estos protistas (Schiebel *et al.*, 2001). Considerando esto, se analizaron las características ecológicas y abundancia en el sedimento superficial de las especies de foraminíferos planctónicos, presentes en la Bahía de la Paz, así como la dinámica oceánica de dicha bahía.

VI.1 GRANULOMETRIA

El porcentaje de arenas y lodos en las muestras, se calculó a partir de la diferencia de pesos del sedimento antes y después de lavar. En la Fig. 11 y cuadro III, se observa que las estaciones que tienen más del 50 % de arenas son la 6, 20, II-37, II-40, todas muy cercanas a la costa. Estos valores coinciden con lo reportado por Cruz-Orozco *et al.* (1996), quien argumenta que las arenas se ubican al sur y márgenes de la bahía (San Lorenzo, Punta Cabeza de Mechudo y sur de Punta Coyote). La estación 20 y la II-40 son las estaciones con más arena, pero Cruz-Orozco no define esta área, sin embargo por estar muy cerca de la costa, es razonable que tenga dicha composición. El resto de las muestras, contienen de 1 a 49 % de arenas.

Estación	% lodos	% arenas
6	27	73
12	88	12
15	83	17
17	67	33
20	13	87
27	92	8
29	91	9
33	84	16
39	92	8
41	80	20
51	80	20
61	99	1
II-37	27	73
II-40	12	88
II-41	51	49
IIBo-42	81	19
IIBo-C	82	18
IIBo-d5	72	28

CUADRO III. Porcentaje de arenas y limos de las muestras colectadas en el área de estudio.

Por lo que respecta a los limos, las estaciones con más del 50% de este material son la 12, 15, 17, 27, 29, 33, 39, 41, 51, 61, II-41, IIBo-42, IIBo-C y IIBo-d5 aspecto que respalda la investigación de Cruz-Orozco *et al.* (1996), que describe en la parte central de la bahía una zona donde se concentra la mayor cantidad de limos. En la zona norte no definió área alguna, sin embargo por ser una zona profunda, las partículas que llegan son de tamaño pequeño.

Estos porcentajes, lo que reflejan es que evidentemente en nueve de 15 estaciones de muestreo dentro de la Bahía de la Paz, los sedimentos son predominantemente limos. De acuerdo con Shepard (1954), el tipo de sedimento es limo-arenoso

En la Boca del Golfo de California, se encontró que en las estaciones II-42, II-C, II-d5, 51 y 61, son dominantes los lodos.

VI.2. ORGANISMOS

VI.2.1. SISTEMÁTICA

Partiendo de un esquema general, es esencial conocer con qué organismos se está trabajando, para en lo subsiguiente analizar las características particulares de los organismos y deducir cual es el escenario en el que se desarrollan. En esta sección se presenta la clasificación y características ecológicas de las especies encontradas. De las 15 muestras colectadas en la bahía, solo en la estación 22 no se encontraron testas de foraminíferos; en la boca del Golfo de California, de las 11 muestras colectadas, en las estaciones 2, 49 y 54 hubo de 6 a 14 individuos y en las estaciones 46 y 57 no hubo foraminíferos planctónicos.

Para determinar las especies encontradas, se utilizó el Atlas Filogenético de Kennett y Srinivasan (1983), y la clasificación de Loeblich y Tappan (1987), reconociéndose once especies de foraminíferos planctónicos pertenecientes a seis géneros, donde la ubicación taxonómica es la siguiente:

Reino **PROTISTA** (Goldfuss, 1821)

Phylum **SARCODINA** (Schimarda, 1871)

Orden **FORAMINIFERIDA** (Eichwald, 1830)

Superfamilia **GLOBIGERINACEA** (Carpenter, Parker and Jones, 1862)

Familia **GLOBIGERINIDAE** (Carpenter, Parker and Jones, 1862)

Subfamilia **GLOBIGERININAE** (Carpenter, Parker and Jones, 1862)

Género **GLOBIGERINA** (D'Orbigny, 1826)

Globigerina bulloides (D'Orbigny, 1826), pag. 36, pl. 6, fig 4-6

Globigerina falconensis (Blow, 1959), pag. 40, pl 7, fig. 1-3

Género **GLOBIGERINOIDES** (Cushman, 1927)

Globigerinoides ruber (D'Orbigny, 1839), pag. 78, pl. 10, fig. 6; pl 17, fig. 1-3.

Globigerinoides quadrilobatus (D'Orbigny, 1846), pag. 66, pl. 14, fig. 1-3.

Globigerinoides sacculifer (Brady, 1877), pag. 66, pl. 14, fig 4-6.

Globigerinoides immaturus (Leroy, 1939), pag. 64, pl.10, fig 3; pl 13, fig 7-9.

Subfamilia ORBULININAE (Schultze, 1854)

Género **ORBULINA** (D'Orbigny, 1839)

Orbulina universa (D'Orbigny, 1839), pag. 86, pl. 18, fig. 2; pl. 20, fig 4-6.

Familia CANDEINIDAE (Cushman, 1927)

Subfamilia GLOBIGERINITINAE (Bermúdez, 1961)

Género **GLOBIGERINITA** (Brönnimann, 1951)

Globigerinita glutinata (Egger, 1893), pag. 224, pl. 56, fig. 1,3-5.

Familia GLOBOROTALIIDAE (Cushman, 1927)

Género **GLOBOROTALIA** (Cushman, 1927)

Neogloboquadrina dutertrei (D'Orbigny, 1839), pag. 198, pl.48, fig. 7-9.

Neogloboquadrina pachyderma (Ehrenberg, 1861), pag. 192, pl. 47, fig. 2, 6-8.

Familia PULLENIATINIDAE (Cushman, 1927)

Género **PULLENIATINA** (Cushman, 1927)

Pulleniatina obliquiloculata (Parker y Jones, 1865), pag. 202, pl. 49, fig.2; pl. 50, fig. 6-9.

VI.2.2. ABUNDANCIA DE ESPECIES

Con el histograma de frecuencias (Fig. 12), se observa que existe una clase que aparece frecuentemente en 12 de 14 estaciones agrupando de 19 a 1400 individuos por gramo de sedimento, otra clase (con frecuencia de 3) agrupa de 1401 a 2782 organismos, una tercera que indica 2 clases con 2783 a 4162 testas, y una última que refleja que es muy raro encontrar de 6929 a 8310 testas en las zonas muestreadas.

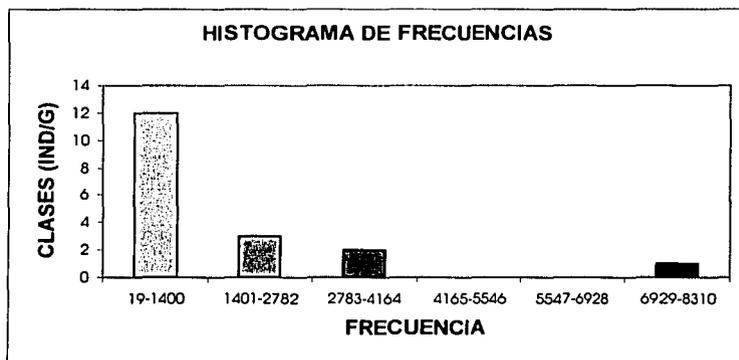


FIGURA 12. Histograma de frecuencias.

La abundancia, se manejó como absoluta (cuadro IV) y relativa (cuadro V). La primera se refiere al total de organismos encontrados en la muestra de sedimento y la segunda, a la abundancia expresada en porcentaje. Esta última refleja que las tres especies más abundantes en orden decreciente son *Globigerina bulloides*, *Globigerinita glutinata* y *Neogloboquadrina dutertrei*, las cuales representan el 38, 23 y 15 % respectivamente del total de las especies.

Las especies con menos del 15 %, fueron *Neogloboquadrina pachyderma* (9.2 %), *Globigerinoides ruber* (4.4 %), *Globigerina falconensis* (4.3 %), *Pulleniatina obliquiloculata* (3.5 %), *Globigerinoides immaturus* (1%), *Globigerinoides quadrilobatus* (0.8 %), *Orbulina universa* (0.4 %), y *Globigerinoides sacculifer* (0.2 %).

Estación Especie	6	12	15	17	20	27	29	33	39	41	51	61	II-37	II-40	II-41	II-B-42	II-B-C	II-B-d5	TOTAL
<i>Globigerina bulloides</i>	194	169	183	143	139	121	171	124	81	80	201	45	173	244	122	25	3	1	2219
<i>Globigerina falconensis</i>	13	19	13	17	17	6	23	13	13	10	37	13	26	19	11	0	1	0	251
<i>Globigerinoides ruber</i>	32	18	23	2	25	22	16	49	2	5	20	0	15	11	14	0	0	0	254
<i>Globigerinoides quadrilobatus</i>	1	7	5	0	8	0	0	3	0	2	1	7	3	2	5	1	1	0	46
<i>Globigerinoides sacculifer</i>	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	2	0	8
<i>Globigerinoides immaturus</i>	3	0	0	0	3	1	1	3	0	0	1	1	13	8	13	7	0	0	54
<i>Globigerinita glutinata</i>	26	49	52	121	32	120	74	48	159	93	42	128	18	14	21	97	135	0	1229
<i>Neogloboquadrina pachyderma</i>	3	23	27	51	15	13	12	9	14	17	0	4	10	25	11	37	3	196	470
<i>Neogloboquadrina dutertrei</i>	39	112	41	62	42	63	62	72	90	61	23	24	24	44	28	28	21	47	883
<i>Pulleniatina obliquiloculata</i>	1	1	5	11	3	3	25	7	6	7	0	14	2	5	1	26	48	3	168
<i>Orbulina universa</i>	1	0	0	0	0	0	5	0	1	0	0	3	1	0	0	8	0	2	21
TOTAL	314	398	351	407	284	349	389	328	366	275	325	239	287	373	226	229	214	249	4025

CUADRO IV. Abundancia absoluta de las especies encontradas en el área de estudio.

Estación Especie	6	12	15	17	20	27	29	33	39	41	51	61	II-37	II-40	II-41	II-B-42	II-B-C	II-B-d5	TOTAL
<i>Globigerina bulloides</i>	62	42	52	35	49	35	44	38	22	29	62	19	60	65	54	11	1	0	681
<i>Globigerina falconensis</i>	4	5	4	4	6	2	6	4	4	4	11	5	9	5	5	0	0	0	78
<i>Globigerinoides ruber</i>	10	5	7	0	9	6	4	15	1	2	6	0	5	3	6	0	0	0	79
<i>Globigerinoides quadrilobatus</i>	0	2	1	0	3	0	0	1	0	1	0	3	1	1	2	0	0	0	16
<i>Globigerinoides sacculifer</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3
<i>Globigerinoides immaturus</i>	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	5	2	6	3	0	0	20
<i>Globigerinita glutinata</i>	8	12	15	30	11	34	19	15	43	34	13	54	6	4	9	42	63	0	413
<i>Neogloboquadrina pachyderma</i>	1	6	8	13	5	4	3	3	4	6	0	2	3	7	5	16	1	79	165
<i>Neogloboquadrina dutertrei</i>	12	28	12	15	15	18	16	22	25	22	7	10	8	12	12	12	10	19	276
<i>Pulleniatina obliquiloculata</i>	0	0	1	3	1	1	6	2	2	3	0	6	1	1	0	11	22	1	63
<i>Orbulina universa</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	1	8

CUADRO V. Abundancia relativa de las especies encontradas en el área de estudio.

VI.2.3. MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES

Para ubicar visualmente la distribución de cada una de las once especies, en la Bahía de la Paz, se realizaron mapas de la bahía que incluyen las estaciones de muestreo y el número de los microorganismos (Figs. 13 a-k). Dichas figuras se organizaron en orden descendente, según la abundancia de las especies, expresada en individuos por gramo.

Considerando que los foraminíferos planctónicos responden a diferentes parámetros ecológicos, el propósito de realizar mapas para cada especie, es la de explorar posibles tendencias en la distribución y abundancia de los individuos dentro de la Bahía de la Paz.

Cabe recordar que también se analizaron muestras de la boca del Golfo de California, con la finalidad de saber si la composición faunística de foraminíferos planctónicos que se encuentran dentro de la Bahía de la Paz, son similares a los reportados en el Golfo de California y zonas aledañas; o si estos están siendo arrastrados por la Corriente de California e introducidos, primero al Golfo de California y posteriormente a la bahía. La última alternativa es que sea una composición característica del lugar.

VI.2.4. PATRONES DE ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN EN EL SEDIMENTO

En el cuadro VI se encuentra el nombre de las especies determinadas, el número de individuos por gramo de sedimento, el total de individuos por especie (1), y el total de organismos por estación (2). Para estimar la abundancia de los foraminíferos planctónicos, se estandarizó el número de individuos por gramo de sedimento, debido a que las cantidades iniciales de sedimento fueron distintas, aspecto que se reflejó en el número de individuos por muestra (cuadro VII).

Estación	<i>G. bulloides</i>	<i>G. falconensis</i>	<i>G. ruber</i>	<i>G. quadrilobatus</i>	<i>G. sacculifer</i>	<i>G. immaturus</i>	<i>G. glutinata</i>	<i>N. pachyderma</i>	<i>N. dutertrei</i>	<i>P. obliquiloculata</i>	<i>O. universa</i>	Total (2)
6	38	3	6	0	1	0	41	1	8	0	0	97
12	147	17	16	6	0	0	24	12	97	1	0	319
15	375	27	47	10	2	0	31	9	84	10	0	596
17	126	15	2	0	0	0	130	464	55	10	0	800
20	108	13	19	6	0	0	39	12	33	2	0	233
27	116	6	21	0	0	0	84	2	60	3	0	292
29	95	13	9	0	0	0	12	3	35	14	3	183
33	272	28	107	7	0	0	13	1	158	15	0	602
39	150	24	4	0	0	0	26	15	167	11	2	399
41	74	9	5	2	0	0	40	15	56	6	0	207
51	28	5	3	0	0	0	16	0	3	0	0	56
61	15	4	0	2	0	0	30	1	8	5	1	66
II-37	232	35	20	4	0	4	33	32	32	3	1	396
II-40	392	31	18	3	0	1	29	91	71	8	0	643
II-41	313	28	36	13	0	3	48	20	72	3	0	534
IIB-42	5	0	0	0	0	3	18	7	5	5	1	44
IIB-C	0	0	0	0	12	0	1469	0	2	4	0	1488
IIB-d5	0	0	0	0	2	0	0	5	1	0	0	9
Total (1)	2484	257	312	54	16	12	2083	690	945	100	9	6962
%	36	3.695	4.485	0.774	0.234	0.167	29.92	9.905	13.58	1.439	0.125	100

CUADRO VI. Especies determinadas, individuos por gramo de sedimento y total de organismos por especie (1) y por estación (2).

Bahía de la Paz	
Estación	ind/g
6	97
12	319
15	596
17	800
20	233
22	0
27	292
29	183
33	602
37	79
39	399
41	207
II-37	396
II-40	643
II-41	534

Boca del Golfo de California	
Estación	ind/g
2	0
49	0
51	56
54	0
61	66
IIBo-42	44
IIBo-43	1
IIBo-46	0
IIBo-57	0
IIBo-C	1488
IIBo-d5	9

CUADRO VII. Total de individuos por gramo de sedimento, en cada estación de muestreo.

VI.2.5. ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN POR ESPECIE

Analizando por separado las figuras, se observa que *Globigerina bulloides* (Fig. 13 a) tiene los valores más altos de abundancia. Considerando las abundancias relativas, esta especie aparece en seis estaciones con valores del 65 al 50% del total de las testas cuantificadas; en seis estaciones diferentes, acumula del 50 al 30% y por último en cinco estaciones las abundancias acumulan del 1 al 30%.

Cuantificado como individuos por gramo la especie representa el 36% de las especies encontradas en el área. Su distribución es amplia, ya que se encontró en todas las estaciones de muestreo con elevadas abundancias en el noroeste de la bahía, en las estaciones II-40 (150 m), 15 (200 m) y II-41 (160 m) y poco abundante en las estaciones de la boca del Golfo de California.

Esta especie, de acuerdo con Bé y Hamlin (1962), es abundante en aguas subárticas y transicionales, asociando las altas abundancias encontradas en la superficie de la columna de agua, a las horas con luz y a temperaturas entre 0° y 19° C. Para Hemleben *et al.*, (1989), es una especie típica de ambiente transicional a polar, apareciendo con elevadas abundancias en estas regiones. Bandy (1961), por su parte la ubica como especie euritérmica.

En 1967 Bé, la consideró como un espécimen, asociado a corrientes frías y/o áreas de surgencia. Khalil *et al.* (2002), escribe que es típicamente de regiones subpolares y que puede presentarse en plataformas internas, donde se ve indicada la actividad de surgencia.

Aunado a lo anterior, Eileen *et al.* (2000) encontraron que los elevados flujos de esta especie no se restringen a los periodos de surgencia por lo menos en aquellos que

están asociados a la Corriente de California. Esto lo fundamentan con un estudio realizado en la Cuenca de Santa Bárbara, lugar en el que las aguas cálidas, de elevada salinidad fluyen del sur de California y las aguas frías y de baja salinidad provienen de la Corriente de California desde el oeste. En este sitio se analizaron muestras de trampas de sedimento de 1993 a 1996, encontrando que el flujo de *G. bulloides* osciló de un 65% a principios de enero de 1994, a un 10% a finales de febrero y principios de marzo de 1995 (en promedio durante los tres años de estudio, la especie tuvo un flujo del 42%), confirmando que la especie aparece durante casi todo el año, durante surgencias o periodos intermitentes. De hecho los periodos de máximo flujo para *G. bulloides* incluyen dos eventos de surgencia en mayo de 1994 y 1996, sin embargo hubo otros máximos en septiembre y diciembre de 1993 y enero de 1994, con periodos intermitentes en 1994. Los autores argumentan que las abundancias encontradas, probablemente se deban a que esta especie no es un simbiote obligatorio, sino un predador de especies que habitan zonas de transición y polares.

También se ha reportado que se puede encontrar en la columna de agua hasta los 400 m, principalmente en la termoclina (Hemleben *et al.*, 1989). Schiebel *et al.*, (2001) publicó que *G. bulloides* domina aguas superficiales del Atlántico Norte, exhibiendo un incremento en el número de individuos cuando el viento mezcla y redistribuye tanto la clorofila *a* como el alimento disponible, reconociéndose como especie característica de aguas de alta productividad, caracterizando un periodo con inducción del viento, dispersión de la clorofila *a* y arrastre de aguas ricas en nutrientes. Esto puede vincularse a lo argumentado en el párrafo anterior, en el que se habla de surgencias.

Bradshaw (1959), realizó un extenso estudio acerca de la ecología de foraminíferos planctónicos en el Océano Pacífico Norte y Ecuatorial. En este reporta que encontró frecuencias elevadas de *G. bulloides* en el norte y ocasionalmente bajas frecuencias en aguas ecuatoriales, con lo cual argumenta que es una especie afín a la fauna de agua fría y la ubica como especie común del área de transición entre las aguas frías y cálidas. En el Golfo de California, la frecuencia de aparición fue de 1 a 20% de las muestras analizadas.

En un trabajo realizado en 1984, por Rozo-Vera, se analizaron sedimentos superficiales del Golfo de California, donde *G. bulloides* se encontró con abundancias relativas del 3 a 17.3%, asumiendo que es una especie indicadora de masas de agua fría, presente en áreas del Golfo de California influenciadas por surgencias.

Thunell *et al.*, (1999), detectó que en el Golfo de California, es una especie cuyo máximo de producción se ha observado durante los meses de invierno y comienzos de primavera, en los primeros 20 m de la columna de agua.

Considerando los argumentos anteriores, la dominancia de esta especie en la Bahía de la Paz sugiere que *G. bulloides* esta indicando la presencia de masas de aguas transicionales, influenciadas por surgencias. De igual manera, sus abundancias pueden estar indicando blooms, generados por surgencias en la bahía. El porcentaje de individuos por gramo indica que la fauna se asemeja más a la reportada en el Golfo de California que a la zona influenciada por Corriente de California.

Incluso por tratarse de una especie que ocupa hábitat fríos, su longevidad es mayor que la de otras especies y tal vez por esta característica, en su historia de vida, exista un número mayor de eventos reproductivos que le permita dejar un número elevado de organismos. Esta idea acerca de la longevidad de las especies ha sido observada por Parker *et al.*, (1999), quienes creen que organismos que pueden tolerar las bajas temperaturas del ambiente acuático marino suelen ser más longevas e incluso que puede existir un traslape entre las especies cosmopolitas y especies polares-subpolares.

Como segunda especie más abundante, *Globigerinita glutinata* tuvo abundancias relativas altas en dos estaciones de la boca del Golfo de California (54 y 63 %); en cinco muestras, el porcentaje fue de 30 a 50 y en las once restantes fue de 4 a 20%.

En valores de individuo por gramo (Fig. 13 b), esta especie representa el 30% de la población en el área de estudio y se encontró en casi todas las muestras, excepto en la estación d5 (1040 m), ubicada en la boca del golfo, próxima a la península. Su máxima abundancia se registró en la boca del golfo, en las estaciones 61 (660 m) y IIBo-C (580 m), misma que va disminuyendo conforme va incursionando a la bahía. Las abundancias mínimas, se encontraron en las estaciones con profundidades que van de los 60 a los 160 m.

Globigerinita glutinata, se considera una de las especies vivas más extendidas en los océanos del mundo, ya que por sus hábitos ecológicos, aparentemente tolera amplios intervalos de temperatura y de salinidad. Habita en la superficie marina preferentemente en aguas transicionales, aunque se distribuye en aguas polares, subpolares, subtropicales y tropicales (Bé y Hamlin 1962; Kennett y Srinivasan, 1983 y Hemleben *et al.*, 1989).

Observaciones realizadas en laboratorio, demuestran que su dieta consiste básicamente de diatomeas y algas crisófitas. Como segunda opción, pueden estar protegidos como simbioses facultativos con crisófitas, durante la abundancia de algas, aunque subsecuentemente están siempre digiriendo (Hemleben *et al.*, 1989).

En el Golfo de California, Bradshaw (1959), reporta a *G. glutinata* como especie abundante, sin manejar porcentajes (algunas de las estaciones de muestreo están muy cerca de la Bahía de la Paz). Este autor considera que suele ser más abundante en las regiones tropicales, aunque puede aparecer en aguas subárticas. Respecto a la masa de agua, la ubica dentro de la fauna de agua cálida mezclada asociada a la región ecuatorial del Pacífico.

En 1984 Rozo-Vera reportó, que en el Golfo de California, *G. glutinata* constituyó del 0.3 al 48 % de abundancia relativa, siendo abundante en el sureste. También argumenta que esta especie esta asociada a agua del Golfo de California, la cual es agua del Pacífico Tropical Oriental, modificada por procesos de evaporación.

En la Bahía de la Paz, *G. glutinata*, tiene una amplia distribución y abundancia, por tratarse de una especie cosmopolita. Su máxima abundancia se localizó en una de las

estaciones de la boca del Golfo de California, misma que decrece al ingresar a la bahía, probablemente se deba a que en esta estación se encontraron muchas diatomeas en el sedimento, y como Hemleben *et al.* (1989) argumenta, estas algas constituyen parte de su dieta, lo que indirectamente estaría indicando que además de las condiciones abióticas del área, el alimento es uno de los principales limitantes para su desarrollo y permanencia.

Por los porcentajes que maneja Rozo-Vera (1984), al parecer es una especie que domina el Golfo de California, razón por la cual la encontramos como segunda especie más abundante dentro de la bahía, ya que existe un intercambio de agua del Golfo con la bahía, a través de Boca Grande.

En tercer lugar (Fig. 13 c), se ubica *Negloboquadrina dutertrei*, cuyos valores más elevados de abundancia relativa están entre 22 y 28% en cuatro estaciones, y en las 14 restantes, el porcentaje va de 8 a 19 %. Cuantificado como individuos por gramo, la especie representa el 14% del total de la población. Las estaciones con más individuos son las estaciones 39 (720m) y la 33 (380 m), ubicadas en Boca Grande, por lo que respecta a las estaciones de la boca del Golfo de California, se encontraron de 1 a 8 individuos por gramo.

Esta especie, vive en zonas tropicales y cálidas subtropicales (Kennett y Srinivasan, 1983). Hemleben *et al.* (1989), observó altas abundancias en aguas tropicales y en algunas regiones de transición, asociándolo al hecho de que los organismos viven casi exclusivamente donde el fitoplancton compuesto de crisófitas unicelulares es muy común.

En la Cuenca de Santa Barbara, la cual está fuertemente afectada por la Corriente de California, por la Corriente del Océano Pacífico Norte y en el Pacífico tropical debido a El Niño/Oscilación del Sur (ENSO), Eileen *et al.*, (2000) reportan que esta especie contribuyó en un 3.3% del flujo total de foraminíferos retenidos en una trampa de sedimento. El flujo más grande de *N. dutertrei* fue registrado a finales del verano y otoño cuando la columna de agua estuvo totalmente estratificada y durante el máximo desarrollo de clorofila. Se observó también que *Negloboquadrina dutertrei* desaparece con la surgencia, retornando a bajos valores aproximadamente dos meses más tarde, después de que esta se genera. Los bajos números varían estacionalmente y no se presentan a finales del invierno e inicios de la primavera cuando el agua fría superficial tiene temperaturas mínimas. Datos de Isótopos sugieren que en la Cuenca de Santa Barbara, *N. dutertrei* vive desde la superficie hasta la base de la termoclina, predominantemente inmerso o muy cercano al máximo de clorofila profundo.

Rozo-Vera (1984), la encontró con abundancias relativas del 2 al 11% de las muestras revisadas, por lo que la considera especie rara, y especie característica de masas de agua transicionales y cálidas. Su presencia la vincula a la presencia de la Contracorriente ecuatorial que llega al Golfo de California.

En la zona de estudio, la especie tiene valores mínimos en las estaciones de la boca del golfo y estas se incrementan hacia la bahía. Al llegar a la bahía las elevadas

abundancias se concentran en el norte y estas decrecen en las estaciones del centro. Considerando que *N. dutertrei*, habita aguas superficiales cálidas y de termoclina estable, es factible que durante las estaciones cálidas del año (primavera-verano), debido a la incursión de Agua Ecuatorial Superficial y Agua Subtropical Subsuperficial que Monreal-Gómez *et al.*, (2001) detectaron en la bahía, existan eventos reproductivos, por ser una época teóricamente óptima para la especie, entre otros aspectos, la incidencia de luz permite el desarrollo de fitoplancton, mismo que funciona como alimento para los foraminíferos planctónicos. Además la cantidad de clorofila dentro de la bahía es mayor que en la Boca del Golfo, lo que puede explicar la mayor abundancia en la bahía con respecto a la Boca del Golfo.

Neogloboquadrina pachyderma (enrollamiento dextral) (Fig. 13 d), constituye en promedio el 9.2 % de la abundancia relativa de las especies. En este caso, la estación d5 (boca del Golfo de California) acumula el 79% de la población y las estaciones restantes tienen del 1 al 16%.

De los valores de abundancia expresado en individuos por gramo, representa el 10%, de la población. En las estaciones de la boca del Golfo de California, se encontraron de 1 a 7 individuos y en la bahía, hasta 464 testas, es decir que en la boca la abundancia es baja y al entrar a la bahía se incrementa, en particular en las estaciones 17 (225 m) y II-40 (150 m).

Neogloboquadrina pachyderma, se distribuye de zonas polares hasta zonas cálido subtropicales (Kennett y Srinivasan, 1983). Bradshaw (1959), la encuentra en la masa de agua fría Subártica al norte de la latitud 40° y ocasionalmente en la Corriente de California y al Norte de Japón; en el Golfo de California reportan que no hubo organismos de esta especie.

En sedimentos superficiales del Golfo de California (Rozo-Vera, 1984), se reportó que la abundancia relativa de esta especie fue del 1 a 64%, ubicándola como parte de la fauna de transición (de acuerdo a su afinidad térmica, que es de 10 a 18°C) influenciadas por surgencias. Asimismo, considerando sus abundancias, se define una zona zoogeográfica asociada a la distribución de la masa de agua superficial del Golfo de California influenciada por la Corriente de California.

Se alimenta exclusivamente de fitoplancton, comúnmente de diatomeas y actualmente no se ha observado interacción simbiótica alguna como en otras especies (Hemleben *et al.*, 1989).

En la Bahía de la Paz, las abundancias relativas son similares a las reportadas por Rozo-Vera (1984), lo que nos indica agua superficial del Golfo de California influenciada por la Corriente de California.

Las especies ***Globigerinoides ruber***, ***Globigerina falconensis***, ***Pulleniatina obliquiloculata***, ***Globigerinoides quadrilobatus***, ***Globigerinoides sacculifer***, ***Globigerinoides immaturus*** y ***Orbulina universa*** (Fig. 13 e- k), se presentaron en proporciones menores al 5%.

Globigerinoides ruber (Fig. 13 e), se encontró en todas las estaciones de la Bahía de la Paz y se ubica en el quinto lugar, agrupando el 4% de la abundancia relativa de las especies. En la Boca del Golfo de California, las abundancias oscilan del 1 al 15% en las muestras revisadas. Como individuos por gramo, igualmente agrupa el 4 % de la población, encontrando más organismos en la estación 33 (380 m) y en las estaciones 15 (200 m) y II-41 (160 m), ambas cercanas a la costa y someras.

Considerada como especie que tolera elevadas temperaturas (Bé, 1967), aparece en aguas tropicales y subtropicales, viviendo principalmente en aguas próximas a la superficie (0-100 m). Bé menciona que Lee en 1965 encontró que las testas de los organismos contenían grandes cantidades de zooxantelas, lo cual indica en su momento que *G. ruber* puede habitar estrictamente en la zona eufótica. Por lo que a interacción biológica se refiere es un simbiote obligatorio particularmente con dinoflagelados.

Al parecer suele encontrarse en aguas someras, razón por la cual es conveniente para realizar análisis isotópicos que estiman las temperaturas y salinidades superficiales del pasado (Hemleben *et al.*, 1989).

El intervalo de temperatura en el que se han encontrado a los organismos es de 14° a 27° C y las más altas concentraciones de los 23° a los 27°C (Bé y Hamlin, 1962), (Eileen *et al.*, 2000), este último autor reporta que cuando se detectan aumentos en los flujos de esta especie, co-ocurren cuando el plancton silicio se incrementa con diatomeas y radiolarios de aguas cálidas.

Se reporta que su distribución presenta frecuencias máximas en el Pacífico Ecuatorial. En regiones tropicales y templadas del Pacífico, se ha encontrado esta especie, con altas frecuencias en aguas ecuatoriales; sin embargo un número considerable se encontró en la zona de transición y las más grandes concentraciones se registraron en el Golfo de California (más del 20 % desde el alto Golfo hasta el sur de la Bahía de la Paz, hacia el sur de esta zona, el porcentaje es de 1 a 20. Del lado del Pacífico, en general las abundancias son mayores al 20 %, con parches de menor abundancia (1-20%), en Baja California Sur y de los Cabos hasta el sur de la Bahía de La Paz, (Bradshaw, 1959).

G. ruber en el Golfo de California (Rozo-Vera, 1984), se encontró con abundancias relativas del 0.3 al 6.3 %, considerándose como escasa. En general se encontró distribuida en el sur del Golfo de California.

En el área de estudio, refleja condiciones cálidas proporcionadas por el ingreso del Agua Ecuatorial Superficial.

Globigerina falconensis (Fig. 13 f) tuvo de 3 a 35 individuos por gramo, lo que equivale al 4% de la población total. En las estaciones de la boca del Golfo de California solo se encontraron 3 organismos y las abundancias máximas se localizaron al norte de la bahía, en las estaciones cercanas a la costa (II-37 a 80 m; II-40 a 150 m y la II-41).

Observando la abundancia relativa de las muestras, los valores oscilan del 2 al 11%, lo que equivale en promedio al 4%.

Habita en la zona fótica, tiene una distribución subantártica y se ha encontrado al sur de América (Hemleben *et al.*, 1989; Kennett y Srinivasan, 1983; Parker, 1962). En las zonas del Golfo de California, influenciadas por surgencias, esta especie fue considerada como rara, distribuida principalmente en el centro del golfo y con frecuencias relativas del 0.3 al 2.3 % (Rozo-Vera, 1984). Parker en 1973, en su trabajo de foraminíferos del Golfo de California la localizó en tres estaciones como la segunda especie más rara, remanente y con muy bajas frecuencias. Parker y Berger (1971), en sedimentos superficiales del Pacífico sur, cuantificaron organismos de esta especie en 50 de 269 muestras, con abundancias mínimas.

En la Bahía de la Paz, por las abundancias reportadas se infiere que la permanencia de esta especie no es favorecida por las condiciones ambientales de la zona. Sin embargo los pocos organismos que habitan en la zona, probablemente aprovechan los eventos de surgencia para reproducirse y mantener su población. Dicha surgencia frente a la Lobera (Jiménez-Illescas *et al.*, 1997)

La abundancia en individuos por gramo de *Pulleniatina obliquiloculata* (Fig. 13 g) es del 1%, ya que solo hubo de 1 a 15 organismos en las muestras revisadas.

Pulleniatina obliquiloculata, pertenece al grupo de las especies que habitan aguas cálidas o subtropicales (Bé y Hamlin, 1962). En 1959, Bradshaw registra que es muy común en la masa de agua del Pacífico Ecuatorial, al sur de Hawaii y la agrupa con el ensamble Ecuatorial oeste-centro que limita aguas de características tropicales (área definida por las masas del Pacífico Ecuatorial y oeste del Pacífico Norte Central). En el Golfo de California se localizaron organismos en dos estaciones (una al centro y otro en la boca del golfo), ambos sitios con abundancias del 1 al 5%. Rozo-Vera (1984), coincide con Bradshaw al reportar que a *P. obliquiloculata* la localizó principalmente en el centro y sur del golfo, con valores entre 1 y 5%.

En la Bahía de la Paz, esta especie se encuentra en porcentajes similares a los reportados en el Golfo de California, indicando la poca influencia del Agua Ecuatorial Superficial en esta zona.

Globigerinoides quadrilobatus no excede los trece organismos (estación II-41 a 160 m) y se cuantificó en nueve estaciones (Fig. 13 h). En porcentaje solo acumula el 0.7 % y corresponde a lo encontrado en la Bahía de la Paz, ya que en la boca no se encontró testa alguna. Kennett y Srinivasan (1983), la consideran una especie de distribución cosmopolita.

La especie *Globigerinoides sacculifer* (Fig. 13 i), se encontró en cuatro estaciones, doce organismos en la boca del Golfo de California y 3 en las muestras de la bahía. En total acumula el 0.2% de la abundancia de organismos por gramo de sedimento.

Se ha encontrado en áreas tropicales y cálidas subtropicales, consistentemente más abundante en la superficie o zona fótica, que en la vertical; es simbiote obligatorio con

dinoflagelados y se alimenta básicamente de copépodos Hemleben *et al.*, 1989; Kennet, 1983; Bé, 1962).

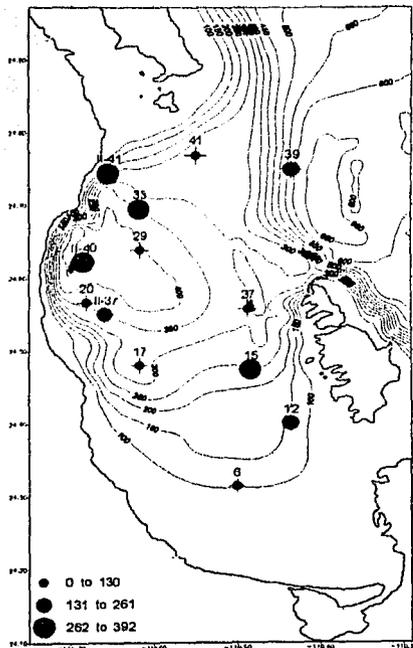
Bradshaw (1959), la encuentra de los 27°N hacia el sur del Golfo de California y Rozo-Vera (1984) en la costa occidental del Golfo de California con valores del 1 al 5%, asociándola a aguas del Golfo de California.

Globigerinoides immaturus (Fig. 13 j) representa el 0.1% de las especies y solo 12 organismos se cuantificaron por gramo de sedimento en el norte de la bahía. Por ser una especie que habita tanto ambientes tropicales como subtropicales (Kennett y Srinivasan, 1983), puede ser un remanente de las aguas cálidas que llegan en verano y otoño.

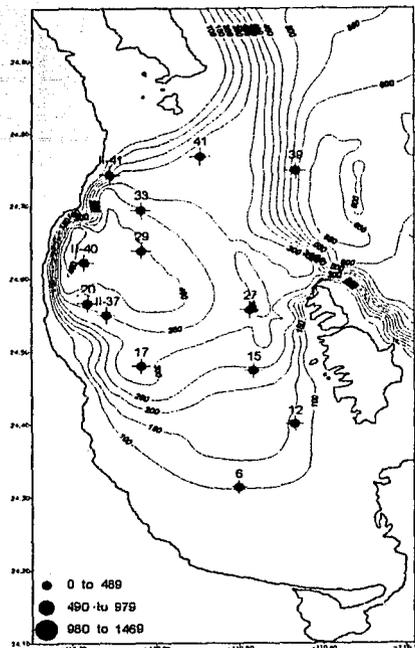
Orbulina universa (Fig. 13 k), representa el 0.1% de las especies. Es una especie tolerante al calor y de distribución extensa (Bé, 1962; Bé, 1967; Bé y Hamlin, 1962; Kennett y Srinivasan, 1983; Hemleben *et al.*, 1989). En este trabajo la presencia de esta especie puede deberse al arrastre de agua cálida de origen ecuatorial, que llega al Golfo de California.

En la Bahía de la Paz, se encontraron tres grupos de especies. El primero está dominado por *Globigerina bulloides* y *Globigerinita glutinata*, especies que indican la presencia de la masa de Agua del Golfo de California. En el segundo grupo, las especies *Neogloboquadrina dutertrei*, *Globigerinoides ruber*, *Globigerinoides sacculifer*, *Globigerinoides immaturus* y *Orbulina universa* reflejan condiciones cálidas, debido a la incursión de agua superficial de origen ecuatorial. En el tercer grupo, *Neogloboquadrina pachyderma*, indica que el agua del Golfo de California influenciada por la Corriente de California llega al área de estudio.

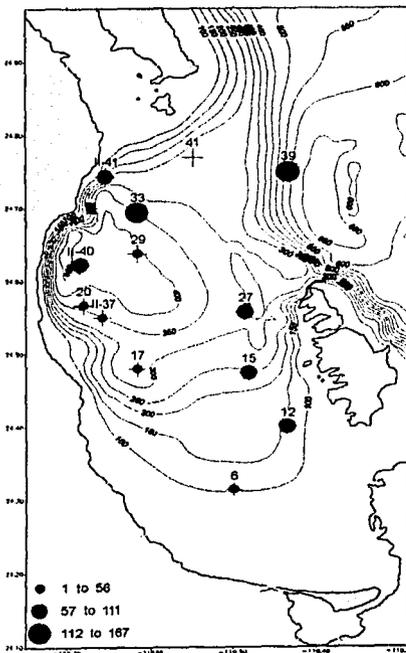
Por las abundancias y el porcentaje que cada uno de estos conjuntos faunísticos constituyen del total de la población, se puede inferir que la contribución de agua que proviene del ecuador y de la Corriente de California, es mínima en la Bahía de la Paz, mientras que la proveniente del Golfo de California, es la que predomina en la bahía.



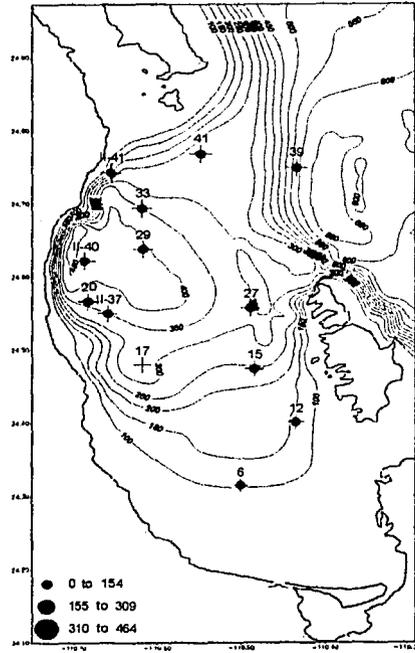
a) *Globigerina bulloides*



b) *Globigerinita glutinata*



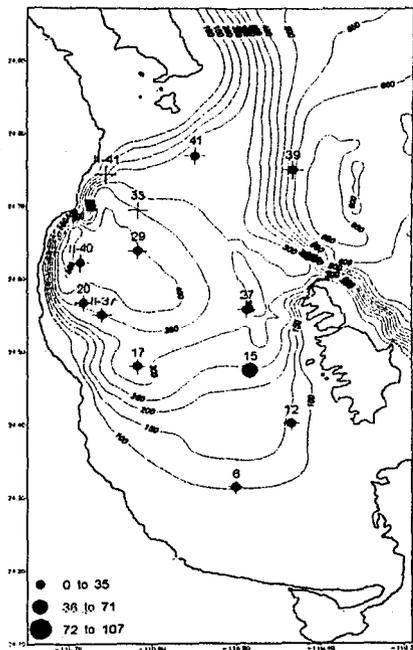
c) *Neogloboquadrina duterrei*



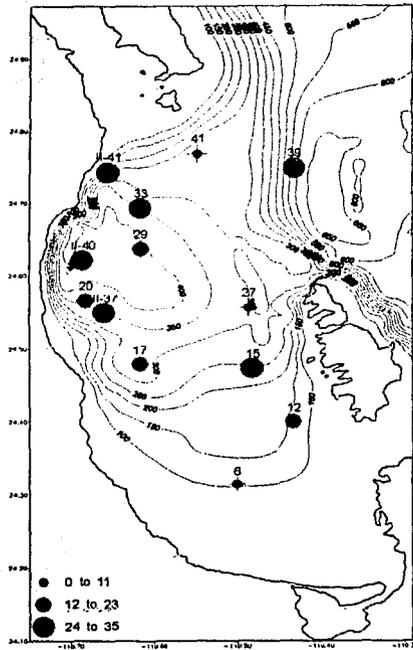
d) *Negloboquadrina pachyderma*

FIGURA 13. Abundancia de organismos (individuos/gramo de sedimento)

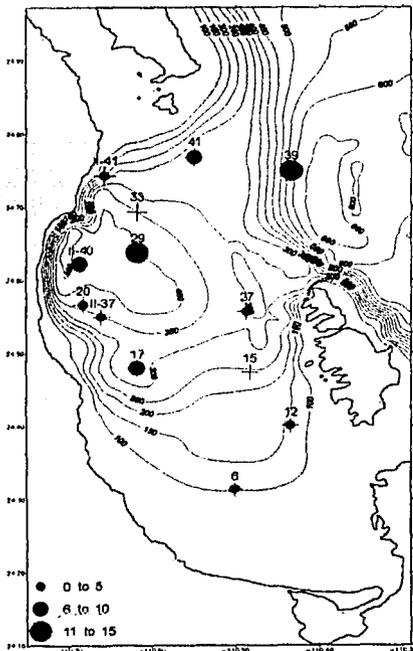
TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



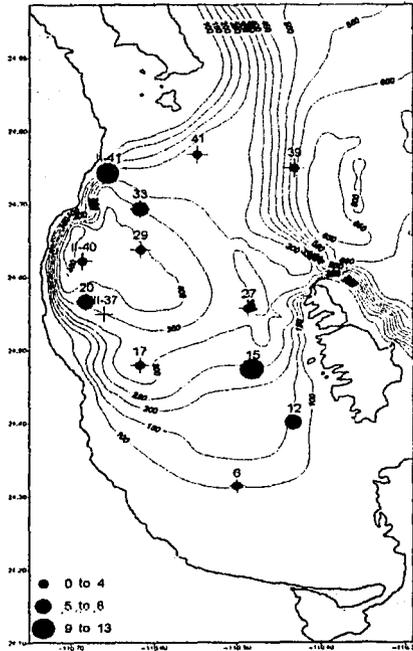
e) *Globigerinoides ruber*



f) *Globigerina falconensis*



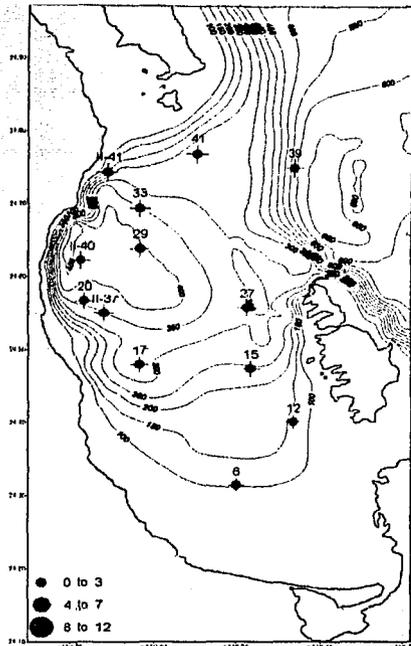
g) *Pulleniatina obliquiloculata*



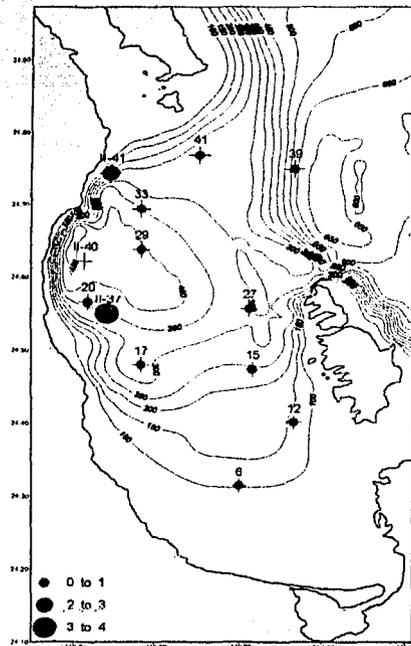
h) *Globigerinoides quadrilobatus*

FIGURA 13. Abundancia de organismos (individuos/gramo de sedimento)

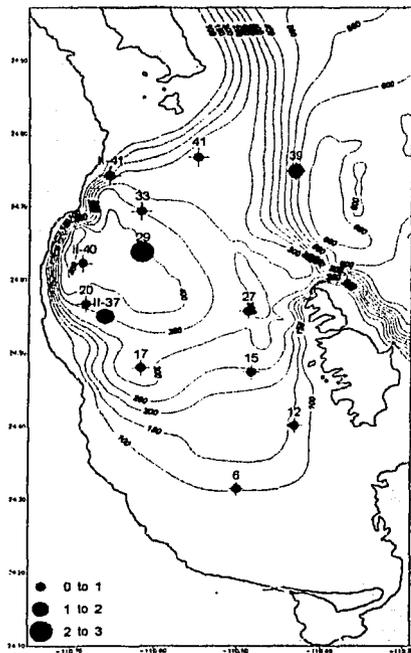
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



i) *Globigerinoides sacculifer*



j) *Globigerinoides immaturus*



k) *Orbulina universa*

FIGURA 13. Abundancia de organismos (individuos/gramo de sedimento)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

VI.3. DINÁMICA OCEÁNICA, DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA

Para llegar a un entendimiento más fino de la distribución y abundancia (individuos por gramo de sedimento), de los foraminíferos planctónicos en conjunto, se hicieron dos mapas (Figs. 14 y 15), el primero representa la boca del Golfo de California incluyendo a la bahía y el segundo se refiere específicamente a la Bahía de la Paz.

Se representó en un mapa de la Bahía de la Paz, la distribución y abundancia de los organismos aunado a la circulación oceánica que se observó durante los meses de febrero y noviembre del 2000, año en el que fueron colectadas las muestras superficiales de sedimento (Fig. 16).

En la Bahía de la Paz la distribución y abundancia de testas de foraminíferos planctónicos (Fig. 15), puede explicarse a partir de la dinámica oceánica. En ella se han descrito giros ciclónicos y anticiclónicos generados por acción del viento. El giro ciclónico se caracteriza por tener un núcleo frío (en forma de domo), resultado del ascenso del agua que se encuentra en la capa subsuperficial. Se considera que este giro causa una divergencia, lo que provoca que se renueven las aguas superficiales y a su vez se regule la producción biogénica. Por otra parte, la circulación anticiclónica provoca que se genere una convergencia superficial y un hundimiento de las aguas, además el núcleo es característicamente cálido (Jiménez-Illescas *et al.*, 1997, Monreal-Gómez *et al.*, 2001 y Saavedra, 2003).

De los datos colectados en las campañas oceanográficas PACMEXII y PACMEX IV, en febrero de 2000, se detectó un giro ciclónico que se extiende del centro hacia el norte de la bahía (líneas de color azul oscuro Fig.16); en noviembre del mismo año (líneas de color azul claro de la Fig.16), se observó un giro ciclónico al este (cerca de Boca Grande), y un giro anticiclónico al oeste de la bahía (frente a punta Coyote).

Bajo estas consideraciones, parece ser que en la Bahía de la Paz, los giros ciclónicos se generan con regularidad o están presentes casi todo el tiempo, con variaciones en extensión y permanencia dependiendo de la época del año. Este argumento se respalda por el artículo publicado por Monreal-Gómez *et al.*, (2001), quienes localizaron a finales de la primavera de 1998 un giro ciclónico en el centro de la bahía. De esto se deduce que en el norte de la bahía, la circulación prevaleciente es ciclónica.

Considerando lo mencionado en los párrafos anteriores y observando la figura 16, en donde se traslapa la distribución y abundancia de los organismos (representado por círculos rojos) y las isotermas que definen los giros, es notoria la correlación entre ambos.

Las altas abundancias de foraminíferos planctónicos, se encuentran en la periferia de las áreas en donde se han reportado los giros. Esta abundancia probablemente se debe a que el giro ciclónico que provoca divergencia, redistribuye en la superficie los nutrientes (NO₃ y PO₄), los cuales son aprovechados por los productores primarios y posteriormente por los organismos heterótrofos. En la Bahía de la Paz, vinculado al giro

ciclónico (Saavedra-Rojas, 2003) localizó en la periferia de este, la más alta concentración de biomasa fitoplanctónica.

Asimismo, la distribución de estos organismos en el sedimento puede ser utilizado para analizar la ubicación promedio de los giros en determinados periodos de tiempo. De igual manera, asociado a la distribución y abundancia de organismos, se encuentra la composición, aporte y acarreo de sedimentos, lo que refleja ser un factor importante para el desarrollo de las comunidades planctónicas de foraminíferos y otros organismos calcáreos. En La Bahía de la Paz se pudo observar que el número de individuos es mayor frente a la Lobera (estación 17), que en el resto de las estaciones de muestreo. Esto parece estar relacionado con la cantidad de carbonatos que se han encontrado en el área. Cruz-Orozco *et al.*, (1996), registró en el centro de la bahía concentraciones elevadas de carbonatos (introducidas por las corrientes de flujo de mareas), asociado a fragmentos de corales, conchas, testas de foraminíferos y otras formas calcáreas que se encuentran en el Canal de San Lorenzo.

También cabe recalcar que la batimetría permite que se generen procesos de mezcla en zonas someras como es el canal de San Lorenzo, lo que permite la resuspensión de partículas. En 1998, Thunell encontró que en el Golfo de California cuando soplan vientos del noroeste en noviembre, se rompe la termoclina, se genera una mezcla que dura hasta la primavera y esto puede ser el periodo con mayor flujo de partículas biogénicas.

Entonces sabiendo que las características físico-químicas y oceanográficas del ambiente acuático marino, influyen en el crecimiento, permanencia abundancia y distribución de los organismos, es factible argumentar que el flujo de foraminíferos planctónicos está respondiendo a un forzamiento ambiental y biológico, que modifica la distribución espacial y temporal de los individuos. En este caso, dicha distribución parece estar íntimamente relacionada con la aparición, extensión y duración de los giros, los cuales permiten la proliferación y acumulación de foraminíferos planctónicos en el sedimento marino.

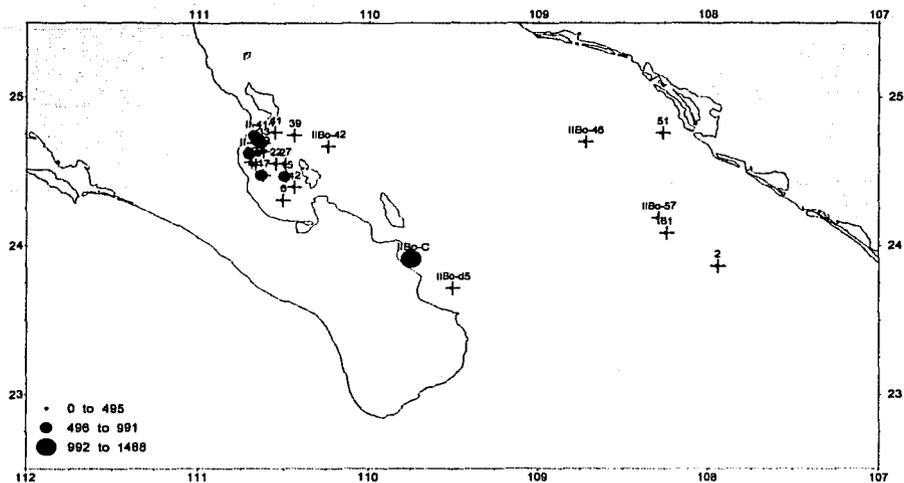
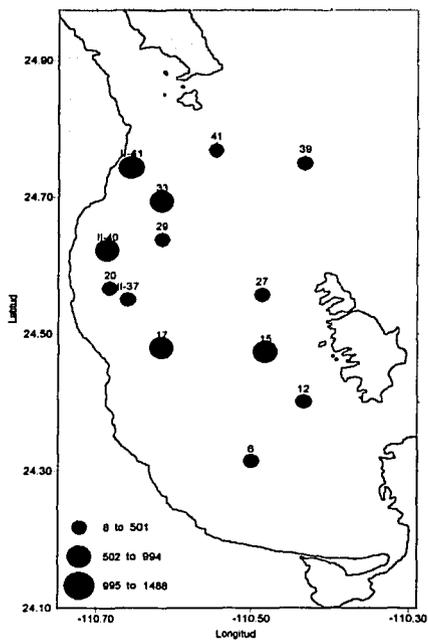
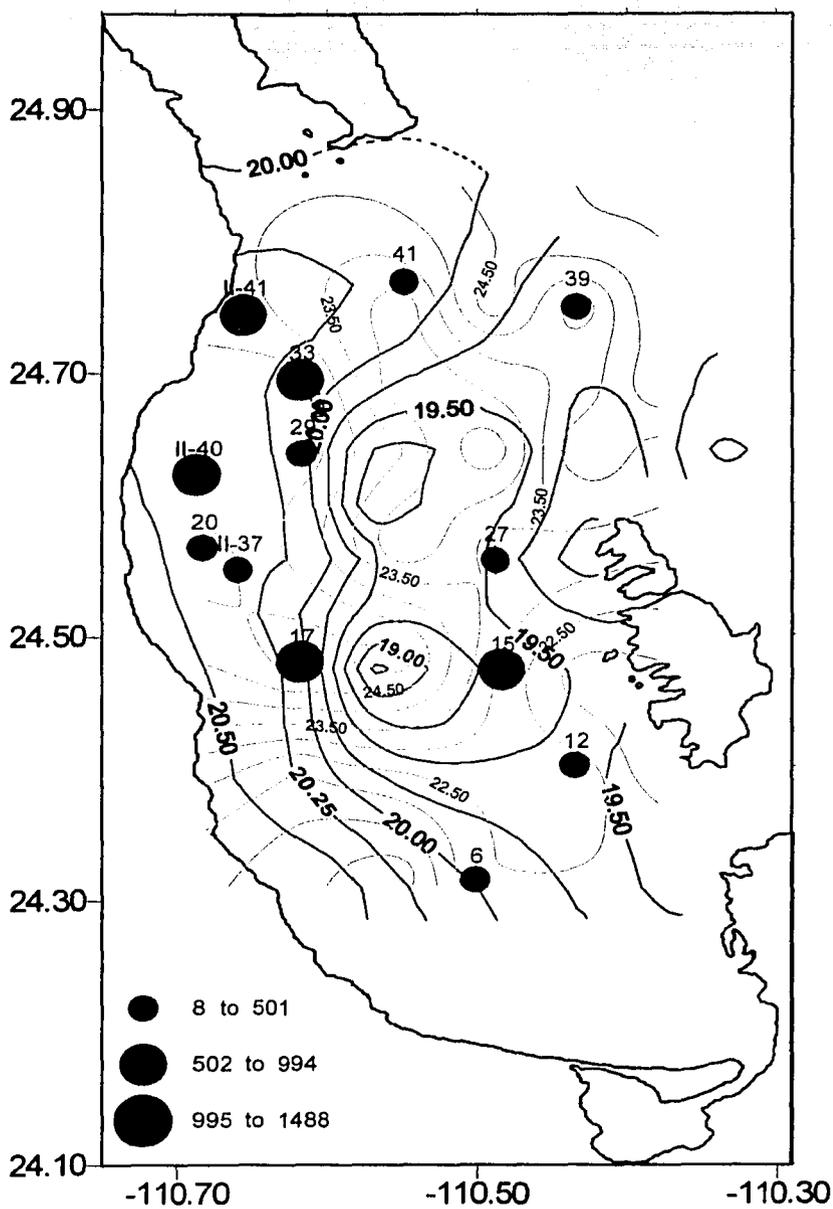


FIGURA 14. Abundancias de foraminíferos planctónicos en la Bahía de la Paz y la boca del Golfo de California.



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

FIGURA 15. Abundancias de foraminíferos planctónicos de la Bahía de la Paz.



TESIS CON
 FALSA DE ORIGEN

FIGURA 16. Abundancia y distribución de los foraminíferos planctónicos (círculos), e isotermas a 50 m de profundidad de febrero (azul oscuro) y noviembre (azul claro) de 2000.

VI.4. ANÁLISIS DE FACTORES

Para analizar las asociaciones de las especies de foraminíferos planctónicos, se efectuó el análisis de factores utilizando los porcentajes de las testas que se cuantificaron en las muestras de sedimento. Como siguiente paso fue necesario crear una matriz en donde las filas o casos estuvieron representados por el nombre de las especies, así como columnas o variables que representan las estaciones de muestreo. Este arreglo matricial se conoce como modo Q.

Después del análisis que realiza el programa, los datos que se consideran para ser interpretados, son: a) las cargas o valores más elevados que segregan los diferentes números de factores (*factor loadings*), que en este caso representan a las estaciones, y b) los valores que se asocian a dicha segregación de factores (*factor scores*), aquí las especies son las que caracterizan el factor.

El resultado de correlacionar las estaciones con las abundancias porcentuales de los individuos, fue la separación de dos factores (Fig. 17 y Figs. 18 y 19). De acuerdo con el cuadro VIII, que resume la información del análisis, el Factor I explica el 66% de las muestras y el Factor II el 20%.

FACTORES			
	% total varianza	valor acumulado	% acumulado
FACTOR I	66.3251413	11.9385254	66.3251413
FACTOR II	19.9017773	15.5208453	86.2269186

CUADRO VIII. Resumen del análisis de factores, en el que se indica el porcentaje acumulado de cada factor.

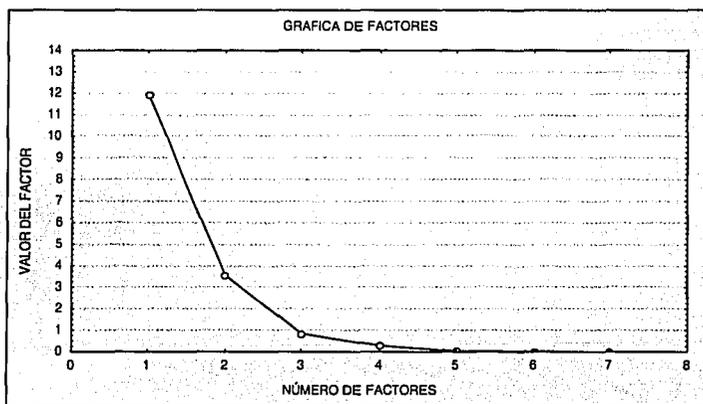


FIGURA 17. curva que indica el valor y número de factores importantes para el análisis.

VI.4.1. FACTOR I

Este factor reúne a 9 de 18 estaciones que se utilizaron para el análisis multivariado. En la figura 17, este factor (representado en color anaranjado), muestra que en la zona con gradación tonal más alta, se concentran los números más grandes que se obtuvieron de los *factor loadings*, lo cual representa las muestras más significativas de dicho factor. Los *factor scores* indican que la especie que representa a este grupo es *Globigerina bulloides*, ya que tuvo un valor de 2.96, mientras que las 10 restantes oscilaron de 0.01 a 0.6.

Este análisis, resume que de las muestras analizadas, la especie más abundante y ampliamente distribuida en la Bahía de la Paz es *Globigerina bulloides*, lo que a su vez refleja la permanencia del Agua del Golfo de California, lo que permite el óptimo desarrollo de la especie.

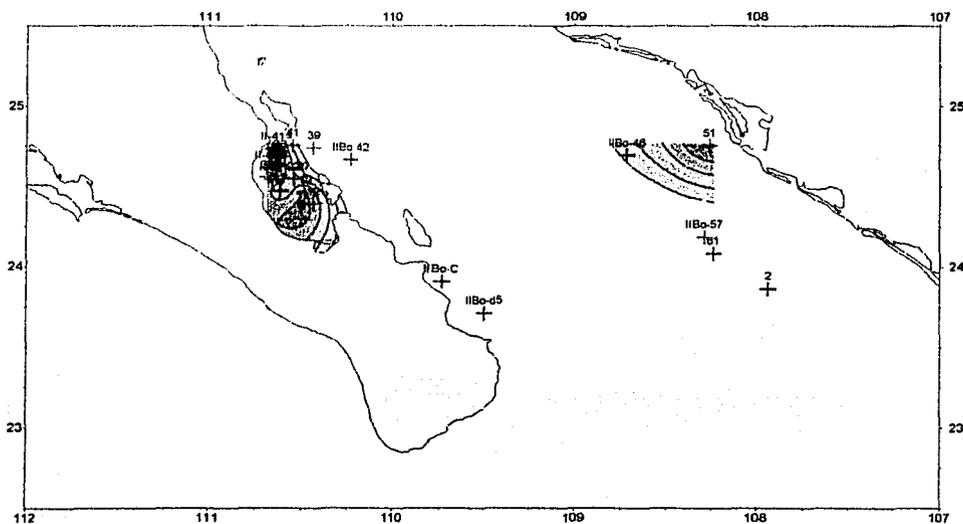


FIGURA 18. Distribución del Factor I, representado por la especie *Globigerina bulloides*

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

VI.4.2. FACTOR II

En este grupo se incluyen cinco estaciones. La especie que caracteriza a dicho factor es *Globigerinita glutinata*, con valores de 2.83 y el resto tiene valores de 0.02 a 0.6. El Factor II (Fig. 19), que explica el 20% de las muestras analizadas, se desplaza hacia fuera de la bahía, en particular hacia el sur, en la boca del Golfo de California, esto es prácticamente debido a que en la estación IIBo-C, se encontró la abundancia más elevada de todas las muestras y es *Globigerinita glutinata* la especie representativa de esa muestra y la segunda especie más abundante del resto de las muestras revisadas. Este factor, a grosso modo puede indicar que en la boca del Golfo de California, las condiciones son heterogéneas, y que el ambiente es transicional o de mezcla, lo que le permite a *G. glutinata* desarrollarse y permanecer en esta área. Esto no es una aseveración, ya que son pocas las estaciones en esta área del Golfo de California.

VII. CONCLUSIONES

El trabajo aporta información acerca de la abundancia y distribución de 11 especies de foraminíferos planctónicos en la Bahía de la Paz y boca del Golfo de California, así como la dinámica oceánica que definen la composición faunística del área.

Con base en su abundancia, se definen tres conjuntos faunísticos. El primero representado por las máximas abundancias de *Globigerina bulloides* y *Globigerinita glutinata*, refleja que en la Bahía de la Paz, el agua que predomina es el Agua del Golfo de California; en el segundo conjunto las especies *Neogloboquadrina dutertrei*, *Globigerinoides ruber*, *Globigerinoides sacculifer*, *Globigerinoides immaturus* y *Orbulina universa*, reflejan condiciones cálidas, debido a la incursión de agua superficial de origen ecuatorial y en el tercer grupo, *Neogloboquadrina pachyderma* es la especie que indica la presencia de agua del Golfo de California influenciada por la Corriente de California

Respecto a la circulación oceánica y abundancia de los foraminíferos planctónicos, se observó un patrón en el que las máximas abundancias de organismos coincide con la periferia de los giros ciclónicos que son divergentes. Esto respalda la idea de que los giros ciclónicos generan escenarios de alta productividad.

El análisis de factores, segregó dos grupos, que reflejan la distribución de las especies más abundantes en la Bahía de la Paz. El primero se caracteriza por la especie *Globigerina bulloides*, la cual indica la presencia del Agua del Golfo de California en la Bahía de la Paz. El Factor II, representado por *Globigerinita glutinata*, indica por una parte la presencia de agua del Golfo de California en la Bahía de la Paz con influencia de agua del Pacífico Tropical Oriental. Por otro lado, al ser una especie más generalista, que abunda cuando la inestabilidad no permite el desarrollo de otras especies, se infiere que las condiciones ambientales en la entrada de la Bahía de la Paz y la costa oriental de la Península de Baja California, no son óptimas para las especies de foraminíferos planctónicos.

VIII. LITERATURA CITADA

Álvarez-Arellano, A.D. y J. Murillo-Jiménez. 1989. Cuerpos de agua inferidos a partir del registro micropaleontológico (Radiolaria) en sedimentos superficiales del fondo marino de la Bahía de la Paz, B.C.S., México. Anales Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Auton. México. 16(1):135-146.

Álvarez-Arellano, A.D., H. Rojas-Soriano y J. J. Prieto-Mendoza. 1997. Geología de la Bahía de la Paz y áreas adyacentes. En: La Bahía de la Paz, investigación y conservación. Urbán R., J. y M. Ramírez R. (eds). UABCS-CICIMAR-SCRIPPS. 13-29.

Bandy-Orville L. 1961. Distribution of foraminifera, radiolaria and diatoms in sediments of the Gulf of California. Micropaleontology. 7(1):1-26.

Bé, A. W. H. 1959. Ecology of recent planktonic foraminifera:Part 1- Areal distribution in the western North Atlantic. Micropaleontology. 5(1):77-100.

Bé, A. W. H. and W.H. Hamlin. 1962. Ecology of recent planktonic foraminifera:Part 3- Distribution in the North Atlantic during the summer of 1962. Micropaleontology. 8(2):219-254.

Bé, A.W.H., 1967. An ecological, zoogeographic and taxonomic review of recent planktonic foraminifera: in Ramsay, A.T.S. (ed.), Oceanic micropaleontology 1. Academic Press, Londres. 100 p.

Bernal, G., P. Ripa, y J.C. Herguera. 2001. Variabilidad oceanográfica y climática en el Bajo Golfo de California: Influencias del trópico y Pacífico Norte. Ciencias Marinas. 27(4):595-617.

Bernal, G., y J.C. Herguera. 2000. Variabilidad oceánica y respuestas de la productividad biológica para los dos últimos siglos: registros instrumentales y sedimentarios de la Cuenca de la Paz, Bajo Golfo de California. www.cicece.mx. 11 p.

Boltovskoy, E. 1965. Los foraminíferos recientes. Biología, métodos de estudio, aplicación oceanográfica. Edit. Eudeba. Buenos Aires. 510 p.

Bradshaw, J. S. 1959. Ecology of living planktonic foraminifera in the North and Equatorial Pacific Ocean. Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research. X (2):25-64.

Capriulo, G. M. 1990. Ecology of marine protozoa. Oxford University Press. New York. 366 p.

Carpenter, J. H. 1966. New measurements of oxygen solubility in pure and natural water. Limnol. Oceanogr., 11:264-277.

- Cruz-Orozco R., C. Martínez-Noriega y A. Mendoza Maravillas, 1996. Batimetría y sedimentos de la Bahía de la Paz, B.C.S., México. Oceánides, 11(1):21-27.
- Eileen, K., R.C. Thunell., J. Le., C.B. Lange., A. L. Weinheimer., F.M.H. Reid., 2000. Planktonic foraminifera fluxes in the Santa Barbara Basin: response to seasonal and interannual hydrographic changes. Deep Sea Research II. 47:1157-1176.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de Köopen. Inst. Geogr., Univ. Nal. Autón. Mex., 246 p.
- González-Navarro y Saldierna-Martínez, 1997. Zooplancton de la Bahía de la Paz, B.C.S. (1990-1991). En: La bahía de la Paz, investigación y conservación. Urbán R., J. y M. Ramírez R. (eds). UABCS-CICIMAR-SCRIPPS.
- Hair Jr. J.F., R.E. Anderson, R.L. Tatham, W.C. Black., 1999. Análisis Multivariante. 5ª ed. Prentice Hall. Iberia Madrid. 832 p.
- Hemleben, Ch., Spindler M., Anderson O.R., 1989. Modern planktonik foraminifera. Springer-Verlag. New York. 109 fig., 363 p.
- Jiménez I.A., N.M. Obeso, M.M. Alatorre, D.S. Troyo y E.H. García, 1994. Hidrología de la Bahía de la Paz. Oceanología. 2(1):
- Jiménez-Illescas A.R., 1983. Aplicación de un modelo hidrodinámico numérico a la Ensenada de la Paz, B.C.S. Tesis de maestría, CICESE. Ensenada B.C.S., México.
- Jiménez-Illescas A.R. 1996. Análisis de procesos barotrópicos y baroclínicos en la Bahía de la Paz, B.C.S. Tesis de Doctorado. UNAM. 212 p.
- Jiménez-Illescas A.R., M. Obeso-Nieblas y D. A. Salas-de León. 1997. Oceanografía física de la Bahía de la Paz, B.C.S. En: La Bahía de la Paz, investigación y conservación. Urbán R. J y M. y Ramírez R. (Eds). UABC-CICIMAR-SCRIPPS. 31-41.
- Khalil R. Chowdhury, Mahfuzul Haque, Nahid Nasreen, Rashedul Hasan, 2002. Distribution of planktonic foraminifera in the northern bay of Bengal. Sedimentary Geology, 3071. (Article in press).
- Kennett, J. P. and M.S. Srinivasan. 1983. Neogene Planktonic Foraminifera. Hutchinson Ross Publishing Company. New York. 260 p.
- Lavín, M.F., E. Beier y A. Badan. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacionales e interanual, en: M.F. Lavín, editor, Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana. 141-171.

Loeblich, A.R. y H. Tappan. 1987. Foraminiferal genera and their classification. Von Nostrand Reinhold Company, New York. 2 vols.

Molina-Cruz, A., L. Pérez-Cruz y M.A. Monreal-Gómez. 2002. Laminated sediments in the Bay of La Paz, Gulf of California: a depositional cycle regulated by pluvial flux. Sedimentology, 49:1401-1410.

Monreal-Gómez, M.A., A. Molina-Cruz y D.A. Salas-de León. 2001. Water masses and cyclonic circulation in Bay of La Paz, Gulf of California during June 1998. Journal of Marine Systems. 30:305-315.

Nava-Sánchez, E.H., D. S. Gorsline, A. Molina-Cruz. 2001. The Baja California Peninsula borderland: structural and sedimentological characteristics. Sedimentary Geology. 144:63-82.

Parker, F.L. 1962. Planktonic foraminiferal species in Pacific sediments. Micropaleontology. 8(2):219-254.

Parker, F.L. 1973. Living Planktonic foraminifera from the Gulf of California. Journal of Foraminiferal Research. 3(2):70-77.

Parker, F.L. and Wolfgang H. Berger. 1971. Faunal and solution patterns of planktonic foraminifera in surface sediments of the South Pacific. Deep Sea Research. 18 (1): 73-107.

Parker W.C., A. Feldman, A.J. Arnold, 1999. Paleobiogeographic patterns in the morphologic diversification of the Neogene planktonic foraminifera. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaecology. 152:1-14.

Pérez-Cruz L. L. 2000. Estudio paleoceanográfico y sedimentológico Holocénico de la Bahía de la Paz, Golfo de California. Tesis de doctorado en Oceanografía Geológica. Colegio de Ciencias y Humanidades. U.N.A.M. 167p.

Rozo-Vera, G.A. 1984. Distribución de foraminíferos planctónicos en sedimentos superficiales del Golfo de California. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. 68 p.

Saavedra-Rojas, N.C. 2003. Estructura hidrográfica, nutrientes y pigmentos fotosintéticos de la Bahía de la Paz, Golfo de California, en febrero y noviembre de 2000. Tesis de Maestría en Biología de Sistemas y Recursos Acuáticos. Facultad de Ciencias, UNAM. 75 p.

Segura-Vernis L.R. y A. L. Carreño. 1991. Foraminíferos y ostrácodos de la laguna de la Paz, Baja California Sur, México. Inv. Mar. CICIMAR. 6 (1):195-224.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Schiebel, R., J. Waniek, M. Bork, C. Hemleben, 2001. Planktic foraminiferal production stimulated by chlorophyll redistribution and entrainment of nutrients. Deep-Sea Research. 148:721-740.

Shepard, F.P. (1954). Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. J. Sedim.Petrol. 24: 151-158.

Thunell, R. C. 1998. Seasonal and annual variability in particle fluxes in the Gulf of California: A response to climate forcing. Deep-Sea Research. 2059-2083.

Thunell, R. C., E Tappa, C. Pride, E. Kincaid. 1999. Sea-surface temperature anomalies associated with the 199-1998. El Niño recorded in the oxygen isotope composition of planktonic foraminifera. Geology. 27:843-846

Torres-Orozco E., 1993. Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California. Tesis de maestría, CICECE. Ensenada, B.C., México.