

Los foraminíferos planctónicos de la Bahía de la Paz: Su abundancia y distribución en relación a la dinámica oceánica.

Planktonic foraminifera in the Paz Basin: Abundance, distribution and relations to hydrology.

L.B. Cuesta-Castillo, M.L. Machain-Castillo, M.A. Monreal-Gómez y F. R. Gío-Argáez

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Av. Universidad 3000. Del. Coyoacán.C.P.04510.
e:mail. cuesta@icmyl.unam.mx, machain@icmyl.unam.mx, monreal@icmyl.unam.mx y raulg@icmyl.unam.mx

RESUMEN

La correcta interpretación del registro paleoclimático y paleoceanográfico a través de microfósiles marinos, requiere del conocimiento detallado de la ecología de los mismos y su relación con diversos parámetros oceanográficos. En este estudio se presentan los resultados de la distribución de foraminíferos planctónicos y su relación con la dinámica oceánica de la Bahía de la Paz. La Bahía de la Paz, BCS, México, es una de interés oceanográfico por su ubicación geográfica a la entrada del Golfo de California, la confluencia de masas de agua y los procesos atmosféricos estacionales que se presentan en la región, lo que define la dinámica oceánica superficial y la permanencia de diversas especies marinas. Con los parámetros físicos del agua (temperatura, salinidad y conductividad), se analizó la dinámica oceánica de la zona (masas de agua y circulación superficial), encontrándose la presencia de un giro ciclónico en el norte de la bahía en febrero y noviembre de 2000 y un giro anticiclónico al sureste durante noviembre del mismo año. En las muestras superficiales de sedimento que se colectaron dentro de la bahía, se reconocieron 11 especies de foraminíferos planctónicos, los cuales definen dos conjuntos faunísticos. El primero representado por *Globigerina bulloides*, *Neogloboquadrina pachyderma* y *Globigerinita glutinata*, que indican la presencia del agua del Golfo de California en la bahía y el segundo por *Neogloboquadrina dutertrei*, *Globigerinoides ruber*, *Globigerinoides sacculifer*, *Globigerinoides immaturus* y *Orbulina universa*, reflejando la incursión del Agua Ecuatorial Superficial y Agua Subtropical Subsuperficial. Respecto a la circulación oceánica y abundancia de los foraminíferos planctónicos, se observó un patrón en el que las máximas abundancias de organismos coinciden con la periferia de los giros ciclónicos antes mencionados.

Palabras Clave: Foraminíferos planctónicos, Bahía de la Paz, oceanografía física.

ABSTRACT

Paleoclimatic and paleoceanographic reconstructions require detailed knowledge of the ecological relationships of marine microfossils. In this paper we present the distributional patterns of planktonic foraminifera and their relationship to ocean dynamics in Bahía de la Paz. Bahía de la Paz, BCS, Mexico is located near the entrance of the Gulf of California. The confluence of different water masses, and the seasonal atmospheric processes present in the region make for an interesting oceanographic setting to study the ecological preferences of Foraminifera. Physical parameters (temperature, salinity and conductivity) were used to analyze ocean dynamics in the area (water masses and superficial circulation). A cyclonic gyre in the northern part of the bay was detected during February and November of 2000. An anticyclonic gyre was found at the southeast during November of 2000. Sediment samples yielded 11 species of planktonic foraminifera. Two associations were found: the *Globigerina bulloides* – *Neogloboquadrina pachyderma* – *Globigerinita glutinata* assemblage indicating presence of Gulf of California Water in the bay, and the *Neogloboquadrina dutertrei* – *Globigerinoides ruber* – *Globigerinoides sacculifer* – *Globigerinoides immaturus* – *Orbulina universa* suggesting the incursion of Superficial Equatorial Water and Subsuperficial Subtropical Water. Maximum abundance of foraminiferal tests were found in the periphery of the gyres.

Key words: Planktonic foraminifera, Physical oceanography, Bahía de la Paz.

INTRODUCCIÓN

El estudio del cambio climático reviste una gran importancia por sus efectos en la población humana. Para poder hacer inferencias sobre su comportamiento futuro, es importante conocer a detalle su funcionamiento tanto presente como pasado, de lo cual se desprende la necesidad de realizar estudios con indicadores climáticos y paleoclimáticos. Uno de dichos indicadores son los foraminíferos.

Los foraminíferos son protistas ameboideos, (Subphylum Sarcodina, clase Granuloreticulosa, Capriulo, 1990) casi exclusivamente marinos y de distribución muy amplia, tanto batimétrica como geográfica (Boltovskoy, 1965). 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. 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).

De acuerdo con su hábitat el grupo se divide en planctónicos y bentónicos. Los foraminíferos planctónicos viven en la zona fótica y se encuentran en diversas regiones oceánicas incluyendo aguas tropicales, subtropicales y polares. Los foraminíferos planctónicos son importantes componentes del plancton y uno de los mayores contribuyentes de los depósitos calcáreos que cubren el piso oceánico (Hemleben, *et al.*, 1989). Debido a que estos organismos 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). La conservación y acumulación de sus testas en el sedimento permite la preservación del registro de las características oceanográficas que dominan durante su ciclo de vida (Hemleben, *et al.*, 1989) así como 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 cambio climático.

El depósito 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 entre 200 y 800 m. contiene bajas cantidades de oxígeno disuelto, resultado de las aguas intermedias del Pacífico (pobres de oxígeno) y de las zonas de surgencia sobre ellas. Estas últimas al presentarse llevan agua subsuperficial fría y rica en nutrimentos a la superficie, lo que permite que se generen florecimientos 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/disóxicas 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.

Debido a que un factor primordial en la interpretación del 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 para su posterior utilización en estudios paleoceanográficos.

ANTECEDENTES

Numerosos estudios han sido realizados para conocer las características ecológicas de los foraminíferos planctónicos. En el Océano Pacífico, se han reportado, aspectos ecológicos, patrones de distribución, así como la productividad y el flujo de estos organismos aunado a cambios hidrográficos (Bradshaw, 1959; Parker, 1962; Parker y Berger, 1971, Thunell, *et al.*, 1999; Eileen, *et al.*, 2000).

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.

AREA DE ESTUDIO

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.1), 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).

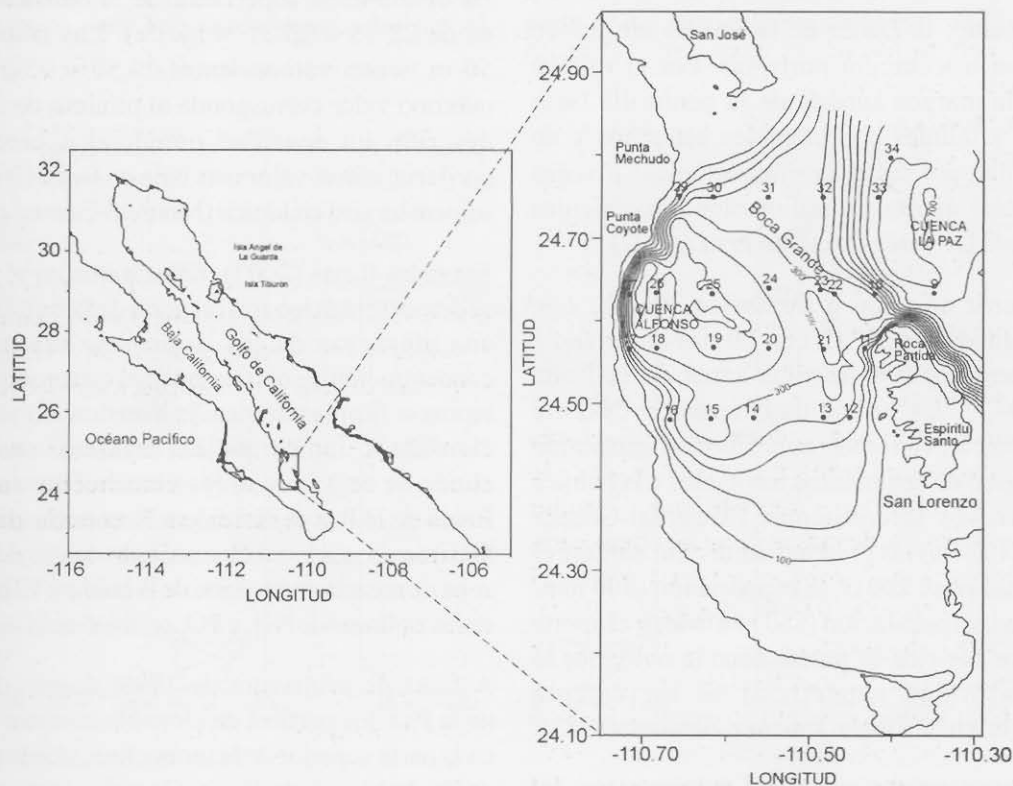


FIGURA 1. Ubicación y batimetría (m) de la Bahía de la Paz, México (modificado de Monreal-Gómez *et al.*, 2001)

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 semi-elíptica 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).

Batimétricamente, presenta 420m en Cuenca Alfonso y disminuye hacia el sur (Monreal-Gómez *et al.*, 2001). Al norte de la Bahía, frente a Punta Coyote, se localiza la Cuenca Alfonso, la cual está aislada del Golfo de California principalmente por la batimetría a lo largo de Boca Grande (250 m), Nava-Sánchez *et al.*, 1997.

Estructuralmente, la Bahía de la Paz es un graben tectónico con orientación norte-sur. Por el relieve submarino, la margen sureste de la península tiene plataformas y taludes continentales estrechos y de poco desarrollo, por ser rasgos morfológicos jóvenes y por el escaso aporte de sedimentos provenientes de la península (Álvarez-Arellano *et al.*, 1997).

El clima varía 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). 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). Las lluvias predominantes son durante el verano (Bernal *et al.* 2001), la evaporación (300 mm/año) excede a la precipitación (180 mm/año) y el aporte de agua dulce por ríos es prácticamente nulo, por lo tanto, la salinidad superficial se incrementa marcadamente en la bahía Jiménez-Illescas (1983).

Los vientos dominantes provienen del noroeste, del norte y del sureste, (Jiménez-Illescas, *et al.*, 1997),

los vientos fuertes que soplan del norte-noroeste durante el invierno se conocen como «Coyas» y los del sureste en verano «Corumel» (Cruz-Orozco *et al.*, 1996).

Jiménez-Illescas en 1983, menciona que los perfiles de temperatura y salinidad son muy parecidos en toda la bahía, González-Navarro *et al.* (1997), con los valores promedio mensuales de la temperatura superficial del agua, describieron un patrón estacional en el área. Durante el invierno los valores van de 19° a 21° C, en primavera de 21° a 24° C, en verano de 24° a 28° C y en otoño los valores descienden hasta llegar a los de invierno. Monreal-Gómez *et al.*, 2001, reportan que a finales de la primavera de 1998, en la bahía se registraron valores de temperatura superficial entre 25.68 y 27.60 ° C. El máximo valor está frente a Isla Roca partida y se incrementa hacia Boca Grande (Fig. 2a). A los 50 m de profundidad el intervalo va de 17.25 a 20.25 ° C y las más bajas se registran alrededor de la latitud 24.55° N longitud 110.58° W.

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. 2b). La distribución superficial de la densidad potencial es de 22.55 a 23.31 (Fig. 2c). Las isopícnas 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).

Saavedra-Rojas (2003), reporta que en el sitio donde se detectó el núcleo frío (al norte de la bahía), se observa una elevación de las isopícnas, una relativa alta concentración de nutrientes y las estaciones con mayor biomasa fitoplanctónica, la distribución vertical de la clorofila a, indica que los máximos se concentran alrededor de 0.5 mg/m³ y en base a estos resultados, la Bahía de la Paz se dividió en 3 zonas (máximo somero, máximo asociado a la termoclina- centro de la bahía- y zona de mezcla -sur y oeste de la bahía-). El hundimiento en las isolíneas de NO₃ y PO₄ se ubicó en el núcleo cálido.

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, probablemente como consecuencia de la divergencia

causada por la circulación ciclónica. Al estar bien estratificada (inicio de invierno) 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).

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. 3) Adicionalmente se localizó en Boca Grande (fuera de la bahía), Agua Intermedia del Pacífico.

Las masas de agua presentes en la Bahía de la Paz, tanto en febrero como en noviembre del 2000 fueron el Agua Subsuperficial Subtropical (AS_S, $34.50 < S < 35.00$; $9.00 < T < 18.00^{\circ} \text{C}$) y Agua del Golfo de California (AGC, $S \geq 35.00$; $T \geq 12.00^{\circ} \text{C}$). En Boca Grande, se detectó la presencia de Agua Intermedia del Pacífico (AIP, $34.50 < S < 34.80$; $4.00 < T < 9.00^{\circ} \text{C}$) por lo que se asumió que esta zona es más parecida al Golfo de California durante el invierno (Saavedra-Rojas, 2003).

Jiménez-Illescas *et al.*, (1997) utilizando un modelo numérico para corrientes impulsadas por el

viento del noroeste, encontró 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, siendo 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.

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 isopiecnas, la topografía de la isoterma de los 20°C y de 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.

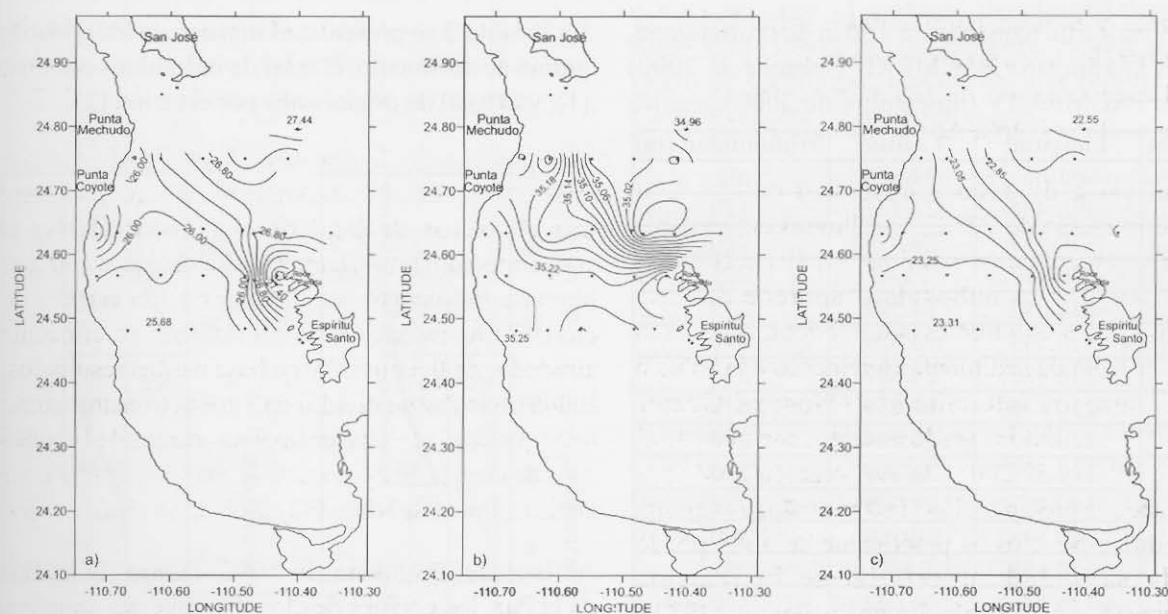


FIGURA 2. Distribución superficial de a) temperatura ($^{\circ} \text{C}$), b) salinidad (ups) y c) densidad potencial.

METODOLOGÍA

A bordo del B/O «EL PUMA» de la Universidad Nacional Autónoma de México, se colectaron en la Bahía de la Paz, durante las campañas oceanográficas "PACMEX II y IV", (febrero 2000 y noviembre 2000), 15 muestras de sedimento superficial utilizando una caja Reineck y se realizó una fina red de estaciones hidrográficas con un CTD Neil Brown, en donde se midió conductividad, temperatura y profundidad. En las estaciones de muestreo (Tabla 1, Fig. 4), se obtuvieron muestras de agua para evaluar nutrimentos, Oxígeno disuelto a través de un oxímetro y por el método "Winkler" modificado por Carpenter (1966).

Las muestras de sedimento se procesaron en el Laboratorio de Ecología de Foraminíferos y Micropaleontología y los datos hidrográficos se procesaron en el Laboratorio de Oceanografía Física, ambos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML), de la UNAM. Del sedimento procesado, se obtuvieron los foraminíferos planctónicos, lavando el sedimento con agua corriente en un tamiz de malla metálica con apertura de 0.0625 mm. Posteriormente estos fueron colocados en placas micropaleontológicas, se determinaron a nivel de especie con la literatura especializada y finalmente se cuantificaron las testas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

HIDROGRAFÍA

La distribución de temperatura a 50 m de profundidad, tanto en la campaña PACMEXII (febrero de 2000) como en PACMEX IV (noviembre de 2000), mostró

Estación	Longitud	Latitud	Profundidad (m)
6	-110.5	24.315	60
12	-110.434	24.401	120
15	-110.483	24.474	200
17	-110.617	24.48	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	24.55	80
II-40	-110.686	24.622	150
II-41	-110.655	24.743	160

Tabla 1. Coordenadas y profundidad de las estaciones de muestreo de sedimento en el área de estudio.

un núcleo frío próximo a Boca Grande que en febrero presentó temperaturas de 19.50°C (Fig. 5a) mientras que en noviembre este núcleo se observó más al norte con temperaturas de 22.50°C (Fig. 5b). 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.

FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS.

En los sedimentos analizados se determinaron once especies de foraminíferos planctónicos pertenecientes a seis géneros (Apéndice 1), siguiendo la clasificación de Loeblich, A.R y H. Tappan (1987) y Kennet y Srinivasan (1983). Las especies más abundantes en orden decreciente son *Globigerina bulloides*, *Neogloboquadrina duterrei*, *N pachyderma* y *Globigerinita glutinata* las cuales representan el 46, 17, 13 y 11 % respectivamente del total de las testas recuperadas.

Las especies con menos del 10 %, fueron: *Globigerinoides ruber* (5.8 %), *Globigerina falconensis* (4.8 %), *Pulleniatina obliquiloculata* (1.7%), *Globigerinoides quadrilobatus* (1.0%), *Globigerinoides immaturus* (0.15%), *Orbulina universa* (0.1 %), y *Globigerinoides sacculifer* (0.01 %).

En la tabla 2 se presenta, el número de individuos por gramo de sedimento, el total de individuos por especie (1), y el total de organismos por estación (2).

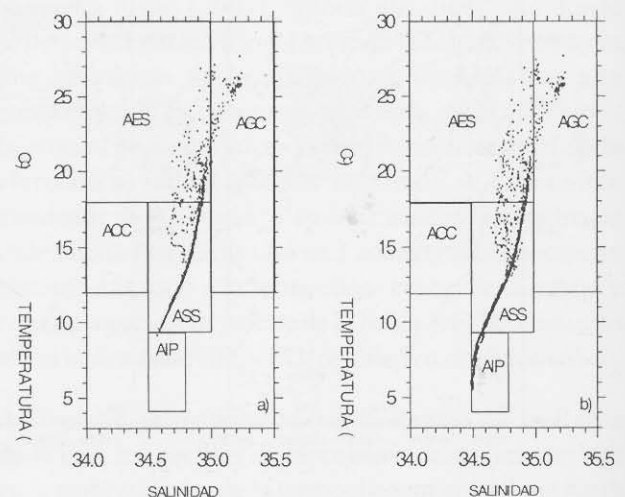


FIGURA 3. Masas de agua a) en la Bahía de la Paz, b) en la bahía región de Boca Grande.

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
6	38	3	6	0	1	0	41	1	8	0	0	98
12	147	17	16	6	0	0	24	12	97	1	0	320
15	375	27	47	10	2	0	31	9	84	10	0	595
17	126	15	2	0	0	0	130	464	55	10	0	802
20	108	13	19	6	0	0	39	12	33	2	0	232
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	184
33	272	28	107	7	0	0	13	1	158	15	0	601
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	55
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	644
II-41	313	28	36	13	0	3	48	20	72	3	0	536
Total	2481	258	313	53	3	8	596	678	939	91	7	5427
%	45.72	4.754	5.767	0.977	0.055	0.147	10.98	12.49	17.3	1.677	0.129	100

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

Globigerina bulloides es la especie mas abundante con abundancias relativas de hasta 65% por estación. Su distribución es amplia, ya que se encontró en todas las estaciones de muestreo. Esta especie, ha sido reportada como abundante en aguas de árticas a transicionales, asociada a corrientes frías, áreas de surgencia o de alta productividad (Bé, 1967; Bé y Hamlin, 1962; Hemleben et al., 1989; Schiebel et al.,

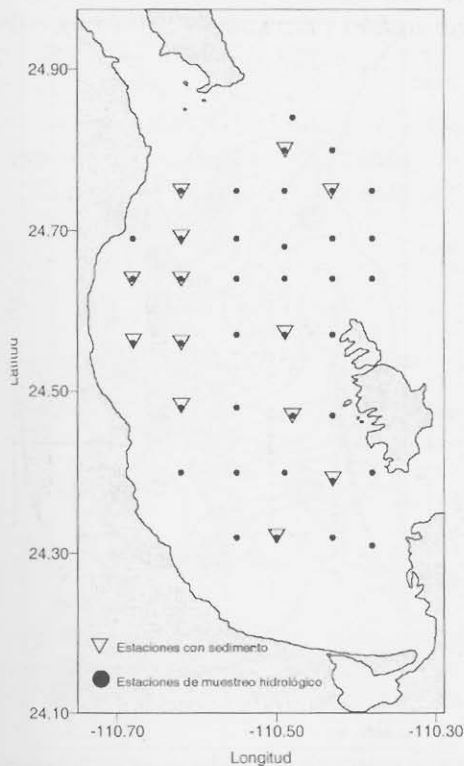


FIGURA 4. Estaciones de muestreo de la Campaña PACMEX I y II.

2001; Khalil et al., 2002). 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. Rozo-Vera, (1984) la reporta como indicadora de masas de agua fría, presente en áreas del Golfo de California influenciadas por surgencias. La dominancia de *G. bulloides* en la Bahía de la Paz sugiere la presencia de masas de aguas transicionales, influenciadas por surgencias.

Negloboquadrina dutertrei ha sido reportada en zonas tropicales y cálidas subtropicales (Kennett y Srinivasan, 1983; Hemleben et al., 1989), En la Cuenca de Santa Barbara, 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 isotópicos 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 considera una especie rara en el Golfo de California, vinculada a la presencia de la Contra-Corriente Ecuatorial en el área.

En la zona de estudio las mayores abundancias de esta especie 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, *Neogloboquadrina pachyderma*, se distribuye de zonas polares hasta zonas cálidas subtropicales (Kennett y Srinivasan, 1983). En sedimentos superficiales del Golfo de California (Roza-Vera, 1984), se reporta con abundancias variables característica la

fauna de transición influenciadas por surgencias, asociada a la distribución de la masa de agua superficial del Golfo de California influenciada por la Corriente de California. Esta especie presenta dos morfotipos de enrollamiento, de los cuales el dextral es característico de aguas menos frías. Los ejemplares de *N. pachyderma* encontrados en la Bahía de la Paz son dextrales, por lo que es poco probable que en la zona de estudio reflejen la influencia de la Corriente de California.

Globigerinita glutinata, es considerada 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 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).

En el Golfo de California, Bradshaw (1959), reporta a *G. glutinata* como especie abundante y característica de la fauna de agua cálida mezclada asociada a la región ecuatorial del Pacífico. Rozo-Vera (1984) la encontró como una de las especies dominantes en el Golfo de California, asociada a agua del Golfo de California, la cual es agua del Pacífico Tropical Oriental, modificada por procesos de evaporación.

Las especies *Globigerinoides ruber*, *Globigerina falconensis*, *Pulleniatina obliquiloculata*, *Globigerinoides quadrilobatus*, *Globigerinoides sacculifer*, *Globigerinoides immaturus* y *Orbulina universa* se presentaron en porcentajes menores al 10%.

Globigerinoides ruber se encontró en todas las estaciones de la Bahía de la Paz, con mayor abundancia en las estaciones someras. Esta especie se desarrolla en aguas tropicales y subtropicales, viviendo principalmente en la parte superior de la columna de agua (0-100 m), (Bé, 1967). 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).

Bradshaw (1959), reportó abundancias mayores del 20% desde el alto Golfo hasta el sur de la Bahía de la Paz, con una tendencia a decrecer hacia el sur de esta zona. En la margen 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.

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.

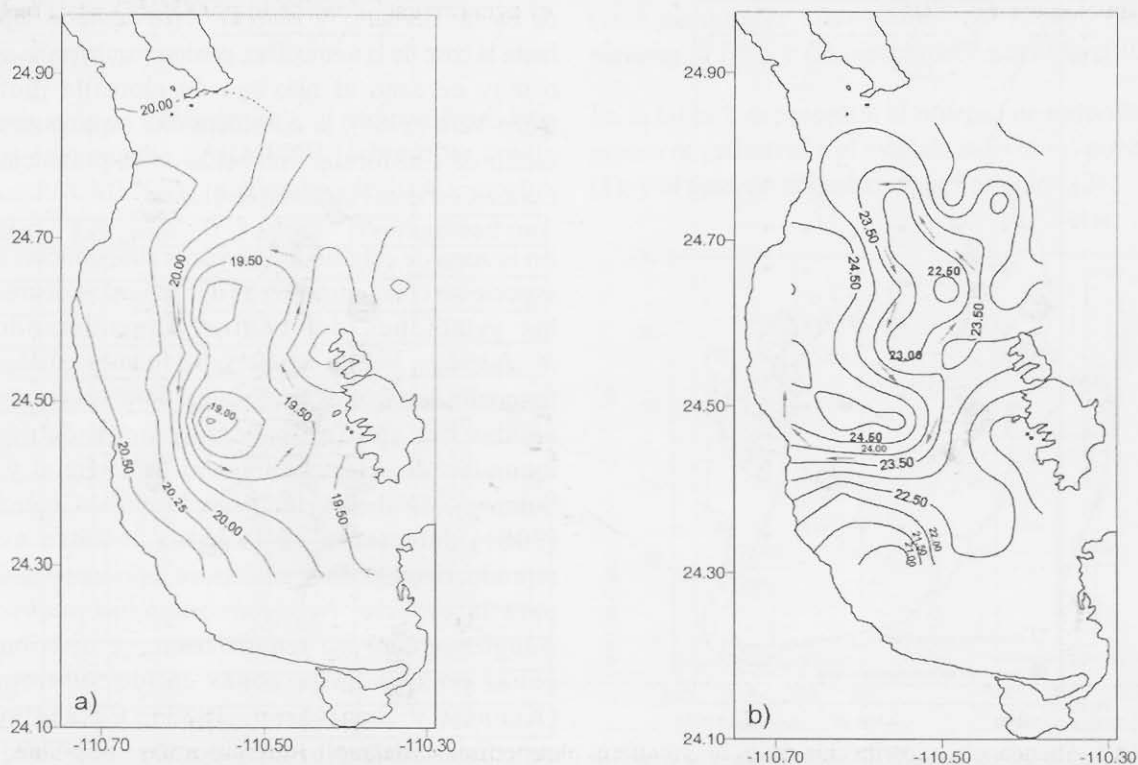


FIGURA 5. Distribución de temperatura a 50 m de profundidad a) en febrero de 2000, b) en noviembre de 2000.

En el área de estudio, refleja condiciones cálidas relacionadas con el ingreso del Agua Ecuatorial Superficial.

Globigerina falconensis presenta sus abundancias máximas al norte de la bahía, en las estaciones cercanas a la costa. Esta especie se ha reportado para la zona fótica, subantártica y en el sur de Norteamérica (Hemleben et al., 1989; Kennett y Srinivasan, 1983; Parker, 1962). En el Golfo de California, es una especie rara, distribuida principalmente en la región central (Parker, 1973; Rozo-Vera, 1984).

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 el Pacífico Ecuatorial. En el Golfo de California se localiza principalmente en el centro y sur del golfo en bajas abundancias (Bradshaw, 1959; Rozo-Vera, 1984)

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 se encontró en bajos porcentajes en nueve estaciones Kennett y Srinivasan (1983), la consideran una especie de distribución cosmopolita.

La especie *Globigerinoides sacculifer* solo se presentó en dos estaciones.

Se ha encontrado en áreas tropicales y cálidas subtropicales, consistentemente más abundante en la zona fótica, ya que es simbionte obligatorio de dinoflagelados (Hemleben et al., 1989; Kennett, 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 solo se presentó en tres estaciones 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 es una especie de temperaturas cálidas y distribución extensa (Bé, 1962; Bé, 1967; Bé y Hamlin, 1962; Kennett y Srinivasan, 1983; Hemleben et al., 1989). En el área de estudio la presencia de esta especie puede deberse al arrastre de agua cálida de origen ecuatorial, que llega al Golfo de California.

De la distribución anterior, se deduce que en la Bahía de la Paz, se presentan dos grupos de especies: El primero está dominado por *Globigerina bulloides*,

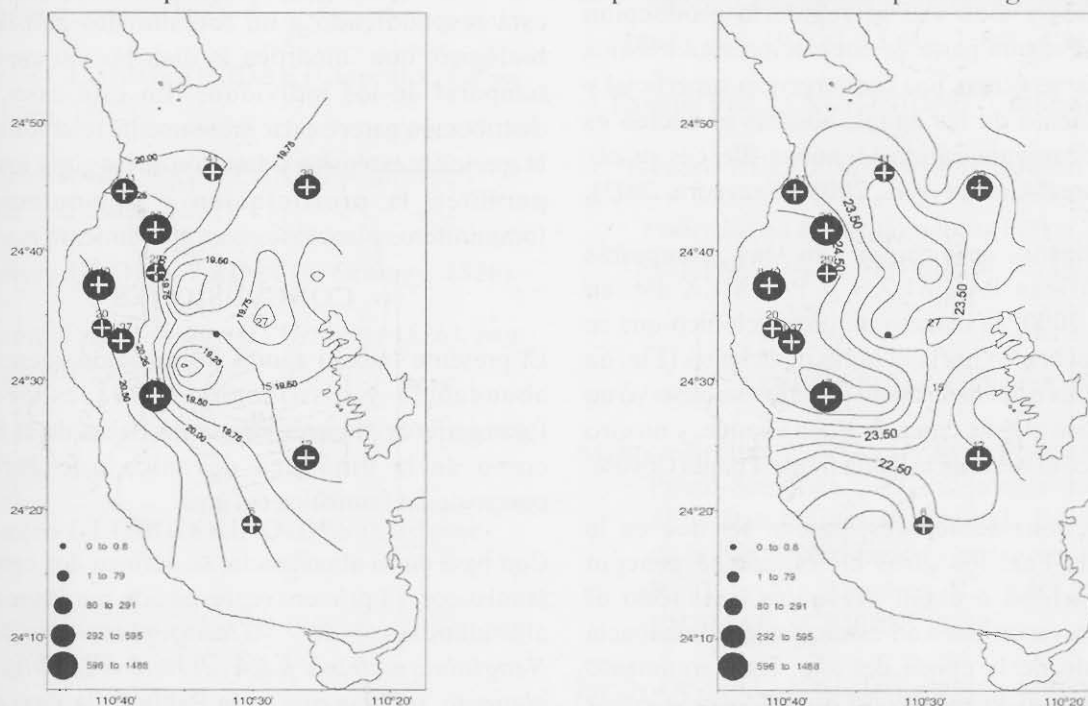


FIGURA 6. Abundancia y distribución de los foraminíferos planctónicos (círculos), e isotermas a 50 m de profundidad de a) febrero y b) noviembre de 2000.

Neogloboquadrina pachyderma 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 las masas de agua de origen tropical.

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, es mínima, mientras que la proveniente del Golfo de California, es la que predomina en la Bahía de la Paz.

RELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE LAS POBLACIONES CON LA DINÁMICA OCEÁNICA

En la Bahía de la Paz la distribución y abundancia de testas de foraminíferos planctónicos, puede explicarse a partir de la dinámica oceánica. En ella se han descrito giros ciclónicos y anticiclónicos generados por el 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 PACMEX II y PACMEX IV, en febrero de 2000, se detectó un giro ciclónico que se extiende del centro hacia el norte de la bahía (Fig. 6a); en noviembre del mismo año (Fig. 6b), 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 con lo 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.

Comparando la Fig. 6 con la distribución de las abundancias absolutas de foraminíferos planctónicos (no. de individuos/g) se observa que las altas abundancias de foraminíferos planctónicos se encuentran en la periferia de las áreas de los giros. Esta abundancia probablemente se debe a que el giro ciclónico que provoca divergencia, redistribuye en la superficie los nutrientes, los cuales son aprovechados por los productores primarios y posteriormente por los organismos heterótrofos. Saavedra-Rojas (2003) localizó en la periferia de dicho giro, la más alta concentración de biomasa fitoplanctónica.

Debido a que la acumulación de las testas de los foraminíferos planctónicos en el sedimento refleja las poblaciones promedio a lo largo del tiempo, la distribución de estos organismos en el sedimento puede ser utilizado para analizar la ubicación temporal promedio de los giros.

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.

CONCLUSIONES

El presente trabajo aporta información acerca de la abundancia y distribución de 11 especies de foraminíferos planctónicos en la Bahía de la Paz así como de la dinámica oceánica que define la composición faunística del área.

Con base en su abundancia, se definen dos conjuntos faunísticos. El primero representado por las máximas abundancias de *Globigerina bulloides*, *Neogloboquadrina pachyderma* y *Globigerinita glutinata*, reflejan 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 de origen ecuatorial.

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

Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que las poblaciones de foraminíferos planctónicos en el sedimento reflejan las condiciones hidrográficas promedio de la Bahía de la Paz y su registro provee de una herramienta útil en la reconstrucción Paleocanográfica.

APENDICE

LISTA DE ESPECIES

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.

LITERATURA CITADA

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.
- 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. *Océanides*, 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 Kööpen. *Inst. Geogr., Univ. Nal. Autón. Mex.*, 246 p.
- González-Navarro y Saldierna-Martínez, 1997. Zooplankton 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.
- Hemleben, Ch., Spindler M., Anderson O.R., 1989. *Modern planktonic 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., 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). UABCS-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.
- 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, Palaeoecology*. 152:1-14.
- 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.
- Schiebel, R., J. Waniek, M. Bork, C. Hemleben, 2001. Planktic foraminiferal production stimulated by chlorophyll redistribution and entrainment of nutrients. *Deep-Sea Research*. 48:721-740.
- 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.