

10



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**RECONSTRUCCIÓN PALEOCEANOGRÁFICA DEL CUATERNARIO
TARDÍO DEL GOLFO DE TEHUANTEPEC A TRAVÉS DE SU
REGISTRO MICROPALÉONTOLÓGICO.**

T E S I S

Que Para Obtener el Título de Biólogo

PRESENTA:

Elsa Arellano Torres



Dir. Dra. Maria Luisa Machain Castillo

México, 2001.



292518



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

M. EN C. ELENA DE OTEYZA DE OTEYZA
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:
Reconstrucción Paleoc oceanográfica del Cuaternario Tardío del Golfo
de Tehuantepec a través de su registro Micropaleontológico.

realizado por Elsa Arellano Torres
con número de cuenta 9650438-9 , pasante de la carrera de Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis Propietario	Dra. Maria Luisa Machain Castillo	<i>Ma. Luisa Machain</i>
Propietario	Dr. Adolfo Molina Cruz	<i>Adolfo Molina Cruz</i>
Propietario	Dr. Raúl Gío Argaez	<i>Raúl Gío Argaez</i>
Suplente	Dra. Sara Quiroz Barroso	<i>Sara Quiroz Barroso</i>
Suplente	Dr. Cesar Flores Coto	<i>Cesar Flores Coto</i>

**FACULTAD DE CIENCIAS
U. N. A. M.**

Consejo Departamental de Biología

Luisa A. Alba Lois

Dra. Luisa A. Alba Lois
Coordinadora de Licenciatura



**DEPARTAMENTO
DE BIOLOGIA**

**Para mi mamá y mi papá,
Para Antonio y Mano**

Tratando de decirlo...
el amor no se dice con nada.

A los cuatro por estar en todas partes en secreto.

A Eugenia y Virgilio

Por ustedes aprendí de las orillas y del mar.
Con todo cariño.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a la Dra. Ma. Luisa Machain por ser mi directora de tesis.
A los Drs. Adolfo Molina, Raúl Gío, Sara Quiroz y Cesar Flores por su
revisión.
A los cinco por su respaldo, sus gratos comentarios y por las cosas
que me han enseñado.

En especial y muy afectuosamente a la tripulación del B/O «El
Puma», por hacer que cada viaje sea cada vez más apreciado e
insustituible.

Gracias al Dr. Enrique Nava que tan cordialmente me apoyó con las
determinaciones de ²¹⁰Pb.

Al Dr. Juan Carlos Herguera que sin su interés y contribución las
cosas no hubieran salido igual.

A la Dra. Adela Monreal y el Dr. David Salas, por sus charlas tan
atentas y agradables.

Por supuesto a mis tan estimados compañeros del Laboratorio de
Ecología de Foraminíferos y Micropaleontología:

A Ligia, mil gracias por todo su apoyo y simpatía.

Barbara y Jorge que han compartido conmigo buenos momentos;
también por su ayuda con las imágenes y el análisis estadístico.

A toda la gente del Instituto del Ciencias del Mar y Limnología que he
conocido y de alguna manera se involucraron en este trabajo.

A mi querido Mano por la corrección de las fotografías y el diseño,
entre otras muchas cosas.

Finalmente a mis amigas: Casandra, Martha, Scarlett y Ana Ligia, por
su cariño, su confianza, las buenas y malas experiencias que hemos
tenido juntas.

RESUMEN	v
INTRODUCCIÓN	1
A. MARCO DE REFERENCIA	1
• Foraminíferos.	
• Los foraminíferos como indicadores de cambios climáticos durante el Cuaternario Tardío.	
• Cambios en el nivel del mar	
B. JUSTIFICACIÓN	3
C. OBJETIVOS	4
ANTECEDENTES	5
AREA DE ESTUDIO	7
OCEANOGRAFÍA GEOLÓGICA	8
a. Origen y evolución	
b. Batimetría	
c. Sedimentología	
Tasa de sedimentación	
HIDROGRAFÍA	13
CLIMA Y METEOROLOGÍA	15
OCEANOGRAFÍA FÍSICA	15
a. Temperatura, salinidad y densidad	
b. Circulación y corrientes	
c. Masas de agua	
d. Surgencia del Golfo de Tehuantepec	
DISTRIBUCIÓN DEL OXÍGENO	21
METODOLOGÍA	23
TRABAJO DE CAMPO	23
TRABAJO DE LABORATORIO	23
a. Tamaño de Sedimento	
b. Estudio micropaleontológico	
FORAMINÍFEROS	
RADIOLARIOS	

c. Procesamiento de datos y análisis estadístico	
d. Datación del núcleo 10T con ²¹⁰ Pb	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
DESCRIPCIÓN SEDIMENTARIA DEL NÚCLEO 10T	27
a. Descripción litológica	
b. Constituyentes de la fracción gruesa	
FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS	30
a. Lista de especies	
b. Abundancias	
c. Condiciones ecológicas de los foraminíferos planctónicos	
DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS DE FACTORES	37
Factor 1	
Factor 2	
Factor 3	
FORAMINÍFEROS BENTÓNICOS	41
a. Lista de especies	
b. Abundancias	
PROPORCIÓN PLANCTÓNICOS/BENTÓNICOS	43
RADIOLARIOS	43
DISCUSIÓN FINAL Y CONCLUSIONES	47
BIBLIOGRAFÍA	49
ANEXO	55
FOTOGRAFÍAS DEL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE LAS ESPECIES DE FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS	

FIGURAS

1. CORRIENTES SUPERFICIALES DEL PACÍFICO NORECUATORIAL.	4
2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO Y ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA DE MÉXICO.	7
3. TOPOGRAFÍA DEL ISTMO DE TEHUANTEPEC.	8
4. PLACAS TECTÓNICAS CORRESPONDIENTES AL GOLFO DE TEHUANTEPEC.	8
5. FALLAS Y CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES.	9
6. EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DEL GOLFO DE TEHUANTEPEC.	9
7. BATIMETRÍA Y DERIVA LITORAL.	10
8. GRUPOS LITOLÓGICOS DE LA ZONA COSTERA.	12
9. MORFOLOGÍA COSTERA Y MARINA.	14
10. SISTEMA OCEÁNICO DEL PACÍFICO TROPICAL MEXICANO.	16
11. PATRONES DE CIRCULACIÓN SUPERFICIAL DE LA ÉPOCA INVERNAL.	17
12. DIAGRAMA T-S DE LA ESTACIÓN 10T.	17
13. CELDAS DE PRESIÓN QUE AFECTAN AL PACÍFICO DURANTE INVIERNO.	19
14. IMÁGENES DE SATÉLITE DE LA SURGENCIA EÓLICA.	20
15. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE OXÍGENO MÍNIMO.	21
16. POSICIÓN GEOGRÁFICA DE LA ESTACIÓN 10T.	23
17. DESCRIPCIÓN VISUAL DEL NÚCLEO 10T.	28

TABLAS

1. COMPOSICIÓN DEL SEDIMENTO.	29
2. ABUNDANCIA TOTAL DE FORAMINÍFEROS.	32
3. ABUNDANCIAS ABSOLUTAS Y PORCENTUALES DE FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS.	34
4. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE FACTORES.	38
5. PORCENTAJES DE FORAMINÍFEROS BENTÓNICOS.	43
6. PORPORCIÓN DE PLANCTÓNICOS/BENTÓNICOS.	45
7. ANÁLISIS DE RADIOLARIOS.	45

GRÁFICAS

1. PROPORCIÓN LODO/ARENA.	29
2. ABUNDANCIAS TOTALES DE FORAMINÍFEROS Y RADIOLARIOS.	33
3a. ABUNDANCIAS ABSOLUTAS DE LAS ESPECIES PLANCTÓNICAS.	35
3b. ABUNDANCIAS RELATIVAS DE LAS ESPECIES PLANCTÓNICAS.	36
4a. FACTOR LOADINGS.	39
4b. FACTOR SCORES.	40
5. ABUNDANCIAS RELATIVAS DE LAS ESPECIES BENTÓNICAS.	44-45

na columna con registro sedimentario que abarca los últimos años del Cuaternario Tardío fue obtenida del estudio de un núcleo de sedimento marino (núcleo 10T), colectado de una profundidad de 240 m del Golfo de Tehuantepec, México (plataforma continental externa: 15° 27.22 N; 94° 22,86° W). Los resultados de ^{210}Pb indican una tasa de sedimentación de 0.51 ± 0.06 mm/año en el centro del golfo y una antigüedad extrapolada de ~3630 años para la base del núcleo (185 cm). Los cambios en las asociaciones de foraminíferos planctónicos, bentónicos y radiolarios, así como sus intervalos de abundancia, fueron analizados para investigar variaciones paleoceanográficas, ecológicas y depositacionales en una zona bajo la influencia de las corrientes del Pacífico. Las asociaciones de foraminíferos planctónicos obtenidas mediante análisis de factores, indican una secuencia de 4 principales estadios en el sitio

de obtención del núcleo: (1) Un momento de mayor aporte continental de los ~3630 a 2430 años y un cambio hacia condiciones hemipelágicas, posiblemente ocasionado por oscilaciones del nivel del mar o por mayor precipitación pluvial y mayor descarga fluvial. (2) Entre los ~2430 a 2060 años, la asociación de *G. menardii* y *N. dutertrei*, refleja un aumento en la incidencia de las corrientes cálidas hacia el Golfo de Tehuantepec y una disminución de la intensidad de las surgencias que provocan un aumento en la cantidad de O_2 disuelto del fondo. (3) Un tercero de hace ~2060 a 196 años, que por la especie *G. bulloides* refleja un incremento de la actividad de la surgencia, un aumento en productividad y mayor consumo de oxígeno en el agua superficial. (4) y el más reciente, desde ~196 años a la fecha, mostrando condiciones cálidas similares al segundo estadio.

Desde épocas antiguas la humanidad ha tenido conciencia de la influencia del clima en el desarrollo de sus actividades. Sabemos que la frecuencia con que los parámetros del clima varían (por ejemplo temperatura, presión atmosférica o precipitación), determinan las características de cada región, pero aún no existe suficiente información al respecto para entenderlo. Como cualquier modificación en éste sistema nos afecta, de ahí la importancia y el interés por explicar y predecir los cambios climáticos.

Entre las causas que impiden el esclarecimiento de las variaciones climáticas y la elaboración de un pronóstico detallado, están la falta de series de datos periódicos que nos indiquen patrones o direcciones. Ya que para generar modelos de predicción del clima con mayor precisión es necesario comprender como ha variado en el tiempo, a que tipo de factores responde, cuales son las causas y sus consecuencias.

Independientemente de la repercusiones mundiales que se tengan y sus fuentes, las fluctuaciones climáticas quedan manifestadas en todas partes: en las rocas y los suelos (Reineck y Singh, 1980), los anillos de los árboles (Warner (edit.), 1990), las esporas y granos de pólen encerrados en antiguos depósitos (McDonald, 1990), el hielo de los glaciares (Joussel, *et al*, 1993), los arrecifes de coral (Cole, *et al*, 1995) y en los sedimentos (Kennett, 1982). Estos registros proveen de relevante información sobre la frecuencia y efecto de los fenómenos climáticos ocurridos en los continentes y el océano a través del tiempo.

En los sedimentos marinos, la presencia de los tipos minerales (componentes inorgánicos) depende principalmente del aporte continental, cuyo aumento o disminución varía según los patrones de lluvia y viento sobre tierra firme. Formando parte de los restos de origen biológico (componentes orgánicos del sedimento) encontramos a diferentes microorganismos como las diatomeas, ostrácodos, radiolarios y foraminíferos, que en conjunto pueden representarnos las condiciones ambientales de cierto lugar en determinado momento. Al estar íntimamente relacionados con su medio, los seres vivos van presentando cambios: metabólicos, morfológicos,

en su composición química, abundancia relativa, y/o en sus patrones de distribución geográfica a diferentes escalas de tiempo; funcionando así como indicadores paleoecológicos (Kennett, 1982).

A. MARCO DE REFERENCIA

• FORAMINIFEROS

Los foraminíferos constituyen un grupo de protozoarios marinos de vida libre que construyen cubiertas calcáreas o testas. Habitan en una amplia variedad de ambientes marinos, desde las zonas intermareales hasta las planicies abisales, desde los trópicos hasta las regiones polares. Pero cada una de las especies de foraminíferos están restringidas al ambiente en el que viven (Loeblich y Tappan, 1987). Algunas son muy abundantes sólo en los océanos profundos, otras se encuentran únicamente en estuarios y marismas a lo largo de la costa y muchas viven en ciertas profundidades a determinados intervalos de temperatura y salinidad.

De las cerca de 4000 especies de foraminíferos que viven en los océanos del mundo, 40 son planctónicas (viviendo en la columna de agua) y el resto habitan sobre algas, conchas, rocas, o en la arena y limo del fondo marino (organismos bentónicos). Las testas de ambos grupos se presentan en una gran variedad de formas y típicamente alcanzan tamaños entre 0.1 a 1 mm. Las cubiertas de las especies planctónicas y muchas de las bentónicas, están compuestas de calcita. Aunque también algunas de las especies bentónicas construyen sus conchas con distintos minerales secretados (como aragonita o sílice) y otras están formadas de materiales orgánicos o aglutinamientos de partículas cementadas (Boersma, 1978).

Los foraminíferos son organismos de gran utilidad en estudios paleoambientales ya que: 1) reflejan las condiciones de su hábitat en un momento determinado. El estudio de su registro sedimentario a través del tiempo nos indica las variaciones de temperatura, salinidad, cantidad de nutrientes u oxí-

geno disuelto de dicho lugar (Brasier, 1995); 2) poseen un caparazón de carbonato de calcio que se preserva adecuadamente en los sedimentos marinos y es fácilmente recuperable para estudios paleoecológicos (Boltovskoy, 1965; Be y Tolderlund, 1971); 3) la abundancia de testas de foraminíferos dentro del sedimento puede alcanzar de decenas a miles de individuos por centímetro cúbico o muchas veces constituir la mayor parte del sedimento, lo que permite encontrarlas en cantidades suficientes para realizar análisis estadísticos sin requerir de grandes cantidades de muestra; 4) debido a que las testas conservan las proporciones de isótopos de carbono, oxígeno y otros elementos del agua en la que viven, su caparazón puede ser utilizado para hacer determinaciones isotópicas que permiten ubicar en un marco cronológico cualquier estudio temporal e indirectamente mostrar los cambios químicos que ocurrieron en las aguas habitadas (Kennett, 1982).

Los cambios climáticos y ambientales quedan muy bien reflejados en los organismos planctónicos ya que éstos viven en la parte superior de la columna de agua. En esta parte es donde se produce el mayor intercambio entre las fases gaseosas y líquidas de la Tierra, es decir, entre la atmósfera y la hidrósfera. Las variaciones ambientales que ocurren en las zonas pelágicas están asociadas a las masas de agua, de tal manera que los cambios en la distribución de éstos organismos reflejan las modificaciones que han tenido las corrientes dentro de la dinámica oceánica, consecuencia de cambios en el clima. Como resultado, la clave para entender la paleoecología de los foraminíferos planctónicos se basa en estudiar las condiciones ecológicas bajo las que viven y en comparar cuantitativamente su distribución horizontal en aguas oceánicas con aquellas testas vacías del piso del océano (Bé, 1969). Así, el estudio detallado de estos fósiles o paleoindicadores nos permite reconstruir confiablemente los eventos oceánicos y/o climáticos de una región determinada.

• **LOS FORAMINÍFEROS COMO INDICADORES DE CAMBIOS CLIMÁTICOS DURANTE EL CUATERNARIO TARDÍO**

El Cuaternario Tardío (finales del Pleistoceno – Holoceno) ha sido un período de cambios climáticos que han

quedado registrados tanto en regiones polares como en zonas tropicales (Kennett, 1982; Locke y Thunell, 1988; Jousel, 1993). Entre éstas variaciones encontramos el Último Máximo Glaciar (UGM) hace 21 000 a 17 000 años (entre 18 000 y 15 000 de acuerdo con las dataciones de ¹⁴C). Registros de fluctuaciones térmicas entre los 14 000 y 12 000 años ¹⁴C, indicadas por desplazamientos de la vegetación de tundra en las regiones polares de Norteamérica existen. Dentro del periodo interglaciar al que corresponde el Holoceno, hubo un momento de enfriamiento conocido como *Younger Dryas* (hace 11 000 a 10 000 años ¹⁴C), descubierto por los registros de polen en Europa y América, en el que la temperatura declinó entre 3 y 4º C. De acuerdo con datos de núcleos de hielo, un periodo más cálido que el actual ocurrió entre los 8 000 y 4 000 años ¹⁴C, conocido como *óptimo del Holoceno*; con un estadio frío y de sequías hacia los 7 500 años ¹⁴C (Jousel, *et al*, 1993). Posteriormente, otros ciclos mucho más variados y diversos han ocurrido dentro de los últimos miles de años (Adams, 1997).

Una de las herramientas que han ayudado a identificar dichas fluctuaciones climáticas y oceánicas del pasado son los estudios realizados con foraminíferos, tanto actuales como fósiles.

La distribución y abundancias actuales de los foraminíferos en la columna de agua y los sedimentos, han sido estudiados por diversos autores. Orbinny (1839), Cushman (1927), Cushman & McCulloch (1942), Bandy (1953), Parker, 1962, Boltovskoy (1965) están dentro de los primeros trabajos taxonómicos que se han dedicado a estos organismos, además de que siguen siendo importantes artículos de consulta. Phleger y Parker (1951), Phleger (1964), Bé (1969), Bé y Tolderlund (1971), realizaron trabajos básicos para conocer la ecología y límites de tolerancia de las especies hacia los diferentes parámetros ambientales. Aunque muchos de estos estudios se han realizado en el Atlántico, autores posteriores han retomado esas referencias y complementado los registros para poder realizar estudios paleoceanográficos dentro del Pacífico: Golik y Phleger (1977) Douglas (1979), Buzas (1979), Matoba y Yamaguchi (1982), Kennett e Ingram (1995) han trabajado con foraminíferos bentónicos y han analizado la ecología y el modo en que nos dan información paleoecológica. Berger

(Vincent y Berger (1981)) y Kennett (Kennett, 1982) se encuentran dentro de los autores que han desarrollado más el uso de los foraminíferos planctónicos en paleoceanografía. Por último referencias como las de Matoba y Oda (1982), Locke y Thunell (1988), Thunell (1998), Brasier (1995), Murray (1995), Watkins, *et al* (1998), han ayudado a reconocer los foraminíferos planctónicos de las zonas tropicales y productivas de los océanos.

• CAMBIOS EN EL NIVEL DEL MAR

Otro factor importante en la distribución y el registro de los sedimentos tanto de origen biológico como inorgánico es la posición del nivel del mar, la cual es en parte una función de la repartición del agua entre los diferentes reservorios (océanos, agua intersticial, glaciares, lagos, ríos). Los cambios del nivel del mar pueden ser debidos a un gran número de causas (Southman y Hay, 1981): 1) adición de aguas juveniles; 2) subducción de agua en cavidades; 3) cambio en el volúmen del sistema de cordillera centrooceánica; 4) cambios en el volúmen de planicies oceánicas a partir de colisiones y compresiones continentales; 5) desplazamiento de agua marina por sedimento; o 6) por el aumento y disminución de la eustática glacial.

Entre de las oscilaciones en el nivel del mar por crecimiento y destrucción alternada de los hielos continentales debido a las fluctuaciones climáticas, se encuentra el registro de un evento que ocurrió hace 18 000 años (Cuaternario Tardío), conocido como Último Máximo Glacial, en el que se acepta que el nivel del mar descendió entre 100 y 130 m. Entre los 18 000 y 6 000 años, comenzó la llamada *transgresión del Holoceno*, con un nivel del mar de 91 m por debajo del actual, con la fase más rápida deglaciación entre los 10 000 – 7 000 años (donde probablemente aumentaba el nivel marino a una velocidad de 10 mm/año), alcanzando su máximo hace 4 000 a 2 000 años (Emery y Garrison, 1967; McIntyre, *et al*, 1976; Kennett, 1982). Después de estos eventos, todas estas oscilaciones han permanecido más o menos como las conocemos actualmente.

Dentro de la importancia que tienen los repetidos avances y retrocesos (transgresiones y regresiones) del océano, se encuentra el hecho de que modifican la morfología de la plata-

forma continental. La permanencia de bajos niveles marinos altera las superficies porque las plataformas están expuestas a procesos subaéreos. Éstos patrones cíclicos han sido muy efectivos en la producción de superficies planas de las plataformas y de las planicies costeras adyacentes.

Durante la exposición subaérea de las plataformas continentales, la depositación aluvial y la erosión se vuelven procesos dominantes sobre estas superficies. Los ríos más caudalosos atraviesan sus canales a lo largo de la plataforma y en algunos casos, desarrollan complejos deltaicos en el margen continental externo.

En estos mismos períodos, ocurren drásticos cambios en el régimen depositacional de las plataformas e incluso en cuencas oceánicas adyacentes. El incremento en la depositación de sedimento en el límite de la plataforma y talud superior provoca una rápida transferencia de sedimentos terrígenos hacia las plataformas, algunas cuencas profundas y trincheras. Y en algunas zonas, la posgradación permanente o construcción hacia mar abierto de la plataforma, es el resultado de grandes proporciones de depositación de sedimento.

Esa capa gruesa de materiales que penetran hacia la parte superior de la plataforma origina inestabilidad, rompimiento, deslizamiento y la generación de corrientes de turbidez. Es entonces cuando se incrementa el aporte de sedimento hacia zonas más profundas del océano (Kennett, 1982; Adams, 1997), afectando a su vez la migración de los ambientes marinos hacia la nueva costa y la generación de cambios en la distribución de los grupos faunales.

B. JUSTIFICACIÓN

Como parte del sistema oceánico del Pacífico Tropical Este (**figura 1**), la circulación superficial del Golfo de Tehuantepec esta dominada por la parte este y ecuatorial de los mayores giros anticiclónicos del Pacífico Norte y Sur (Corriente Norecuatorial y Surecuatorial respectivamente) (McCallhy, *et al*, 1986; Monreal y Salas, 1998). El encuentro de estas corrientes representa el choque de masas de agua fría provenientes de altas latitudes y de aguas cálidas ecuatoriales. Si por modificaciones climáticas se ve alterada la posición de la Convergencia

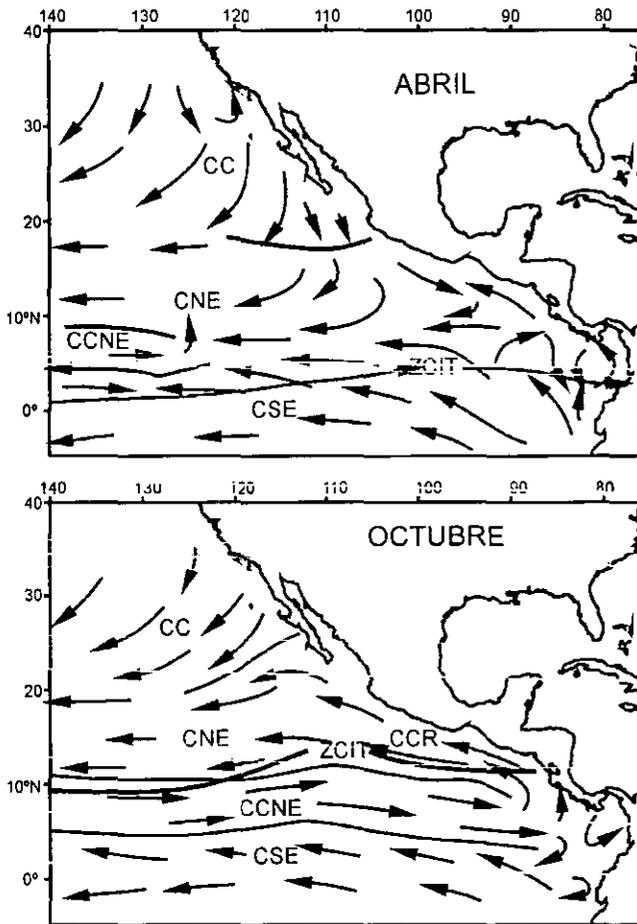


Figura 1. Corrientes superficiales del Pacífico Norecuatorial (imagen cortesía de Adela Monreal). CC-Corriente de California. CNE-Corriente Norecuatorial. CCNE-Contracorriente Norecuatorial. CCR-Corriente de Costa Rica. CSE-Corriente Surecuatorial. ZCIT-Zona de Convergencia Intertropical.

Intertropical y el desarrollo de los vientos alisios, la incursión de las corrientes dentro del golfo se verá afectada; reflejando en ciertos momentos con mayor intensidad al agua fría de la Corriente Norecuatorial, y en otros a la cálida de Costa Rica. Toda esta dinámica provee un buen escenario para la evaluación de los efectos y las variaciones climáticas de alta resolución temporal, como el caso del fenómeno del Niño y/o la Niña, y otros fenómenos similares.

Los registros paleoclimáticos dejados en este tipo de áreas son de gran importancia en el entendimiento de la dinámica del clima. Un estudio detallado de los microfósiles planctónicos y bentónicos (en este caso foraminíferos) como indicadores paleoceanográficos, permitirá deducir el comportamiento de diversos fenómenos en el pasado y será una buena base para inferir su comportamiento futuro.

C. OBJETIVOS

Por todo lo anterior, este estudio tiene como fin contribuir al conocimiento de las variaciones climáticas durante el Cuaternario Tardío a través de los cambios en la dinámica oceánica del Golfo de Tehuantepec, como parte del Sistema Cálido de Corrientes del Pacífico Este.

Analizar la distribución estratigráfica de los foraminíferos planctónicos del Cuaternario Tardío en una zona bajo la influencia de las corrientes cálidas del Pacífico, para conocer la historia de las variaciones de temperatura, salinidad y masas de agua. Así como observar la distribución de foraminíferos bentónicos y radiolarios para indicar cambios depositacionales, de productividad y O_2 disuelto, relacionados con cambios climáticos.

En el *Golfo de Tehuantepec* se han realizado diversos estudios oceanográficos desde hace más de medio siglo, los cuales han abarcado principalmente el aspecto geológico, físico, químico y biológico. Sin embargo, dichas investigaciones no han tenido la continuidad deseada para describir en forma detallada los fenómenos que suceden en esta región marina.

En el área física se ha puesto mayor énfasis en corrientes, masas de agua y surgencias. A partir del trabajo de Hurd en 1929 comenzaron los estudios de la surgencia de Tehuantepec que se genera durante los meses más fríos y que es provocada por los vientos denominados "tehuanos". Roden en 1961 publicó un trabajo sobre la circulación y distribución de temperaturas debido a la influencia de los vientos. Stumpf (1975) pudo detectar con imágenes de satélite las surgencias localizadas en la parte meridional del golfo. Al mismo tiempo, los trabajos de Wyrki del Pacífico Ecuatorial Este (1967) han ayudado en la determinación de las corrientes y masas de agua que afectan al Golfo de Tehuantepec. Y más recientemente, Enfield y Allen 1988; Legeckins, 1988; McCreary, et al, 1989; Lavin, et al, 1992; Brown, et al, 1992; Barton, et al, 1993; Transviña y Barton, 1997; Monreal, et al, 1999, entre otros, han seguido realizando trabajos en oceanografía física para comprender el funcionamiento de la zona.

Una cierta cantidad de trabajos se han enfocado en el aspecto geológico: Avendaño (1978) realizó uno de los primeros estudios granulométricos de sedimentos de la porción NE del Golfo de Tehuantepec. Le Ferve y McNally, 1985; Ladd y Buffer, 1985; Prol-Ledesma, et al, 1989 (en Carranza, et al, 1998); Carranza (1980, 1989) (en De la Lanza, 1991) y posteriormente Morales (1990) realizaron estudios con los sedimentos fosfatados. Boumaggard, et al, 1993, 1994 y 1998 (en

Boumaggard, 1998), contribuyeron al análisis morfoestructural y fisiográfico del Golfo de Tehuantepec. Barrier, et al (1998) estudiaron la evolución neotectónica de la región del istmo.

Tratando de obtener mayor información del Golfo de Tehuantepec, La Secretaría de Marina (1978) publicó tres tomos de un estudio oceanográfico que incluyen características de las masas de agua, distribución de nutrientes y datos sedimentológicos, pero se trata de un trabajo de prospección que abarca los diferentes temas de un modo muy general.

En 1998 la UAM Iztapalapa publicó el libro titulado *El Golfo de Tehuantepec: el Ecosistema y sus recursos*, que es una recopilación de trabajos multidisciplinarios (geológicos, físicos, químicos y biológicos) realizados durante varias campañas oceanográficas a bordo del B/O «El Puma». Este volumen incluye, entre otros, trabajos de Carranza, et al; Monreal y Salas; Gallegos y Barberán; y el de Vázquez, et al, acerca de la química del agua. Encontrándose este último dentro de las pocas publicaciones que reportan las condiciones fisicoquímicas que tiene el golfo.

Trabajos sobre microfósiles en el área han sido muy pocos: Mata (1980) reporta la distribución de foraminíferos bentónicos recientes en algunas estaciones; Pérez (1989) y Pérez y Machain (1990), analizaron las asociaciones de foraminíferos bentónicos en los sedimentos superficiales de la plataforma continental dentro de la zona de oxígeno mínimo; Molina y Martínez (1994) publicaron sobre la oceanografía del Golfo de Tehuantepec, a partir del estudio con restos de radiolarios.

Finalmente, en lo referente a trabajos paleoceanográficos o de historia climática, no se han realizado estudios sistemáticos en el área de estudio, por lo que este trabajo constituye una aportación a dicho campo de investigación.

El litoral mexicano en el Océano Pacífico mide 4 054 km de longitud, correspondiendo aproximadamente el 42% al Pacífico Tropical Mexicano (llamada así a la región comprendida entre Cabo Corrientes y la frontera con Guatemala).

El Golfo de Tehuantepec está localizado hacia el Sur de la República Mexicana en la región tropical del Pacífico oriental, aproximadamente entre los 14° 30' y 16° 12' de latitud Norte y los 92° 00' a 96° 00' de longitud Oeste. Es la frontera oceánica sur de la Zona Económica Exclusiva de México y ocupa una

región de ~125 000 km². Posee una plataforma continental de mas o menos 120 km de ancho y una extensión radial aproximada de 200 km (desde el puerto de Salina Cruz, Oax. hacia la coordenada 13° 45' N y 94° 45' W) (Lavin, et al, 1992) (figura 2).

En la frontera norte del Golfo de Tehuantepec se localiza el Istmo de Tehuantepec, que es un estrecho continental entre el Golfo de México y el Océano Pacífico. En este istmo se separa la Sierra Madre del Sur de la Sierra de Chiapas (Gallegos y Barberán, 1998) (figura 3).

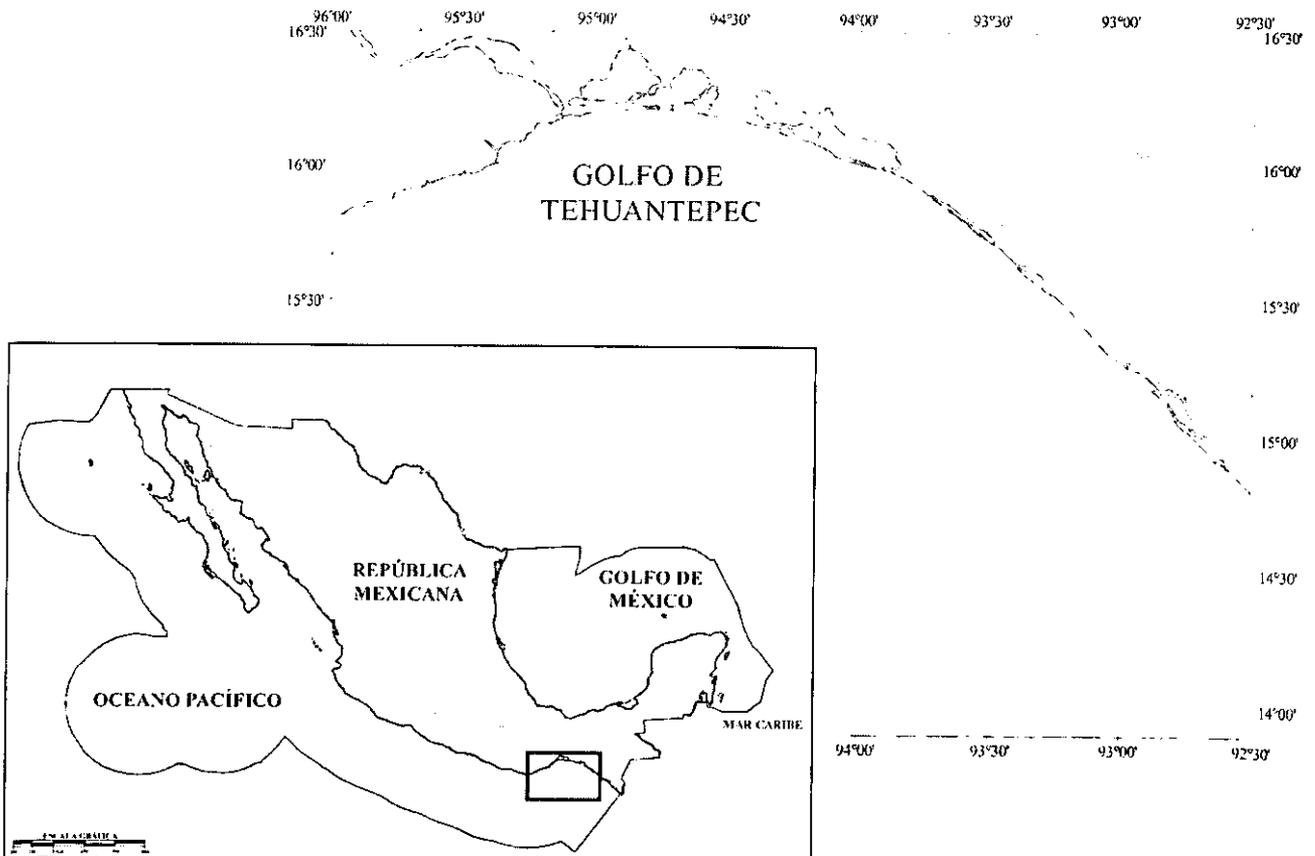


Figura 2. Ubicación geográfica del área de estudio y zona económica exclusiva de México.

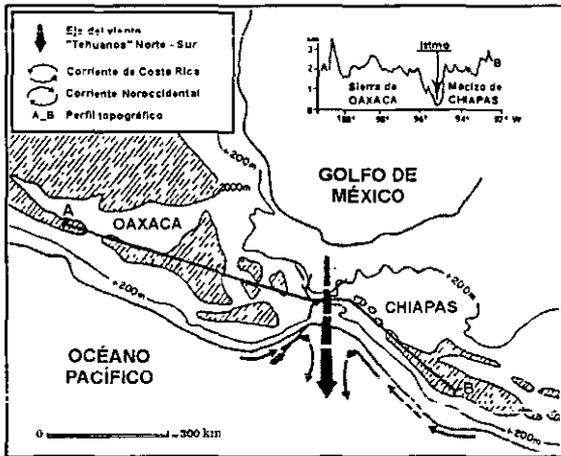


Figura 3. Topografía del Istmo de Tehuantepec (modificado de Boumaggard, *et al*, 1998).

OCEANOGRAFÍA GEOLÓGICA

Además de sus dorsales, una de las principales características del Pacífico Tropical Mexicano son las grandes trincheras que describen la mayor parte de los límites del océano. El Istmo y Golfo de Tehuantepec se sitúan en una zona estructuralmente complicada por el hecho de encontrarse cer-

ca de la triple unión entre la Placa de Norteamérica, Placa de Cocos y Placa del Caribe. En adición, yacen como continuación de la Zona de Fractura o Dorsal de Tehuantepec, una característica batimétrica de la Placa de Cocos que está siendo subducida bajo el margen de Norteamérica. La Dorsal de Tehuantepec juega un papel importante para la definición morfológica del golfo, ya que representa el límite NW de la cuenca de Guatemala (al sur de la falla Motahua-Polochic, entre el continente y la T. Mesoamericana) y constituye una cordillera de actividad sísmica ocasional (Barrier, *et al*, 1998) (figura 4).

Los principales elementos de la cuenca del actual Golfo de Tehuantepec son (figura 5):

- Una falla profunda de desplazamiento izquierdo que corta a la costa en dirección N - S entre la Laguna de Mar Muerto y la Laguna Inferior (F, figura 5); con un desplazamiento a lo largo de la falla del orden de 100 Km
- Dos sistemas de fallas normales: uno de ellos casi paralelo a la costa actual y el otro transversal, que originaron pilares y fosas tectónicas.
- Picos máximos magnéticos aislados: atribuidos a intrusiones ígneas poco profundas o a derrames volcánicos incluidos en la secuencia sedimentaria (Barrier, *et al*, 1998; Carranza, *et al*, 1998)

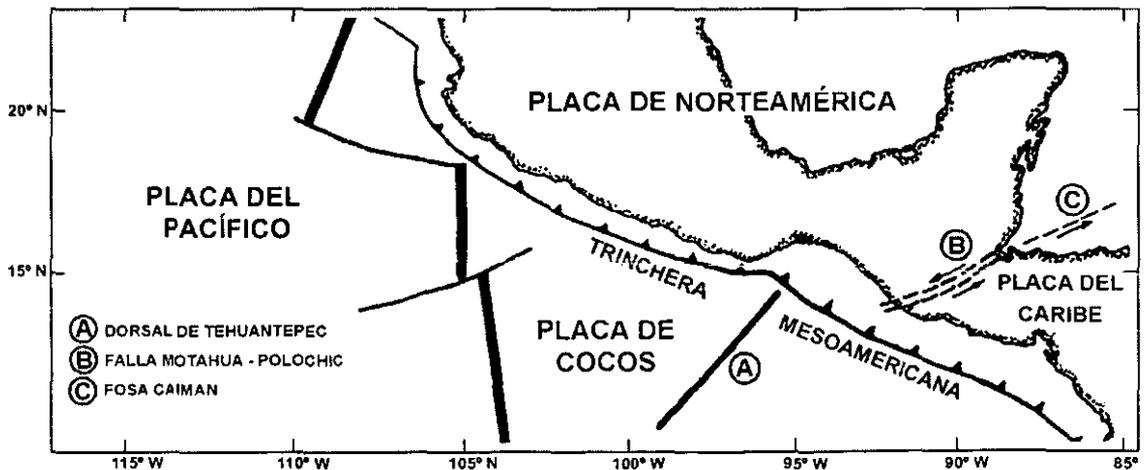


Figura 4. Placas tectónicas correspondientes al Golfo de Tehuantepec (modificado de Carranza, *et al*, 1998).

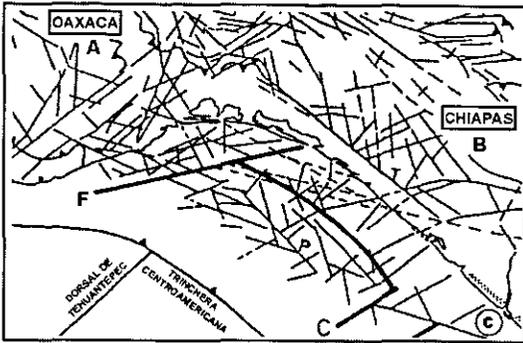


Figura 5. Fallas principales y otras características estructurales del sur de México (modificado de Boumaggard, *et al*, 1998). A (Oaxaca) y B (Chiapas) -Provincias fisiográficas. F y C - Accidentes causados por la formación de cañones. Líneas punteadas (----) representan el Sistema de Fallas Normales.

A. ORIGEN Y EVOLUCIÓN

Con base en la información geológica y geofísica de los trabajos de Pedrazzini, *et al* (1982), dos factores pudieron influir en la formación de la cuenca del Golfo de Tehuantepec, ya

sea actuando de modo independiente o en conjunto (figura 6).

- I. El fracturamiento de la corteza que pudo ser la causa del hundimiento de la antigua cuenca que subyace al actual golfo.
- II. La presencia de un arco magmático que durante el Mioceno dio origen a un sistema de arco-fosa con su relativa cuenca de ante-arco.

Durante el Cretácico Tardío, el borde del continente se fracturó en un bloque que se hundió paulatinamente hasta que el mar invadió el área. Hacia el final del Cretácico y durante el Terciario temprano, la cuenca se profundizó y se mantuvo abierta permitiendo la libre circulación de las corrientes. En un principio, la sedimentación estuvo restringida a las zonas someras con gran influencia de aporte de sedimentos continentales, pero posteriormente predominó una sedimentación marina. Cerca de la costa los ambientes fueron oxidantes, con posibles depresiones locales con condiciones anóxicas provocadas por el movimiento diferencial de los bloques. La secuencia del Cretácico

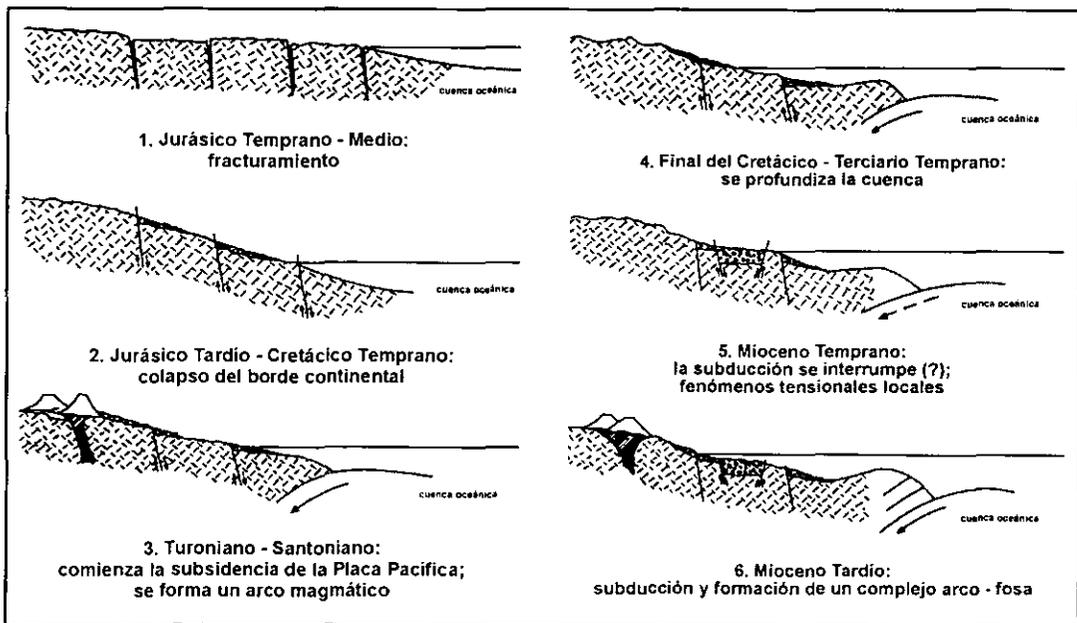


Figura 6. Evolución geológica del Golfo de Tehuantepec (modificado de Pedrazzini, *et al*, 1982).

superior y del Terciario inferior aumenta y se profundiza hacia mar abierto, con estratos más jóvenes ubicados contra la plataforma.

La segunda etapa de desarrollo, efectuada a partir del Mioceno, está controlada por la subducción de la Placa de Cocos y por la formación de un arco-fosa, incluyendo una cuenca de ante-arco, que se sobrepuso a la antigua cuenca de Tehuantepec. En ésta depresión, limitada hacia el sur por el complejo de subducción, predominó un ambiente restringido y anóxico, donde los sedimentos marinos arcillosos y con materia orgánica (básicamente algas) no alcanzaron grandes profundidades.

Hacia el sur, la provincia del Istmo de Tehuantepec tuvo su máxima actividad tectónica a partir del Mioceno medio, reflejado en la efusión de rocas volcánicas y el rápido hundimiento del basamento, que finalmente se manifiesta con la formación del Golfo de Tehuantepec. La evolución de éste es consecuencia de la reactivación del bloque Honduras - Nicaragua que se desplaza a lo largo del Sistema Motagua - Polochic (ubicado en el límite de placas de Cocos y Centroamérica), produciendo el principal desarrollo del sistema de fallamiento lateral izquierdo en el Macizo Granítico de Chiapas (Barrier, *et al*, 1998; y en Carranza, *et al*, 1998). La reconstrucción con modelos de gravedad a través de la cordillera de Tehuantepec muestran que ésta es un residuo de la zona de fractura, a la vez que la cuenca de Guatemala es el resultado de una corteza más vieja formada antes de que el eje de la cordillera se formara y el levantamiento del Pacífico E adquiriera su actual orientación (Barrier, *et al*, 1998).

B. BATIMETRÍA

La importancia que presentan las condiciones batimétricas en la planicie continental no solo se manifiesta en la ecología del medio, sino también en la depositación y características físicoquímicas de la sedimentación.

La clasificación de las zonas batimétricas según Lugo, 1986 son (figuras 7 y 9):

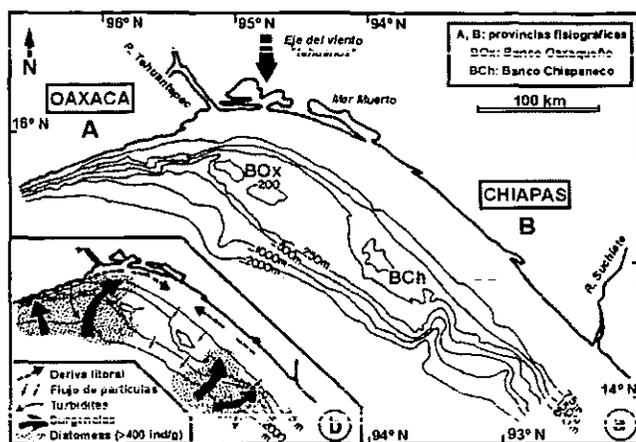


Figura 7. a) Batimetría del Golfo de Tehuantepec. b) Deriva litoral y flujo de partículas generadas durante la surgencia (modificado de Boumaggard, *et al*, 1998).

- **Zona de transición:** Comprende de 0 - 18 m, en una pequeña franja a todo lo largo de la costa, desde la desembocadura del río Suchiate al E, hasta Salina Cruz al O.
- **Plataforma interna:** Profundidades de 18 - 45 m, con 30 km de ancho promedio en la parte E, llegando a medir en su porción central hasta 40 km, y en su parte O tiende a disminuir a 10 km aproximadamente.
- **Plataforma media:** abarca profundidades de 45 - 100 m, es una franja con una amplitud promedio de 20 km en su parte E, pero a partir del meridiano 94° 00 hacia el O llega hasta 5 km (siendo muy estrecha).
- **Plataforma externa:** profundidades típicamente reconocidas entre 100 y 250 m. Su comportamiento es similar a la plataforma media. Hacia el O se reduce considerablemente y su anchura promedio es también de 5 Km.
- **Talud superior:** profundidades de ~250 a 400 m. Zona batimétrica que presenta una distribución muy amplia al E, llegando a medir 20 km. Conforme se avanza hacia el O su amplitud es mayor y alcanza 60 km, formando una planicie considerable en la región más interna del golfo. A la altura de Salina Cruz se ve un estrangulamiento que llega a medir de 4 a 5 km de ancho.

En este punto es importante mencionar que de acuer-

do con Molina & Martínez (1994) la plataforma externa (y no el talud superior) se extiende hasta ~400 m, ya que a esa profundidad es donde se considera que se alcanza la máxima pendiente y se termina una serie de terrazas, que según Lugo (1985) forman parte del talud superior.

- El *Talud Continental* se encuentra mas o menos constante en amplitud (25 a 50 km) y profundidad (2 500 – 3 000 m). La uniformidad en amplitud se debe principalmente a la presencia de la Trinchera Mesoamericana (Lugo, 1985).

El análisis morfoestructural de la plataforma continental realizado por Boumaggard, *et al* (1998), revela la presencia de dos grandes provincias fisiográficas distintas: la noroccidental (NW) (A - **figura 5**) y la suroriental (SE) (B - **figura 5**) separadas por una inclinación mayor hacia los 70° N (F - **figura 5**):

1. La provincia NW, corresponde a una placa continental del bloque de Oaxaca. La plataforma de abrasión submarina muy estrecha (inclinación 2 - 5%), la pendiente continental abrupta (6%) y el corte de numerosos cañones guiados por los accidentes tectónicos muestran que hay un margen en surrección.
2. La provincia SE corresponde a la placa continental de la Sierra de Chiapas, y se le reconocen numerosas subunidades fisiográficas:
 - a) Una plataforma interna, con una morfología muy uniforme de 0 a 75 m. En su parte SE está constituida por la acumulación, sobre una superficie de erosión, de una línea de costa interna actual y de una línea externa fósil; posibles testigos de la antigua eustática posglaciar y de escasos movimientos verticales durante de miles de años. Adicionalmente, se reconoce que el prisma de acreción tectónico que representa el alto nivel del mar actual, ha alcanzado sus perfiles de equilibrio y ha provocado que el Golfo de Tehuantepec se comporte como un margen pasivo.
 - b) Una ruptura de pendiente entre 75 y 100 m.
 - c) Una plataforma externa que posee una morfología mucho muy contrastada debido a la presencia de eleva-

dos fondos (Banco Oaxaqueño a 175 m y el Chapaneco a 170 m (Carranza, *et al*, 1975)) separados por depresiones de origen tectónico y rupturas de pendiente situadas a 120 - 130 m, 225 - 250 m y una mucho mayor a los 400 m, siendo ésta última la que separa la plataforma continental del talud que se prolonga con una inclinación media del 10%, justo en la fosa. Este talud está intercalado en el sector oriental, por dos cañones de origen tectónico.

La Plataforma Continental que se observa frente a las costas de Oaxaca al oriente de Punta Galera, presenta una pequeña amplitud que se reduce a unos 4 ó 6 km, amplitud que continúa hasta el meridiano 90° donde se inicia bruscamente una ampliación que alcanza hasta 50 km en el Golfo de Tehuantepec. Es un reflejo de los eventos geológicos que han tenido lugar en el litoral (Lugo, 1986). Es decir, conforme la Trinchera Mesoamericana se encuentra más cercana a la costa del Pacífico (del sur de Sinaloa a Oaxaca) la plataforma se angosta, mientras que hacia el Golfo de Tehuantepec la trinchera está más alejada de la costa, permitiendo que la plataforma continental sea más amplia.

Y como un rasgo muy interesante, la plataforma del Golfo de Tehuantepec tiene registro de tres antiguos niveles del mar (45 m, 75 m y 130 m). La ausencia de datación no permite precisar la edad de éstos niveles; sin embargo, Boumaggard, *et al* (1998) sugieren que corresponden a datos de la remota eustática posglaciar y al periodo de bajo nivel del mar Würmiano (Último Máximo Glaciar) clásicamente reconocido sobre los márgenes pasivos.

C. SEDIMENTOLOGÍA

La corteza debajo del Pacífico es pre-Cenozoica, las partes más antiguas de la cuenca están situadas en el Oeste; los sedimentos antiguos no tienen más de 160 millones de años. Mucha de la historia sedimentaria del Pacífico ha sido destruida en las zonas de subducción, quedando pequeños remanentes del Mesozoico. Las rocas más profundas y expuestas a lo largo de la costa mexicana son principalmente de origen ígneo

y metamórfico, así que desde Cabo Corrientes hasta el Golfo de Tehuantepec se tienen rocas metamórficas Precámbricas a Mesozoicas y sedimentos de edad Cretácica (McCoy y Sancetta, 1985; Barrier, *et al*, 1998).

En los sedimentos que están sobre el margen continental de la Trinchera Mesoamericana, predominan los terrígenos y arcillas pelágicas sobresaliendo pequeñas áreas de limo calcáreo y marga (igual cantidad de carbonato de calcio y arcilla).

Los *minerales detríticos* (cuarzo + feldespato + micas y metales pesados) son abundantes en la zona de la Trinchera Mesoamericana con un porcentaje mayor al 60%, son comunes hacia la cuenca con un 15 - 30% y del 30 - 60% frente al Golfo de Tehuantepec. Las *arcillas* son abundantes con una dominancia mayor al 60% en la cuenca oceánica del Pacífico, notándose una franja enfrente de Oaxaca y Golfo de Tehuantepec, con un porcentaje menor al 30%. La existencia de esta franja se explica debido a la presencia de la Cresta de Tehuantepec, en la cuál la mayoría de los sedimentos se depositan en la base de la misma (Carranza, 1975; y Carranza *et al*, 1998). Los sedi-

mentos *no biogénicos* tienen una distribución muy heterogénea; por ejemplo, los sedimentos volcánicos detríticos son abundantes cerca de las costas de Chiapas en un 30 - 60%, con un porcentaje menor al 15% desde Cabo Corrientes hasta Oaxaca (Carranza, *et al*, 1975).

La llanura costera de la porción sur del Istmo de Tehuantepec se caracteriza por tener una amplitud menor hacia el oeste (hacia Puerto Angel). Gradualmente se va ampliando hacia el este hasta presentar una extensa llanura costera en la región de los cuerpos lagunares (Laguna Superior, Mar Tileme y Laguna inferior). Algunos de los ambientes sedimentarios de ésta llanura costera en ocasiones traslapan sus características texturales (Carranza, *et al*, 1975; Carranza, *et al*, 1998). Muchas de las playas correspondientes al litoral del Golfo de Tehuantepec reciben sedimentos provenientes de cuerpos rocosos Paleozoicos y Precámbricos, rocas intrusivas del Mesozoico y Terciario, rocas volcánicas del Terciario y Cuaternario, así como suelos del Cuaternario (Barrier, *et al*, 1998) (figura 8).

En el Golfo de Tehuantepec las arenas son las más

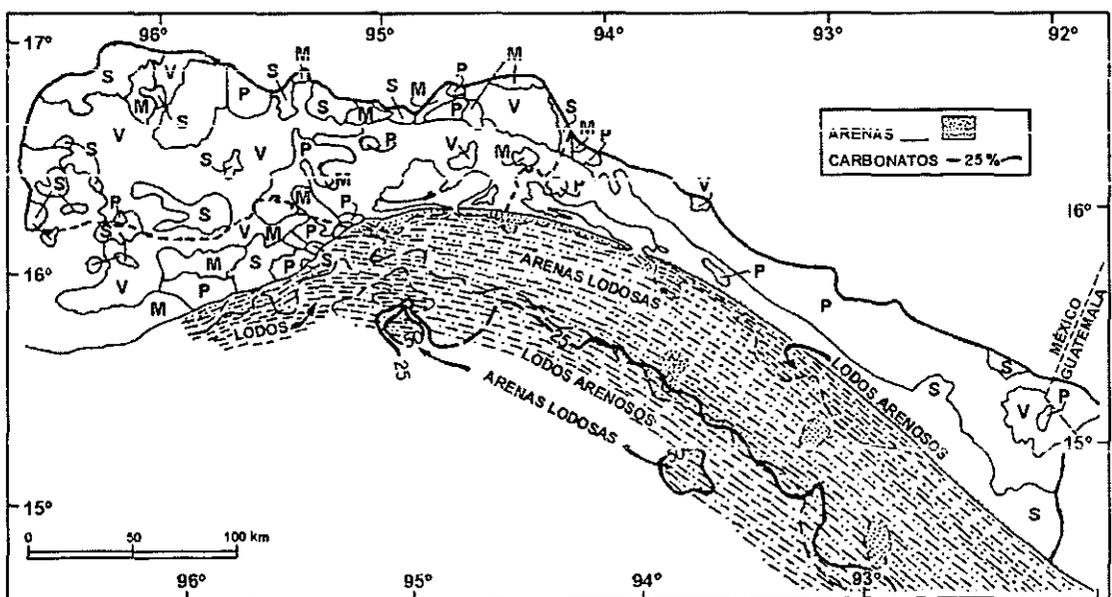


Figura 8. Grupos Litológicos presentes en la zona costera (modificado de Carranza, *et al*, 1998). S-Sedimentos y rocas sedimentarias de diversas edades. V-Rocas volcánicas intermedias y básicas del Terciario y Cuaternario. P-Rocas plutónicas ácidas del Paleozoico y Mesozoico. M-Rocas metamórficas del Paleozoico.

abundantes de la zona. Ampliamente distribuidas en la parte central del golfo entre 30 y 100 m de profundidad frente a las barras lagunares que son fuente de aporte a dichas zonas, siendo distribuidas por corrientes locales. A mayores profundidades se encuentran los lodos, que en ocasiones presentan fracciones más gruesas. Estudios efectuados en sedimentos de la plataforma continental (Morales, 1990; Carranza, *et al*, 1998) han definido que los sedimentos oscuros y las arenas lodosas se distribuyen principalmente hacia el este y menos en el oeste, sugiriendo una relación entre tamaño de partícula y profundidad. En las vecindades de las lagunas costeras del golfo son evidentes las largas extensiones de lodos arenosos en aguas someras, que indican un aporte importante de sedimentos lagunares hacia la plataforma continental. La distribución de los diferentes tipos de sedimentos que se presentan tiene una tendencia general de formar franjas paralelas a la línea de costa que se interrumpen o presentan parches por las condiciones locales en el aporte, origen y composición (**figura 8**).

La fracción gruesa de los sedimentos del fondo se caracteriza por la presencia de cuarzo, feldespatos, fragmentos de roca, micas, restos de material vegetal o leñoso y minerales accesorios (ilmenita, magnetita, zircón y olivino, entre otros). Mientras que el cuarzo y los restos biogénicos son los constituyentes más abundantes de la fracción arenosa y guardan una relación inversamente proporcional con el fondo: mientras que el cuarzo incrementa entre 70 - 90 m, el contenido de biógenos lo hace con la profundidad (Morales, 1990).

Los principales componentes microfaunísticos son foraminíferos, micromoluscos, fragmentos de conchas, así como ostrácodos y briozoarios en menor cantidad. Encontrando la isolínea de más de 20% de carbonatos a más de 150 m de profundidad (Morales, 1990) (**figura 8**). Pero también se refleja la alta productividad biológica a través de la distribución de organismos silíceos como los radiolarios (Molina y Martínez, 1994).

Dentro de los sedimentos superficiales de la plataforma, en algunos casos es posible observar la sustitución parcial de los organismos calcáreos por elementos fosfatados (Morales, 1990; Carranza, *et al*, 1998). La distribución de pentóxido de fosfato en el Golfo de Tehuantepec presenta un aumento gradual desde la región costera hacia mar abierto. A profundi-

dades de 200 m existen dos áreas con concentraciones altas que aparentan ser bancos de fosforita y se conocen como Banco Oaxaqueño (con hasta 5% de P_2O_5) y Banco Chiapaneco (hasta 7% de P_2O_5). Las concentraciones de fósforo en sedimentos superficiales han sido las más altas registradas en todo el golfo. La formación de fosforitas se ha explicado porque en la zona existe una elevada productividad generada por las surgencias, zona de oxígeno mínimo bajo condiciones reductoras y abundante materia orgánica (con valores de 0.5% cerca de la costa hasta 5% entre los 150 - 200 m de profundidad) (Carranza, *et al*, 1998).

TASA DE SEDIMENTACIÓN

En un núcleo recientemente colectado al oeste del golfo (ME 0005A - 3JC (de 1404 cm de longitud, a una profundidad de 740 m): lat. 15° 39'.04 N; long. 95° 16'.83 W), los valores de $d^{18}O$ indican sedimentos Holocénicos hasta los 800 cm con la deglaciación (~10 500 a 11 500 años) entre los 800 y 900 cm ; dando una tasa de sedimentación de ~0.762 mm/año en ese punto (Thunell, 2001, *comunicación personal*).

El núcleo con el que se trabajó en este estudio proviene de una zona más somera y cercana a la costa, por lo que se esperaría que la tasa de sedimentación fuera más alta. De acuerdo a los análisis con ^{210}Pb (plomo 210), obtenidos del núcleo 10T, la tasa de sedimentación para la zona central del golfo es de 0.51 ± 0.06 mm/año (como promedio). Quedando representados en la columna de sedimento de este trabajo sólo aproximadamente los últimos 3 630 años dentro del Cuaternario Tardío. Esta tasa no coincide con lo expresado anteriormente, y sólo se podría decir con exactitud la edad que abarca este núcleo una vez que se obtengan dataciones radiométricas.

HIDROGRAFÍA

La región de Tehuantepec posee numerosas bahías, lagunas marginales y ríos que desembocan a lo largo de la costa del golfo (Secretaría de Marina, 1978). Esto influye en la depositación de material terrígeno sobre todo para la plataforma continental.

Entre las lagunas presentes dentro del área están (figura 9):

- **La Laguna Superior e Inferior.**- Conectadas entre si por paso estrecho, y sólo la L. Inferior se comunica al Océano Pacífico a través de la Barra de San Francisco.
- **La Laguna del Mar Muerto.**- Abarcando ésta última la máxima extensión de 700 km². Dentro del límite oeste entre Oaxaca y Chiapas se forman abundantes corrientes que provienen de la Sierra Oaxaqueña y hacen contacto con el mar por medio de la Barra de Tonalá (que posee una entrada estrecha de 1 600 m de ancho y 3.6 m de profundidad).

Las principales lagunas marginales son (figura 9):

- **Laguna de La Joya y Laguna Buenavista.**- Situadas cerca de Puerto Arista y el poblado de Buenavista, Chis., pero no están conectadas al mar, sino que se alimentan de los ríos que descargan en ellas.
- Hacia el SE la **Laguna de Tembladeras.**- Comunicada

por una boca hacia el continente y por una serie de cordones interrumpidos que dan origen a las barras de Zacapulco y San Juan, donde se localizan también los ríos Novillero, Madre Vieja, Cintalapa y Huixtla, que vienen de las serranías de Chiapas. En la zona cercana al límite México - Guatemala, se localizan otras tres barras: **San José, San Simón y Cahuacán**

Los principales y más caudalosos ríos de la zona son (figura 9):

- **Río Tehuantepec.**- Considerado uno de los más importantes y que poseen mayor descarga de sedimentos hacia las lagunas de Tehuantepec. Desemboca al oriente de Salina Cruz, en la Bahía de la Ventosa. El total de la cuenca de captación mide 10 520 km² y vierte al mar 1 439 millones de m³ al año.
- **Río de los Perros o Juchitán.**- Al pasar por la orilla de la ciudad de Juchitán se dirige hacia el SE hasta llegar a la Laguna Superior. La cuenca mide 1 010 km² y escurre 89

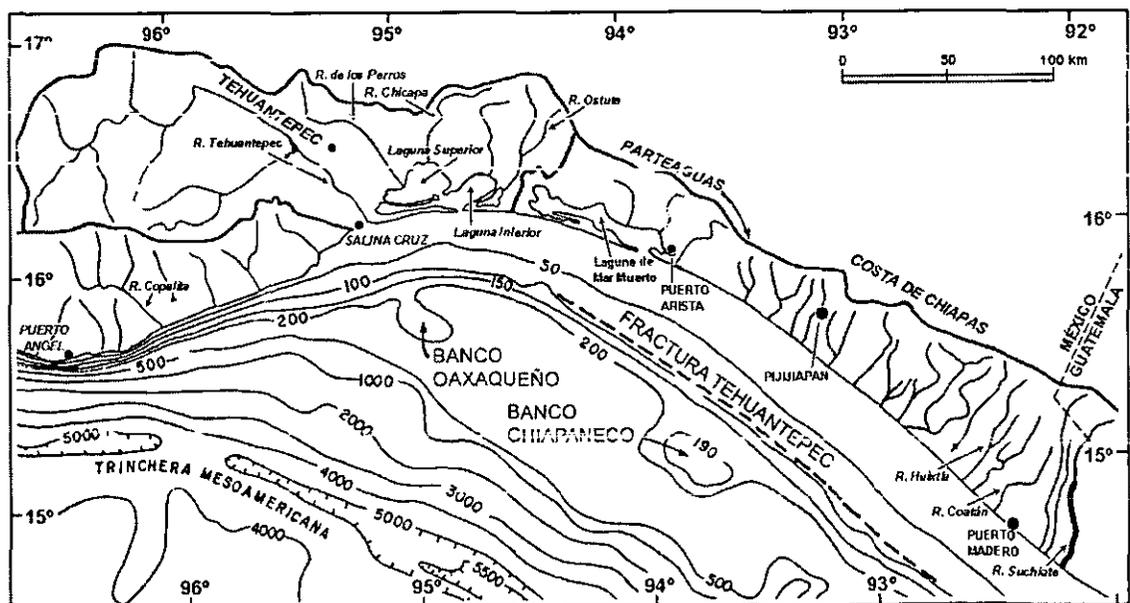


Figura 9. Morfología costera y marina del Golfo de Tehuantepec (modificado de Carranza, *et al*, 1998). Batimetría expresada en metros. Ríos (de oeste a este): Copalita, Tehuantepec, de los Perros, Chicapa, Ostuta, Huixtla, Coatlán y Suchiate. Lagunas Costeras (de este a oeste): Superior, Inferior, de Mar Muerto.

millones de m³.

- **Río Espíritu Santo o Chicapa.**- Con su desembocadura al N de la Laguna Superior.
- **Río Ostuta.**- Vierte su descarga en la ciénega o marisma Laguna Oriental, conectada con la Laguna inferior. Su cuenca de captación mide 10 200 km² y vierte 1 490 millones de m³.
- **Río Huehuetán.**- Que nace casi en los límites con Guatemala, se dirige hacia el pueblo de Huehuetlán. La extensión de la cuenca es de 760 km² y vierte al mar 1 716 millones de m³.
- **Río Coatán.**- Pasa al oeste de Tapachula, abarcando su cuenca de captación 1 080 km² en México y 360 km² en Guatemala. Posee un volumen de descarga de 2 874 m³.
- **Río Cahuacán.**- Su cuenca de captación ocupa 265 km² dentro de México, pasa al este de Tapachula y desemboca en la barra de Cahuacán. Su escurrimiento es de 696 millones de m³.
- **Río Suchiate.**- En sus últimos 85 km es parte del límite internacional entre México y Guatemala. Desemboca en la Barra del Suchiate. Con una cuenca de 1 200 km², de los cuales 450 km² corresponden al territorio mexicano. Su escurrimiento anual es de 3 040 millones de m³ (el correspondiente a México es de 1 160 millones de m³).

CLIMA Y METEOROLOGÍA

Según la clasificación de García (1981), la región es de tipo Av ó w: cálido tropical con dos principales periodos de lluvias, separados por un largo periodo seco a mitad de la estación fría y otro periodo seco corto a mitad de la estación lluviosa (canícula). El clima predominante es cálido húmedo, afectado en el verano por alteraciones atmosféricas tropicales responsables de abundantes lluvias; siendo mayores en el mes de junio y hacia finales de otoño, variando desde 800 hasta 1 600 mm. La precipitación invernal de ~ 99 mm, oscila entre el 5 y 10% de la precipitación anual total. La temperatura media anual varía muy poco durante el año. La temperatura máxima promedio anual es de 32.2° C en julio, la mínima es de 22.4° C en diciembre, con una temperatura media anual de 27° C.

Durante los meses fríos azotan fuertes vientos del norte, ocasionados por las masas de aire continental polar que invaden el Golfo de México. Los vientos después cruzan el Istmo de Tehuantepec y afectan la dinámica del área de estudio. Estos vientos conocidos como *Tehuantepecanos* o *Tebuanos*, que en ocasiones son incluso más fuertes que los *Nortes* del Golfo de México, inducen la formación de una zona de surgencia que domina la circulación y las características termohalinas del golfo durante el invierno (McCreary, *et al*, 1989; Lavin, *et al*, 1992; Monreal y Salas, 1998).

El Golfo de Tehuantepec es influenciado además por las tormentas o ciclones tropicales que comienzan en Salina Cruz, Oaxaca durante los meses de mayo a octubre; la oscilación *cua-si* bianual del Pacífico; y a periodos mayores por «El Niño» Oscilación del Sur (ENSO), que al provocar un desplazamiento más al sur de los centros de alta presión, hacen que se debilite la surgencia del golfo (Monreal y Salas, 1998).

OCEANOGRAFÍA FÍSICA

A. TEMPERATURA, SALINIDAD Y DENSIDAD

La estructura térmica del Pacífico Tropical Este (en De la Lanza, 1991) se caracteriza por una capa de mezcla con temperatura casi constante, una termoclina con un cambio fuerte y una capa subsuperficial que disminuye térmicamente a intervalos mucho menores. La variación anual de la temperatura superficial fluctúa entre 26 - 28° C. La intrusión de Agua Superficial Subtropical propicia cambios anuales de aproximadamente 5° C. Las aguas cálidas del Pacífico tropical están sujetas a un calentamiento superficial que tiende a reducir la densidad, no obstante la excesiva evaporación que tiene lugar en el subtrópico, incrementa la densidad del agua superficial, promueve la convección y consecuentemente un proceso de mezcla constante con una extensión vertical de la capa de mezcla de 20 - 50 m. En el área del Pacífico es notable el aumento de temperatura hacia el sur y la diferencia de salinidad con la latitud, que se originan por la presencia de las corrientes oceánicas.

La relación T - S (temperatura - salinidad) entre los 150 - 600 m es casi lineal debido a la mezcla gradual de Agua Inter-

media del Pacífico (de baja salinidad) con el Agua Subsuperficial Ecuatorial. Como las zonas costeras tienen muy poca profundidad, la estructura termohalina se ve afectada por procesos particulares como pueden ser los vientos locales, descargas de ríos, lluvias y evaporación (Carranza, *et al*, 1975; García, 1981; Lugo, 1986; Barton, *et al*, 1993).

Particularmente, el Golfo de Tehuantepec se caracteriza por una distribución heterogénea de la temperatura superficial debida al efecto del viento. En invierno las temperaturas superficiales del mar son bajas (hasta 17° C) donde las velocidades del viento son altas y también en las regiones inmediatamente adyacentes, que indica una difusión de agua fría hacia las áreas vecinas. Durante el verano los vientos son generalmente débiles y soplan en una dirección oriental; las temperaturas varían entre los 28 y 30° C. En esta época también es obvio el decremento de la temperatura de la costa hacia mar adentro y con la profundidad. La distribución vertical de la salinidad exhibe un máximo de 38 y un mínimo de 27.2 para la región costera (Gallegos y Barberán, 1998; Vázquez, *et al*, 1998).

B. CIRCULACIÓN Y CORRIENTES

En términos generales, las costas de Pacífico Mexicano están dominadas en la parte oriental y ecuatorial por los movimientos giratorios de dos grandes corrientes: la Corriente

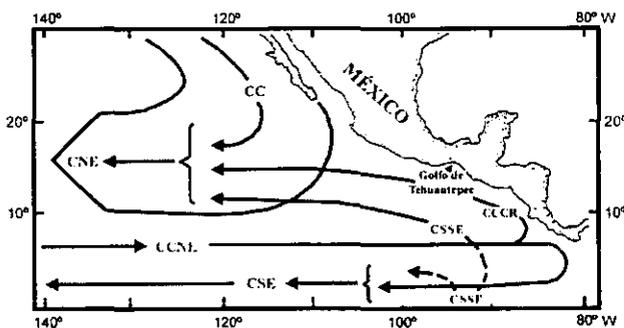


Figura 10. Sistema Oceánico del Pacífico Tropical Mexicano (modificado de Molina y Martínez, 1994). CC-Corriente de California. CNE-Corriente Norecuatorial. CCNE-Contracorriente Norecuatorial. CCCR-Corriente Costera de Costa Rica. CSSE-Corriente Subsuperficial Ecuatorial.

Norecuatorial (CNE) y la Contracorriente Norecuatorial (CCNE). Ambas pertenecen a la gran circulación local del Pacífico Norte, que es estacional y afecta solo las capas superficiales del océano (Wyrtky, 1967). Pero además de éstas, la circulación oceánica superficial del Pacífico Tropical Este se mantiene por la Corriente de California (CC), la Corriente Costera de Costa Rica (CCCR), la Corriente Surecuatorial (CSE), la Corriente Subsuperficial Ecuatorial (CSSE) y la Corriente de Perú (CP) (Transviña y Barton, 1997). Para las costas del sur de México las direcciones de desplazamiento están comprendidas en el invierno entre el SE y E - SE, cambiando al NO y O - NO en los meses restantes (figuras 1 y 10).

De acuerdo al patrón de circulación oceánica, el Golfo de Tehuantepec se encuentra al sur de la Corriente de California, al norte de la corriente Surecuatorial, y bajo la influencia de la región de Convergencia Intertropical (Badan, 1997; Transviña y Barton, 1997).

En periodos largos, la ubicación geográfica del sistema de corrientes que llegan al golfo puede cambiar notablemente en escalas interanuales (por ejemplo con el paso de "Niños"), pero en la escala estacional en la que se registran los cambios más notables, se distinguen 3 épocas del año (Badan, 1997):

- **De agosto a diciembre:** La más duradera y estable; la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) se encuentra a los 10° N; la Contracorriente Norecuatorial (CCNE) está más desarrollada, fluye al sur alrededor del domo del Costa Rica y alimenta la Corriente Costera de Costa Rica (CCCR); La CCCR fluye hacia Tehuantepec y hasta la boca del Golfo de California.
- **En enero:** la ZCIT se desplaza al sur; la CCNE se debilita y la Corriente de California (CC) se intensifica.
- **Febrero a Abril:** La ZCIT está cercana a los 3° N; la CCNE está ausente; la CCCR debilitada; el flujo al norte del Golfo de Tehuantepec es hacia el SE y aparece como extensión de la CC.
- **Mayo a Julio:** ZCIT regresa a su posición boreal y reaparece la CCNE. La CC está bien desarrollada y se debilita de julio a agosto.

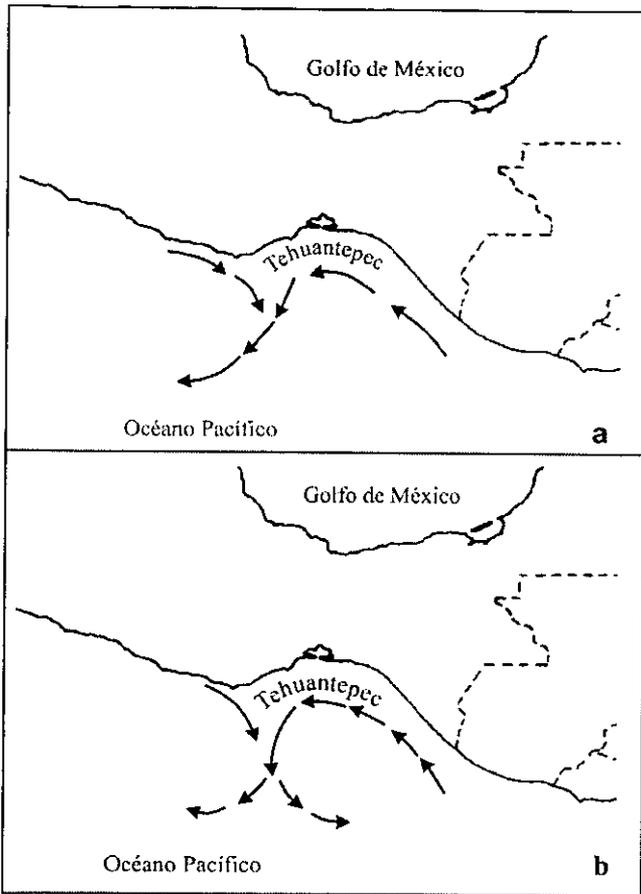


Figura 11. Patrones de circulación superficial de la época invernal (imagen tomada de Monreal, *et al*, 1999). a) CNE y CCCR desviándose hacia el SE; b) formación del dipolo.

Durante la temporada invernal o de *secas* en Tehuantepec, se tienen dos patrones de circulación superficial muy similares entre sí: a principios de temporada las dos corrientes que circulan paralelas a la costa y que convergen frente a Salina Cruz (agua de la CNE y la CCCR), siguen una trayectoria hacia el sur con deflecciones hacia el suroeste (**figura 11, secc. a**). Al final del tiempo de *nortes* la CCCR se hace mayor a la corriente que se dirige al sureste y después de la convergencia se forma un dipolo (**figura 11, secc. b**) (Monrea, *et al*, 1999).

Así, se distinguen tres regímenes hidrográficos en Golfo de Tehuantepec (Lavin, *et al*, 1992):

- El giro anticiclónico en el oeste del golfo.
- Régimen central que está afectado directamente por los nortes y es donde ocurren las surgencias.
- Régimen del este que es menos afectado por los nortes y es una región que presenta una superficie termohalina característica de las aguas del Pacífico oriental, menos salina y más cálida.

C. MASAS DE AGUA

Las masas de agua dentro del Golfo de Tehuantepec son (Wrytki, 1967; en De la Lanza, 1991; Monreal y Salas, 1998) (**figura 12**):

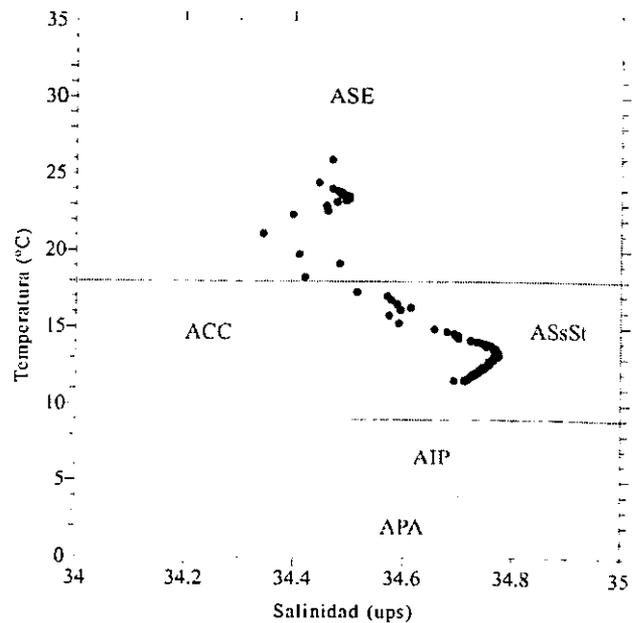


Figura 12. Diagrama T-S de la estación 10 T. ASE-Agua Superficial Ecuatorial (Agua Tropical Superficial). ACC-Agua de la Corriente de California. ASsSt-Agua Subtropical Superficial. AIP-Agua Intermédia del Pacífico. APA-Agua Profunda del Antártico (Agua Común del Pacífico).

- *Agua Tropical Superficial*. - Localizada en la capa superficial y caracterizada por alta temperatura ($T > 25^{\circ} \text{C}$) y baja salinidad (< 34 hasta 34.5) que se deben a la gran cantidad de agua de lluvia, debida en general al exceso de precipitación sobre la evaporación que existe en el área de su formación.
- *Agua Subtropical Superficial*. - Esta al igual que la pasada, se introduce en el Golfo de Tehuantepec principalmente en verano y otoño, a través de la CCCR. Es una masa de agua con una temperatura que varía entre 15 y 28°C , siendo generalmente agua cálida; y con valores de salinidad que llegan a $35 - 36$.
- *Agua de la Corriente Norecuatorial* (mencionada en Wyrski, 1967, como *Agua de la Corriente de California*). - Durante el invierno y la primavera, agua de la CNE, con baja salinidad (< 34) y baja temperatura (12 a 18°C), ingresa en la porción más occidental del Golfo de Tehuantepec. Cerca de la cabeza del golfo, en la superficie, entran aguas frías y salinas que han sido acarreadas a la superficie por el efecto de la surgencia (proceso en el que intervienen el Agua Tropical y Subtropical). Cuando el agua de la CNE se encuentra con el agua de las surgencias, se forma un frente oceánico. Los nortes inducen la formación de frentes oceánicos en la parte SO del golfo, y la formación de surgencias al SE. Esta dinámica mantiene una alta productividad biológica que se refleja en los sedimentos.
- *Agua Intermedia del Pacífico*. - Es un agua pobre en O_2 que se encuentra a mayores profundidades (~ 800 m), con salinidad de alrededor de 34.5 y temperatura de aproximadamente 5°C .
- *Agua Común del Pacífico*. - Se encuentra desde los $2\ 000$ m hasta el fondo. Con salinidad entre los $34.6 - 34.7$ y temperatura entre 1 y 2°C .
- Las masas de *Agua Profunda* ($> 3\ 000$ m) se encuentran normalmente fuera de la región mexicana, pero penetran en las zonas más profundas por flujo horizontal y mezcla a gran escala.

D. SURGENCIA DEL GOLFO DE TEHUANTEPEC

Un rasgo esencial del Golfo de Tehuantepec es que durante el invierno y principios de primavera (de octubre a abril) se ve influenciado por la presencia de los *nortes* (vientos intensos procedentes del N) que llegan perpendiculares a la costa. Estos vientos pasan primero sobre el Golfo de México, cruzan el Istmo de Tehuantepec y más tarde afectan la dinámica del golfo provocando procesos locales de surgencia (Barton, *et al*, 1993; Lavin, *et al*, 1992; Transviña y Barton, 1997; Gallegos y Barberán, 1998).

La intensidad cíclica se genera cuando la presión atmosférica aumenta sobre el Golfo de México, como un resultado de ondas frías provenientes del norte del continente. Al mismo tiempo, la presión sobre el Pacífico se mantiene baja (figura 13). Las montañas de la Sierra Madre típicamente se encuentran a $1\ 500$ msnm, separando la fría y alta presión del Atlántico. En el Istmo de Tehuantepec, el Paso Chivela (también llamado *la Ventosa*) de aproximadamente 40 km de ancho y altura promedio de 200 msnm, es la región que permite que el frío y seco aire del norte escape hacia el Pacífico como un fuerte viento que corre directamente hacia el mar (Barton, *et al*, 1993) (figura 3). Y es cuando los *tehuanos* adquieren una velocidad frecuente de $20 - 30$ m/s (con promedio de 10 m/s en la cabeza del golfo y máximos medidos de hasta 50 m/s (Transviña y Barton, 1997; Gallegos y Barberán, 1998).

La duración de los vientos *nortes* que originan a los *tehuanos* es de 3 a 5 días, a intervalos de 10 y 15 días, con un tiempo de respuesta de la surgencia de 36 horas, siendo más inmediata en la parte central (Barton, *et al*, 1993). Su área de influencia es de 200 km de ancho y 500 km hacia mar abierto. Conforme pasa, las velocidades máximas disminuyen rápidamente hacia el oriente y occidente, pero más rápidamente hacia el sur, induciendo un movimiento de agua superficial hacia el océano y ocasionando un afloramiento del agua subsuperficial (con velocidades de ascenso de 10 m/día), provocando un aumento en salinidad y disminución de la temperatura superficial del agua.

La temperatura promedio anual de la superficie del Golfo de Tehuantepec es de 25 a 30°C durante todo el año, en condi-

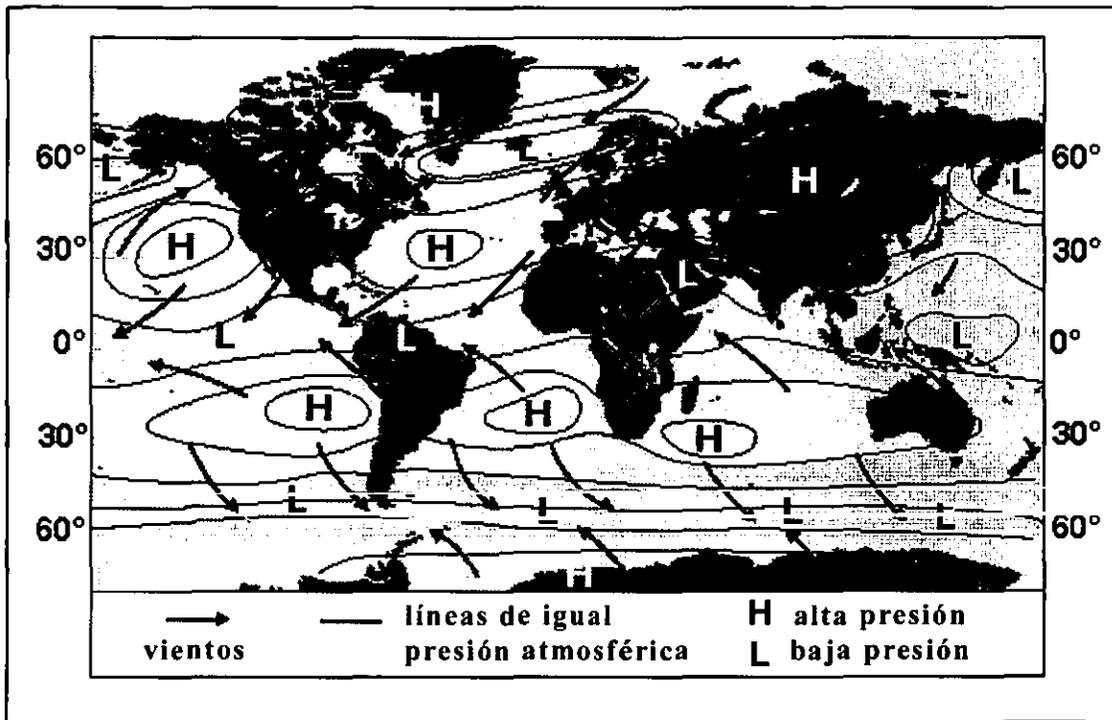


Figura 13. Celdas de presión que afectan la circulación atmosférica sobre el Pacífico durante invierno.

ciones normales. La termoclina que presenta es somera, con profundidad promedio de 50 m, siendo un poco menos profunda en invierno (30 m) que en verano (70 m). Esto quiere decir que durante invierno, el agua más fría (de 22° C) se encuentra normalmente a 40 m de la superficie. De tal manera que cuando aparecen los *tebuanos* el agua superficial arrastrada por el viento se suple necesariamente con agua subsuperficial y agua lateral. El agua subsuperficial que por la fuerza del viento asciende a la superficie, es significativamente más fría y viene de profundidades de hasta 100 m, propiciando temperaturas superficiales de 17° C y altas concentraciones de sales nutrientes (silicatos, fosfatos, nitritos y nitratos) (Gallegos y Barberán, 1998) (figura 14a, b y c).

La distribución del esfuerzo de los vientos sobre el mar causa un transporte de Ekman, que acumula agua en la superficie en el lado oeste del golfo, hundiendo la termoclina hasta 100 - 120 m de profundidad y eventualmente formando giros

anticiclónicos de 200 a 300 km de diámetro. Y como una contraparte en el lado E, un giro ciclónico menos desarrollado. El primero se intensifica por la advección de agua que viene fuera del golfo, mientras que el segundo es virtualmente eliminado por la acción conjunta de la mezcla vertical y la extensa mezcla horizontal (Barton, *et al*, 1993; Monreal, *et al*, 1999). Con un fuerte evento de viento, o una sucesión cercana de acontecimientos, el giro anticiclónico puede ser suficientemente energético para persistir por un largo periodo y migrar fuera del golfo adentro del sistema de la CNE (Barton, *et al*, 1993).

Cuando llega época de lluvias (mayo a octubre), los vientos que soplan en dirección este son débiles y se reestablecen las características normales de circulación. Ocasionalmente se observan vientos intensos durante el paso de huracanes. Pero en general, la proximidad de la ZCIT a la región produce un efecto de estabilización en los movimientos verticales de las aguas, ocasionando baja producción.

AREA DE ESTUDIO

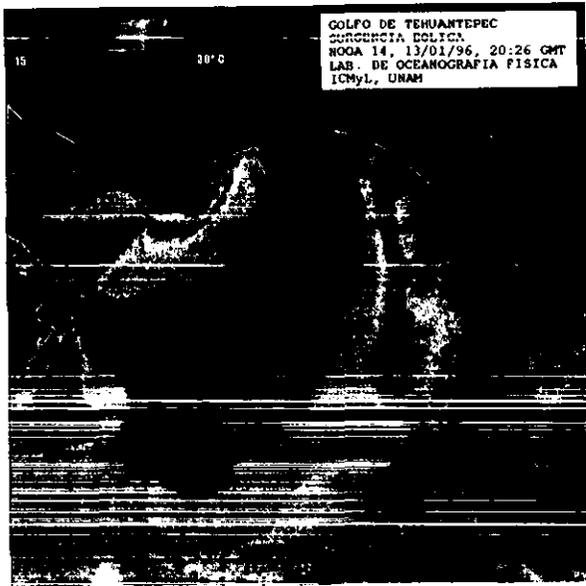


Figura 14a. Surgencia eólica del agua subsuperficial. Del lado occidental el inicio de la formación de un giro anticiclónico, y en el centro del golfo formación de una lengua de agua fría.

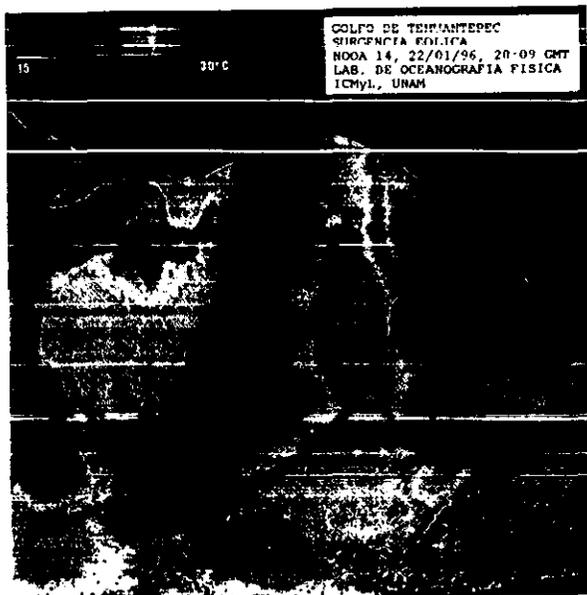


Figura 14b. Surgencia y desarrollo del giro anticiclónico.

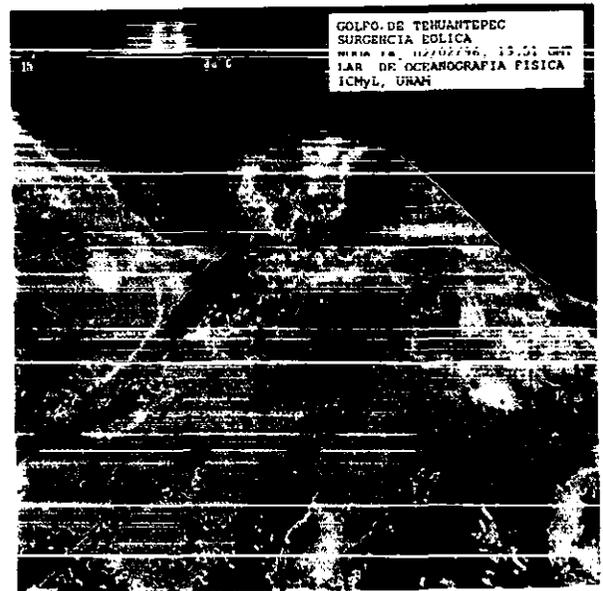


Figura 14c. Fase terminal de la surgencia eólica en el Golfo de Tehuantepec. Desplazamiento evidente hacia el oeste del remolino generado un par de semanas antes. Remanentes del agua superficial fría.

DISTRIBUCIÓN DEL OXÍGENO

El O₂ disuelto en el Golfo de Tehuantepec juega un importante papel dentro de la columna de agua, y los procesos físicos y biológicos tienen gran influencia sobre éste gas.

Los valores de O₂ disuelto en la superficie son mayores al porcentaje de saturación (4 – 5 ml/L), hecho que es motivado por la actividad biológica del golfo. Éstos valores decaen rápidamente con la profundidad, alcanzando concentraciones de 0.5 ml/L o menores en los 75 – 100 m en la base de la capa de mezcla, lo que significa que la capa límite de la zona de oxígeno mínimo (ZOM) se encuentra ~75 y 100 m en aguas que intersectan la plataforma continental. Las concentraciones de O₂ en las aguas sobre la plataforma externa y el talud (de 200 hasta ~800 m) se encuentran dentro del rango de 0.0 a 0.5 ml/L que generalmente van incrementando hacia el continente (Cline y Richards, 1972). Las isolíneas de oxígeno son paralelas a la costa, salvo en las áreas de los bancos donde las líneas se desvían y aumentan los valores (probablemente debido a la somera profundidad (~200m) y a los cambios en la circulación de agua, causados por la geomorfología de los bancos) (Pérez, 1989; Pérez y Machain, 1990) (figura 15).

Durante la época en que se desarrollan los tehuanos, la distribución horizontal del O₂ (a 5 m de profundidad) muestra un desplazamiento de aguas pobres en oxígeno hacia la zona de mar abierto y altas concentraciones en la parte occidental y oriental del golfo, fenómeno característico de la surgencia que se provoca por el desplazamiento de los vientos. Y en sección vertical, existe una baja concentración de oxígeno disuelto hacia la zona costera (Vázquez, *et al*, 1998).

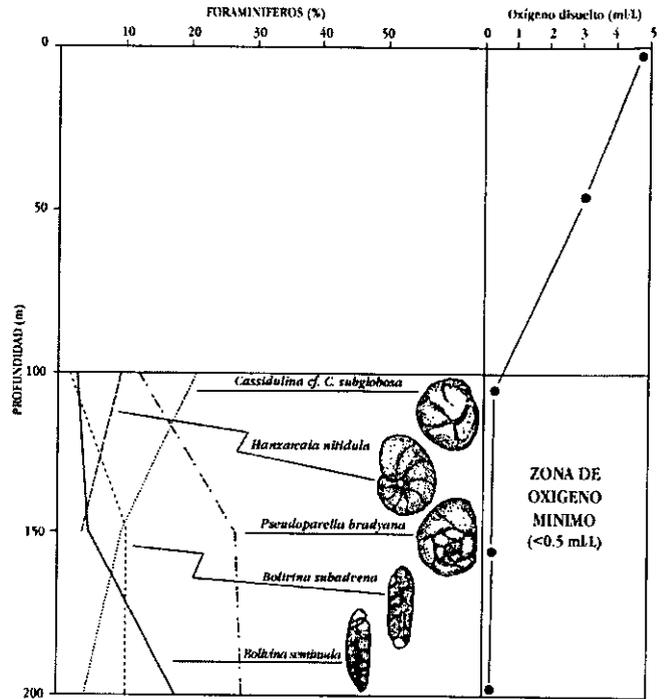


Figura 15. Características de la Zona de Oxígeno Mínimo en los primeros 200 m sobre la plataforma continental (imagen cortesía de Ligia Pérez) Valores de oxígeno disuelto conforme a la profundidad (ml/L); las especies señaladas son las típicas de una ZOM.

TRABAJO DE CAMPO

Durante la campaña oceanográfica «PACMEX I - Golfo de Tehuantepec», realizada en Mayo - Junio de 1999 a bordo del B/O «El Puma» de la UNAM, se colectó el núcleo de sedimento elegido para este trabajo con un nucleador de gravedad.

La ubicación geográfica de la estación 10T (latitud 15° 27.22 N; longitud 94° 22.86 W) fue estimada utilizando un localizador GPS y la profundidad respectiva de 240 m, con una ecosonda (figura 16).

En la cubierta del barco, el núcleo de 188 cm de longitud y aproximadamente 10 cm de diámetro, fue cortado longitudinalmente y separado en dos mitades. Una de las cuales fue conservada completa como testigo y la otra, muestreada transversalmente cada 5 centímetros. Después de obtener un total de 38 muestras, los trozos de sedimento de ~1 cm de grosor, fueron guardados en frascos de vidrio debidamente etiquetados para su transporte al laboratorio.

TRABAJO DE LABORATORIO

Fue realizado en su totalidad dentro del Laboratorio de Micropaleontología y Ecología de Foraminíferos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

A. TAMAÑO DE SEDIMENTO

Con la finalidad de reconocer eventos o tendencias distintas en el depósito de los sedimentos y como criterio adicional para obtener información del medio de depósito, se determinó la proporción de componentes finos (<62 µm, tamaño de los lodos) y gruesos (>62 µm, tamaño arenas) dentro de las muestras de sedimento.

Para saber cual es el porcentaje de arenas se lavaron con agua corriente los sedimentos de cada muestra en un ta-

miz de abertura de malla de 0.0625 mm. Para conocer la parte de la muestra que corresponde a la fracción fina, fue importante tomar los pesos de sedimento seco antes y después de lavar, ya que al separar la fracción gruesa los lodos se pierden. Con la diferencia en peso (expresada en gramos) antes y después del lavado, se obtienen los porcentajes que ocupan las dos fracciones y finalmente se construyen las curvas de proporción lodos/arenas a lo largo del núcleo.

B. ESTUDIO MICROPALAEONTOLOGICO

FORAMINIFEROS

La preparación de las muestras de sedimento para el estudio microscópico, consistió en la separación de las testas de los foraminíferos planctónicos de los 38 niveles colectados y de sólo 10 de ellos para obtener los foraminíferos bentónicos..

Este proceso consta de varias etapas: disgregación, lavado y secado, fraccionamiento de la muestra y separación de la fauna (modificado de Boltovskoy, 1965).

1. DISGREGACIÓN DEL SEDIMENTO

El material colectado se depositó primero en cápsulas de porcelana y se dejó secar al aire libre para obtener el peso seco de la muestra antes de lavar. Como en este caso la roca se desmenuzaba fácilmente, fue suficiente con poner el material en agua para que se disgregara completamente.

2. LAVADO Y SECADO

El objeto del lavado es eliminar todas las partículas pequeñas, que por su tamaño (62 µm) no pueden ser caparzones de foraminíferos y separar a éstos de la matriz sedimentaria que los contiene para poder analizarlos.

La finalidad de la separación en fracciones es hacer más fácil el subsecuente trabajo con el material bajo el microscopio.

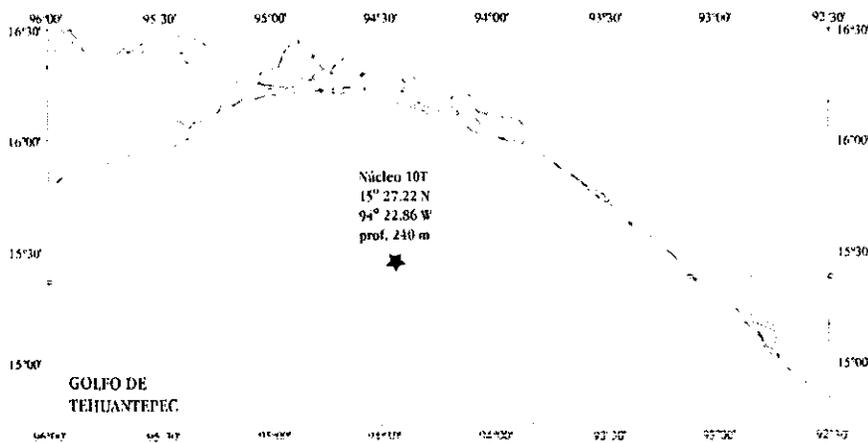


Figura 16. Posición geográfica de la estación donde se colectó el núcleo estudiado.

Es mucho más cómodo tener en el campo del microscopio partículas de tamaño similar, que de tamaños dispares.

El lavado se realizó sobre tamices metálicos especiales, con aberturas de malla de 0.063 mm (número 250 "Tyler Screen System").

El proceso de lavado se hizo de la siguiente manera. Se tomó el tamiz y se le vació la muestra previamente remojada. Luego se lavó con un chorro de agua en forma de lluvia. Sin embargo, aún con una limpieza muy cuidadosa suelen quedarse algunos caparazones trabados en la malla. Para evitar un posible error por contaminación entre muestras se llevó a cabo el siguiente procedimiento. Después de la limpieza y antes de tamizar una nueva muestra, se coloca el tamiz por unos momentos en una solución de azul de metileno. Todos los restos de carbonato de calcio se teñirán de azul, y por esto son fácilmente distinguibles de los demás o de los posteriores.

La muestra lavada se colocó en una cápsula de porcelana y se secó al aire libre, ya que varios foraminíferos delicados de paredes muy finas no soportan el proceso de desecamiento forzado. Y se obtuvo el peso seco del sedimento ya lavado. Con el objetivo de aislar a los foraminíferos planctónicos juveniles que son extremadamente difíciles de determinar, se realizó una segunda tamización (0.0149 mm) con la muestra ya lavada y seca para su análisis.

3. FRACCIONAMIENTO

Cuando se estudia la fauna de foraminíferos, siempre se procura la determinación cuantitativa. En éste estudio se utilizaron poblaciones de alrededor de 300 - 500 organismos, ya que de acuerdo con los trabajos de Phleguer & Parker (1951), Boltovskoy (1965), Douglas (1979) y Vincent & Berger (1981), la población representativa de microfósiles marinos es de ~300 organismos. Ellos analizaron que en una muestra, la diversidad prácticamente se mantiene constante después de éste valor y por tanto,

se puede decir que en una población de éste tamaño se tienen representadas a todas las especies (es entonces cuando se dice que es *estadísticamente representativa*).

En los casos en que la muestra que quedaba después del lavado no contenía el número suficiente de organismos, se tomaba el total de foraminíferos presentes. Cuando las muestras tienen un residuo mucho mayor al requerido, es demasiado difícil hacer un recuento de toda la cantidad de caparazones, por eso resulta muy útil un aparato cuarteador que separa la muestra exactamente en dos o más partes. Para el presente trabajo se ocupó un cuarteador o fraccionador de Otto.

Este método es especialmente aplicable si disponemos de una gran cantidad de ejemplares, ya que para el análisis estadístico necesitamos estandarizar y comparar los datos obtenidos en peso y volumen de las muestras, que tienen que ser similares en todos los casos.

4. SEPARACIÓN DE LA FAUNA

Al tener el material dividido por fracciones se iban entresacando los foraminíferos con un pincel muy fino, empleando diferentes aumentos (desde 1x hasta 6.3x) en el microscopio estereoscópico.

Las testas o caparazones separados se colocaron en un porta-foraminíferos, que es un rectángulo de cartón de 75 x 25

cm con un espesor de 2 - 3 mm, sobre el cuál se habrá pegado previamente un papel blanco. En el centro, con un sacabocados, se le hace un orificio de 10 - 15 mm, que tiene el fondo negro de una cartulina negra. Sobre esta placa se coloca un portaobjetos cuya finalidad es proteger a los foraminíferos del polvo, evitar que se dispersen fuera la placa (porque van adheridos con una delgada película de goma de tragacanto a la cartulina negra) y facilitar su observación. Finalmente se sostiene al portaobjetos y al cartón con una vaina de aluminio.

Después de preparar las placas micropaleontológicas se efectuó la determinación taxonómica de los foraminíferos planctónicos y bentónicos con ayuda de la bibliografía especializada.

RADIOLARIOS

El procesamiento de los radiolarios requiere una metodología diferente a la de los foraminíferos y se describe a continuación (de acuerdo con Molina-Cruz, 1977):

Se tomaron entre 1 y 1.5 g de muestra seca de 10 niveles (cuyo criterio de elección se explicará posteriormente). El sedimento se vació dentro de un vaso de precipitados que contenía agua y detergente Calgon (tetrahexametáfosfato) con el objeto de disgregar la muestra y dejando actuar por 24 horas. Posteriormente se escurrió y enjuagó el sedimento sobre un tamiz de 62 mm. Se colocó la muestra en un vaso de precipitados con 50 ml de agua, 25 ml de ácido clorhídrico (HCl) para disolver los carbonatos, y 25 ml de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) para deshacer la materia orgánica. La reacción química se aceleró con una temperatura de $400^\circ C$ y se esperó por espacio de 1 hora hasta que se completara, agitando ocasionalmente el contenido del vaso de precipitados. Al terminar la reacción se vació al tamiz y se lavo con agua corriente.

A continuación se preparó el medio de sedimentación en un vaso de precipitados con 500 ml de agua y se marcaron dos portaobjetos con los datos de cada nivel. Los portaobjetos fueron montados en un anillo de teflón y sumergidos en el medio acuoso.

Se homogeneizó la muestra y se vació por decantación en el medio de sedimentación. El agua se revolvió tres veces con ayuda de un agitador plano y se dejó reposar media hora.

Se le extrajo el agua al vaso con una manguera y los dos portaobjetos se pusieron a secar sobre una plancha a $100^\circ C$. El montaje final se hizo con bálsamo de Canadá, teniendo cuidado de no dejar burbujas de aire al colocar el cubreobjetos sobre la muestra preparada. Los portaobjetos se dejaron secar por un periodo entre 5 y 8 días antes de observarlos con el microscopio óptico a un aumento preferente de 40X.

La cuantificación de los radiolarios se llevó a cabo revisando cada portaobjetos contando al menos 300 especímenes, que representan estadísticamente la población (Phleguer & Parker, 1951; Boltovskoy, 1965; Douglas, 1979; Vincent & Berger, 1981). Posteriormente para estandarizar las muestras, se calculó el número de radiolarios por preparación, y sabiendo el peso empleado en cada una, se obtuvo la cantidad de organismos por gramo de sedimento seco.

Como únicamente se requerían datos cuantitativos de los radiolarios (número total de radiolarios por gramo de sedimento), no fue necesaria la determinación de especies.

C. PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Al obtener el número total de foraminíferos y radiolarios por muestra se construyeron curvas de abundancia (número de individuos por gramo o miligramo de sedimento seco) para observar el comportamiento de dichos indicadores paleoambientales a lo largo de la columna sedimentaria.

Con el número de organismos por cada especie de foraminíferos, se elaboró una tabla con los datos de abundancia absoluta. Para tener una matriz expresada en los mismos términos se transformaron en porcentaje los valores absolutos, obteniendo así una matriz con datos relativos.

De las 38 muestras iniciales, que representan la profundidad del estrato en la columna sedimentaria (considerando la porción superficial como el nivel 0 y la más profunda como el nivel 185), se descartaron aquellas que no contenían un mínimo de 100 organismos en la fracción completa. Tomándose sólo en cuenta aquellas especies que por lo menos en dos muestras presentaran un porcentaje del 1%, en virtud de que aquellas especies y estratos con valores menores no son estadísticamente representativas.

Las abundancias relativas de foraminíferos planctónicos

fueron usadas para aplicar a los datos un análisis de factores modo Q, utilizando el paquete estadístico STATISTICA '99 edición para Windows, de StatSoft Inc., 1999. La matriz de datos comprendió 16 especies [casos] x 34 muestras [variables].

El análisis de factores es una técnica estadística multivariada que nos permite reducir nuestros datos a un grupo pequeño de factores o componentes. Su objetivo principal radica en determinar si los datos representan el grado de mezcla de las poblaciones presentes. De la aplicación de este método se obtiene los valores del factor (*factor scores*) que permiten identificar a las especies importantes para definir los factores; y las cargas del factor (*factor loadings*), que representan el peso de las muestras sobre los factores definidos. Cuando éste método es utilizado para distribuciones ecológicas, las agrupaciones finales pueden ser concretas formando de esta manera asociaciones de especies características (Klovan & Imbric, 1971; Buzas, 1979).

D. DATACIÓN DEL NÚCLEO 10T CON ²¹⁰Pb

La datación de la columna sedimentaria estudiada fué hecha por el Dr. E. Nava y Dr. Gorsline en la Universidad del Sur

de California (USC), E. U. A., mediante la técnica de *Plomo - 210* (Joshi y Ku, 1979), con el propósito de conocer la tasa de sedimentación del área.

De acuerdo con los resultados obtenidos se encontró:

- 0-1 cm:**
2.3665 g, ²¹⁰Pb 45.2 ± 0.9, ²²⁶Ra 0.9 ± 0.1, Pb_(exceso) 44.3 ± 0.9
- 1-2 cm:**
2.8554 g, ²¹⁰Pb 36.9 ± 0.7, ²²⁶Ra 0.8 ± 0.1, Pb_(exceso) 36.1 ± 0.7
- 2-3 cm:**
2.1332 g, ²¹⁰Pb 18.1 ± 0.9, ²²⁶Ra 1.0 ± 0.1, Pb_(exceso) 17.1 ± 0.9
- 3-4 cm:**
2.3704 g, ²¹⁰Pb 7.6 ± 0.6, ²²⁶Ra 0.8 ± 0.1, Pb_(exceso) 6.8 ± 0.6
- 4-5 cm:**
2.1935 g, ²¹⁰Pb 6.0 ± 0.6, ²²⁶Ra 0.9 ± 0.1, Pb_(exceso) 5.2 ± 0.6
- 5-6 cm:**
1.8124 g, ²¹⁰Pb 2.6 ± 0.5, ²²⁶Ra 1.0 ± 0.1, Pb_(exceso) 1.6 ± 0.5
- 7-8 cm:**
2.2769 g, ²¹⁰Pb 1.7 ± 0.5, ²²⁶Ra 0.8 ± 0.1, Pb_(exceso) 0.9 ± 0.5

Dando una tasa de sedimentación de 0.51 ± 0.06 mm/año. Y asumiendo una tasa constante a lo largo de la columna, la edad correspondiente en la base del núcleo es de ~3 627.5 años.

Descripción Sedimentaria del Núcleo 10T

A. DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA.

Según el sistema de clasificación de Folk (1969), se encuentran dos categorías texturales dentro de la columna estudiada: lodos ($\geq 90\%$ lodo, $\leq 10\%$ arena) y lodos - arenosos ($\leq 50\%$ a 10% de arena).

El análisis visual (**figura 17**) de la distribución de los diferentes tipos de sedimento a lo largo de la columna presenta características muy bien definidas. Además, la proporción de sedimento grueso (tamaño arena) no es constante a lo largo de la columna, ya que posee diferencias claras entre los intervalos (**tabla 1 & gráfica 1**):

- De los 187 a 184 cm (porción inferior de la columna) la composición es lodo - arenosa, con aproximadamente un 80% de sedimento fino ($< 63 \mu\text{m}$), color gris oscuro y sin restos de organismos.
- De los 184 a los 170 cm hay un cambio hacia sedimento lodoso (con menos del 5% de arenas), de tono gris oscuro homogéneo. En los niveles 175 y 170 el color es casi negro provocado por mayor cantidad de arcillas aglutinadas, cenizas, y materia orgánica, con ausencia de carbonatos.
- De 160 a 157 cm es material lodo - arenoso (80% lodo, 20% arena). Posee bandas de color café claro y verde olivo, con fragmentos de conchas, vértebras de peces y pequeñas piedras mezcladas irregularmente con el sedimento.
- Del centímetro 157 al 138, el color cambia a verde olivo y el sedimento es más arenoso (con aproximadamente 20% de arenas). En este intervalo, a los 140 cm se encuentra una banda donde disminuye hasta 69% la proporción de fracción fina y aumenta la cantidad de materia vegetal, fragmentos de roca, espinas y vértebras de peces.
- Nuevamente, otra banda de color café claro de los 138 a los 134 cm, con predominancia de lodos (92%).
- De los 134 a 124 cm hay lodo casi negro debido a la pre-

sencia de arcillas aglutinadas, fosforita y vértebras; donde se hace evidente la carencia de foraminíferos. Este intervalo termina con una pequeña banda de lodo café claro de los 125 a 124 cm.

- Y la sección más extensa del núcleo, de los 124 a los 0 cm (porción más superficial) es donde el sedimento es lodoso (87% de lodo), homogéneo, de color gris oscuro, con foraminíferos visibles y numerosos.

B. CONSTITUYENTES DE LA FRACCIÓN GRUESA

Dentro de los principales constituyentes mineralógicos y orgánicos de la fracción gruesa ($> 63 \mu\text{m}$) revisada se observaron terrígenos como: cuarzos, micas, cenizas volcánicas, fragmentos de roca (Morales de la Garza, comunicación personal), así como arcillas aglutinadas. Dentro de los de origen biogénico tenemos materia vegetal como granos de polen o restos fibrosos de hojas y tallos; además, hay foraminíferos (bentónicos y planctónicos) y radiolarios, restos de moluscos (bivalvos y gasterópodos), espinas y vértebras de peces. En algunas muestras fué notorio el material biogénico (foraminíferos y vértebras) sustituido parcial o totalmente por fosforita.

La proporción de cada uno de los componentes antes mencionados coincide con la descripción visual de la columna sedimentaria (**figura 17**). A partir de los 124 cm, que es donde la columna es más heterogénea, existen en mayor cantidad cenizas, cuarzos, micas, fragmentos de roca y materia orgánica (hasta 98%), así como muestras de reemplazamiento de fosforita en las testas de los foraminíferos, pero muy pocos componentes calcáreos.

El cambio litológico tanto en el aumento en la proporción de arenas (que se hacen mayores al 10%); como en la predominancia de elementos terrígenos; la desaparición de microfósiles planctónicos; la presencia de restos vegetales; y las bandas de sedimento de color café claro (probablemente generadas por acarreo), sugieren que las condiciones de sedi-

mentación se encontraban más relacionadas con el continente. Ya sea esto, por un cambio en las condiciones climático oceanográficas que permitieron un mayor aporte continental (p. ej, mayor aporte de ríos); o por estar la zona de estudio situada a una profundidad menor a la actual.

En los trabajos realizados con sedimentos superficiales dentro de porciones más someras del Golfo de Tehuantepec, (Carranza, *et al*, 1975; Morales, 1990; Carranza, *et al*, 1998) se menciona la presencia de una banda de sedimentos lodo – arenosos en las isóbatas de los 100 a 200 m y en las cercanías de las desembocaduras de algunos ríos del oriente del golfo.

Por otro lado, en la primera sección del núcleo (124 a 0 cm), los foraminíferos están muy bien preservados y existe muy poca materia vegetal, ceniza volcánica y sustitución de carbonatos por fosfatos. Acorde lo anterior con las condiciones actuales que ya se han descrito en el centro del golfo a profundidades mayores a 200 m: aumento de biógenos con la profundidad, disminución de terrígenos y predominancia de lodos (Carranza, *et al*, 1975; Morales, 1990; Carranza, *et al*, 1998).

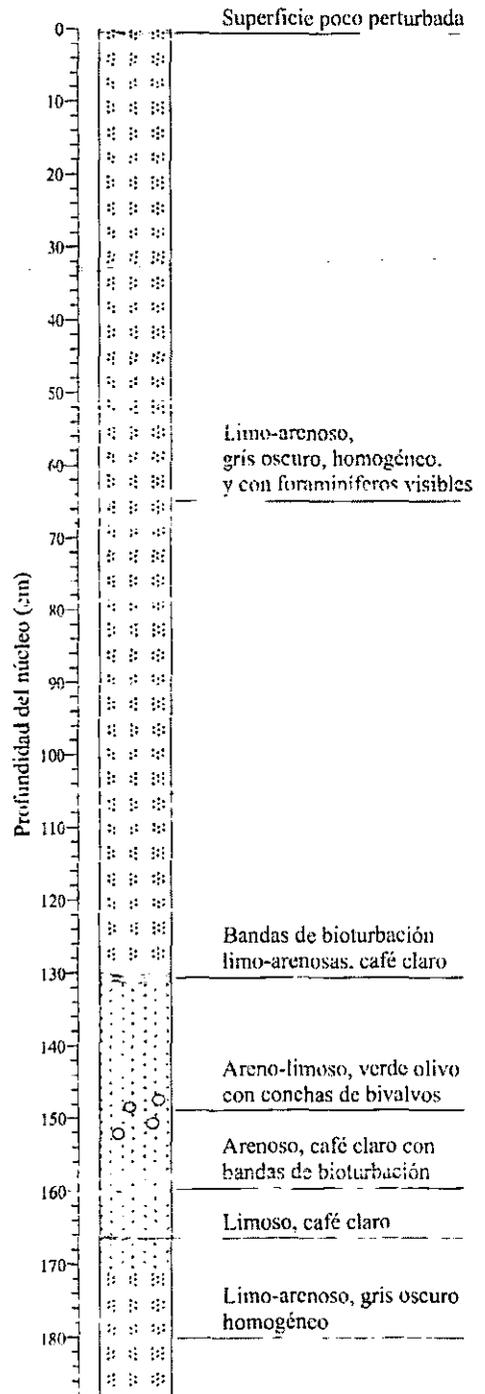
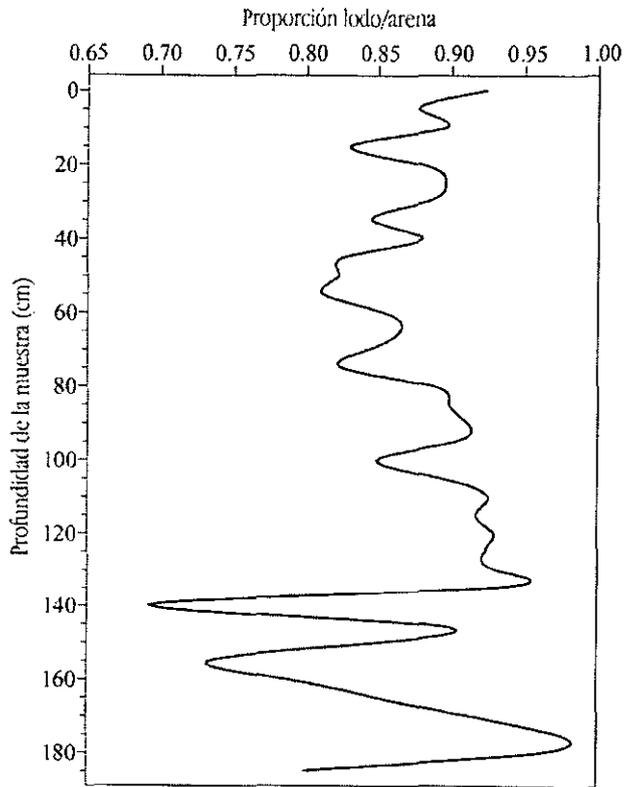


Figura 17. Descripción visual del núcleo 10T. ►

COMPOSICIÓN DEL SEDIMENTO

MUESTRA	FRAC. FINA		FRAC. GRUESA	
	%		%	
0-1	92.42	7.58		
5-6	87.73	12.27		
10-11	89.62	10.38		
15-16	82.97	17.03		
20-21	87.96	12.04		
25-26	89.58	10.42		
30-31	88.38	11.62		
35-36	84.54	15.46		
40-41	87.95	12.05		
45-46	82.54	17.46		
50-51	82.20	17.80		
55-56	81.08	18.92		
60-61	85.37	14.63		
65-66	86.50	13.50		
70-71	84.38	15.62		
75-76	82.41	17.59		
80-81	88.80	11.20		
85-86	89.86	10.14		
90-91	91.08	8.92		
95-96	90.26	9.74		
100-101	84.94	15.06		
105-106	89.26	10.74		
110-111	92.60	7.40		
115-116	91.72	8.28		
120-121	93.01	6.99		
125-126	92.37	7.63		
130-131	93.10	6.90		
135-136	92.43	7.57		
140-141	69.26	30.74		
145-146	88.11	11.89		
150-151	85.05	14.95		
155-156	73.40	26.60		
160-161	78.58	21.42		
165-166	84.90	15.10		
170-171	91.31	8.69		
175-176	97.55	2.45		
180-181	95.83	4.17		
185-186	79.87	20.13		

Tabla 1. Composición del sedimento del núcleo 10T.



Gráfica 1. Proporción de la fracción lodoso respecto a la arenosa.

FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS

A. LISTA DE ESPECIES

Se obtuvieron un total de 21 especies de foraminíferos planctónicos, pertenecientes a 11 géneros. Para la determinación de las diferentes especies se consultó bibliografía especializada y se reconoce que todas son recientes (no extintas) (Kennett y Srinivasan, 1983). A continuación se incluyen la lista y las fotografías de 14 especies (**ver Anexo I**):

Phylum **PROTISTA** (Goldfuss, 1821)
Subphylum **SARCODINA** (Schamarda, 1871)
Clase **RETICULAREA** (Lankester, 1885)
Subclase **GRANULORETICULOSIA** (Saadleer, 1934)
Orden **GLOBIGERINIDA** (Eichwald, 1830)

- *Candeina nitida* (d'Orbigny, 1839) p. 229, pl. 57, fig. 6-8.
- *Globigerina* (*Globigerina*) *bulloides* (d'Orbigny, 1826) p. 36, pl. 6, fig. 4-6. (**foto 1**)
- *Globigerina* (*Globigerina*) *falcommensis* (Blow, 1959) p. 40, pl. 7, fig. 1-3. (**foto 2**)
- *Globigerina* (*Zoaglobigerina*) *rubescens* (Hofker, 1956) p. 50, pl. 9, fig. 7-9. (**foto 3**)
- *Globigerinella aequilateralis* (Parker, 1962) p. 238, pl. 60, fig. 4-6.
- *Globigerinella calida* (Parker, 1962) p. 240, pl. 60, fig. 7-9.
- *Globigerinella glutinata* (Egger, 1893) p. 224, pl. 56, fig. 1, 3-5. (**foto 4**)
- *Globigerinella parkerae* (Bermudez, 1961) p. 226, pl. 57, fig. 1-3. (**foto 5**)
- *Globigerinella uvula* (Ehrenberg, 1861) p. 224, pl. 56, fig. 6-8.
- *Globigerinoides sacculifer* (Brady, 1877) p. 66, pl. 14, fig. 4-6. (**foto 6**)
- *Globigerinoides quadrilobatus* (d'Orbigny, 1846) p. 66, pl. 14, fig. 1-3. (**foto 7**)
- *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny, 1939) p. 78, pl. 17, fig. 1-3. (**foto 8**)
- *Globigerinoides tenellus* (Parker, 1958) p. 80, pl. 17, fig. 7-9. (**foto 9**)
- *Globorotalia* (*Hirsutella*) *theyeri* (Fleisher, 1974) p. 140, pl. 33, fig. 1-3.
- *Globorotalia* (*Menardella*) *menardii* (Parker, Jones & Brady, 1865) p. 124, pl. 28, fig. 1-3. (**foto 10**)
- *Globorotaloides hexagona* (Natland, 1938) p. 216, pl. 54, fig. 1, 3-5. (**foto 11**)
- *Hastigerina pelagica* (d'Orbigny, 1839) p. 242, pl. 61, fig. 1, 3-5.
- *Neogloboquadrina dutertrei* (d'Orbigny, 1839) p. 198, pl. 48, fig. 7-9. (**foto 12**)
- *Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg, 1861) p. 192, pl. 47, fig. 3-5.
- *Orbulina universa* (d'Orbigny, 1839) p. 86, pl. 20, fig. 4-6. (**foto 13**)
- *Pulleniatina obliquiloculata* (Parker & Jones, 1865) p. 202, pl. 50, fig. 1-5. (**foto 14**)

Del total de especies sólo se trabajó con 16 porque son las que se encontraron más abundantemente; 5 especies no fueron consideradas para el análisis (*C. nitida*, *G. aequilateralis*, *G. uvula*, *G. theyeri* y *H. pelagica*) ya que son raras o se presentan esporádicamente en las muestras.

B. ABUNDANCIAS

Al observar los valores totales de abundancia de las especies de foraminíferos planctónicos (tabla 2 y gráfica 2 a), se observa que :

- La base del núcleo (de 185 a 180 cm) es la porción que no contiene foraminíferos planctónicos. A partir de 180 hasta 120 cm, el número de individuos es escaso y menor a 50 individuos por miligramo.
- De 115 a 80 cm se encuentran fluctuaciones desde 184 ind/mg hasta más de 500 ind/mg, y
- de los 76 cm a la superficie, el promedio es ~160 ind/mg.

El número total de microorganismos por muestra (ind/mg) y los porcentajes (%) de cada una de las 16 especies consideradas, se presentan en las siguientes tablas y gráficas (tabla 3 a, b y gráfica 3 secc. a y b).

En ellas se ve que de la base del núcleo a los niveles 120-121 y 125-126 se encuentran valores de cero o cercanos a cero en todos los casos, incluso en las especies más abundantes como *G. bulloides*, *G. ruber*, *G. glutinata*, *G. menardii* y *N. dutertrei*. Estas dos últimas especies, junto con *N. pachyderma*, son las únicas que no se eliminan por completo de los 165 a 145 cm, pero la tendencia existe y el número de individuos es bajo.

Las especies más abundantes del núcleo son *G. bulloides* y *G. glutinata*, con porcentajes promedio de 21%. (*G. bulloides* llega a tener hasta 34% y *G. glutinata* un máximo de 41%). A éstas le siguen *G. menardii* con una media de 14% (con valores entre 6.3 - 28%), *N. dutertrei* con 13% (valores entre 5.4 y 31.5%) y *G. ruber* con 10% (entre 3 y 18%).

Estos porcentajes de foraminíferos planctónicos están dentro de los valores referidos para zonas de alta productivi-

dad, y de condiciones tropicales a subtropicales (Bé, 1959; Parker, 1962; Vincent y Berger, 1981; Kennett y Srinivasan, 1983; Murray, 1995; Hilbrecht, 1996; Watkins, *et al*, 1998). Esto se explica a continuación.

c. CONDICIONES ECOLÓGICAS DE LOS FORAMINÍFOS PLANCTÓNICOS

Los ambientes oceánicos de surgencia son particularmente importantes porque en ellos se conjuntan procesos biológicos y físicos particulares. La advección vertical de agua profunda (rica en nutrientes) hacia la capa de mezcla, es un vehículo por el cual los nutrientes son reintroducidos hacia la zona eufótica, generando producción primaria. Los florecimientos fitoplanctónicos que siguen a los eventos de surgencia se presentan en los ambientes costeros y llegan a ser responsables de la producción anual en esas zonas. Los períodos donde incrementa el zooplancton (incluyendo a los foraminíferos planctónicos), van a seguir el aumento de producción fitoplanctónica dependiendo de los ciclos de vida y alimentación de cada grupo (Hemleben, *et al*, 1989; Sautter y Sancetta, 1992).

En las vecindades del Golfo de Tehuantepec, los eventos de surgencia tienen cortas duraciones y ocurren una vez al año durante los meses fríos (Transviña y Barton, 1997). El registro sedimentario recopila los períodos de altas y bajas abundancias de cada ciclo presente en la región, es decir: momentos asociados con mezcla vertical y alta productividad o momentos asociados con la estabilización de las aguas e incursión de corrientes superficiales.

Como se mencionó en la introducción, existen especies de foraminíferos asociados a cada una de estas condiciones, y por su presencia y abundancia en el sedimento podemos inferir dichas condiciones.

Debido a la localización geográfica del área de estudio, la fauna planctónica aquí encontrada es tropical o subtropical en los épocas carentes de surgencia. Pero en los momentos de surgencia, se presentan algunas especies de regiones subpolares a transicionales, como *G. bulloides* y *N. pachyderma* (Bé, 1959; Bé y Tolderlund, 1971), las cuales existen en medianas y bajas

FORAMINIFEROS (ind/mg)			
MUESTRA	PLACTONICOS	MUESTRA	BENTONICOS
0-1	101.02	5-6	304.04
5-6	119.77	20-21	721.78
10-11	273.89	40-41	1103.73
15-16	101.50	60-61	506.23
20-21	178.71	80-81	502.02
25-26	134.48	90-91	1246.70
30-31	169.38	100-101	1149.79
35-36	180.89	120-121	247.31
40-41	209.29	140-141	149.59
45-46	99.19	160-161	756.31
50-51	142.31		
55-56	134.00		
60-61	190.50		
65-66	234.66		
70-71	400.11		
76-76	128.36		
80-81	272.84		
85-86	392.59		
90-91	317.50		
95-96	523.15		
100-101	184.18		
105-106	303.66		
110-111	372.63		
115-116	256.09		
120-121	32.65		
125-126	1.79		
130-131	1.01		
135-136	3.05		
140-141	9.24		
145-146	33.23		
150-151	28.65		
155-156	22.70		
160-161	14.82		
165-166	13.94		
170-171	0.12		
175-176	46.54		
180-181	0.00		
185-186	0.00		

Tabla 2. Total de foraminíferos (ind/mg) a) planctónicos y b) bentónicos dentro de la columna 10T.

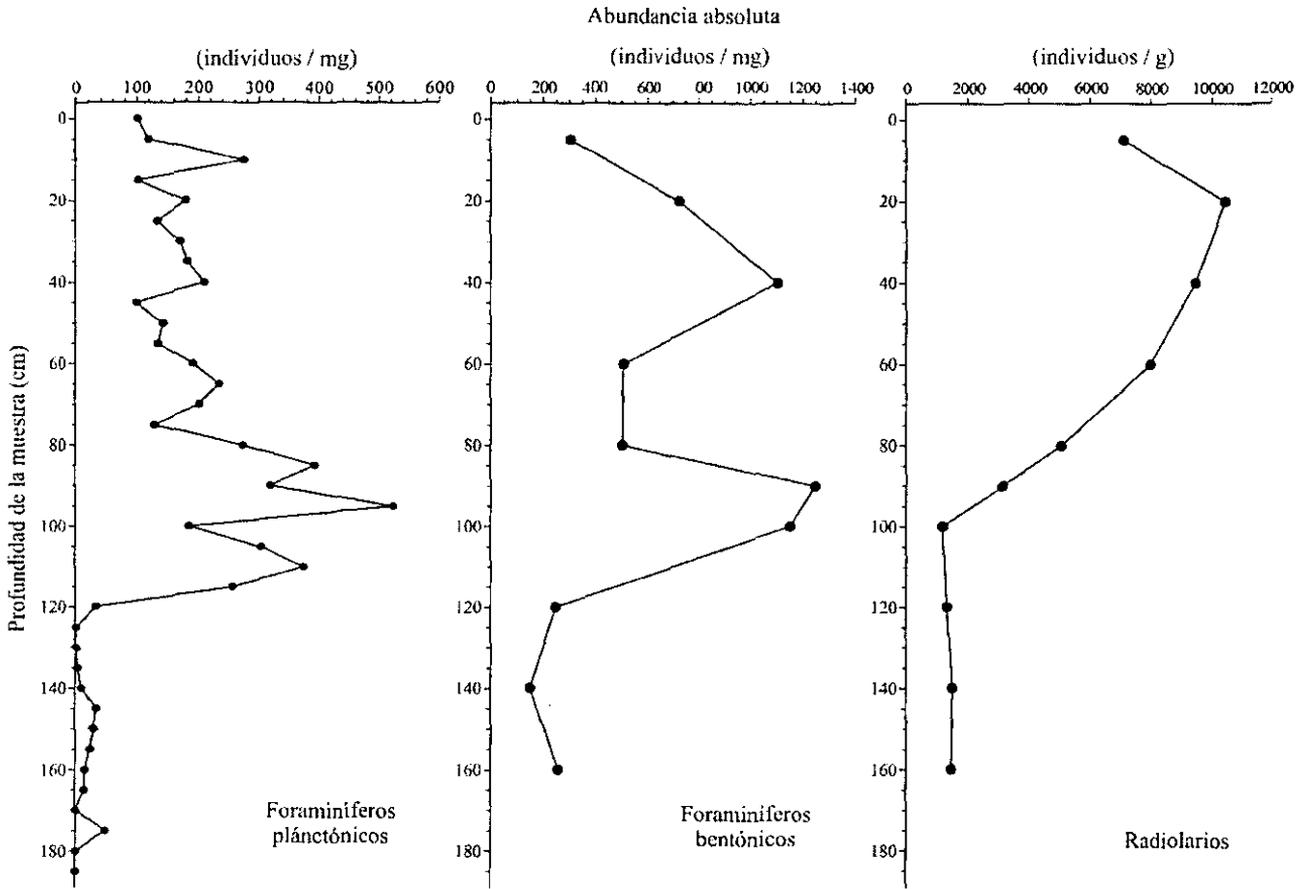
latitudes porque las surgencias ofrecen condiciones que les son favorables: aguas frías y abundante alimento (Brasier, 1995).

Globigerina bulloides y *Globigerinoides ruber* son organismos que están bien adaptados a aguas de surgencia, dominantes durante estadios en que hay niveles altos de zooplankton y bajos de fitoplancton (ambas son especies carnívoras) (Brasier, 1995; Murray, 1995; Martínez, et al, 1998, Sautter y Sancetta, 1998).

Globigerina bulloides es característica y dominante en aguas de surgencia alrededor del mundo, es una especie oportunista marcadora de condiciones de alta fertilidad (Brasier, 1995; Ufkes, et al, 1998). Es capaz de tolerar el intervalo global de temperaturas superficiales, con valores entre 5 y 27 °C (Hilbrecht, 1996). A pesar de ser una especie referida para condiciones frías (subpolares a transicionales) con hasta 60% de abundancia entre los 10 - 16 °C, alcanza abundancias máximas de 34% en surgencias costeras y oceánicas con temperaturas de 15 - 22 °C (Bé y Tolderlund, 1971; Vincent y Berger, 1981), como las presentes en el Golfo de Tehuantepec. Se le encuentra a lo largo de la zona fótica, pero igual que *G. ruber*, preferentemente arriba de la termoclina y en los momentos en que no hay abundante fitoplancton (debido a sus preferencias alimenticias) (Murray, 1995).

Globigerinoides ruber domina en las aguas cálidas y oligotróficas. El intervalo de temperatura en que se desarrolla va de 16 - 29 °C, con preferencia dentro de los 25° C (Vincent y Berger, 1981; Hilbrecht, 1996). *G. ruber* ocurre en dos variedades: 1) la de caparazón blanco, que se encuentra en todos los océanos y muchas veces forma parte de las especies dominantes; y 2) la de caparazón rosa, que nunca es dominante y prefiere ambientes más tropicales. En el Golfo de Tehuantepec la variedad más abundante es la blanca, y la rosa prácticamente no está representada.

Hilbrecht (1996) menciona que en la variedad blanca depende de la salinidad. En zonas de salinidad estable (35 ± 0.5 ups), el porcentaje promedio de esta especie no excede el 10%, en cambio, en áreas donde la variación de salinidad es mayor, aumenta la proporción de esta especie. Por ejemplo, en el Golfo de México, en las regiones de incidencia de grandes descargas de agua dulce del río Mississippi, se encuentran abundancias de más del 40% (Flower y Kennett, 1990). Lo anterior se debe a que es una especie oportunista con amplia tolerancia a las variaciones de temperatura y salinidad, que prolifera en condiciones donde los otros foraminíferos planctónicos menos tolerantes disminuyen y/o desaparecen. La preferencia de la variedad blanca dentro de las aguas de Tehuantepec, puede deberse a los cambios térmicos y salinos que ocurren en épocas de surgencias.



Gráfica 2. Abundancias totales de a) foraminíferos planctónicos, b) foraminíferos bentónicos y c) radiolarios.

En zonas de alta productividad, *G. ruber* es diagnóstica de los últimos estadios de la surgencia, donde la disponibilidad de nutrientes es baja y dominan los copépodos. Posteriormente cuando se inicia nuevamente la mezcla vertical, es reemplazada por especies adaptadas al régimen eutrófico (desarrollo del florecimiento de fitoplancton) (Brasier, 1995; Murray, 1995).

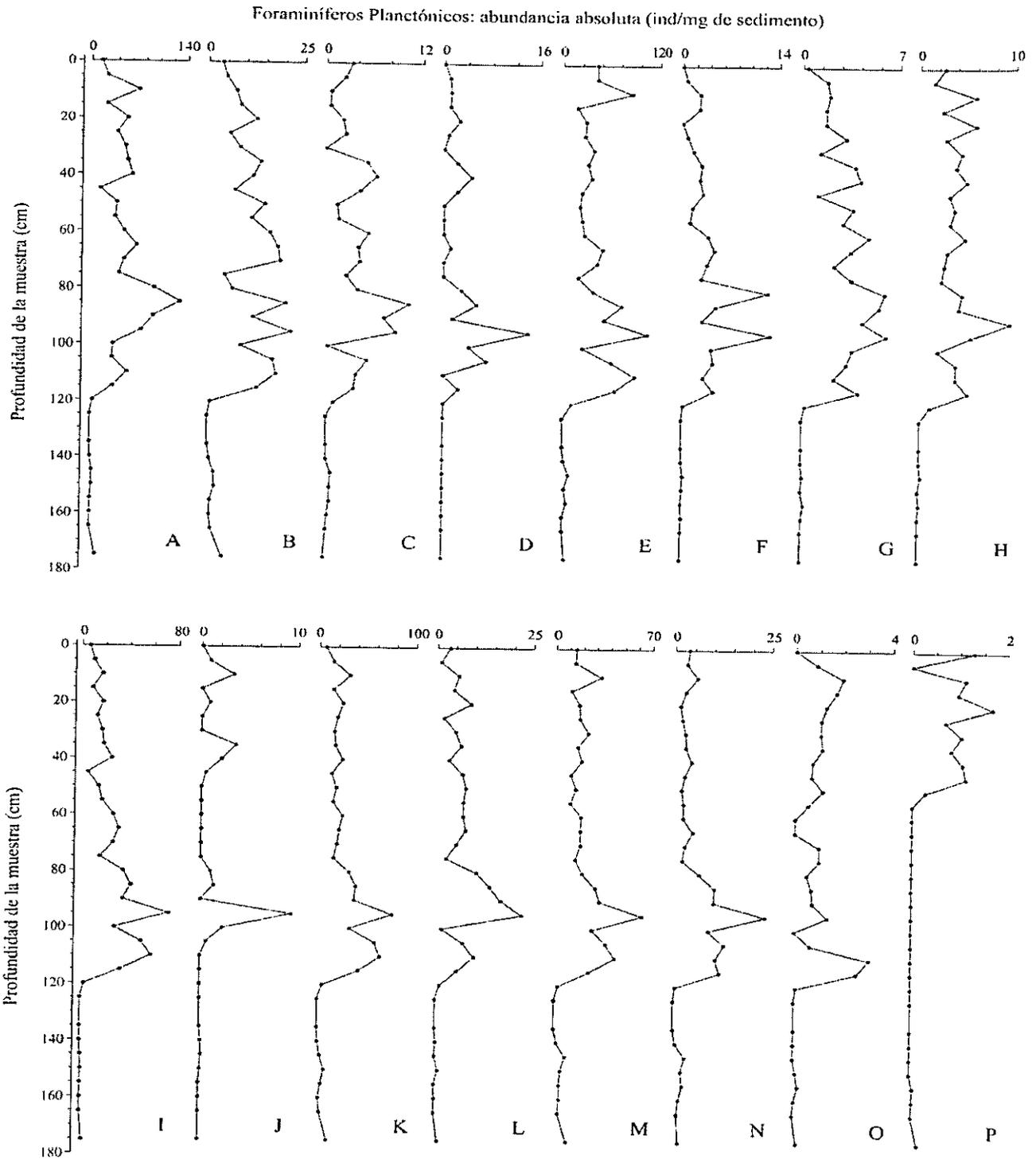
Globorotalia menardii y *Neogloboquadrina dutertrei*, reflejan temperaturas superficiales cálidas y salinidades alrededor de 35 ups. Estas especies tienen considerables abundancias relativas en ambientes tropicales (Kennett, 1983; Hemleben, et al, 1989; Hilbrech, 1996). En zonas de surgencia se presen-

tan en los momentos en que la columna de agua es estable y la termoclina es marcada, es decir, antes o después del efecto de surgencia (Vincent & Berger, 1991; Ufkes, et al, 1998). Poseen relación con altos gradientes verticales de temperatura y estratificación (Bé y Tolderlund, 1971; Hilbrech, 1996). Las dos se encuentran dentro de las categorías de alta resistencia (conchas densas) (Boltovskoy, 1965; Vincent y Berger, 1981). Los intervalos de temperatura preferentes de *G. menardii* y *N. dutertrei* coinciden entre los 17 y 29° C; con un pico en su porcentaje a los 22° C de: hasta 27% para *G. menardii* y 24% para *N. dutertrei*. Los valores de salinidad coincidentes para dichas especies se encuentran entre 34.5 a 36.5 con preferen-

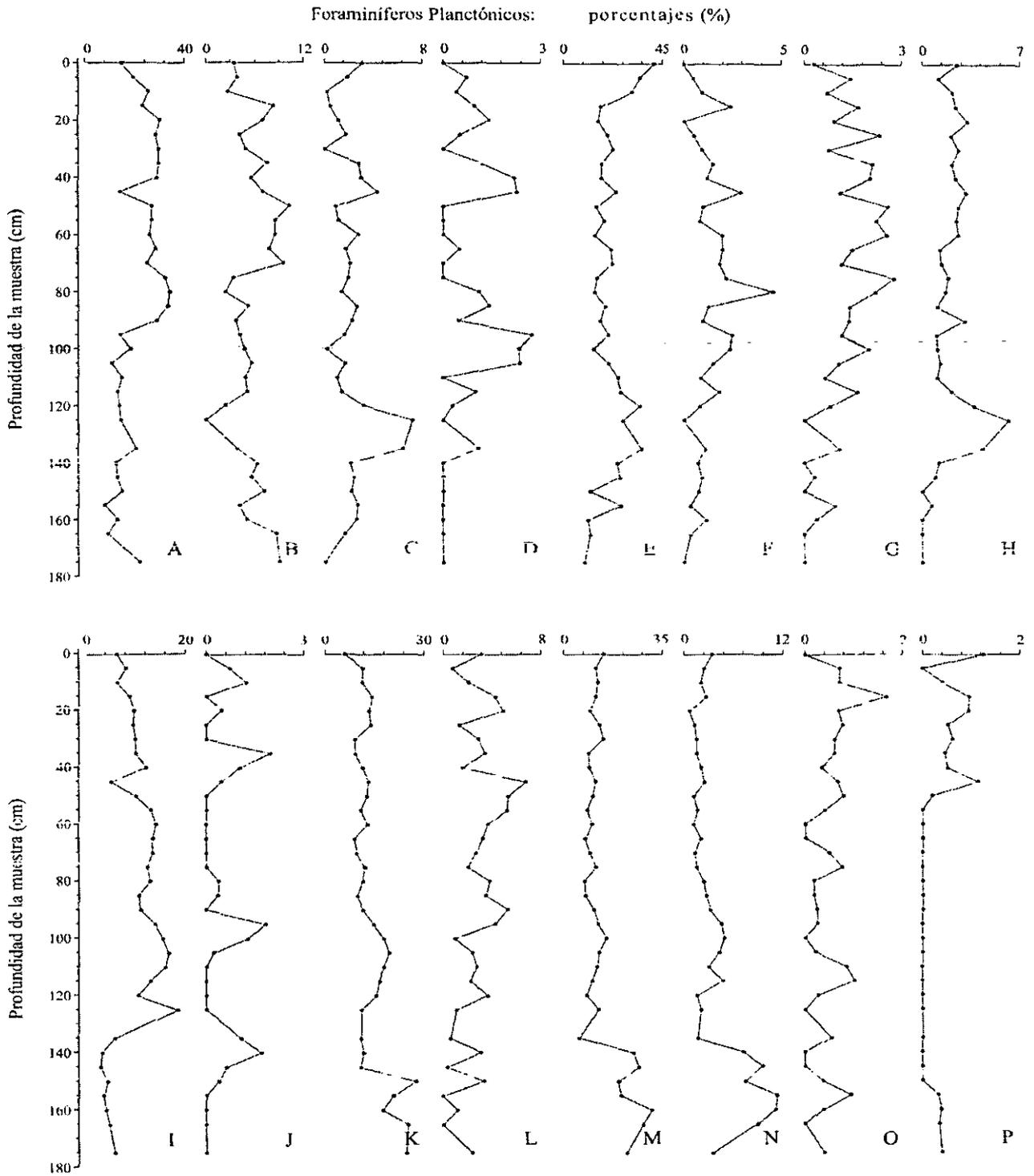
Tabla 3. Abundancias totales de microorganismos por muestra (ind/mg) y porcentajes (%).

FAMILIARES		FIANCION															
ABUNDANCIA ABSOLUTA, ind/mg																	
MUESTRAS	ESPECIES																
	G. halophilus	G. fulvipes	G. ruber	G. calidus	G. phoeniceus	G. ruber	G. excoletii	G. quatuorcoloratus	G. ruber								
0-1	14.95	3.49	3.16	0.00	41.53	0.00	0.33	1.54	0.33	0.11	0.33	3.16	14.30	3.49	0.00	0.00	1.57
5-8	22.32	4.61	2.30	0.00	21.04	0.33	1.75	2.44	3.79	0.11	14.11	0.00	13.50	2.00	0.00	0.00	0.00
10-11	09.30	1.71	0.33	1.10	04.70	1.17	1.34	1.79	17.09	0.11	31.55	3.50	32.72	3.50	1.33	1.10	0.00
15-16	32.00	0.30	0.47	0.37	17.06	3.37	1.66	2.37	4.77	0.11	14.35	4.77	11.15	3.67	1.66	0.37	0.00
20-21	32.07	12.44	2.07	0.49	22.30	0.00	1.64	1.87	10.41	0.11	34.05	0.71	16.39	1.34	1.34	1.64	0.00
25-26	36.13	7.33	2.45	0.69	16.69	0.69	3.12	3.77	10.62	0.11	16.77	1.79	16.98	1.79	1.04	0.69	0.00
30-31	49.84	6.18	0.00	0.00	21.61	1.32	1.32	1.32	15.98	0.11	15.98	4.89	23.30	1.32	1.03	1.03	0.00
35-36	35.37	13.52	5.14	3.16	26.82	3.70	3.79	15.15	3.33	0.11	16.78	6.22	13.66	2.70	1.08	0.67	0.00
40-41	60.15	11.54	6.30	4.33	33.32	2.45	4.30	1.90	37.16	2.11	34.75	3.11	18.34	4.30	0.70	1.01	0.00
45-46	14.01	1.69	4.23	2.22	23.35	2.09	1.71	1.71	3.12	0.11	12.18	0.67	11.15	2.45	0.67	1.11	0.00
50-51	36.02	14.34	1.40	0.00	16.97	1.40	1.63	1.63	16.17	0.11	16.17	7.33	14.34	1.63	1.11	0.11	0.00
55-56	35.45	11.19	1.60	0.00	24.24	1.07	1.05	1.07	17.52	0.11	14.65	6.93	10.92	2.13	0.33	0.00	0.00
60-61	46.63	12.62	3.71	0.00	28.33	3.71	4.75	4.75	24.53	0.11	24.41	6.90	18.37	2.11	0.00	0.00	0.00
65-66	66.80	12.01	4.07	1.16	41.25	4.13	3.47	1.97	31.27	0.11	30.91	7.33	16.01	4.63	0.00	0.00	0.00
70-71	49.05	16.64	4.33	0.00	43.16	3.60	3.69	1.64	35.49	0.11	19.29	3.23	16.31	1.63	0.36	0.00	0.00
75-76	41.46	1.52	1.36	0.00	15.46	3.75	3.34	3.34	15.32	0.11	15.75	2.34	14.35	1.97	0.36	0.00	0.00
80-81	52.37	1.43	3.97	1.36	37.70	12.40	5.55	4.43	31.23	0.11	31.75	10.43	19.64	6.43	0.50	0.00	0.00
85-86	129.71	20.15	10.40	5.33	70.32	4.06	3.31	1.11	41.54	0.11	50.64	13.67	29.63	10.40	0.69	0.00	0.00
90-91	51.05	11.65	7.36	1.46	34.43	3.91	4.37	1.47	34.76	0.11	37.14	16.79	32.77	10.19	0.73	0.00	0.00
95-96	74.06	24.53	6.75	14.14	10.77	12.79	6.06	1.97	72.73	0.11	76.76	22.22	63.29	32.37	1.33	0.00	0.00
100-101	32.33	3.33	4.33	4.33	24.67	4.33	3.63	1.37	32.50	0.11	32.50	1.64	27.63	6.65	0.00	0.00	0.00
105-106	32.30	18.60	5.17	7.11	41.38	4.33	1.37	1.84	30.33	0.11	38.79	7.11	37.47	12.47	0.33	0.00	0.00
110-111	33.09	17.71	3.63	0.00	30.06	3.63	3.21	1.87	30.51	0.11	64.67	10.01	43.66	10.76	3.66	0.00	0.00
115-116	52.19	12.60	3.59	3.54	46.07	4.61	4.10	1.12	35.19	0.11	45.51	3.63	35.61	12.78	1.34	0.00	0.00
120-121	4.30	0.72	1.04	0.09	11.34	0.38	0.48	1.11	11.34	0.11	5.11	1.31	3.66	0.52	0.09	0.00	0.00
125-126	0.36	0.00	0.13	0.00	0.66	0.00	0.00	0.11	0.33	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
130-136	0.33	0.10	0.17	0.03	0.96	0.03	0.63	0.11	0.16	0.11	0.30	0.01	0.15	0.04	0.01	0.00	0.00
140-141	1.15	0.77	0.00	0.00	2.25	0.07	0.00	0.11	0.11	0.11	1.10	0.19	2.37	0.66	0.00	0.00	0.00
145-146	4.37	1.63	0.00	0.00	6.43	0.39	0.10	1.30	1.63	0.11	3.66	0.10	6.64	3.11	0.00	0.00	0.00
150-151	4.14	3.03	0.64	0.00	3.40	0.51	0.00	1.00	1.17	0.11	7.05	0.95	5.38	2.13	0.11	0.00	0.00
155-156	1.77	0.92	0.64	0.00	3.07	0.07	0.34	0.11	4.74	0.11	0.00	4.60	3.33	0.33	0.11	0.00	0.00
160-161	1.94	0.74	0.00	0.00	1.33	0.17	0.66	1.03	0.63	0.11	2.62	0.17	4.67	1.63	0.06	0.06	0.00
165-166	1.18	1.19	0.00	0.00	1.37	0.05	0.60	1.03	0.67	0.11	3.47	0.00	3.90	1.24	0.00	0.00	0.00
170-176	10.55	4.30	0.00	0.00	4.36	0.00	0.10	1.00	1.74	0.11	11.50	1.09	10.40	1.64	0.16	0.16	0.00

FAMILIARES		FIANCION															
PORCENTAJES (%)																	
MUESTRAS	ESPECIES																
	G. halophilus	G. fulvipes	G. ruber	G. calidus	G. phoeniceus	G. ruber	G. excoletii	G. quatuorcoloratus	G. ruber								
0-1	14.6	3.1	3.1	0.0	41.5	0.0	0.3	1.5	0.3	0.1	0.3	3.1	14.3	3.5	0.0	0.0	1.5
5-8	19.5	3.8	1.9	0.0	21.0	0.3	1.7	2.4	3.8	0.1	11.6	0.7	11.5	2.4	0.0	0.0	0.0
10-11	22.3	2.8	0.3	0.4	31.2	0.9	2.1	2.8	27.5	0.1	31.6	3.0	32.7	3.0	0.7	0.4	0.0
15-16	32.0	0.3	0.5	0.4	17.1	3.4	1.7	2.4	4.8	0.1	14.3	4.8	11.1	3.7	1.7	0.4	0.0
20-21	32.1	12.4	2.1	0.5	22.3	0.0	1.6	1.9	10.4	0.1	34.1	0.7	16.4	1.3	1.3	1.6	0.0
25-26	36.1	7.3	2.5	0.7	16.7	0.7	3.1	3.8	10.6	0.1	16.8	1.8	17.0	1.8	1.0	0.7	0.0
30-31	49.8	6.2	0.0	0.0	21.6	1.3	1.3	1.3	16.0	0.1	16.0	4.9	23.3	1.3	1.0	1.0	0.0
35-36	35.4	11.2	1.6	0.0	26.8	3.7	3.5	1.7	15.1	0.1	16.8	6.2	13.7	2.7	1.1	0.7	0.0
40-41	60.2	11.5	6.3	4.3	33.3	2.5	4.3	1.9	37.2	2.1	34.8	3.1	18.3	4.3	0.7	1.0	0.0
45-46	14.0	1.7	4.2	2.2	23.4	2.1	1.7	1.7	3.1	0.1	12.2	0.7	11.2	2.5	0.7	1.1	0.0
50-51	36.0	14.3	1.4	0.0	17.0	1.4	1.6	1.6	16.2	0.1	16.2	7.3	14.3	1.6	1.1	0.1	0.0
55-56	35.5	11.2	1.6	0.0	24.3	1.1	1.1	1.1	17.6	0.1	14.7	6.9	11.0	2.1	0.3	0.0	0.0
60-61	46.6	12.6	3.7	0.0	28.3	3.7	4.8	4.8	24.5	0.1	24.4	6.9	18.4	2.1	0.0	0.0	0.0
65-66	66.8	12.0	4.1	1.2	41.3	4.1	3.5	1.2	31.3	0.1	31.0	7.3	16.0	4.6	0.0	0.0	0.0
70-71	49.1	16.6	4.3	0.0	43.2	3.6	3.7	1.6	35.5	0.1	19.3	3.2	16.3	1.6	0.3	0.0	0.0
75-76	41.5	1.5	1.4	0.0	15.5	3.8	3.3	3.3	15.3	0.1	15.8	2.3	14.4	1.9	0.3	0.0	0.0
80-81	52.4	1.4	3.9	1.4	37.7	12.4	5.5	4.4	31.2	0.1	31.8	10.4	19.6	6.4	0.5	0.0	0.0
85-86	129.7	20.2	10.4	5.3	70.3	4.1	3.3	1.1	41.5	0.1	50.6	13.7	29.6	10.4	0.7	0.0	0.0
90-91	51.1	11.7	7.4	1.5	34.4	3.9	4.4	1.5	34.8	0.1	37.1	16.8	32.8	10.2	0.7	0.0	0.0
95-96	74.1	24.5	6.8	14.1	10.8	12.8	6.1	1.9	72.7	0.1	76.8	22.2	63.3	32.4	1.3	0.0	0.0
100-101	32.3	3.3	4.3	4.3	24.7	4.3	3.6	1.4	32.5	0.1	32.5	1.6	27.6	6.6	0.0	0.0	0.0
105-106	32.3	18.6	5.2	7.1	41.4	4.3	1.4	1.8	30.3	0.1	64.7	10.0	43.7	10.8	3.6	0.0	0.0
110-111	33.1	12.6	3.6	0.0	30.1	3.6	3.2	1.9	30.5	0.1	64.6	10.0	43.6	10.8	3.6	0.0	0.0
115-116	52.2	12.6	3.6	3.5	46.1	4.6	4.1	1.2	35.2	0.1	45.5	3.6	35.6	12.8	1.3	0.0	0.0
120-121	4.3	0.7	1.0	0.1	11.3	0.4	0.5	1.1	11.3	0.1	5.1	1.3	3.7	0.5	0.1	0.0	0.0
125-126	0.4	0.0	0.1	0.0	0.7	0.0	0.0	0.1	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
130-136	0.3	0.1	0.2	0.0	1.0	0.0	0.6	0.1	0.2	0.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
140-141	1.2	0.8	0.0	0.0	2.3	0.1	0.0	0.1	1.1	0.1	1.1	0.2	2.4	0.7	0.0	0.0	0.0
145-146	4.4	1.6	0.0	0.0	6.5	0.4	0.1	1.3	1.6	0.1	3.7	0.1	6.6	3.1	0.0	0.0	0.0
150-151	4.1	3.0	0.6	0.0	3.4	0.5	0.0	1.0	1.2	0.1	7.1	0.9	5.4	2.1	0.1	0.0	0.0
155-156	1.8	0.9	0.6	0.0	3.1	0.1	0.3	0.1	4.8	0.1	0.0	4.6	3.3	0.3	0.1	0.0	0.0
160-161	1.9	0.7	0.0	0.0	1.3	0.2	0.6	1.0	0.6	0.1	2.6	0.2	4.7	1.6	0.0	0.0	0.0
165-166	1.2	1.2	0.0	0.0	1.4	0.0	0.6	1.0	0.7	0.1	3.5	0.0	3.9	1.2	0.0	0.0	0.0
170-176	10.6	4.3	0.0	0.0	4.4	0.0	0.1	1.0	1.7	0.1	11.6	1.1	10.4	1.6	0.2	0.2	0.0



Gráfica 3a. Abundancias absolutas (ind/mg). A-*Globigerina bulloides*, B-*Globigerina falconensis*, C-*Globigerina rubescens*, D-*Globigerinella calida*, E-*Globigerinita glutinata*, F-*Globigerinita parkerae*, G-*Globigerinoides sacculifer*, H-*Globigerinoides quadrilobatus*, I-*Globigerinoides ruber*, J-*Globigerinoides tenellus*, K-*Globorotalia menardii*, L-*Globorotaloides hexagona*, M-*Neogloboquadrina dutertrei*, N-*Neogloboquadrina pachyderma*, O-*Orbulina universa*, P-*Pulleniatina obliquiloculata*.



Gráfica 3b. Porcentajes de las especies de foraminíferos planctónicos. A-*Globigerina bulloides*. B-*Globigerina falconensis*. C-*Globigerina rubescens*. D-*Globigerinella calida*. E-*Globigerinita glutinata*. F-*Globigerinita parkeræ*. G-*Globigerinoides sacculifer*. H-*Globigerinoides quadrilobatus*. I-*Globigerinoides ruber*. J-*Globigerinoides tenellus*. K-*Globorotalia menardii*. L-*Globorotaloides hexagona*. M-*Neogloboquadrina dutertrei*. N-*Neogloboquadrina pachyderma*. O-*Orbulina universa*. P-*Pulleniatina obliquiloculata*.

cia por las 35 ups (Hilbrecht, 1996). Los valores porcentuales de estas especies son elevados en Tehuantepec porque las aguas cálidas que penetran del sur (CCCR) brindan condiciones de temperatura (entre 15 - 28° C) y salinidad (35 - 36) preferentes para dichas especies. Además de que la mayor parte de año existen condiciones de marcada estratificación vertical, durante la época de *no surgencias* (Monreal y Salas, 1998).

Globigerinita glutinata es una de las especies más omnipresentes en sedimentos marinos, cuyos rangos de distribución van desde el Antártico hacia las aguas tropicales a subárticas. Sin embargo, raramente es una especie dominante, y está presente usualmente en bajas frecuencias (menores a 5%). Su mayor abundancia es encontrada en aguas subtropicales y en áreas marginales de zonas productivas (Watkins, *et al*, 1998). En regiones de surgencias, puede aparecer en los largos estadios de la sucesión de florecimiento fitoplanctónico (Hilbrecht, 1996). Vive en un intervalo de temperatura entre 3 - 30° C, con un pico de abundancia entre 24 y 27°C (Bé, 1959; Hilbrecht, 1996). Habita aguas intermedias: arriba de los 100 m y preferente entre 50 - 100 m de profundidad (Bé, 1959; Vincent y Berger, 1981; Hilbrecht, 1996; Watkins, *et al*, 1998). Su abundancia en la zona de estudio puede deberse a su amplia tolerancia a los cambios de condiciones oceanográficas presentes en el Golfo de Tehuantepec.

DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS DE FACTORES

Para el análisis de factores se utilizaron los valores de porcentaje de las 16 especies de foraminíferos planctónicos presentes en 34 muestras. A partir de la matriz 16 especies [casos] x 34 muestras [variables], se calcularon las cargas (*factor loadings*) y los valores del factor (*factor scores*).

Al examinar los eigenvalores (*eigenvalues*), los porcentajes acumulados (la cantidad de información explicada por los factores) y considerando su significancia, se decidió utilizar 3 factores que explican el 91% de la información de la matriz; factores adicionales aportan un entendimiento adicional muy pequeño.

Para enfatizar las diferencias o similitudes de los factores, la matriz fue rotada utilizando el método de varianza

maximizada (*Varimax Normalizada*) y para elegir las especies representativas se recurrió a los valores del factor (*factor scores*).

El factor 1 explica el 76.5% de los datos, el factor 2 el 8.8%, y el tercero el 5.7% (tabla 4 y gráfica 4, secc a y b).

FACTOR 1

Corresponde a las muestras entre los 90 y 15 cm, y está caracterizado por dos especies: La más importante que es *G. bulloides* (*factor score* = 3.5), que estratigráficamente es muy abundante de los 90 a los 10 cm y sufre un evidente decaimiento a partir de la muestra 95 - 96 (gráfica 3b, especie A). La otra es *G. ruber* (f. s. = 0.8) contribuyendo en menor proporción a éste factor; tiene un comportamiento porcentual similar al de *G. bulloides* pero con un decaimiento muy marcado a los 125 cm (gráfica 3b, especie I).

El factor 1 prácticamente sigue la distribución de *G. bulloides*, incluyendo la baja que tiene en la muestra 45-46. Por su parte, *G. ruber* tiene sus mayores abundancias de ~125 a 50 cm. Y aunque sigue un patrón más o menos similar al de *G. bulloides*, de 125 a 95 aumenta en vez de disminuir.

Lo anterior puede indicar condiciones concordantes con momentos fríos o de una surgencia bien desarrollada, ya que éstos foraminíferos son típicos de aguas con éste tipo de características, como se discutió anteriormente. Y el aumento de *G. ruber* donde disminuye el de *G. bulloides* puede reflejar momentos en los que las condiciones oligotróficas o de mayor temperatura (que prefiere *G. ruber*) se acentúan, o condiciones de mayor inestabilidad, ya que como se mencionó anteriormente *G. ruber* es una especie oportunista con amplia tolerancia que aumenta en condiciones donde otras especies disminuyen.

FACTOR 2

Es el factor inverso al Factor 1. Representa la parte inferior del núcleo, de los 140 a los 105 cm y de los 15 hacia 0 cm. En esta porción aparentemente no hay una dominancia clara de ninguna especie (gráfica 3b), pero el análisis de factores reveló una asociación representada por *N. dutertrei* (f. s. = 2.7) y *G. menardii* (f. s. = 2.1). La abundancia relativa de estas especies, del fondo del núcleo hacia los 130 cm, se mani-

FACTOR LOADINGS
Varimax normalized (datos 34x16y.sta)

MUESTRA	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3
0-1	0.31	0.88	0.21
5-6	0.18	0.80	0.26
10-11	0.62	0.68	0.27
15-16	0.77	0.41	0.42
20-21	0.87	0.31	0.29
25-26	0.79	0.43	0.36
30-31	0.78	0.48	0.30
35-36	0.88	0.35	0.20
40-41	0.86	0.36	0.25
45-46	0.46	0.72	0.40
50-51	0.85	0.30	0.34
55-56	0.84	0.41	0.24
60-61	0.86	0.30	0.32
65-66	0.83	0.47	0.17
70-71	0.77	0.52	0.24
75-76	0.88	0.28	0.29
80-81	0.91	0.23	0.19
85-86	0.88	0.36	0.18
90-91	0.85	0.36	0.29
95-96	0.53	0.62	0.47
100-101	0.63	0.33	0.60
105-106	0.41	0.59	0.54
110-111	0.50	0.66	0.45
115-116	0.44	0.73	0.41
120-121	0.39	0.85	0.25
125-126	0.46	0.73	0.27
135-136	0.49	0.81	0.12
140-141	0.26	0.61	0.66
145-146	0.34	0.86	0.66
150-151	0.37	0.23	0.83
155-156	0.14	0.64	0.71
160-161	0.23	0.21	0.89
165-166	0.18	0.23	0.93
175-176	0.55	0.13	0.78
Expl.Var	14.15	9.56	7.24
Prop.Totl	0.42	0.28	0.21

FACTOR SCORES
Rotation: Varimax normalized (datos 34x16y.sta)

ESPECIE	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3
<i>G. bulloides</i>	3.49	-0.15	-0.45
<i>G. fauconensis</i>	0.16	0.19	-0.48
<i>G. rubescens</i>	-0.49	-0.51	-0.03
<i>G. callita</i>	-0.48	-0.24	-0.34
<i>G. glutinata</i>	0.12	-0.23	3.69
<i>G. parkerae</i>	-0.37	-0.50	-0.38
<i>G. sacculifer</i>	-0.28	-0.58	-0.42
<i>G. quadrilobatus</i>	-0.33	-0.70	-0.11
<i>G. ruber</i>	0.84	-0.33	0.22
<i>G. tencillus</i>	-0.54	-0.53	-0.36
<i>G. menardii</i>	0.20	2.14	-0.03
<i>G. hexagona</i>	-0.10	-0.50	-0.31
<i>N. dutertrei</i>	-0.38	2.70	-0.02
<i>N. pachyderma</i>	-0.79	0.61	-0.21
<i>O. universa</i>	-0.51	-0.53	-0.38
<i>P. obliquiloculata</i>	-0.54	-0.54	-0.39

EIGENVALUES
(34x16y.sta)

Factor	Eigenval	Varianza	Eigenvalnes acumulados	actua% total
1	26.092	76.461	26.092	76.881
2	3.002	8.830	29.094	85.311
3	1.942	5.711	30.947	91.022

Tabla 4. Resultados del Análisis de Factores: Factor loadings (cargas del factor), Factor scores (valores del factor) y eigenvalores (*eigenvalues*) de la matriz 16 especies [casos] por 34 muestras [variables].

fiesta en el momento en que la abundancia de los foraminíferos más numerosos (*G. bulloides*, *G. ruber* y *G. glutinata*) disminuye.

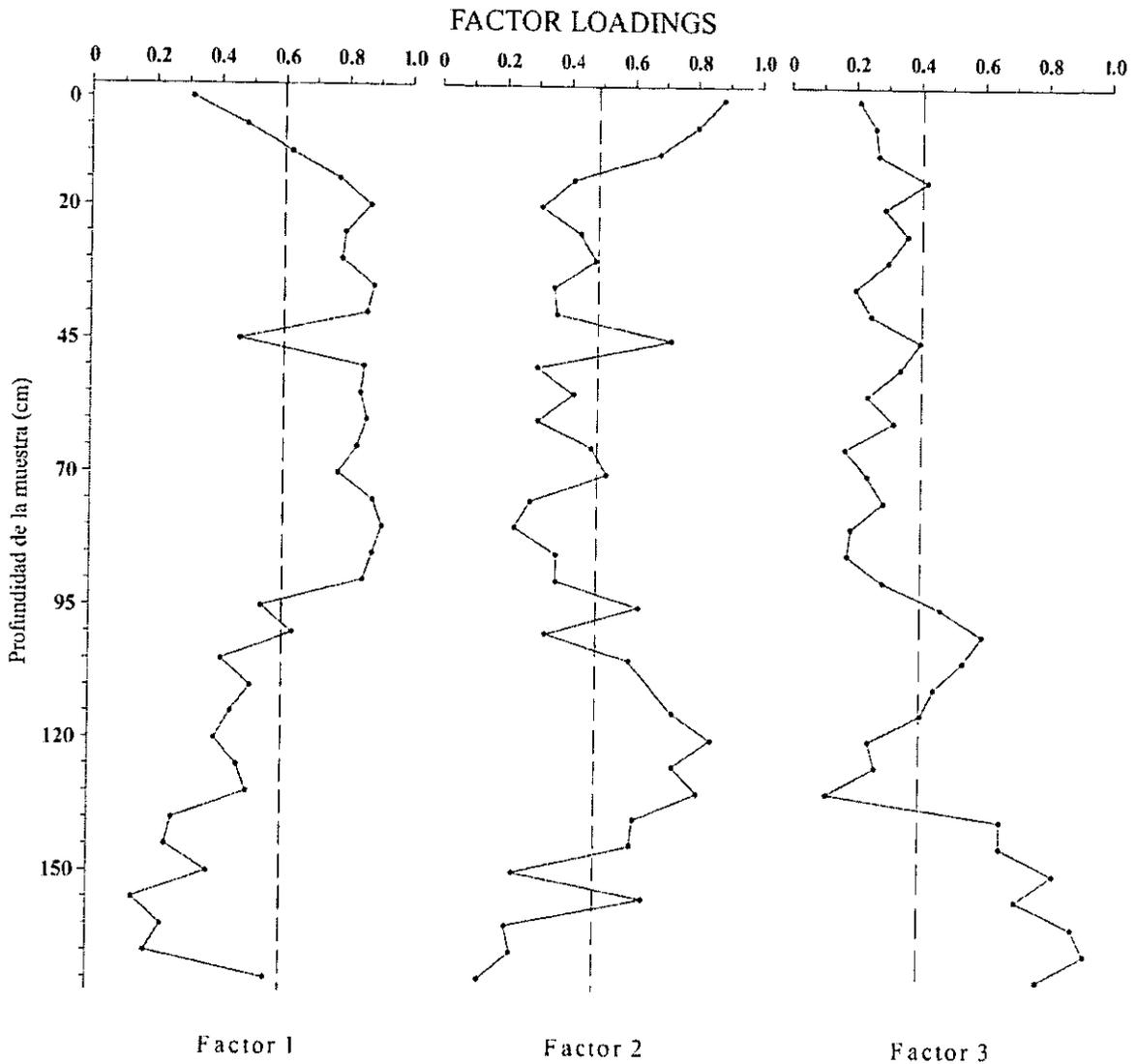
Lo anterior indica que las características del medio son diferentes a las representadas en la parte superior del núcleo. La presencia de estas especies refleja condiciones más cálidas, con una columna de agua estratificada, pero con características eutróficas que permiten desarrollar un máximo de clorofila (condiciones preferentes para, *N. dutertrei* y *G. menardii*). En el Golfo de Tehuantepec, circunstancias como las anteriores se presentan cuando la CCCR llega con mayor intensidad (durante el otoño y principios de invierno: agosto a diciembre) o cuando las surgencias se deprimen por no soplar vientos sobre el Golfo de México (Transviña y Barton, 1997; Monreal y Salas, 1998).

FACTOR 3

Este factor representa dos porciones de la columna, del fondo hacia los 140 cm y otro muy pequeño de 110 a 95 cm.

G. glutinata es la especie planctónica que sobresale en este factor (f. s. = 3.7). En general es muy abundante a lo largo del núcleo, pero posee mayor frecuencia en dos zonas del núcleo: de los 120-155 cm y en la parte superior (**gráfica 3b, especie E**). El factor describe básicamente la última porción del núcleo, que coincide también con la región de los microfósiles se ven enmascarados por el sedimento y en donde *G. glutinata* sigue siendo porcentualmente representativa.

Ésta es una especie resistente, generalista y su abundancia puede indicar momentos de transición entre las otras dos condiciones anteriormente descritas donde las

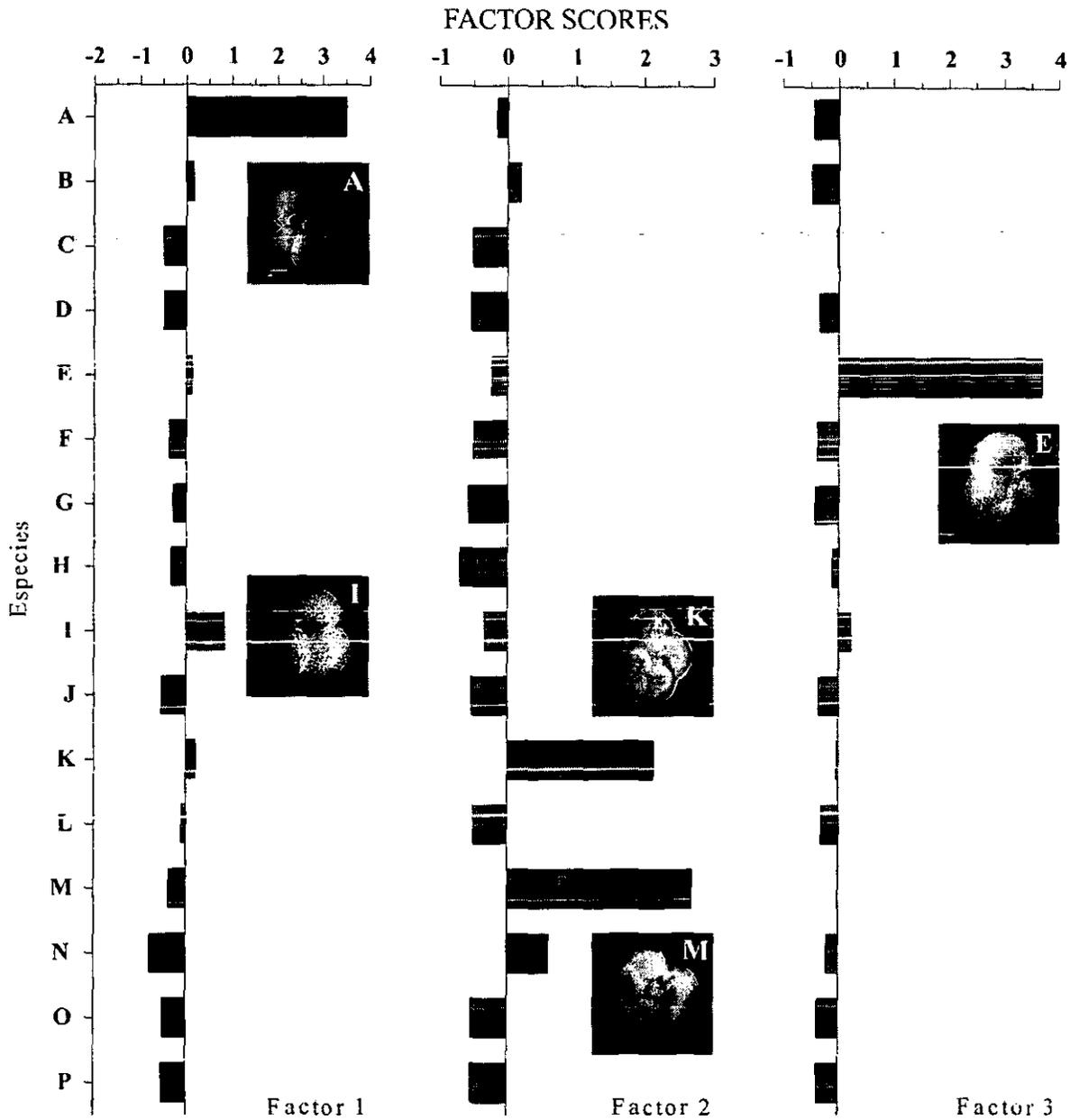


Gráfica 4a. Representación del peso de las muestras (de 0-1 a 175-176) de cada uno de los factores definidos.

características del medio son cambiantes y las otras especies no pueden proliferar.

Sin embargo, la ausencia de otras especies de foraminíferos plactónicos en la base del núcleo estudiado podría deberse a factores de disolución por las condiciones geoquímicas del agua intersticial, o a dilución por aporte terrígeno, por lo que se decidió analizar la distribución estratigráfica de los foraminíferos bentónicos y de radiolarios, para obtener más información y corroborar ésta posibilidad.

Los organismos bentónicos se estudiaron para ver si había aporte de especies de menores profundidades: ya sea que indicaran un arrastre de sedimento, o que mostraran condiciones más cercanas a la costa. Mientras que los radiolarios, para ver si en la zona había disolución de carbonatos (ya que éstos organismos son mucho más resistentes a dicho fenómeno geoquímico por estar formados de sílice y no de carbonato de calcio). Pero esto se retomará a continuación.



Gráfica 4b. Valores que representan las especies importantes para definir los factores. **Factor 1:** Especie A-*G. bulloides*, I-*G. ruber*. **Factor 2:** Especie K-*G. menardii*, M-N. *dutertrei*. **Factor 3:** Especie E-*G. glutinata*.

FORAMINÍFEROS BENTÓNICOS

Con la finalidad de tener mayor información sobre las causas del cambio en la distribución estratigráfica de los foraminíferos planctónicos, y para tratar de evidenciar la existencia de un cambio en las comunidades bentónicas por diferencias de profundidad u otras condiciones, se analizaron los foraminíferos bentónicos de 10 muestras. Los niveles se eligieron porque eran los que reflejaban los rasgos más sobresalientes del núcleo 10T, basándose en los resultados previamente adquiridos con el análisis de factores de los foraminíferos planctónicos (gráfica 2 b):

- Las muestras 160-161 y 140-141 representan al factor 3, con las condiciones de la base de la columna en donde los microfósiles son muy escasos y están enmascarados por sedimentos terrígenos.
- La 120-121, 100-101 y 90-91 corresponden a las muestras del factor 2, que es la parte en la que los organismos van de una baja abundancia hacia una mayor, e incluso alcanzan el pico máximo de individuos por gramo.
- Los niveles 80-81 al 20-21, representaron las condiciones de aumentos de surgencias del factor 1.
- Y la muestra 5-6 que representa la parte superficial del núcleo y coincide con una baja en la abundancia absoluta del total de especies planctónicas.

A. LISTA DE ESPECIES

Se encontraron 22 especies de foraminíferos bentónicos pertenecientes a 15 géneros, que fueron determinadas con bibliografía especializada:

Phylum **PROTISTA** (Goldfuss, 1821)

Subphylum **SARCODINA** (Schamarda, 1871)

Clase **RETICULAREA** (Lankester, 1885)

Subclase **GRANULORETICULOSIA** (Saadler, 1934)

- *Angulogerina carinata* (Cushman, 1927) p. 159, pl. 4, fig. 3.
- *Bolivina* c.f. *humilis* (*Bolivina humilis* Cushman y McCulloch, 1942) Matoba y Yamaguchi, 1982, p. 1053, pl. 1, fig. 7A, B.
- *Bolivina seminuda* (Cushman, 1911) Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1053, pl. 1, fig. 10A-14B.
- *Bolivina subadvena* (Cushman, 1926) Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1053, pl. 1, fig. 15A-17B.
- *Brizalina argentea* (*Bolivina argentea* Cushman, 1926) Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1053, Pl. 1, Figs. 18A-20B.
- *Brizalina interjuncta bicostata* (*Bolivina costata*, d'Orbigny var. *bicostata* Cushman, 1926) Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1053, pl. 1, fig. 21.
- *Buliminella curta* (Cushman, 1925) Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1053, pl. 1, fig. 2-3.
- *Buliminella elegantissima* (*Bulimina elegantissima*, d'Orbigny, 1839) p. 51, pl. 7. fig. 13, 14.
- *Buliminella tenuata* (*Buliminella subfusiformis* Cushman var. *tenuata* Cushman, 1926) Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1053, pl. 1, fig. 4A-5.
- *Cassidulina tumida* (Natland, 1938) Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1055, pl. 3, fig. 12A, B.
- *Cassidulina subcalifornica* (Cushman, 1927) Bandy, 1953; p. 183, pl. 25, fig 4.
- *Epistominella* sp. A (Cushman).

- *Epistominella* sp. B (Cushman).
- *Gyroidina multiloculata* (*Gyroidina soldanii* d'Orbigny var. *multiloculata* Coryell y Mossman, 1942) Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1056, pl. 4, fig. 6A-C.
- *Loxostomum pseudobeyrich* (*Bolivina pseudobeyrich* Cushman, 1926) Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1053, pl. 1, fig. 25A, B.
- *Melonis* (Montford, 1808) *barleeanum*. (Williamson).
- *Pseudoparrella bradyana* (*Pulvinulinella bradyana* Cushman, 1927) Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1055, pl. 3, fig. 2A-C.
- *Sarracenaria* sp.
- *Suggrunda eckisi* (Natland, 1950) Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1055, pl. 3, fig. 10A, B.
- *Uvigerina excellens* (Todd, 1948 en Cushman y McCulloch, 1948) Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1054, pl. 2, fig. 9.
- *Uvigerina peregrina curticoستا* (*Uvigerina pigmea* d'Orbigny var. *curticoستا* Cushman, 1927) Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1054, pl. 2, figs. 10-12.
- *Valvulineria araucana* (Cushman, 1927) Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1054, pl. 2, fig. 13A-C.

B. ABUNDANCIAS

Al igual que los foraminíferos planctónicos, los bentónicos mostraron una disminución en el nivel 120-121, reduciéndose de casi 1200 a < 200 ind/mg (tabla 2 b y gráfica 2 b).

En términos generales se conservaron las mismas especies a todo lo largo del núcleo, no así sus proporciones (%). Las especies dominantes en el núcleo son: *B. seminuda*, *B. subadvena*, *B. interjuncta bicostata*, *B. argentea*, *Epistominella* spp. (*E. sp. A* y *E. sp. B*) y *P. bradyana*, que poseen más del 60% del total de las 22 especies determinadas y muestran el patrón más claro de cambio a lo largo de la columna (tabla 5 y gráfica 5).

Las Bolivinas son más abundantes en la primera mitad de la columna (120 a 5 cm), y alcanzan sus valores máximos (hasta 55% de Bolivinas); las Brizalinas mantienen una cierta homogeneidad; mientras que las Epistominellas junto con *P. bradyana* se hacen más frecuentes en la segunda mitad (desde la muestra 160-161 a 120-121) y es en la sección que alcanzan sus máximos relativos (Epistominellas hasta 31% y *P. bradyana* hasta 14%).

Esta comunidad de foraminíferos bentónicos es la típica referida en la literatura como de una región con cantidades mínimas de oxígeno (< 0.5 ml/L). Estas zonas se caracterizan

por una alta abundancia, baja diversidad, pequeño tamaño y la dominancia de uno o más de los siguientes taxa: *Bolivina*, *Epistominella*, *Pseudoparrella bradyana*, *Cassidulina*, *Uvigerina*, *Suggrunda eckisi* (Douglas, 1979; Linsley, et al, 1985; Pérez y Machain, 1990; Kennett e Ingram, 1995; Bernhard, et al, 1997).

El conjunto de foraminíferos bentónicos de plataforma externa (de 100 - 400 m de profundidad) (Pérez y Machain, 1990) en términos generales se mantiene estable en composición y abundancia. Sin embargo, las proporciones de *Bolivina* spp., *Epistominella* spp. y *P. bradyana*, poseen fluctuaciones a partir de 120 cm.

La asociación de *Epistominella* sp. A, *E. sp. B* y *P. bradyana*, que aumenta hacia el final del núcleo, representa condiciones de O₂ en el fondo ligeramente más altas que en las muestras 120-121 a 5-6, donde aumentan las *Bolivina* spp (que indican concentraciones de << 0.5 ml/L de O₂ disuelto en el agua de fondo) (Pérez y Machain, 1990; Kennett e Ingram, 1995; Bernhard, et al, 1997; Cammarato, et al, 1999) (ver figura 15).

Así que podríamos sugerir que una menor cantidad de O₂ en la parte superior del núcleo estaría relacionado con aumento de surgencias (escenario frío y de mayor circulación), ya que al aumentar la productividad hay una mayor degradación de materia orgánica en la columna, mayor consumo de O₂, y por tanto una disminución de éste gas en el fondo (Behl, 1995; Kennett e Ingram, 1995).

FORAMINIFEROS BENTONICOS

PORCENTAJES (%)

ESPECIES	MUESTRAS									
	5-6	20-21	40-41	60-61	80-81	90-91	100-101	120-121	140-141	160-161
<i>Angulogerina carinata</i>	2,08	2,75	1,90	1,47	1,38	0,93	2,75	0,00	0,00	0,00
<i>Bolivina cf. humilis</i>	0,00	1,60	1,65	2,52	0,00	0,00	3,43	3,36	4,95	10,32
<i>Bolivina seminuda</i>	50,00	49,89	55,77	37,53	38,54	42,99	32,95	42,02	39,15	11,03
<i>Bolivina subadvena</i>	5,11	5,95	4,18	7,13	9,09	3,50	8,24	5,32	4,72	13,52
<i>Brizalina argentea</i>	0,00	0,46	1,27	2,10	2,17	1,87	0,69	1,68	0,00	0,00
<i>Brizalina interjuncta bicostata</i>	1,52	0,92	0,89	2,31	5,53	2,10	1,60	2,24	1,65	1,78
<i>Buliminella curta</i>	3,03	1,14	2,03	1,26	0,79	2,10	7,78	0,00	8,73	1,07
<i>Buliminella elegantissima</i>	0,19	0,46	0,00	0,21	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Buliminella tenuata</i>	0,38	0,23	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	1,07
<i>Cassidulina subcaulfornica</i>	1,14	1,60	0,63	5,45	4,55	5,84	0,92	2,80	0,00	0,00
<i>Cassidulina tumida</i>	1,70	2,75	3,55	1,68	1,19	3,50	0,69	0,00	1,89	3,91
<i>Epistominella sp. A</i>	6,25	6,86	7,10	9,64	13,04	15,42	13,04	28,01	14,15	21,35
<i>Epistominella sp. B</i>	8,52	4,12	3,55	5,66	3,95	4,91	5,95	2,80	9,91	7,83
<i>Loxostomum pseudobeyrichi</i>	0,19	0,46	0,13	0,42	0,40	0,00	0,00	0,28	0,00	0,71
<i>Pseudoparella bradyana</i>	11,93	13,04	7,35	10,69	7,31	9,11	12,81	4,48	10,14	14,23
<i>Sarraceneria sp.</i>	5,68	0,69	2,92	3,35	1,19	0,00	0,46	0,00	0,00	1,07
<i>Saggrunda eckisi</i>	0,76	1,14	3,55	3,56	4,74	2,10	3,66	1,12	1,89	6,05
<i>Uvigerina excellens</i>	0,19	0,23	0,76	0,84	1,38	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Uvigerina peregrina curticauda</i>	0,00	0,00	0,00	0,84	0,40	0,23	0,23	0,84	0,00	1,07
<i>Valvulineria uraucana</i>	1,14	5,26	2,53	3,14	3,36	4,67	4,35	4,76	2,83	3,91

Tabla 5. Porcentajes obtenidos de los foraminíferos bentónicos.

PROPORCIÓN PLANCTONICOS-BENTONICOS

Con las 10 muestras empleadas para el análisis de foraminíferos bentónicos y considerando los mismos niveles para planctónicos, se obtuvieron las proporciones de individuos planctónicos contra los bentónicos (P/B) para una posible estimación paleobatimétrica (Douglas, 1979).

Las muestras finales (160 a 110) poseen una mayor cantidad de bentónicos en relación con los primeros (valores de 0.06), mientras que en los niveles 90-91 a 5-6 aumenta la proporción de planctónicos (índice promedio de ~ 0.35). Esto nos permite suponer que a pesar de que las abundancias absolutas totales de ambos grupos de organismos disminuyen dentro de los últimos niveles, al final de la columna se reflejan condiciones más someras que las actuales (tabla 6).

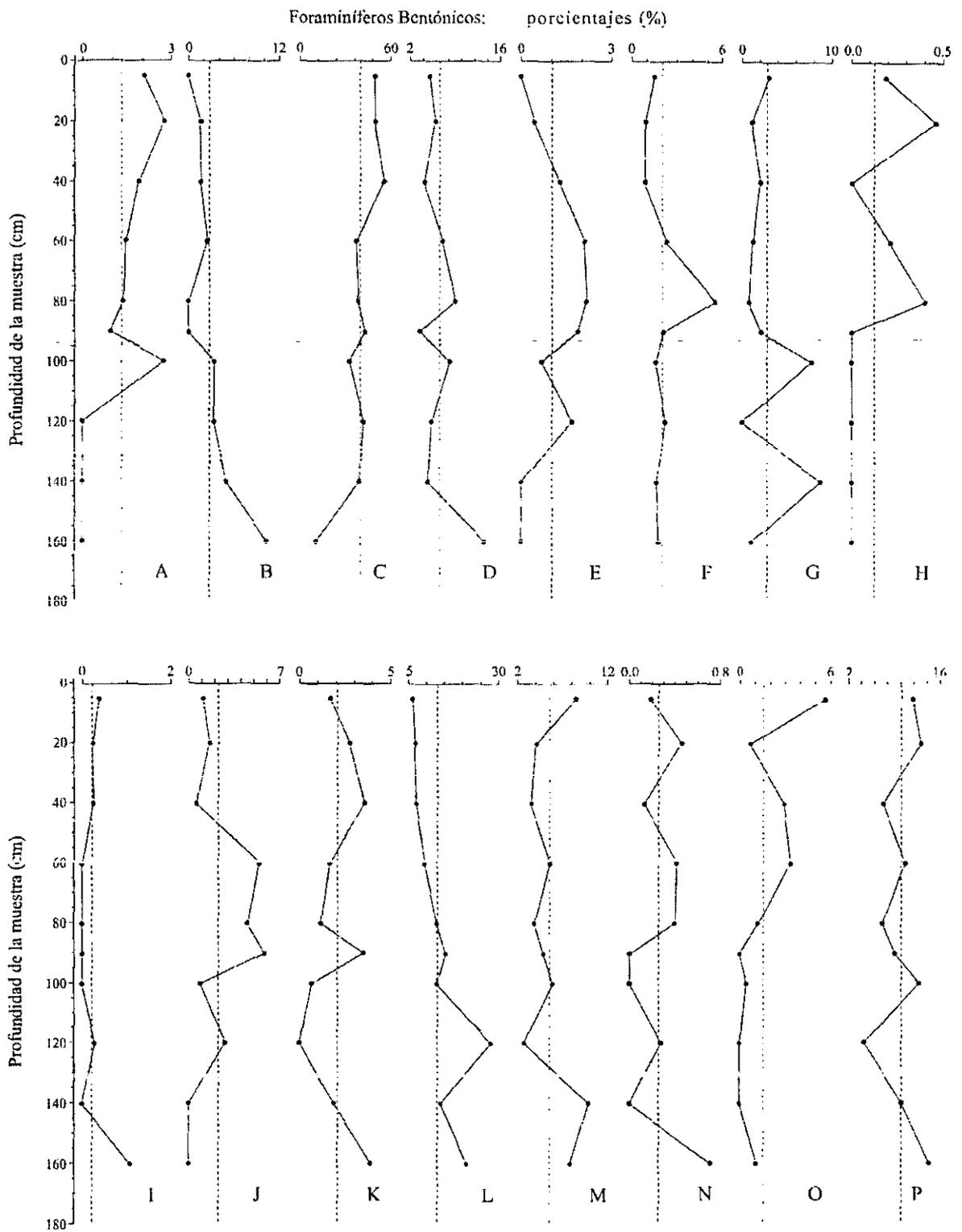
RADIOLARIOS

El conteo de radiolarios, como se mencionó anteriormente, no incluyó la determinación de cada una de las

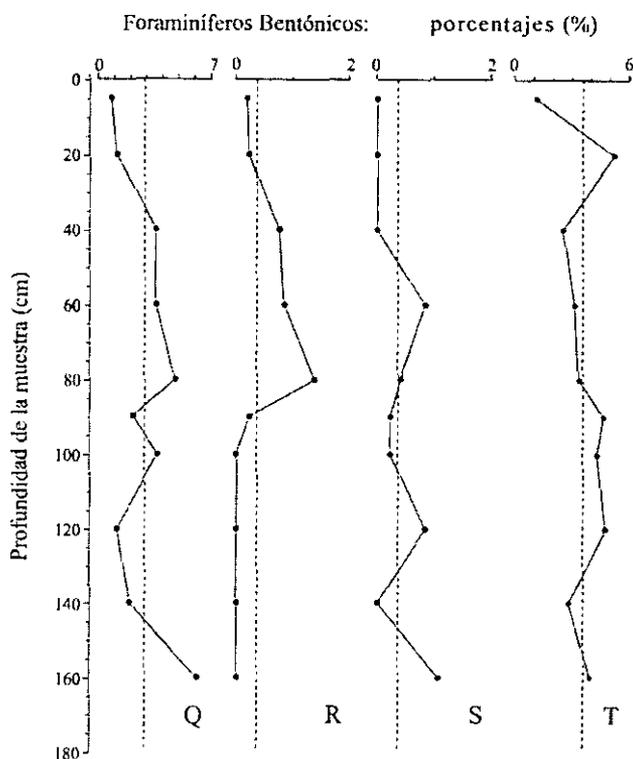
especies, sino sólo la estimación del número total de individuos y de fragmentos por gramo de sedimento seco. Para este análisis se emplearon los mismos niveles de los foraminíferos bentónicos pero con la finalidad de descartar la influencia de procesos de disolución de carbonatos.

Los resultados obtenidos muestran la misma tendencia de los foraminíferos a disminuir hacia el final de la columna sedimentaria. La densidad de radiolarios va de ~ 1 000 ind/g de 160 a 100 cm y hasta casi 10 mil ind/g de los 80 a 5 cm (tabla 7 y gráfica 2 c). El número de fragmentos es mucho menor al de organismos pero con el mismo comportamiento: de ~ 700 fragmentos de la muestra 160-161 a 100-101, hasta ~ 2 000 fragmentos en la primera mitad del núcleo 10T. Los resultados anteriores indican que la disminución de foraminíferos no se debió a procesos disolutivos, sino de dilución de los microfósiles (foraminíferos y radiolarios) por mayor aporte de terrígenos.

Y como un complemento se definió el patrón de frecuencia del radiolario *Acrosphaera murrayana* dentro de las 10 muestras analizadas con el fin de identificar posibles aumentos o disminuciones en la productividad.



Gráfica 5. Porcentajes de las especies de foraminíferos bentónicos. (continuación en la siguiente página)



Gráfica 5. Porcentajes de las especies de foraminíferos bentónicos. A-Angulogerina carinata, B-Bolivina cf. humilis, C-Bolivina seminuda, D-Bolivina subadvena, E-Brizalina argentea, F-Brizalina interjuncta bicostata, G-Buliminella curta, H-Buliminella elegantissima, I-Buliminella tenuata, J-Cassidulina tumida, K-Cassidulina subcalifornica, L-Epistominella sp. A, M-Epistominella sp. B, N-Loxostomum pseudobeyrichi, O-Pseudoparella bradyana, P-Sarracenia sp., Q-Suggrunda eckisi, R-Uvigerina excellens, S-Uvigerina peregrina curticostris, T-Valvulinera araucana.

INDICE DE FORAMINIFEROS	
MUESTRA	INDICE P/B
5-6	0.39
20-21	0.25
40-41	0.19
60-61	0.38
80-81	0.51
90-91	0.25
100-101	0.16
120-121	0.13
140-141	0.06
160-161	0.06

Tabla 6. Proporción de foraminíferos planctónicos contra bentónicos.

RADIOLARIOS				
MUESTRA	% SPP	% P. murrayana	IND/GR	FRAGM/GR
5-6	98.40	1.60	7107.41	1867.97
20-21	97.73	2.27	10460.09	2309.37
40-41	98.70	1.30	9491.96	2003.17
60-61	98.35	1.65	8003.19	2060.23
80-81	99.36	0.64	5061.36	1594.93
90-91	98.68	1.32	3146.73	1229.94
100-101	96.43	3.57	1182.18	694.72
120-121	93.33	6.67	1317.76	759.91
140-141	88.00	12.00	1498.54	829.19
160-161	90.40	10.93	1456.09	867.86

Tabla 7. Niveles analizados para radiolarios. Proporción de especies de radiolarios (% spp.); proporción de *P. murrayana* (%); abundancia absoluta del total de especies (ind/gr); y número de fragmentos por gramo (fragm/gr).

Subclase: **RADIOLARIA** (Müller, 1858)
 Orden: **POLYCYSTINA** (Ehrenberg, 1838, emend. Riedel, 1967)
 Suborden **SPUMELARIA** (Ehrenberg, 1875)

Familia **Collosphaeridae** (Müller, 1858)

- *Acrosphaera murrayana* (Haeckel).
 (determinado gracias a la comunicación personal de A. Molina)

Acrosphaera murrayana es una especie robusta que se puede preservar mejor que otros radiolarios más frágiles. Prefiere la cercanía a la costa y ha sido definida como una especie asociada a procesos de surgencia y alta productividad en las costas de Perú y en el Golfo de Tehuantepec (Molina y Martínez, 1994). Después de su cuantificación se observó que su abundancia relativa es mayor en la porción inferior del núcleo (hasta 12%) y menor en la parte de 80 a 5 cm (3.57 a 0.64%). Sin embargo, su aparente aumento a partir de los 120 cm, puede deberse bien a que es un organismo más robusto que se puede preservar mejor que otros radiolarios más frágiles o también a que por condiciones de elevada productividad se encuentra más fácilmente (indicado por el aumento en porcentaje) que los demás radiolarios (tabla 7, tercer columna).

En el núcleo estudiado se determinaron 4 estadios basándose en el análisis de factores: 3 estadios de modificaciones ecológicas y 1 depositacional.

- El **factor 1** definido por la presencia de *Globigerina bulloides* y *Globigerinoides ruber*, es una condición concordante con momentos fríos o de una surgencia bien representada.
- El **factor 2** reflejado por las especies *Globorotalia menardii* y *Neogloboquadrina dutertrei*, marca dos zonas a lo largo de la columna que equivalen a momentos cálidos con una columna de agua estable, probablemente ocasionados por una mayor incursión de la corriente cálida de Costa Rica o por una depresión de las surgencias.
- Y El **factor 3** que indica condiciones en donde la dilución por terrígenos enmascara a los componentes calcáreos. La especie *Globigerinita glutinata* es porcentualmente representativa, pero por las características ambientales tan heterogéneas en las que vive y su amplia tolerancia a las variaciones del medio, es difícil crear una interpretación ecológica a partir de ella.

La composición de foraminíferos bentónicos a lo largo de la columna sedimentaria es típica de una zona de oxígeno mínimo en la que dominan los siguientes taxa: *Bolivina* spp., *Epistominella* spp. y *Pseudoparella bradyana*. Siendo una asociación de plataforma externa con pequeñas diferencias de composición y abundancia, que señalan variaciones en la cantidad de O₂ disuelto del fondo marino, principalmente en la sección en que aumentan los terrígenos

Finalmente los radiolarios, organismos totalmente pelágicos cuya abundancia decae a partir de los 100 cm, son una prueba más del cambio hacia condiciones hemipelágicas. El aumento en porcentaje de *A. murrayana* puede insinuar que la elevada productividad se mantiene en la zona, pero al

igual que los demás microorganismos, está diluida por el aporte terrígeno.

Al analizar todos los resultados en conjunto, se pueden generalizar muy evidentemente cuatro estadios dentro de la columna sedimentaria. Uno de la parte final del núcleo hacia los 124 cm (**factor 3**) y tres dentro de los 124 a los 0 cm (**factor 1** y **2**). El primero concuerda más con un ambiente de mayor influencia continental (hemipelágico) en el que: 1) la cantidad de arenas aumenta convirtiendo al sedimento en lodo-arenoso, 2) predomina el sedimento terrígeno, 3) aparecen claros elementos de origen continental como restos vegetales, 4) los microfósiles disminuyen sensiblemente y finalmente desaparecen, y 5) la relación foraminíferos planctónicos/bentónicos favorece a éstos últimos, hecho que es indicativo de condiciones más cercanas a la costa (Douglas, 1979). Mientras que los otros tres corresponden a un ambiente predominantemente pelágico que se ve reflejado en la mayor proporción de lodos (< 10% arenas) y abundancia de organismos planctónicos (foraminíferos y radiolarios).

Un cambio depositacional tan marcado como el anterior se pudiera atribuir a una variación en el nivel del mar, probablemente causado por las fluctuaciones térmicas derivadas de la *transgresión del Holoceno* (hace 18 000 a 6 000 años ¹⁴C) (Southam y Hay, 1981; Kennett, 1982), en donde la depositación fluvial se extendió hasta la plataforma externa logrando mayor incorporación de terrígenos y arenas.

De acuerdo con los datos de ²¹⁰Pb, la edad alcanzada en el núcleo 10T es ~3 630 años, época que coincide con las oscilaciones del Holoceno ocurridas entre 4000 y 2000 años ¹⁴C (mencionadas en la introducción). Este período posiblemente también concuerda con la formación de las antiguas líneas de costa (a 45, 75 y 130 m de profundidad) referidas por Boumaggard, *et al* (1998), pero la ausencia de dataciones en dicho estudio no permite atribuir en que momento se presentaron. Sin embargo, el cambio en el nivel del mar correspondiente a 45 m, podría coincidir con el aumento de aporte conti-

mental a la región de estudio expresado en la base del núcleo 10T. Lo anterior solo puede ser confirmado por dataciones absolutas, que hasta la fecha no se tienen, de tal manera que a partir de los resultados presentes solo se plantea como una posibilidad.

Un segundo hecho factible es que los cambios apreciados al final del núcleo se deban a una dilución por mayor aporte terrígeno a la región, causado por un escenario climático caracterizado por mayor precipitación pluvial que provocaría: un aumento de descargas fluviales y el consiguiente aumento en el aporte de sedimentos u otros elementos de origen continental (como restos vegetales, cenizas volcánicas y otros minerales) al área del golfo.

O como tercera posibilidad pudieramos decir, que la presencia de este material terrígeno sea producto de deslaves generados por la inestabilidad del fondo, ya que ésta es un área tectónicamente activa y el desplazamiento lateral o vertical de un bloque de sedimentos pudo haber conducido a la zona de estudio este material; aunque no se encontró muestra de organismos que hayan venido acarreados de regiones más costeras.

Como se puede ver, para poder corroborar lo previo, se necesitaría llevar a cabo estudios geofísicos, estructurales y/o regionales que están fuera del alcance de este trabajo.

Por lo anterior, en esta tesis se concluye que:

La tasa de sedimentación para la región central del área de estudio es de 0.51 ± 0.06 mm/año.

Y en el lapso de tiempo de $\sim 3\ 630$ años (comprendidos dentro del núcleo 10T), han ocurrido cuatro eventos en el Golfo de Tehuantepec:

- I. El más antiguo (hace ~ 3630 a 2430 años), afectado por mayor aporte de terrígenos y no por dilución geoquímica del registro micropaleontológico, evidenciado por radiolarios.
- II. Un segundo (de ~ 2430 a 2060 años) con aumento en la incidencia de las corrientes cálidas a la zona de estudio, evidenciado por las especies planctónicas *G. Menardii* y *N. dutertrei*, en la que las surgencias de Tehuantepec no se desarrollaban tan evidentemente como en el período subsecuente.
- III. Uno intermedio (de ~ 2060 a 196 años), factor representado por *Gg. bulloides*, advierte momentos en que la surgencia inducida por el viento incrementa su actividad, de tal manera que hay una elevada productividad y un aumento en el consumo de oxígeno de las capas superficiales, trayendo como consecuencia una menor cantidad de O_2 disuelto en el fondo y la intensificación de la ZOM, evidenciado por la dominancia de las especies del género *Bolivina* (*B. somnuda* y *B. subadvena*).
- IV. Y durante los últimos 10 cm (de ~ 196 años a la fecha), un retorno a condiciones similares al estadio II, con una mayor incursión de las corrientes cálidas en la zona de estudio.

- **Adams, J. (1997).** North America during the last 150,000 years. <http://www.esd.ornl.gov/projects/gen/nercNORTHAMERICA.html>. Environmental Sciences Division, Oak Ridge National Laboratory, USA.
- **Avendaño, S. S. (1978).** Estudio granulométrico de sedimentos de la porción oeste del Golfo de Tehuantepec. Tesis Prof. ESIA-IPN, 42 pags.
- **Ayala, D. E., Maldonado M., J. Becerril M., X. Ayala F., V. Barrios O., D. García T. y Juárez O. (1996).** Spatial and temporal distribution of zooplankton biomass in the Gulf of Tehuantepec. *Pac. Sci.* 5 (4): p. 415-426.
- **Badan, A. (1997).** La Corriente Costera de Costa Rica en el Pacífico Mexicano. en *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*. M. F. Lavin (ed) Monografía 3. Unión Geofísica Mexicana. p. 99-112.
- **Bandy, O. L. (1953).** Ecology and paleoecology of some California foraminifera. Part 1. The frequency distribution of Recent foraminifera off California. *J. Paleontol.* 27: p. 161-182.
- **Barrier, E., L. Velasquillo, M. Chavez y R. Gaulon. (1998).** Neotectonic evolution of the Isthmus of Tehuantepec (southeastern Mexico). *Technophysics.* 278: p. 77-96.
- **Barton, E., M. Argote, J. Brown, P. Kosro, M. Lavin, J. Robles, R. Smith, A. Transviña y H. Velez. (1993).** Supersquirt: Dynamics of the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Oceanography.* 6 (1): p. 23-30.
- **Bé, A. W. H. (1959).** Ecology of Recent Planktonic foraminifera. *Micropaleontology.* 5(1): p. 77-100.
- **Bé, A. W. H. y D. S. Tolderlund. (1971).** Distribution and ecology of living planktonic Foraminifera in surface waters of the Atlantic and Indian Oceans. en *The micropalaeontology of oceans*. Funnell, B. M. & W. R. Riedel (eds). Cambridge University Press. 371 pags.
- **Behl, R. (1995).** Sedimentary facies and sedimentology of the Late Quaternary Santa Barbara Basin (Site 893). En Kennett, J. P., J. Baldauf, et al. (eds.) *Proc. OPD, Sci. Results.* 129 part 2: College Station, TX (Ocean Drilling Project).
- **Bernhard, J. M., B. K. Sen Gupta, y P. F. Borne (1997).** Benthic Foraminiferal proxy to estimate dysoxic bottom-water oxygen concentrations: Santa Barbara Basin, U. S. Pacific continental margin. *Journal of Foramin. Res.* 22 (4): p. 301-310.
- **Boersma, A. (1978).** Calcareous Microfossils. en *Introduction to Marine Micropaleontology*. Haq, B. U. & A. Boersma (eds.). Elsevier, New York. p.18-77.
- **Boltovskoy, E. (1965).** Los foraminíferos recientes. Biología, métodos de estudio, aplicación oceanográfica. Edit. Eudeba. Buenos Aires. 510 pags.

- **Boumaggard, El H., J. Gayet., C. Bobier, M. L. Machain, y E. Aguayo. (1998).** Distribution des sédiments sur la marge du Golfe de Tehuantepec (Pacific Oriental). Exemple d'interaction tectonique - eustatisme. *Oceanol. Acta.* 21 (1): p. 21-31.
- **Brasier, M. D. (1995).** Fossil indicators of nutrient levels. 1: Eutrophication and climatic change. en *Marine Palaeoenvironmental Analysis from Fossils*. Bosence, D. W. J. y P Allison (eds). Geological Society Special Publication, no. 83, p. 113-132.
- **Brown, J., E. D. Barton, A. Transviña, H. S. Velez M., P. M. Kosro y R. L. Smith. (1992).** Estimation of surface winds from upward looking Acoustic Doppler Current Profilers. *J. Geophys.* 97: p. 17925-17930.
- **Buzas, M. A. (1979).** Quantitative Biofacies Analysis. En *Foraminiferal Ecology and Paleoecology*. Lipps, J. H. et al (eds.) Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. 198 pags.
- **Cannariato, K. G., J. Kennett y R. J. Behl. (1999).** Biotic response to late Quaternary rapid climate switches in Santa Barbara Basin: Ecological and evolutionary implications. *Geology.* 27 (1): p. 63-66.
- **Carranza, E. A., Morales de la Garza y L. Rosales (1998).** Tectónica, sedimentología y geoquímica. Cap.1: 1-12. en *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos*. Tapia, G. M. (ed) 240 pags. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México.
- **Carranza, E. A., M. Gutiérrez y R. Rodríguez. (1975).** Unidades morfotectónicas continentales de las costas mexicanas en Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 2 (1): p. 81-88.
- **Cline, J. D. y F. A. Richards. (1972).** Oxygen deficient conditions and nitrate reduction in the Eastern Tropical North Pacific Ocean. *Limnology and Oceanography.* 17: p. 885-900.
- **Cole, J. E., R. G. Fairbanks y G. T. Shen (1995).** Monitoring the tropical ocean and atmosphere using chemical records from long-lived corals. en *Natural Climate Variability on Decade to Century Time Scales*. National Research Council (eds.) National Academy Press, USA. p. 495-503.
- **Cushman, J. A. (1927).** Recent foraminifera from off the west coast of America. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr.* 1: p. 119-188.
- **Cushman, J. A. y I. McCulloch (1942).** Some Virungulininae in the collections of the Allan Hancock Foundations. *Allan Hancock Pacific Expeditions*. University of Southern California Press, USA. 6(4): p. 179-230.
- **De la Lanza, E. G. (compiladora) (1991).** Oceanografía de Mares Mexicanos. ARG editor, S. A. México D. F. p. 117-207.
- **Douglas, R. G. (1979).** Benthic Foraminiferal: Ecology and Paleoecology en Lipps, J. H., W. H. Berger, M. A. Buzas, R. G. Douglas & C. A. Rosss. *Foraminiferal Ecology and Paleoecology*. Soc. of Econom. Paleont. and Mineral. Huston, 1979. p. 21-53.
- **Emery, K. O. y Garrison, L. E. (1967).** Sea levels 7 000 to 20 000 years ago. *Science.* 157: p. 684-687.

- **Enfield, D. B. y J. S. Allen. (1988).** The generation and propagation of sea level variability along the Pacific coast of Mexico. *J. Phys. Oceanogr.* 13: p. 1012-1033.
- **Flower, B. P. y Kennett, J. P. (1990).** The Younger Dryas cool episode in the Gulf of México. *Paleoceanography.* 5: p. 949-961.
- **Folk, R. L. (1969).** Petrología de las rocas sedimentarias. Trad. por Schlaepfer C & Schmitter R. M. *Instituto de Geología, UNAM.* 405 pags.
- **Gallegos, G. A. y J. Barberán (1998).** Surgencia eólica. Cap. 3: 27-34. En *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos.* Tapia, G. M. (ed) 240 pags. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México 1998.
- **García, E. (ed) (1981).** Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM 3ª ed. México, 252 pags.
- **Golik, A. y F. Phleger. (1977).** Benthonic foraminifera from the Gulf of Panama. *Journal of Foraminiferal Research.* 7(2): p. 83-99.
- **Hemleben, Ch., M. Spindler y O. R. Anderson. (1989)** Modern planktonic foraminifera. Springer - Verlag, New York Inc. 363 pags.
- **Hilbrecht, Heinz. (1996).** Extant planktic foraminifera and the physical environment in the Atlantic and Indian oceans. en <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/geology/bb1996.html>. Swiss Federal Institute of Technology. Zürich Switzerland
- **Hurd, W. E. (1929).** Northerners of the Gulf of Tehuantepec. *Mon. Weather Rev.,* 57 (5): p. 192-194.
- **Jusel, et al. (1993).** Vostok ice cores: extending the climate records over the penultimate glacial period. *Nature* 364, no. 6436: p. 407-412.
- **Joshi, L. V. y T. L. Ku. (1979).** Measurement of ^{210}Pb from a sediment core off the coast of California. *Journal Radioanalytical Chemistry* 52 (2): p. 329-334.
- **Kennett, J. y B. L. Ingram. (1995).** A 20 000-year record of ocean circulation and climate change from the Santa Barbara basin. *Nature.* 377: p. 510-514.
- **Kennett, J. P. y M. S. Srinivasan. (1983).** Neogene Planktonic Foraminifera. Hutchinson Ross Publishing Company. New York. 260 pags.
- **Kennett, J. P. (1982).** Marine Geology. Prentice Hall, Englewood Cliffs. 830 pags.
- **Klovan, J. E y J. Imbrie. (1971).** A logarithm and Fortran IV program for large scale Q-mode factor analysis. *Internat. Assoc. Math. Geol. Jour.* 3 (1): p. 61-67.

- **Sautter, L. R. y C. Sancetta. (1992).** Seasonal associations of phytoplankton and planktic foraminifera in an upwelling region and their contribution to the sea floor. *Mar. Microp.* 18: p.263-278.
- **Secretaría de Marina. (1978).** Estudio Oceanográfico del Golfo de Tehuantepec. *Inv. Ocean/Tebua-04-78.* Direcc. Gral. de Oceanogr., México. Tomo I-III.
- **Southman, J. R. y W. W. Hay (1981).** Global sedimentary mass balance and sea level changes. en Emiliani, C. (edit). *The Sea: The Oceanic Lithosphere.* Wiley-Interscience Publication, USA. Vol. 7, cap. 35: p.1617-1684.
- **Stumpf, H. G. (1975).** Satellite detection of upwelling in the Gulf of Tehuantepec, Mexico en *Journal Physics Oceanography.* 5: p. 383-388.
- **Tamayo, J. L. (1984).** Geografía moderna de México 9a. edición. Edit. Trillas, México. 400 pags.
- **Thunell, R. C. (1998)** Seasonal and annual variability in particle fluxes in the Gulf of California: A response to climate forcing en *Deep-Sea Research.* 1, 45: 2059-2083.
- **Thunell, R. C. , C. J. Pride, E. Tappa y E. E. Muller. (1994)** Biogenic silica fluxes and accumulation rates in the Gulf of California en *Geology.* 22, p. 303-306, abril 1994.
- **Transviña, A y E. D. Barton. (1997).** Los «Nortes» del Golfo de Tehuantepec: la circulación costera inducida por el viento. en *Contribuciones a la Oceanografía Física en México.* M. F. Lavín (ed). Monografía 3. Unión Geofis. Mex. p. 24-46.
- **Ufkes, E., J. H. Fred Jansen. y G. J. A. Brummer (1998).** Living planktonic foraminifera in the eastern South Atlantic during spring: indicators of water masses, upwelling and the Congo (Zaire) River plume. *Marine Micropaleontology.* 33: p. 27-53.
- **Vázquez, G. F, S. López, A. Ramírez, M. Turner, A. F. Castillo y H. Alexander (1998).** La química del agua. Cap 4: 35-50. En *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos.* Tapia, G. M. (ed) 240 pags. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México 1998.
- **Vincent, E. y W. H. Berger (1981).** Planktonic foraminifera and their use in Paleoceanography. en Emiliani, C. (edit). *The Sea: The Oceanic Lithosphere.* Wiley-Interscience Publication, USA. Vol. 7, cap. 25: p. 1025-1120.
- **Warner, B. G. (edit.). (1990).** Methods in Quaternary Ecology. Geoscience Canada 170 pags.
- **Watkins, J. M., A. C. Mix, y J. Wilson. (1998).** Living planktic foraminifera in the tropical Pacific Ocean: articulating the equatorial «cold tongue» during La Niña, 1992. *Marine Micropaleontology.* 33: p. 157-174.
- **Wyrtki, K. (1967).** Circulation and water masses in the Eastern Equatorial Pacific Ocean. *Int. Oceanol. and limnol.* 1(2): p. 117-147.

ANEXO

Fotografías de 14 especies de foraminíferos planctónicos.

Las especies no incluidas en éste anexo son:

Candeina nitida

Globigerinella aequilateralis

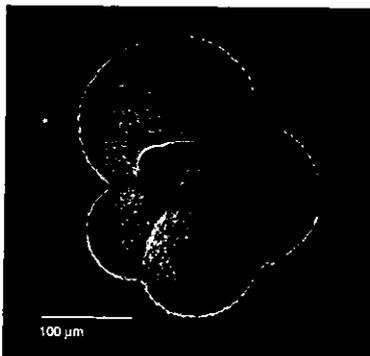
Globigerinella calida

Globigerinita uvula

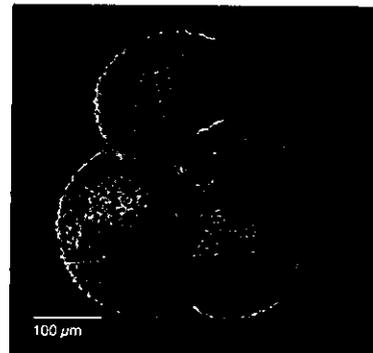
Globorotalia theyeri

Hastigerina pelagica

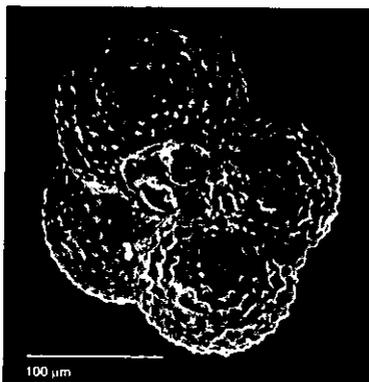
Neogloboquadrina pachyderma



1.



2.



3.



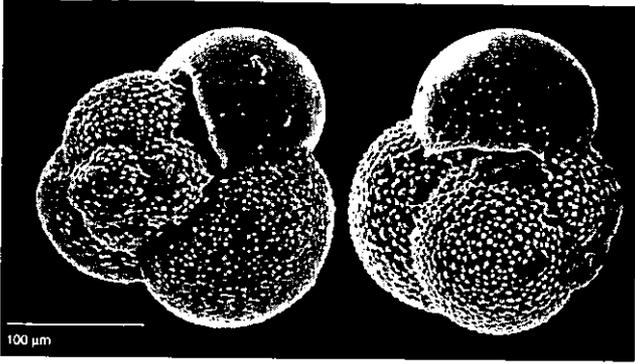
4.

2. *Globigerina falconensis*
(Blow, 1959)
vista umbilical

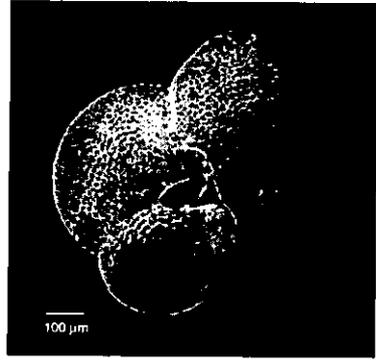
1. *Globigerina bulloides*
(d'Orbigny, 1826)
vista umbilical

4. *Globigerinita glutinata*
(Egger, 1893)
vista umbilical: sin y con bulla

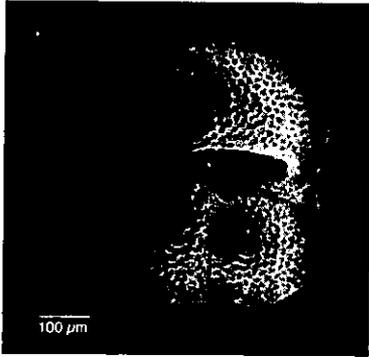
3. *Globigerina rubescens*
(Hofker, 1956)
vista umbilical



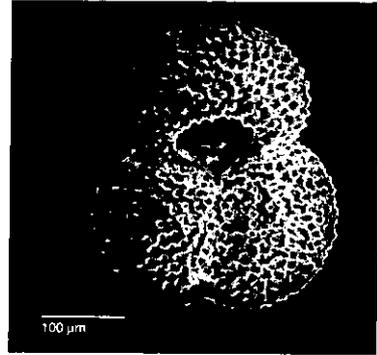
5.



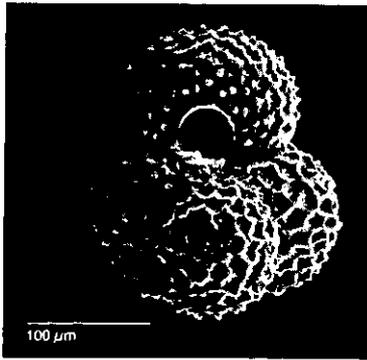
6.



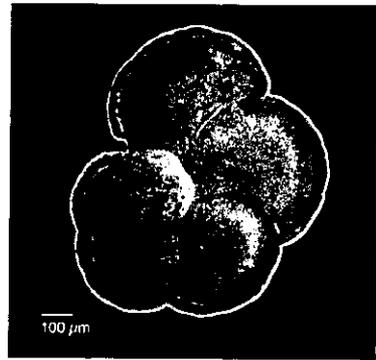
7.



8.



9.



10.

6. *Globigerinoides sacculifer*
(Brady, 1877)
vista umbilical

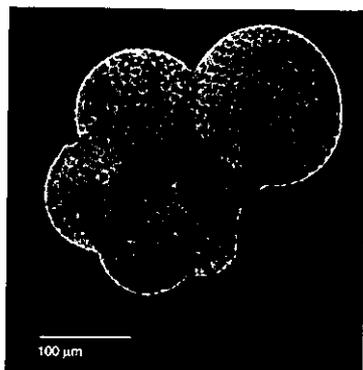
5. *Globigerinita parkerae*
(Bermudez, 1961)
vista espiral y umbilical

8. *Globigerinoides ruber*
(d'Orbigny, 1939)
vista umbilical

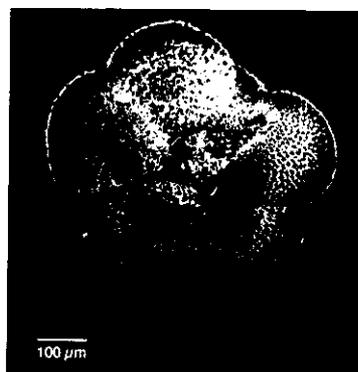
7. *Globigerinoides quadrilobatus*
(d'Orbigny, 1846)
vista umbilical

10. *Globorotalia menardii*
(Parker, Jones & Brady, 1865)
vista espiral

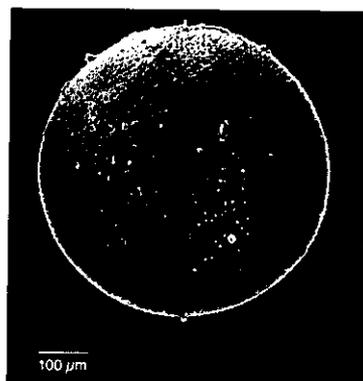
9. *Globigerinoides tenellus*
(Parker, 1958)
vista umbilical



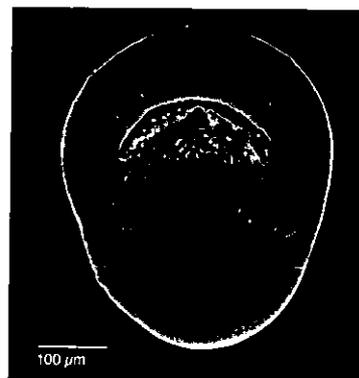
11.



12.



13.



14.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

12. *Neogloboquadrina dutertrei*
(d'Orbigny, 1839)
vista umbilical

11. *Globorotaloides hexagona*
(Natland, 1938)
vista umbilical

14. *Pulleniatina obliquiloculata*
(Parker & Jones, 1865)
vista umbilical

13. *Orbulina universa*
(d'Orbigny, 1839)
vista espiral o umbilical