

60364

1



*Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología*

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO



**VARIACIÓN DEL PATRÓN DE CIRCULACIÓN SUPERFICIAL  
DEL GOLFO DE TEHUANTEPEC DETERMINADO POR EL  
REGISTRO SEDIMENTARIO DE FORAMINIFEROS  
PLANCTÓNICOS DURANTE EL CUATERNARIO TARDÍO**

**T E S I S**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

que para obtener el grado académico de

**Maestra en Ciencias  
(Geología Marina)**

PRESENTA:

**Elsa Arellano Torres**

Director de Tesis: Dra. Maria Luisa Machain Castillo

Comité Tutorial: Dra. Margarita Caballero Miranda  
Dra. Maria Adela Monreal Gómez  
Dr. Enrique Hiparco Nava Sánchez  
Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi



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.

**TESIS  
CON  
FALLA DE  
ORIGEN**

**A MI MAMA, MI PAPA,  
MI HERMANO Y MANO**

**LOS CUATRO COMO SIEMPRE EN  
LO MAS PROFUNDO DE MI CORAZON**

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

NOMBRE: Fiso Acuña  
Torres

FECHA: 20 oct 2003

FIRMA: Fiso Acuña T.

## AGRADECIMIENTOS

A todos y cada uno de los miembros de mi comité tutorial:  
Dra. Maria Luisa Machain por su continuo apoyo, confianza y esos necesarios empujoncitos que espero nunca deje de darme.  
Dra. Adela Monreal por sus atentos, certeros y siempre agradables consejos para realizar este trabajo.  
Dra. Margarita Caballero y Dr. Jaime Urrutia por aceptar formar parte de este proyecto, compartir conmigo su experiencia y ampliar el panorama de las cosas.  
Dr. Enrique Nava, que además de su invaluable amistad le agradezco mucho las cosas que he aprendido de él.

*Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y a la Dirección General de Estudios de Posgrado por el apoyo económico brindado, ya que sin el cual nunca hubiera sido tan fructífero este esfuerzo.*

A todas las personas del *Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología*, que con su continua atención y excelente trabajo hacen que todo salga mucho mejor.

Finalmente a todos los amigos que estimo profundamente y que formaron parte de esta increíble experiencia:

Mis compañeros de laboratorio.  
Barbarita, como siempre mis respetos y todo mi cariño preciosa. Benjamín, Bruno y Ofelia, chicos creo que juntos hemos disfrutado en cantidad el tiempo que llevamos juntos.

Nacho, siempre al pendiente de cuanto cosa se me ocurre con ese aparato llamado computadora.

Adrián, por su amable ayuda durante los críticos momentos a bordo del «B/O El Puma» donde tuve que terminar el primer borrador de esta tesis.

Poncho, por las cosas que gracias a ti conocimos durante nuestra estancia en La Paz.

A mis amigas de siempre Casandra, Martha, Escarlett y Ana, chicas nadie mejor que ustedes sabe de que se ha tratado esto.

Y la lista sigue y sigue, pero en algún momento tengo que cortar.



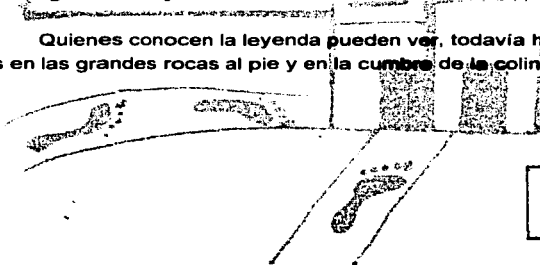
Tehuantepec es una palabra en nahuatl que significa «cerro del jaguar», cuyo equivalente en zapoteco *Dá:n gie' be'z'é* quiere decir «cerro del jaguar de piedra». Esto denomina el cerro principal en torno al cual se levanta este poblado y que en épocas pasadas fungió como santuario para rendir culto al jaguar.

Al cerro se llega por una vereda escabrosa que pasa entre matorrales espinosos. En la cima yergue una pequeña capilla blanca que probablemente ocupa el sitio donde antes existía un templo dedicado a este felino. En su interior solo se encuentra una cruz sencilla y los pétalos secos de las flores empleadas en la ofrenda más reciente; nada se aprecia que recuerde a los misteriosos animales, salvo los canalones de barro fabricados en la localidad, cuyos remates representan toscas cabezas de jaguar. En una cueva, ubicada en un costado del cerro, hay un petroglifo que representa de manera primitiva una figura felina similar.

Aún se recuerda en Tehuantepec la leyenda que existe en torno a este sitio:

*«El cerro estaba infestado de jaguares, de una variedad sumamente sanguinaria, que mataban y aterrorizaban a los habitantes, motivo por el que estos recurrieron a un célebre brujo huasteco para que exorcizara a los felinos. Con este fin el hechicero hizo que emergiera del mar una gigantesca caguama y que se arrastrara lentamente hasta el cerro. El monstruo llegó al punto donde inicia la pendiente justo en el momento en que los jaguares descendían en doble fila. Estos al ver a la tortuga, se paralizaron de miedo y fueron convertidos en piedra. Sin embargo los zapotecas se sintieron igualmente aterrorizados con la caguama, por lo que le rogaron al hechicero que se deshiciera de ella. Acto seguido el brujo convirtió al animal en una roca inmensa»<sup>2</sup>.*

Quienes conocen la leyenda pueden ver, todavía hoy, los vestigios de los animales en las grandes rocas al pie y en la cumbre de la colina...



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

<sup>1</sup> Artes de México.  
La Tehuana.  
No. 49. México, 2000.

<sup>2</sup> Covarrubias, M.  
El Sur de México. Instituto  
Nacional Indigenista.  
México, 1980 (Clásicos de la  
antropología mexicana. No. 9).



## INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCION	3
ANTECEDENTES	5
AREA DE ESTUDIO	
GEOLOGIA	9
<i>Batimetría</i>	9
<i>Sedimentología</i>	11
<i>Tasas de Sedimentación</i>	14
METEOROLOGIA ACTUAL	14
<i>La circulación atmosférica y su relación con la generación de los "nortes"</i>	17
CLIMA DE TEHUANTEPEC	18
OCEANOGRAFIA FISICA	20
<i>Circulación Oceánica</i>	20
<i>Masas de Agua</i>	22
<i>Surgencia</i>	23
<i>Repercusión en el agua superficial y la termoclina</i>	23
DISTRIBUCIÓN DE OXÍGENO	25
PRODUCTIVIDAD BIOLÓGICA DEL GOLFO	26
<i>Fitoplancton y Productividad Primaria</i>	26
<i>Zooplancton</i>	27
MATERIALES Y METODOS	
COLECTA DEL NÚCLEO	31
LABORATORIO	31
<i>Tratamiento del Sedimento</i>	31
<i>Trabajo Micropaleontológico</i>	32
<i>Método Estadístico</i>	33
<i>Análisis de Isótopos Estables (<math>\delta^{18}\text{O}</math>) y Cronología (<math>^{14}\text{C}</math>)</i>	34
RESULTADOS	
DESCRIPCIÓN DEL NÚCLEO ME0005A-3JC	35
CURVA ISOTÓPICA DE $\delta^{18}\text{O}$ Y FECHACIONES CON $^{14}\text{C}$	35
FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS	37
1. <i>Abundancia Absoluta</i>	39
2. <i>Abundancia Relativa</i>	40
3. <i>Condiciones Ecológicas de los Foraminíferos Planctónicos</i>	40
4. <i>Análisis de Factores</i>	45
DISCUSION	
REGISTRO SEDIMENTARIO Y ABUNDANCIA DE FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS	49
RECONSTRUCCIÓN PALEOCEANOGRÁFICA	50
<i>Pleistoceno Tardío: Último Máximo Glaciar</i>	50
<i>Pleistoceno Tardío: Deglaciación</i>	52
<i>Holoceno</i>	53
CONCLUSIONES	57
BIBLIOGRAFIA	59



## RESUMEN

Se trabajó con un núcleo de sedimentos del Golfo de Tehuantepec para determinar variaciones en el patrón de circulación superficial durante los últimos 23,000 años. En él se definen tres eventos paleoceanográficos de acuerdo con la curva de  $^{18}\text{O}$  y el análisis de factores de foraminíferos planctónicos: 1- El final del Último Máximo Glaciar (de 23,078 a 15,527 años AP) determinado por la asociación *Neogloboquadrina dutertrei* - *Globorotalia menardii* - *Neogloboquadrina pachyderma* que indica condiciones de termoclina estable, columna de agua estratificada y mayor persistencia de aguas cálidas ecuatoriales en la región; 2- La deglaciación (de 15,527 a 12,884 años AP); 3- El Holoceno (de 12,884 a 1706 años AP) donde se alternan periodos con disolución total del registro de foraminíferos, junto con dos asociaciones: la de *Globigerinita glutinata* que puede reflejar condiciones de capa superficial mezclada con abundante productividad de fitoplancton y la de *Globigerina bulloides* - *Globigerinoides ruber* que indican una mayor permanencia de la surgencia del Golfo de Tehuantepec. Dichas condiciones revelan que las modificaciones en el régimen de circulación oceánica superficial y de surgencia son sensibles a cualquier tipo de cambio a nivel atmosférico, tal como los modelos climáticos describen que ha sucedido desde el Último Máximo Glaciar y como lo atestigua el registro sedimentario.







## INTRODUCCION

El estudio de la *paleoceanografía* se centra en tratar de conocer la historia del océano y la evolución conjunta de todos sus elementos. Para entender la complejidad de su pasado se debe contar con la memoria de la circulación oceánica, las variaciones en las propiedades de las masas de agua, como lo son la temperatura, salinidad, cantidad de nutrientes y oxígeno, además de aspectos geológicos, biogeográficos, de productividad y diversidad de los organismos marinos.

Como toda ciencia, la paleoceanografía posee herramientas básicas que le ayudan en la comprensión de los diferentes procesos. Esas herramientas se conocen como *proxies* o *paleoindicadores* que tienen la facultad de señalar las variaciones ambientales ocurridas en un determinado lugar en un cierto tiempo. Lo cual es evidenciado principalmente por cambios que van presentando en su morfología, composición, abundancia y patrones de distribución.

Algunos de estos indicadores ambientales pueden ser organismos como: coccolitofrónidos, diatomeas, radiolarios, foraminíferos u ostrácodos. A través del registro sedimentario que dejan sus estructuras tales como placas, testas, esqueletos o caparazones, son capaces de reflejar algunas de las condiciones que prevalecían en su medio en el momento de ser depositados. Esto se debe a que muchas especies habitan en condiciones ecológicas estrictas muy bien definidas (Haq y Boersma, 1978; Berger, 1981; Kennett, 1982).

En el presente trabajo se utilizaron foraminíferos como paleoindicadores, así que se pondrá particular interés en ellos. Los foraminíferos son protozoarios principalmente marinos, de vida libre, que desarrollan *testas* o caparazones con cámaras que se comunican entre sí por un orificio llamado *forámen*, compuestos de carbonato de calcio o de partículas sedimentarias aglutinadas en su exterior. Estos organismos constituyen una de las bases esenciales de investigación en bioestratigrafía y paleoecología para el fondo del océano (Phleger, 1954; Keigwin, 1976; Matoba y Oda, 1982; Parker *et al.*, 1999). Son indicadores ecológicos debido a que tienen rangos de tolerancia muy específicos a diversos parámetros oceánicos, tanto físicoquímicos como biológicos (Bandy, 1967; Bé, 1977; Kennett y Srinivasan, 1983; Parker *et al.*, 1999). Existen foraminíferos que habitan en el bentos y otros que forman parte del plancton.

Los foraminíferos planctónicos viven en condiciones bien definidas de temperatura, salinidad, profundidad, así como cantidad de nutrientes. Por eso existen asociaciones características para las masas de agua. El interés paleoceanográfico que se tiene por ellos reside en este hecho y por ello poseen una relación con el patrón de circulación oceánica (Boltovskoy, 1969; Parker, 1960; Be, 1977; Kennett, 1982; Kennett y Srinivasan, 1983). Apoyados en la información que proporcionan, podemos suponer que al determinar las especies de foraminíferos en una muestra u horizonte de sedimento, se tendrá reflejada la masa de agua presente en ese lugar en dicho tiempo. Mientras que la sucesión de asociaciones nos dará la variación de dichas aguas, a partir de lo cual se puede reconstruir el patrón de circulación presente durante el momento de depósito de los sedimentos analizados.

De esta manera la información paleoceanográfica podrá dar información paleoclimática, dado el papel que tiene el océano superficial en el control del clima (transporte de calor y humedad) y a que las corrientes superficiales registran los cambios climáticos en el océano profundo (control de la producción biogénica y aportar sedimentos hacia las cuencas).

En el caso particular del Golfo de Tehuantepec, la circulación atmosférica y oceánica que dominan la región lo convierten en una zona interesante para conocer como han cambiado a través del tiempo los patrones de surgencia y de circulación local. Ambos relacionados directamente con los vientos del norte, producto de las vaguadas de invierno, y los momentos de mayor o menor incursión del Agua Norecuatorial y la Corriente Costera de Costa Rica.

De tal manera que el objetivo de este trabajo es determinar las variaciones de los patrones de circulación oceánica superficial en el Golfo de Tehuantepec, mediante el registro sedimentario de los foraminíferos planctónicos de los últimos 23,000 años AP del Cuaternario Tardío.



## ANTECEDENTES

Durante los últimos 35 años es cuando más se han desarrollado los estudios paleoceanográficos. En ellos se reconoce frecuentemente que los foraminíferos planctónicos depositados en el fondo marino son de gran ayuda para descifrar el registro paleoclimático y biogeoquímico.

Uno de los primeros trabajos que emplea a estos organismos como indicadores oceánicos del clima fue realizado por Murray, a raíz de la expedición del *Challenger* (1872-1876), quien notó que las especies están distribuidas en cinturones latitudinales y se relacionan con la temperatura superficial del agua (Murray y Renard, 1891; Boersma, 1978; Seibold y Berger, 1982).

Scott realizó el primer estudio cuantitativo de foraminíferos planctónicos en la columna de agua y en la superficie de los sedimentos, a partir de material colectado por la expedición del *Meteor* en el Atlántico Norte (1925 - 1927). Así mismo reconoció las variaciones regionales de abundancia de las especies, los intervalos de profundidad del hábitat y las similitudes o diferencias en los patrones de distribución de las asociaciones vivas y muertas (citado por Bé, 1977; Boersma, 1978; Vincent y Berger, 1981).

Otro impulso fue dado por la industria petrolera a partir de 1950 gracias a la necesidad de encontrar sincronía en las secuencias sedimentarias y una adecuada bioestratigrafía (Loeblich y Tappan, 1964). Durante 1970 esta bioestratigrafía fue refinada por las publicaciones que surgieron a partir del *Deep Sea Drilling Project*, donde muchas de las zonaciones y correlaciones lograron ser calibradas con escalas de tiempo paleo y radio-magnéticas (e.g. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, 1976-1982; Seibold y Berger, 1982).

Estudios de distribución geográfica a gran escala de las especies de foraminíferos planctónicos vivos, utilizando muestras de redes y bombas de extracción, fueron iniciados por Phleger, Parker, Boltovskoy, Bé, Cifelli, Jones, Tolderlund y Bradshaw. Sus trabajos documentan la sucesión estacional de las especies, migración vertical y patrones ecológicos relacionados con temperatura, salinidad y profundidad (citados por Phleger *et al.*, 1953; Parker, 1960, 1962; Berger, 1969; Bé y Tolderlund, 1971; Boltovskoy, 1965, 1969; Bé, 1977, Seibold y Berger, 1982). Por los anteriores y muchos otros estudios de distribución de foraminíferos planctónicos en el agua y en sedimentos superficiales, los modernos patrones biogeográficos de distribución de los foraminíferos planctónicos son conocidos con cierto detalle. Así mismo se han podido determinar asociaciones correspondientes con diferentes condiciones hidrográficas (masas de agua, termoclina, giros, surgencias, monzones, plumas) y de productividad (niveles de nutrientes, cantidad de fitoplancton) alrededor del mundo (Fairbanks *et al.*, 1980; Vincent y Berger, 1981; Curry *et al.*, 1992; Oberhänsli *et al.*, 1992; Sautter y Sancetta, 1992; Brasier, 1995; Ufkes *et al.*, 1998; Murray, 1995; Marchant *et al.*, 1999; Parker *et al.*, 1999; Berger y Wefer, 2002).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Otro interesante avance se debió a Emiliani, quien introdujo el uso de isótopos de oxígeno en el estudio de ecología y paleoecología de foraminíferos planctónicos. Las investigaciones de la composición de isótopos estables de sus testas se ha convertido en una de las más importantes herramientas en paleoceanografía (Emiliani, 1954; Fairbanks *et al.*, 1980; Fairbanks *et al.*, 1982; Savin y Yeh, 1981).

Imbrie y Kipp (1971) introdujeron un método para relacionar las características de la fauna con los parámetros oceanográficos por regresiones lineales y posteriormente con análisis de factores (Klovan e Imbrie, 1971; Buzas, 1979). Estas aproximaciones se siguen usando en el estudio de un gran número de núcleos en muchas partes del mundo (Thiede, 1983; Oberhänsli *et al.*, 1992; Sautter y Sancetta, 1992; Ufkes *et al.*, 1998; Watkins *et al.*, 1998; Marchant *et al.*, 1999; Berger y Wefer, 2002), y han ayudado en la reconstrucción de las condiciones de la superficie oceánica para el Último Máximo Glaciar (CLIMAP, 1976; COHMAP Members, 1988; Andersen y Ravelo, 1997; Patrick y Thunell, 1997).

Los estudios con foraminíferos planctónicos en el Pacífico Oriental inician con los trabajos de Bradshaw y Parker (*citados por* Parker, 1962; McCoy y Sancetta, 1985), quienes determinaron abundancias y distribuciones biogeográficas de especies vivas encontradas en el sedimento. Keigwin (1976) trabajó con material del Cenozoico Tardío de la región de Panamá. En las décadas siguientes mejoró la información hidrográfica y ecológica al concretar el significado paleoclimático que pueden aportar los organismos, especialmente para las regiones de surgencia del Pacífico Noreste—Cuenca de Oregon, Santa Bárbara y costas de California— (Ortiz y Mix, 1992, Lyle *et al.*, 1992; Kennett e Ingram, 1995; Behl, 1995), Centroamérica—Cuenca de Panamá— (Fairbanks *et al.*, 1980; Thunell y Reynolds, 1984; Pedersen *et al.*, 1991), Sudamérica—surgencias costeras de Perú y Chile— (Thiede, 1983; Marchant *et al.*, 1999) y Pacífico Central (Watkins *et al.*, 1998). Algunos más realizaron reconstrucciones y modelos de predicción paleoclimática del Último Máximo Glaciar en América y sus costas (Thunell y Reynolds, 1984; COHMAP Members, 1988; Sautter y Thunell, 1989; Allen y Anderson, 1993; Andersen y Ravelo, 1997; Patrick y Thunell, 1997; Ganeshram y Pedersen, 1998).

En el Pacífico Mexicano se ha estudiado preferentemente la distribución y abundancia de foraminíferos planctónicos de las costas de Baja California, costa NO y Golfo de California (incluyendo Bahía de La Paz) (Bandy, 1953, 1961; Griffiths, 1968; Berger, 1970; Hemleben *et al.*, 1989; CLIMAP 1981; McCoy y Sancetta, 1985; Segura y Carreño, 1991; Ganeshram y Pedersen, 1998; Cuesta, 2003).

Sin embargo, en el Golfo de Tehuantepec los trabajos sobre foraminíferos han sido escasos, pero aportan las bases para reconocer las características de distribución horizontal y vertical de las distintas especies: La Secretaría de Marina (1980) desarrolló una serie de estudios generales de oceanografía y biología marina en la zona, en donde se reportan algunos géneros y especies de foraminíferos; Mata (1980) menciona la distribución de foraminíferos bentónicos recientes en algunas estaciones cercanas a la costa; Pérez (1989) y Pérez y Machain (1990)



analizan las asociaciones de foraminíferos bentónicos en los sedimentos superficiales de la plataforma continental dentro de la zona de oxígeno mínimo y contribuyen con una lista detallada de las principales especies que se encuentran en la zona y; Arellano (2001) quien realizó una reconstrucción paleoceanográfica a partir de foraminíferos planctónicos y bentónicos, utilizó un núcleo del centro del golfo y en él destaca la distribución estratigráfica y asociaciones de las especies.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN





## AREA DE ESTUDIO

El Golfo de Tehuantepec forma parte de la región tropical del Pacífico Oriental y es la frontera oceánica sur de la Zona Económica Exclusiva de México. Está localizado entre los 14° 30' a 16° 12' de latitud norte y los 92° 17' a 96° 00' de longitud oeste. Ocupa una región de ~ 125 000 km<sup>2</sup>, posee una extensión radial de casi 200 km (desde el puerto de Salina Cruz, Oaxaca hasta la coordenada 13° 45'N y 94° 45'O) y una plataforma continental de ~ 120 km de ancho (Secretaría de Marina, 1978; Lavin *et al.*, 1992).

Al norte del Golfo de Tehuantepec se localiza el Istmo de Tehuantepec, un estrecho continental entre el Golfo de México y el Océano Pacífico, el cual corta y limita las sierras Madre del Sur y la de Chiapas por una abertura topográfica llamada Paso Chivela o La Ventosa (Gallegos y Barberán, 1998) (figura 1a, b).

### GEOLOGÍA

La región costera sur del Pacífico Mexicano se extiende a lo largo de un límite tectónico en un margen convergente activo. Está caracterizada por la subducción de las placas Rivera y Cocos bajo la de Norteamérica, lo que origina la llamada Trinchera Mesoamericana y una zona sísmica importante (figura 1b).

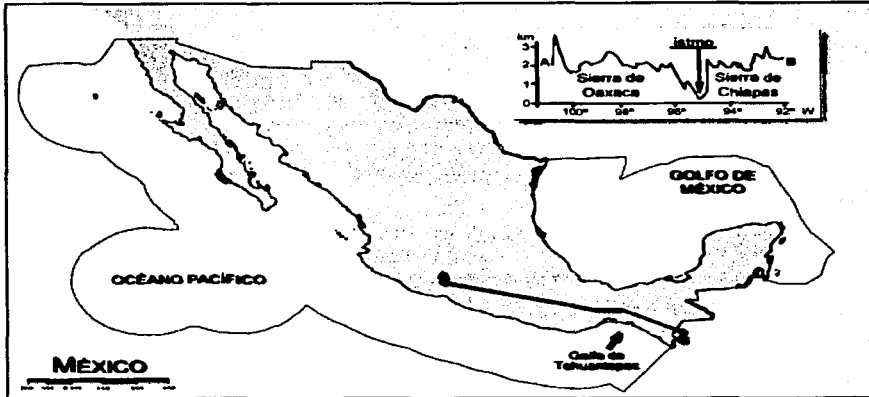
En términos geodinámicos, Tehuantepec es una franja de transición debido a los cambios laterales en la geometría de la zona de subducción (Ramírez y Urrutia, 1999), cuya influencia puede comprobarse en las características batimétricas que se explicarán posteriormente con detalle. La presencia de la Cordillera de Tehuantepec, que cruza la trinchera a ~ 95° O, interrumpe la relativa homogeneidad estructural de la Trinchera Mesoamericana y posee el rasgo morfológico de una zona de fractura que separa una corteza de edades significativamente diferentes. En esta región la corteza oceánica de la placa Cocos tiene una edad de 28 a 24 Ma (Oligoceno tardío), pero más hacia el O y NO, la edad es de 16 a 12 Ma (Mioceno medio).

En tierra, los rasgos continentales cambian dramáticamente conforme uno se desplaza de Salina Cruz hacia el SE. A partir de ahí la acumulación de planicies litorales con lagunas, barras y playas es evidente y distintiva. Las costas tienen baja influencia eólica marina y planicies aluviales estrechas. Las barras arenosas, bermas y antiguas líneas de costa son también comunes en el área, al igual que las elevadas montañas que bordean el litoral oaxaqueño y chiapaneco (Ramírez y Urrutia, 1999).

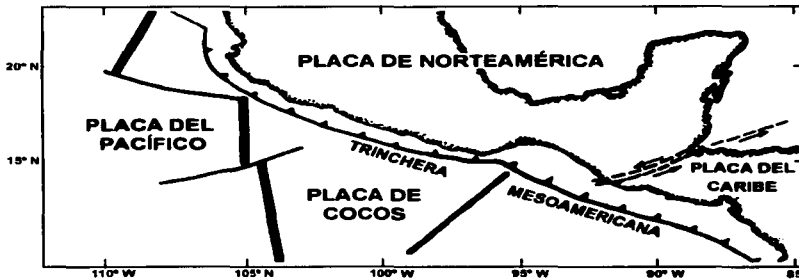
### **Batimetría y Geomorfología**

En términos generales el Golfo de Tehuantepec posee una plataforma continental estrecha en la porción oeste, que se va ensanchando hacia el este por la desviación que sufre la





**Figura 1a.**  
Ubicación del área de estudio y rasgos topográficos del istmo.



**Figura 1b.**  
(Modificada de Carranza et al. 1996)  
Placas tectónicas de la región y Trinchera Mesoamericana.

Trinchera Mesoamericana respecto al continente, lo que provoca que la plataforma continental sea más ancha. La plataforma continental que se observa frente a las costas de Oaxaca tiene poca amplitud y abarca unos 4 ó 6 km, esto se continúa hasta el meridiano 95° O y ahí se inicia bruscamente un ensanchamiento que alcanza hasta 50 km (**figura 2a**).

En esta plataforma Boumaggard *et al.* (1998) realizaron un análisis morfoestructural y señalan la presencia de dos provincias fisiográficas separadas entre sí por una inclinación de 70°, la noroccidental (NO) (correspondiente a la placa Norteamericana) y la sudoriental (SE) (placa Caribeña).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



- La provincia NO pertenece al bloque continental de Oaxaca. La plataforma continental es muy estrecha (inclinación 2 - 5°) y el talud continental abrupto (6°), seccionada por numerosos cañones producto de los accidentes tectónicos que revelan a un margen en levantamiento.
- La provincia SE corresponde al bloque de la Sierra de Chiapas y está formado por varias subunidades fisiográficas:
  - a) Una plataforma interna con una morfología uniforme entre 0 - 75 m. La parte SE reposa sobre de una superficie de erosión con una línea de costa interna actual y una línea externa fósil, probablemente generada durante la antigua eustática postglaciar y por movimientos verticales a lo largo de miles de años. Adicionalmente se reconoce un prisma de acreción tectónico que representa el alto nivel del mar actual, el cual ha alcanzado su perfil de equilibrio y provoca 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 con una morfología muy contrastante debido a la presencia de elevados fondos llamados Banco Oaxaqueño y Chiapaneco, a 175 y 170 m de profundidad respectivamente (Carranza *et al.*, 1975). Ambos separados por depresiones de origen tectónico y rupturas de pendiente situadas entre 120 - 130 m, 225 - 250 m y una mayor a los 400 m. Esta última es la que separa la plataforma continental del talud continental, el cual se prolonga con una inclinación de 10° (justo en la fosa) y está intercalado en el sector oriental con dos cañones tectónicos.

En el límite entre la plataforma externa y el inicio del talud existe cierta discrepancia debido a su complejidad. Lugo (1986) propone un talud superior entre ~ 250 y 400 m, cuya distribución se amplía de O a E extendiéndose de 4 - 5 a 60 km. Sin embargo Molina y Martínez (1994) consideran que la plataforma externa se extiende hasta ~ 400 m de profundidad, ya que ahí se alcanza la máxima pendiente y se forman escalones o terrazas que incluso constituyen pequeñas cuencas de depósito (figura 2b).

Adicional a sus características fisiográficas, la plataforma del Golfo de Tehuantepec tiene registro de tres antiguos niveles del mar: a 45 m, 75 m y 130 m. La ausencia de fechaciones no permite precisar la edad de estos niveles, sin embargo, Boumaggard *et al.* (1998) sugieren que corresponden a datos de la remota eustática postglaciar y al periodo de bajo nivel del mar del Último Máximo Glaciar.

### **Sedimentología**

En la llanura costera sur del Istmo de Tehuantepec los ambientes sedimentarios son fluviales, lagunares deltaicos, de duna y de playa-barrera, cuyos atributos sedimentológicos manifiestan el tectonismo de la región porque en ocasiones sus características texturales se traslapan (Carranza, 1980). Los materiales que reciben los litorales proceden de macizos rocosos





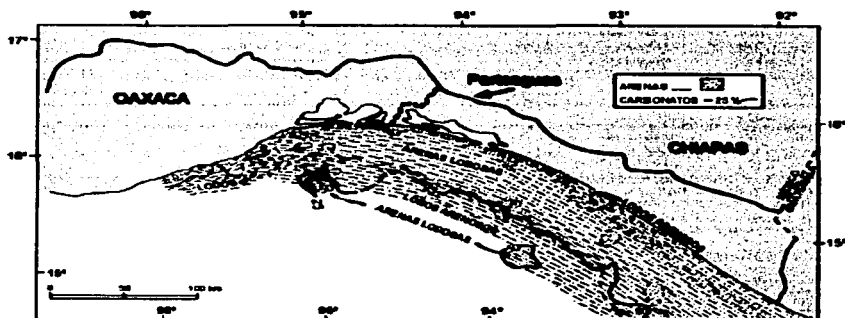
frente a las barras lagunares y las desembocaduras de los numerosos ríos. Aunque las arenas son posteriormente distribuidas por corrientes locales hacia mar abierto, los lodos son los que se encuentran a mayores profundidades, pero en ocasiones están mezclados con arenas.

Estudios efectuados en sedimentos de la plataforma continental (Avenidaño, 1978; Morales, 1990; Carranza *et al.*, 1998) han observado que los sedimentos oscuros y las arenas-lodosas se distribuyen principalmente hacia el E y menos en el O, que sugiere una relación entre tamaño de partícula y profundidad. En las vecindades de las lagunas costeras son evidentes las largas extensiones de lodos-arenosos en aguas someras, que indican un aporte importante de sedimentos lagunares hacia la plataforma continental (Morales, 1990). La distribución de los diferentes tipos de sedimentos tiende a formar franjas paralelas a la línea de costa, que se interrumpen o bien presentan parches dependiendo de las condiciones locales de aporte, origen y composición (Carranza, 1980; Morales, 1990; Carranza, *et al.*, 1989; Carranza *et al.*, 1998) (Figura 3).

La fracción gruesa del sedimento se caracteriza por la presencia de: cuarzo, feldspatos, fragmentos de roca, minerales accesorios (ilmenita, magnetita, zircón y olivino), material vegetal (tallos, hojas, semillas), restos de animales (escamas, vértebras de peces) y de microfauna (testas, conchas, exoesqueletos, espículas). Según Carranza *et al.* (1998) el cuarzo y los restos biogénicos son los que más abundan en la fracción arenosa y parece que tienen una relación inversamente proporcional con la profundidad, así como la isolinia de más de 20% de carbonatos se encuentra a más de 150 m (Morales, 1990).

Los principales componentes microfaunísticos son: foraminíferos, micromoluscos, fragmentos de conchas, así como ostrácodos y briozoarios en menor cantidad. Pero también se refleja la alta productividad biológica a través de la distribución de organismos silíceos como diatomeas y radiolarios (Molina y Martínez, 1994).

**Figura 3.**  
(Modificada de Carranza *et al.*, 1998)  
Distribución de sedimentos  
y porcentaje de carbonatos.



### **Tasas de Sedimentación**

De acuerdo a los análisis con  $^{210}\text{Pb}$  (plomo 210) obtenidos del núcleo 10T (Arellano, 2001), la tasa de sedimentación para la zona central del golfo es de  $0.51 \pm 0.06$  mm/año como promedio. En el núcleo ME0005A-3JC colectado al oeste del golfo (*latitud 15° 39.04'N, longitud 95° 16.83'O; profundidad de 740 m*), los valores de  $^{18}\text{O}$  indican sedimentos holocénicos hasta los 800 cm y la deglaciación entre los 800 y 900 cm (~10 500 a 11 500 años), dando una tasa de sedimentación promedio a lo largo del núcleo de ~ 0.762 mm/año (Thunell, 2001 *comunicación personal*). Sin embargo las fechaciones de  $^{14}\text{C}$  indican que la tasa de sedimentación de dicha coordenada es menor (~ 0.4 mm/año).

### **METEOROLOGÍA ACTUAL**

Por su localización geográfica y compleja orografía, en México dominan fenómenos meteorológicos propios de latitudes medias y tropicales tan variados y contrastantes como pueden ser los desiertos, las selvas tropicales y los climas de alta montaña. En términos generales los fenómenos meteorológicos del país se deben a las variaciones estacionales de la Zona Intertropical de Convergencia (ZITC), con desplazamientos hacia el N en verano y al S en invierno.

A continuación se describirá la climatología de los dos periodos más contrastantes del año (Mosiño y García, 1973; García, 1981; O'Hara y Metcalfe, 1997) (**figura 4**):

- **Verano:** El país está dominado por los *vientos alisios* del hemisferio norte originados en la celda de *alta presión Bermuda-Azores* del Océano Atlántico (30 - 40° N). Los alisios introducen humedad del Golfo de México y Océano Pacífico hacia el continente, lo que va provocando abundantes lluvias en el NE, centro y S del país. Los alisios pueden ser reforzados por *ondas del este*, perturbaciones tropicales que viajan en la misma corriente y provocan anomalías en la precipitación, llamados *temporales* en el centro y E del país.

En verano la *Zona Intertropical de Convergencia* (ZITC) sufre un desplazamiento hacia el norte, hacia los 16.5° N, enriqueciendo de humedad las costas del sur. En esta zona muy nubosa y de gran inestabilidad también tienen origen muchos de los huracanes que azotan las costas mexicanas. Los *ciclones tropicales*, llamados localmente *huracanes*, se originan en el Caribe y el Pacífico e influyen en la cantidad de precipitación de todo el país. Aunque sus trayectorias no cruzan exclusivamente México, por su carácter giratorio introducen humedad en la troposfera media y frecuentemente provocan fuertes precipitaciones e inundaciones en el continente.

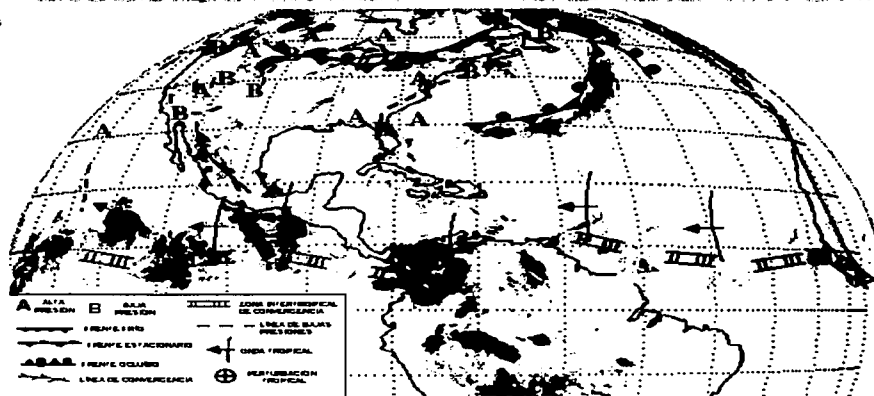
Entre abril y octubre se manifiestan las lluvias más abundantes en el SO y SE del país por el llamado *Monzón Mexicano* o *de verano*. Este ocurre cuando el aumento de temperatura sobre el continente forma centros de *baja presión* sobre la Planicie Mexicana, los cuales chocan con los centros de *alta presión* de los océanos vecinos (celda *Bermuda-Azores* y *Pacífico E*) y originan



**Figura 4a.**  
(Tomada de www.cna.mx 2002)  
**Características Meteorológicas del Norteamérica durante los meses de verano.**

**Sistemas Meteorológicos Activos, VERANO.**

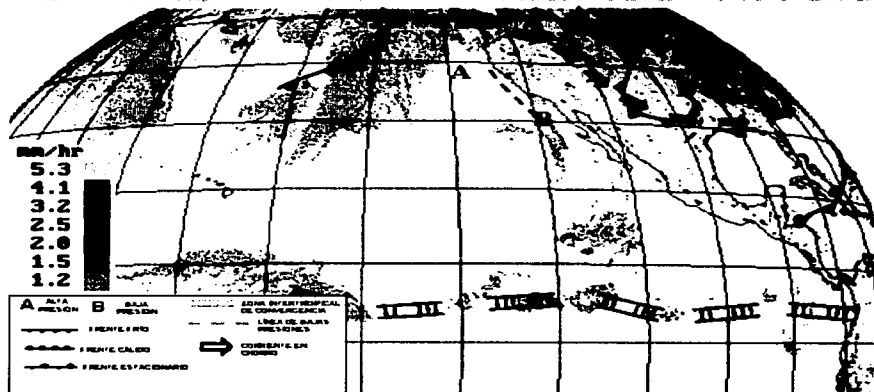
**CNA/SMN, 18/04/2002, GOES-8, ch. 5, 10.**



**Figura 4b.**  
(Tomada de www.cna.mx 2003)  
**Características Meteorológicas del Norteamérica durante los meses de invierno.**

**Sistemas Meteorológicos Activos, INVIERNO.**

**CNA/SMN, 18/04/2003, GOES-10, ch. 3, 10.**



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

vientos cuya dirección media cambia o se invierte, es decir, viajan del mar a la tierra enriquecidos de la humedad contenida en la ZITC y en los ciclones tropicales.

A mediados de verano (agosto-septiembre), un periodo seco llamado *canícula* siempre interrumpe la estación de lluvia debido la obstrucción temporal que provocan los vientos meridionales que atraviesan el país. Además de las implicaciones climáticas que confiere, la duración de la canícula es importante para determinar si la cantidad de lluvia se encuentra por debajo o por arriba del promedio para cualquier año particular.

- **Invierno:** En la mitad fría del año la ZITC es desplazada hacia el ecuador. El país se halla bajo la influencia del cinturón de celdas de *alta presión subtropical*, con la circulación dominante de los *vientos del oeste*, originados en el borde norte de la celda de alta presión del Pacífico. Al mismo tiempo la celda de *alta presión del Pacífico NE* y la *Bermuda-Azores* se han corrido hacia el sur (entre 25° - 35° N), desarrollando condiciones de sequía estables sobre la mayor parte del territorio. El NO de la península de Baja California es la única región que escapa de su influencia debido a que está dominada por los vientos del oeste, los cuales transportan humedad del océano hacia el NO y producen depresiones llamadas *equipatas* que causan precipitación primaria en el litoral y laderas de la Sierra de Baja California, así como en las partes más elevadas de la Sierra Madre Occidental.

También en invierno invaden al país las masas de aire polar (*vaguadas*) procedentes de altas latitudes (N de Estados Unidos y S de Canadá). Cuando el aire frío y seco llega al N del Altiplano Mexicano encuentra un ascenso orográfico sobre la Sierra Madre Oriental y el Eje Volcánico Transversal, liberando algo de precipitación a veces en forma de nieve. Cuando penetra en el Golfo de México incrementa su humedad, pero la libera en forma de lluvia al ascender por las laderas de la Sierra Madre Oriental.

A lo largo de la superficie de separación, entre el aire frío del norte y el aire caliente de latitudes medias, se forma un  *frente*  que asciende, se enfría, condensa su vapor de agua y forma nubosidad. Dichas invasiones de aire frío son conocidas como *nortes* que una vez introducidos sobre el Golfo de México, cruzan hasta la región del istmo y desembocan como fuertes vientos en el Golfo de Tehuantepec. Los *nortes* también son responsables de generar lluvia en la región costera del Golfo de México y en la región central montañosa en los meses de septiembre a febrero. Cuando las masas de aire polar son muy amplias pueden traspasar la Sierra Madre Oriental, afectar el sur de la Altiplano Mexicano e incluso alcanzar la península de Yucatán produciendo condiciones frías y lluviosas hacia el final del invierno y principios de primavera.

Al término de la temporada invernal la *corriente de vientos máximos, corriente de chorro o jet stream* invade el país. Normalmente está relacionada con nubosidad de tipo alto y medio, pero combinado con masas de aire frío puede provocar nevadas. Tiene su origen en el Pacífico N (entre los 30° a 45° latitud) y propicia el intercambio de aire entre latitudes bajas y altas. Es un flujo de aire del O de muy alta velocidad (> 120 km/h) y cruza el territorio de NO a SE introduciendo



humedad. Si llega a coincidir con un *norte*, cosa común en invierno, la precipitación que se produce es muy abundante y muchas veces se da en forma de nieve en las montañas.

#### *La circulación atmosférica y su relación con la generación de los "nortes"*

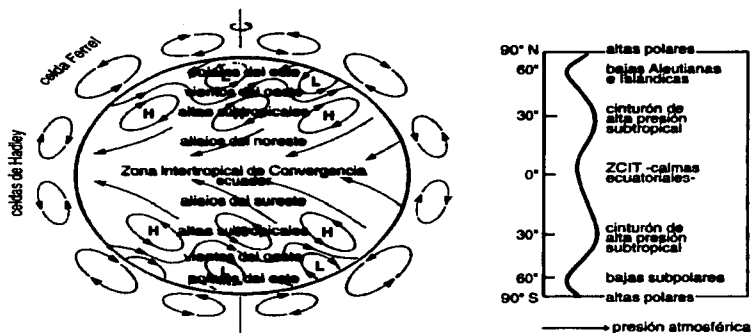
La circulación atmosférica cerca de la superficie está generalmente representada por tres cinturones de presión en cada hemisferio: a) Cerca de del ecuador existe una zona continua de baja presión, relacionada con la fuerte entrada de calor a lo largo del año, que posee alta temperatura promedio y reducida densidad atmosférica, además de que encontramos el ecuador climático denominado *Zona Intertropical de Convergencia*; b) Otra zona se ubica a  $\sim 30^\circ$  de latitud en ambos hemisferios. Es un cinturón de alta presión que marca uno de los nodos atmosféricos donde la fuerte circulación del aire provoca movimientos ascendentes llamados *subsidiencias*. c) Alrededor de los  $60^\circ$  de latitud en las regiones polares, se encuentra otro nodo de baja presión, que a la vez produce aire denso y celdas de alta presión poco elevadas.

Los vientos superficiales fluyen dentro de estas franjas de presión, van respondiendo a los gradientes generados entre las celdas y a la vez son desviados por la rotación de la Tierra. El más amplio y más consistente de los cinturones de vientos es el de los *alisios* que van fluyendo entre la zona de alta presión subtropical y la de baja presión ecuatorial (provenientes del NE en el hemisferio norte y del SE en el hemisferio sur). Entre la zona de alta presión subtropical y la de baja subpolar se encuentran los *vientos del oeste* que van circulando superficialmente, pero son más consistentes en el hemisferio sur debido a que no encuentran obstáculos continentales. Finalmente en las altas latitudes, asociados con bajas presiones, los *vientos polares* fluyen circumpolarmente desde el este (*figura 5*).

El movimiento circumpolar de oeste a este en la región media y superior de la troposfera no es exactamente circular sino que forma meandros, cuyos valles se dirigen hacia el ecuador y las crestas hacia la región polar, algunos de los cuales permanecen casi estacionarios por prolongados períodos de tiempo (ondas de Rossby o estacionarias) (Lydolph, 1985). Eventualmente, si las condiciones de circulación lo permiten, las ondulaciones pueden desprenderse y dirigirse hacia las regiones más cálidas donde la diferencia de presión termina por disolverlas, a la vez que provocan vientos locales intensos, tal como lo que ocurre en Norteamérica durante la mitad fría del año (Mosiño y García, 1973).

Las masas de aire frío polar se generan sobre el continente en la región de Alaska y Canadá, pero en su desplazamiento hacia el SE entran en el Golfo de México en forma de giros anticiclónicos que contienen aire muy denso. Los anticiclones polares van precedidos de un *frente frío* atmosférico, que separa una masa de aire frío polar de otra masa más homogénea y barotrópica de características tropicales. El aire polar siempre acarrea humedad de las aguas relativamente calientes del Golfo de México y produce fuertes lluvias en los taludes de la Sierra Madre Oriental, Sierra de Oaxaca y Sierra de Chiapas. Estas rompientes de aire polar producen vientos muy fuertes, cuyo fenómeno es conocido como *norte*. Posteriormente, justo en la región





**Figura 5.**  
(Tomado de Lydolph, 1985)  
**Modelo de circulación general de la atmósfera: Formación de las franjas de vientos.**

del Istmo de Tehuantepec, los *nortes* encuentran un pasaje montañoso bajo y estrecho a través del cual pueden impulsarse hacia el Golfo de Tehuantepec como vientos secos y borrascosos llamados *tehuanos*.

Como la presión atmosférica en el Golfo de México es frecuentemente más alta que del lado del Océano Pacífico, el resultado es un gradiente de presión que intensifica los vientos hacia el sur haciendo que los *tehuanos* sean más fuertes que los *nortes*. La intensidad de los *tehuanos* depende de la altitud del istmo, del espesor del frente frío y de los gradientes térmicos entre el aire frío y el caliente desplazado (Clarke, 1988). Las montañas de la Sierra Madre, típicamente a una altitud de 1 500 msnm, separan la 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 aire frío y seco del norte escape hacia el Pacífico como un viento fuerte que corre perpendicularmente hacia el mar (Stumpf, 1975; Barton *et al.*, 1993) (figura 6).

Los vientos *nortes* no se restringen únicamente a la región mexicana, sino que pueden viajar cientos de kilómetros hacia el mar con dirección SO, intensificándose además del Golfo de Tehuantepec, en la región de Papagayo en Nicaragua y eventualmente en Panamá (Lydolph, 1985; Clarke, 1988; Legeckis, 1988) (figura 7).

Con todo lo señalado anteriormente es muy claro que las variaciones en los patrones de circulación atmosférica son de gran importancia para el clima de México y de igual manera para la zona del Golfo de Tehuantepec, ya que este es un lugar en el que actúan numerosos elementos de la circulación atmosférica que se detallarán a continuación.



### CLIMA DE TEHUANTEPEC

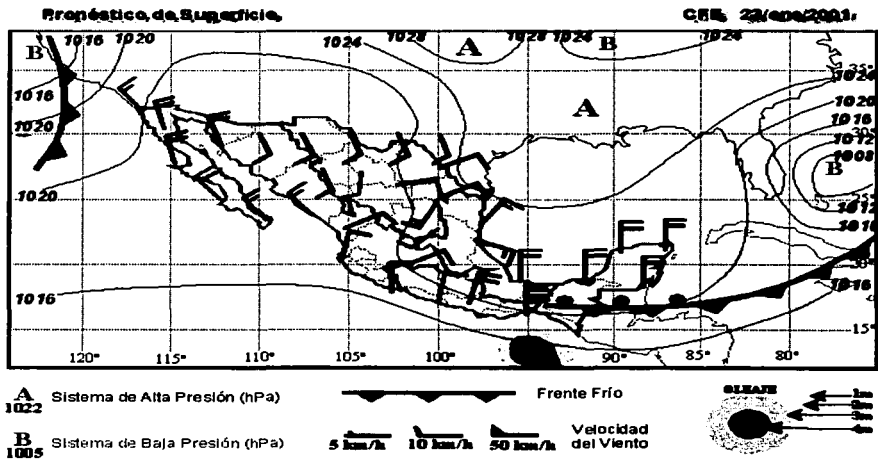
El clima de la región del Golfo de Tehuantepec es de tipo Aw, es decir, cálido húmedo con dos principales periodos de lluvias (en verano e invierno), separados entre si por un largo periodo seco a mitad de la estación fría y una corta sequía a mitad del verano llamada *canicula*.

La época de lluvia en el verano abarca el mes de junio y hacia finales de otoño, con variaciones desde 800 hasta 1600 mm de precipitación. La cantidad de lluvia invernal es de ~ 99 mm y corresponde entre el 5 - 10% de la precipitación anual total. La temperatura media anual es de 27° C y varía muy poco durante el año. La temperatura máxima promedio anual es de 32.2° C en julio y la mínima es de 22.4° C en diciembre (Secretaría de Marina, 1980; García, 1981).

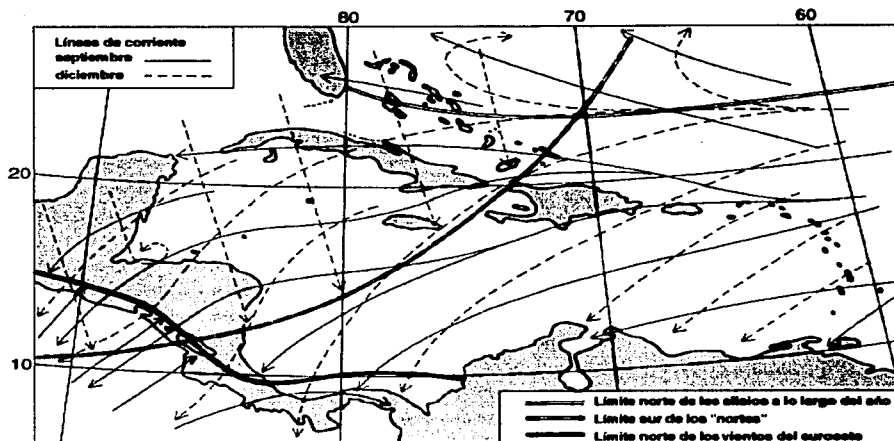
Durante los meses fríos soplan fuertes vientos del norte que, después de invadir el Golfo de México, cruzan el Istmo de Tehuantepec y afectan la dinámica superficial del área de estudio. Estos vientos, conocidos en la región como *tehuanos* o *tehuantepecanos*, inducen la formación de una zona de surgencia 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 verano durante los meses de mayo a octubre; así como por la Oscilación del Pacífico y en periodos mayores por *El Niño Oscilación del Sur* (ENOS), que al provocar un desplazamiento más sureño de los centros de alta presión hace que se debilite la surgencia del golfo (Monreal y Salas, 1998).

**Figura 6.**  
(Tomada de [www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx) 2001)  
Esquema de circulación atmosférica durante la formación de los *nortes*.



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



**Figura 7.**  
(Modificada de Lydolph, 1985)  
Límite sur de influencia  
de los nortes.

### OCEANOGRAFÍA FÍSICA

El Golfo de Tehuantepec posee una capa de mezcla entre los 30 - 50 m de profundidad promedio y una termoclina permanente entre los 20 - 25 m. Durante el verano las temperaturas varían entre 28° - 30° C, los vientos son generalmente débiles y soplan con dirección este. En esta época también es claro el decremento de la temperatura de la costa hacia mar adentro y conforme aumenta la profundidad. La temperatura superficial en invierno se caracteriza por una distribución heterogénea debida al efecto de los vientos. Cuando las velocidades del viento son altas (20 - 30 m /s) existe una advección de agua fría hacia las áreas vecinas, entonces las temperaturas superficiales del mar son bajas (hasta 17° C) y la pycnoclina se hace más somera. Por otro lado, la distribución vertical de la salinidad exhibe un máximo de 38 ups en momentos de mayor evaporación y un mínimo de 27.2 ups en la porción cercana a la línea de costa, sobre todo cerca de los ríos y las lagunas (Gallegos y Barberán, 1998; Vázquez *et al.*, 1998).

#### *Circulación Oceánica*

De acuerdo al patrón de circulación oceánica, el Golfo de Tehuantepec se encuentra al S de la Corriente de California, al N de la Corriente Surecuatorial y bajo la influencia de la Zona Intertropical de Convergencia (Badan, 1997; Transviña y Barton, 1997) (figura 8). La ubicación



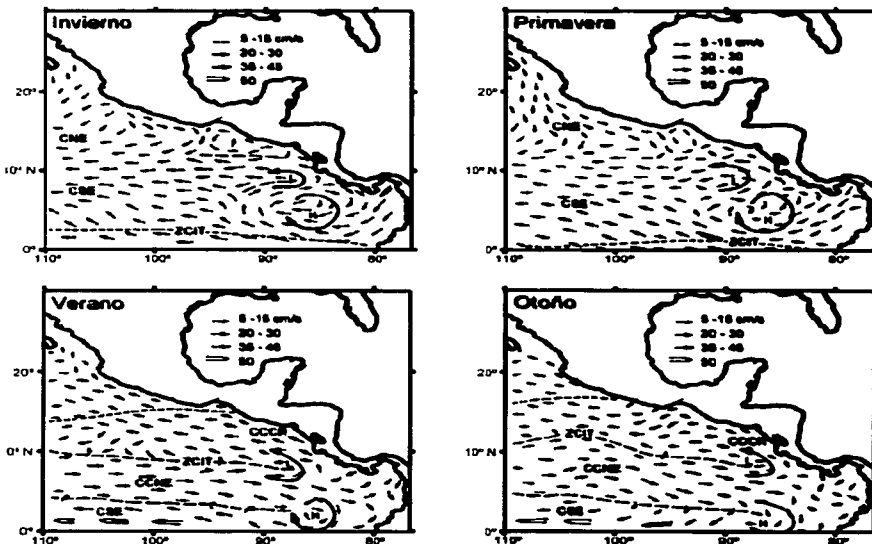
geográfica del sistema de corrientes de la región del Golfo de Tehuantepec puede cambiar notablemente en escalas interanuales (por ejemplo con el paso de *El Niño*), pero en la escala estacional es cuando se registran los cambios más notables y se distinguen 3 épocas en el año (Badan, 1997):

- **Agosto—diciembre:** Es la más duradera y estable. La Zona Intertropical de Convergencia (ZITC) se encuentra en una posición boreal (latitud 10° N). La Contracorriente Norecuatorial (CCNE) está más desarrollada, fluye hacia el S hasta el domo de Costa Rica y alimenta la Corriente Costera de Costa Rica (CCCR), que afecta Tehuantepec y llega al norte hasta la boca del Golfo de California.

En Enero la ZCIT se desplaza al sur. La CCNE se debilita y la Corriente Norecuatorial (CNE) se intensifica alcanzando su posición más austral y llega hasta las zonas tropicales (latitud 14° N)

- **Febrero—Abril:** La ZCIT está cercana a los 3° N. La CCNE está ausente y la CCCR debilitada. El flujo en el norte del Golfo de Tehuantepec proviene de una extensión de la CNE y se dirige hacia el SE.

**Figura 8.**  
(Modificada de Wyrtki, 1967)  
Circulación superficial del Pacífico NE:  
CNE - Corriente Norecuatorial, CSE - Corriente Surecuatorial, CCNE - Contracorriente Norecuatorial, CCCR - Corriente Costera de Costa Rica, ZCIT - Zona de Convergencia Intertropical.  
Las flechas indican la velocidad de las corrientes (cm/s); las líneas intermitentes los límites de influencia de la ZCIT; H representa los giros anticiclónicos y L los giros ciclónicos.



- **Mayo—Julio:** La ZCIT regresa a su posición boreal y reaparece la CCNE. La CNE están bien desarrollada y se debilita de julio a agosto, lo que propicia que en el Golfo de Tehuantepec predominen las condiciones e influencia de la CCCR.

Durante la temporada invernal o de secas, debido al paso de los vientos en Tehuantepec, se reconocen tres sistemas hidrográficos (Lavin *et al.*, 1992, Monreal y Salas, 1998) (figura 9):

El **oeste** del golfo, con la presencia de un giro anticiclónico.

El **centro**, directamente afectado por los *nortes* y donde ocurren las surgencias.

El **este** que a veces presenta el desarrollo de un giro ciclónico. En general es el menos afectado por los *nortes* y posee una superficie termohalina característica de las aguas del Pacífico oriental, poco salina y más cálida.

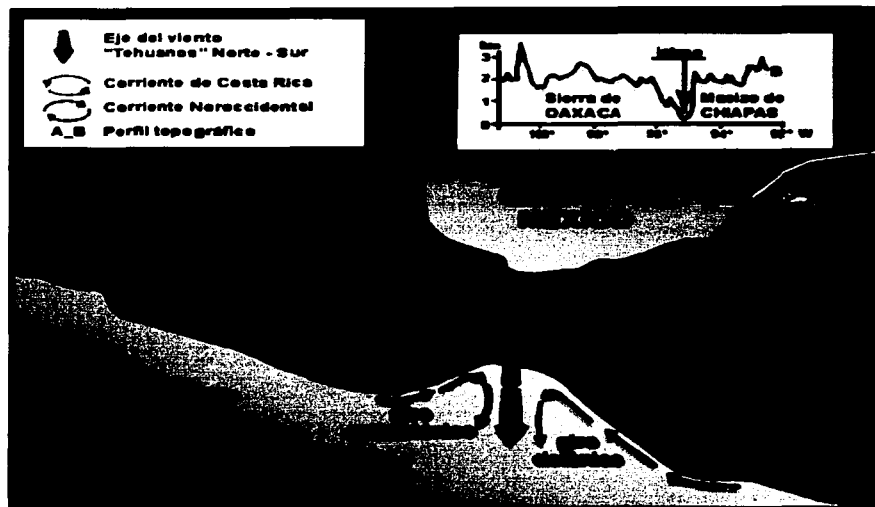
#### **Masas de Agua**

Las masas de agua que incursionan dentro del Golfo de Tehuantepec son (Wyrski, 1967; De la Lanza, 1991; Monreal y Salas, 1998; Monreal, 2003 *comunicación personal*) (figura 10):

- **Agua Superficial Ecuatorial (ASE).**- Localizada en la capa superficial y caracterizada por tener alta temperatura (entre 18 - 30° C) y baja salinidad (S < 35 ups). Durante el invierno y la primavera, el agua de la Corriente Norecuatorial (CNE) (mencionada en Wyrski, 1967, como agua de la Corriente de California) tiene baja temperatura (T < 18° C) y salinidad (S < 34 ups) e ingresa en la porción más occidental del Golfo de Tehuantepec. Cerca de la cabeza del golfo entran aguas frías y salinas que han sido acarreadas a la superficie por el efecto de la surgencia. Cuando el agua de la CNE se encuentra con el agua de las surgencias forma un frente oceánico. Los nortes inducen la formación de frentes oceánicos en la parte SE del golfo y la formación de surgencias al SO. Esta dinámica mantiene una alta productividad biológica que se refleja en los sedimentos.
- **Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt).**- Posee temperaturas que van de 9 - 18° C y valores de salinidad entre 34.5 a 35 ups. Se introduce al golfo en el verano a través de la CCCR, mientras que en la época de surgencia es el agua relativamente fría que aflora hacia la superficie.
- **Agua Intermedia del Pacífico (AIP).**- Es agua con baja cantidad de O<sub>2</sub> (0.5 – 0.0 ml /L) que se encuentra a mayores profundidades (~ 850 m). Se caracteriza por temperaturas de 4 - 9° C y salinidades de 34.5 - 34.8 ups.
- **Agua Profunda del Pacífico (APP).**- Se encuentra desde los 2000 m hasta el fondo. Con salinidad mayor a 34.5 ups y temperatura menor a 4° C. Las masas de agua localizadas a profundidades mayores a 3000 m se encuentran normalmente fuera de la región mexicana, pero llegan a penetrar en la zona más profunda por flujo horizontal y mezcla a gran escala.



**Figura 9.**  
(Modificada de Bourmaggard *et al.*, 1998)  
Sistemas hidrogálicos generados por el paso del viento sobre el istmo.



### **Surgencia**

#### *Repercusión en el agua superficial y la termoclina.*

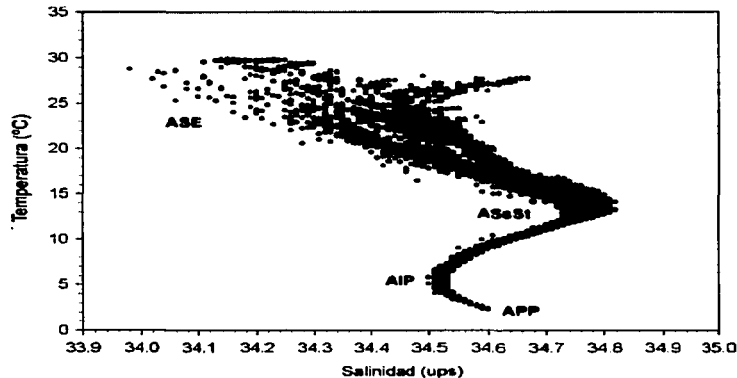
Como ya se ha mencionado, un rasgo esencial del Golfo de Tehuantepec es que durante el invierno y principios de primavera (de octubre a abril) está influenciado por la presencia de *nortes* que, tras cruzar el Istmo de Tehuantepec, afectan la dinámica del golfo provocando procesos locales de surgencia (Hurd, 1929; Lavin *et al.*, 1992; Barton *et al.*, 1993; Transviña y Barton, 1997; Gallegos y Barberán, 1998).

La temperatura promedio anual de la superficie del Golfo de Tehuantepec es de 25° - 30° C en condiciones 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 *tehuanos* 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 y nutrientes (silicatos, fosfatos, nitritos y nitratos) (Gallegos y Barberán, 1998) (figura 11).

La distribución del esfuerzo de los vientos sobre el mar causa que el agua se acumule en la superficie en el lado oeste del golfo, hunde la termoclina hasta 100 - 120 m de profundidad y eventualmente forma giros anticiclónicos de 200 a 300 km de diámetro. Mientras que del lado E se forman giros ciclónicos menos desarrollados (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 hacia fuera del golfo e ingresar al sistema de la CNE (Barton *et al.*, 1993).

Durante los meses de febrero y marzo, que es cuando la Corriente Norecuatorial se desplaza más al sur hasta los 15° N, llega a penetrar incluso en el Golfo de Tehuantepec a



**Figura 10.**  
(Cortesía de Adela Monreal, 2003)  
Masas de agua características del golfo:  
ASE - Agua Superficial Ecuatorial, ASSt - Agua Subsuperficial Subtropical, AIP - Agua Intermedia del Pacífico, APP - Agua Profunda del Pacífico.

profundidades subsuperficiales (de ~ 30 – 60 m). Esta incursión de agua puede ser solo definida al oeste del golfo, porque más al este (~ 95 – 95.5° O), choca con las aguas que están aflorando y forma un frente oceánico con un aparente domo o elevación subsuperficial en la porción este del Golfo de Tehuantepec (Molina y Martínez, 1994) (figura 12).

Cuando llega la época de lluvias (mayo a octubre), los vientos que soplan hacia el E son débiles y restablecen 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 y genera baja producción (Monreal y Salas, 1998).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## DISTRIBUCIÓN DE OXÍGENO

El  $O_2$  disuelto en el Golfo de Tehuantepec juega un importante papel dentro de la columna de agua y el fondo marino. Los valores de  $O_2$  disuelto en la superficie son mayores al porcentaje de saturación (4 – 5 ml/L), hecho que es motivado por la actividad biológica del golfo. Estos valores decaen rápidamente con la profundidad, alcanzando concentraciones de  $\leq 0.5$  ml/L en los 75 a 100 m de 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 las aguas que llegan a la plataforma continental (Vázquez *et al.*, 1998). Las concentraciones de  $O_2$  en las aguas sobre la plataforma externa y el talud (de 200 hasta ~ 800 m) se encuentran dentro de los 0.0 a 0.5 ml/L que generalmente se incrementan 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 poca profundidad (~ 200 m) y a los cambios en la circulación de agua causados por la geomorfología de los bancos (Pérez, 1989; Pérez y Machain, 1990).

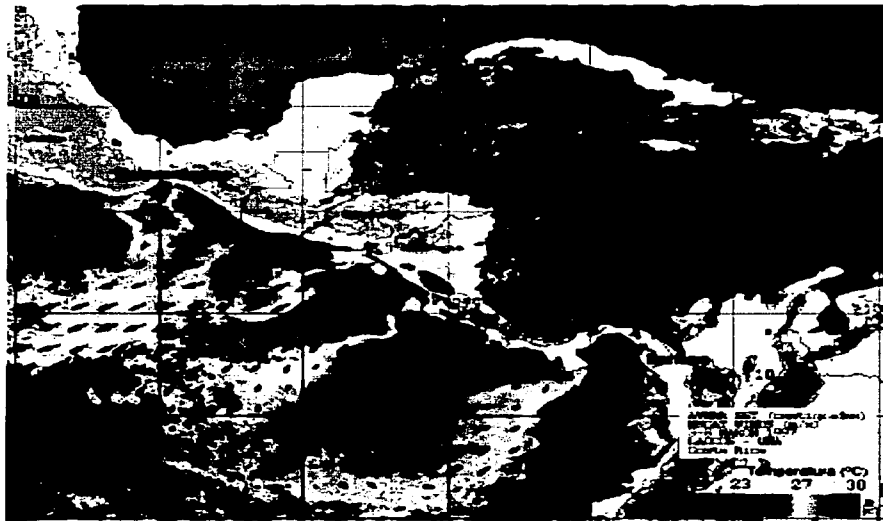
La cantidad de oxígeno que poseen los sedimentos también es importante para su preservación, ya que al disminuir el  $O_2$  disuelto, la fauna bentónica que ocasiona bioturbación

### Figura 11.

(Tomada de [www.laocos.una.cr/DANIEL/papapage.htm](http://www.laocos.una.cr/DANIEL/papapage.htm))

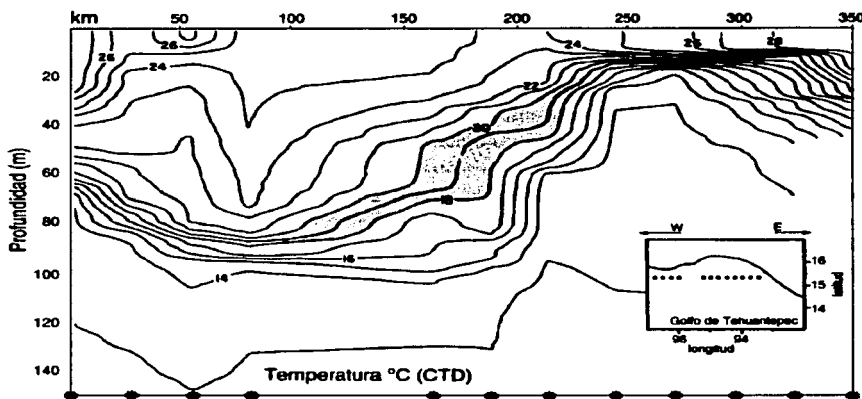
Surgencia del Golfo de Tehuantepec y desarrollo de las surgencias de Papagayo y Panamá.

Las flechas representan la dirección y velocidad del viento (m/s) y los colores la temperatura superficial del agua (°C).



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN





**Figura 12.**  
(Modificada de Molina y Martínez, 1994)  
Formación de frente oceánico

mientras se alimenta o ahueca sus madrigueras en la superficie del sedimento, no se desarrolla. La escasa o nula actividad biológica de fondo favorece que los registros sedimentarios no se perturben, permitiendo incluso que se conserven las finas laminaciones que se forman cuando hay diferencias de composición y abundancia en el aporte sedimentario continental o pelágico. Estos elementos deben ser considerados cuando se realiza un análisis paleoceanográfico porque afectarán la resolución temporal del registro (Cline y Richards, 1972; Ganeshram y Pedersen, 1998; Douglas *et al.*, 2001)

#### PRODUCTIVIDAD BIOLÓGICA DEL GOLFO

El Pacífico Tropical Oriental presenta alta productividad biológica gracias al elevado aporte de nutrientes que llegan hacia la superficie. Esta característica se debe a varios factores físicos que ya hemos mencionado: termoclina y nutriclinas someras, eventos de surgencia y mezcla vertical. Situaciones elementales que permiten, aún en momentos de baja intensidad de viento, un enriquecimiento de la zona eufótica con micronutrientes.

El Golfo de Tehuantepec es de las costas más fructíferas del país. Tiene gran importancia económica y biológica porque sostiene valiosas pesquerías, como la del atún, barrilete, tiburón, calamar, camarón, entre otros (Pérez, 1994; Ayala *et al.*, 1996). Sin embargo, pese al gran significado que poseen las comunidades fito y zooplanctónicas existen pocos estudios sobre su distribución y abundancia. Algunos de estos se han recopilado en los apartados de Gaxiola y Álvarez (1986), Ayala *et al.*, (1996), Meave y Hernández (1998) y Lara *et al.*, (1998).



### **Fitoplancton y productividad primaria**

De acuerdo con la compilación de Lara *et al.*, (1998), dentro de los grupos más abundantes que componen el fitoplancton del Golfo de Tehuantepec, se encuentran los nanoflagelados ( $< 10 \mu\text{m}$ ), las diatomeas y los dinoflagelados. En cuanto a distribución espacial, las diatomeas forman el grupo dominante de la región O del golfo, mientras que los nanoflagelados lo hacen en la región E.

La distribución horizontal y vertical de *clorofila a* reporta valores máximos superficiales en la región O, derivado principalmente del microfitoplancton ( $> 20 \mu\text{m}$ ), pero del lado central y E es por el nanofitoplancton ( $< 20 \mu\text{m}$ ). Los intervalos de *clorofila a* están entre  $0.04 - 11.1 \text{ mg / m}^3$ , con un promedio de  $1.42 \text{ mg / m}^3$ .

Lluch *et al.*, (1997) basándose en datos de concentración de pigmentos fotosintéticos generados por el *Coastal Zone Color Scanner* (CZCS), reconocieron cuatro zonas: a) la *costera*, con los más altos niveles de concentración ( $> 0.3 \text{ mg / m}^3$ ); b) la *oceánica*, con niveles bajos ( $< 0.3 \text{ mg / m}^3$ ); c) *Golfo de Tehuantepec*, con valores medios de concentración de pigmentos que presenta máximos en la época invernal (noviembre-febrero) y; d) la *sureste*, influenciada en verano por las tormentas tropicales y aguas productivas del domo de Costa Rica, pero en invierno por influjo de aguas provenientes del Golfo de Papagayo. En esas regiones se desarrollan eventos de surgencia, que llegan a coincidir temporalmente con la del Golfo de Tehuantepec si se producen en época de *nortes*, pero la influencia en cuanto a aporte de nutrientes se debe a la circulación costera que fluye hacia el NO (figura 11).

Los valores más altos de productividad primaria también se registran en la literatura durante la época de *nortes*, con los valores costeros casi del doble de las presentes en las estaciones de mar abierto. Los valores promedio son de  $5.3 \text{ mgC / m}^3\text{h}$ , variando entre  $0.2$  a  $40.4 \text{ mgC / m}^3\text{h}$ . Siendo las tasas más altas en la región occidental a central y las tasas mínimas en la zona oriental del golfo (citado por Lara *et al.*, 1998; Meave y Hernández, 1998) (figura 13)

### **Zooplancton**

La distribución espacial y temporal del zooplancton también presenta diferencias estacionales evidentes. En el trabajo de Ayala *et al.* (1996) se analizaron valores de biomasa zooplanctónica para tres meses del año (enero, mayo y noviembre), donde claramente encontraron que la dinámica del área es de fundamental trascendencia para definir la distribución.

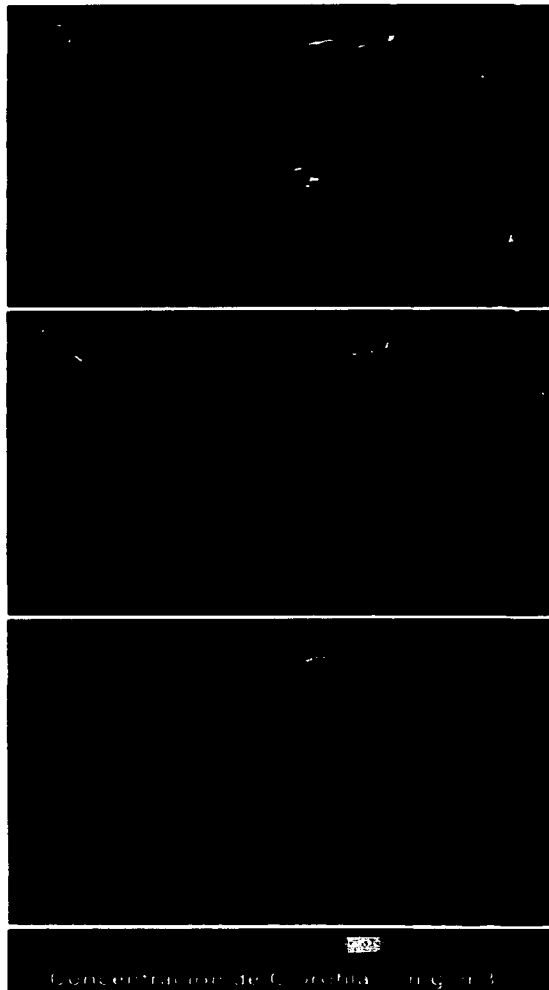
Durante *enero* las más altas concentraciones de biomasa zooplanctónica se ubican en el oeste y poco menos en el este. Esto coincide hidrográficamente con las bajas temperaturas cercanas a la superficie producto de la surgencia costera, con la formación del giro anticiclónico frente a las costas de Huatulco (Oaxaca) y el ciclónico a veces desarrollado del lado oriental (Lavin *et al.*, 1992; Gallegos y Barberán, 1998; Monreal y Salas, 1998). La elevada distribución y abundancia de zooplancton en el O se atribuye al giro anticiclónico que distribuye las aguas

nutritivas de la porción central que ascienden hacia la superficie y hacia la costa. Mientras que los valores del lado E coinciden con la alta temperatura (28.5° C) y los aportes de nutrientes dados por las abundantes lagunas costeras. A pesar de ser época de surgencias en la región central se mantienen bajos los valores de zooplancton, debido a la intensa mezcla vertical del ASsSt y ASE que no favorece el establecimiento de los organismos.

En mayo que es la época de lluvias, la contribución fluvial toma importancia y repercute fisicoquímicamente a lo largo de la zona costera, además de que el golfo adquiere una nueva distribución de temperatura superficial. Ahora es en la región costera centro y E donde se encuentran los más altos valores de biomasa del zooplancton, con un gradual descenso hacia la zona oceánica. Otro elemento que ya se ha mencionado es que durante el verano la CCCR llega a Tehuantepec y va suscitando enriquecimiento de nutrientes al ascender la masa de agua sobre la plataforma continental (Lluch *et al.*, 1997).

Finalmente en noviembre el fenómeno de surgencia se hace presente y se encuentra un mínimo de oxígeno cerca de la superficie (Vázquez *et al.*, 1998). La biomasa zooplanctónica tiene altos valores en la región central, donde todavía hay altos valores de temperatura, pero también está asociado con el drenaje de las lagunas y ríos, lo que indica claramente que el efecto combinado entre la surgencia y el aporte de los cuerpos de agua costeros determinan su abundancia y distribución.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN





**Figura 13. Página opuesta.**  
(Tomada de [seawifs.gsfc.nasa.gov/SEAWIFS.htm](http://seawifs.gsfc.nasa.gov/SEAWIFS.htm))  
Distribución superficial de  
clorofilas en: a) invierno,  
b) final de la época invernal  
y c) verano.





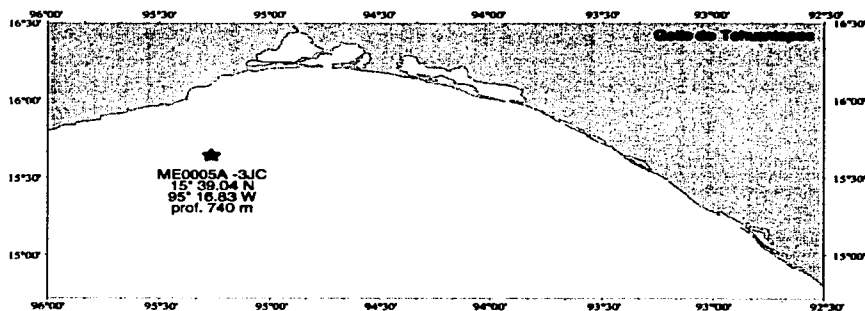
## MATERIALES Y METODOS

### COLECTA DEL NÚCLEO

El núcleo sedimentario ME0005A-3JC fue colectado con un nucleador de pistón durante la campaña NEMO-III (New Millenium Oceanography, Leg III, julio del 2000) a bordo del R/V "Melville" como parte del JOIDES Drilling Proposal 465-ADD1, organizado por el College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Oregon State University.

Las coordenadas de la estación TEH-1 son: latitud  $15^{\circ} 39.04' N$  y longitud  $95^{\circ} 16.83' O$ . A una profundidad de 740 m. Con una longitud del núcleo de 1404 cm de largo (figura 14).

Figura 14.  
Ubicación geográfica del núcleo estudiado.



### LABORATORIO

El muestreo del núcleo ME0005A-03JC se realizó cada 5 cm, dando un total de 265 muestras de 2 cm de grosor cada una. A continuación las muestras se colocaron en cápsulas de porcelana para secar el sedimento y poder iniciar el tratamiento de extracción de la fracción arenosa, de donde se obtuvieron a los foraminíferos planctónicos.

#### *Tratamiento del sedimento*

Con la finalidad de reconocer eventos o tendencias distintivas del sedimento y como criterio adicional para obtener información del medio de depósito, se determinó la proporción de componentes gruesos o tamaño arena (sedimento  $> 62 \mu m$ ) y finos o lodos (sedimento  $< 62 \mu m$ ) (Folk, 1969).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Las muestras secas se lavaron con agua corriente sobre un tamiz de abertura de malla de 0.0625 mm (núm. 250, *Tyler Screen System*) para recoger del sedimento únicamente los componentes de tamaño arenoso. Para conocer la fracción fina de la muestra 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 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.

### **Trabajo micropaleontológico**

La preparación de las muestras de sedimento para el estudio microscópico consistió en la separación de las testas de los foraminíferos planctónicos de los 265 niveles colectados. Este proceso consiste en varias etapas (modificado de Boltovskoy, 1965): disgregación, lavado, secado, fraccionamiento de la muestra y separación de la fauna.

Como se explicó anteriormente, el sedimento seco se lavó sobre un tamiz de 62  $\mu\text{m}$  de abertura para que conserven la totalidad de organismos de nos interés. Se usa esa abertura porque las testas de los foraminíferos planctónicos poseen tamaños mayores, independientemente de su estado de desarrollo (Peeters *et al.*, 1999). Antes de comenzar a lavar es importante *disgregar* el sedimento que se ha compactado por la desecación, por lo que el sedimento se remojar el tiempo necesario para no provocar el rompimiento de las testas con el manipuleo.

Posteriormente al sedimento seco y libre de lodos se le aplica un segundo tamizado, con una abertura de 0.0149 mm, con el objeto de aislar a los foraminíferos planctónicos adultos de los juveniles que son extremadamente difíciles de identificar por su cercanía ontogénica (Bé y Tolderlund, 1971; Bé, 1977), además de que para los fines de este trabajo se requiere únicamente de los adultos.

Muchas veces en una muestra arenosa, la cantidad de foraminíferos planctónicos con que se cuenta es excesivamente grande debido a la abundancia con que se depositan estos organismos. Entonces se realiza un *fraccionamiento* para obtener una muestra proporcional y evitar revisar la totalidad del material, es decir, por razones prácticas se emplea solo el mínimo indispensable de muestra para obtener el número necesario de foraminíferos planctónicos. El *cuarteador de Otto* es un artefacto que divide en dos o más partes iguales la muestra y nos facilita el recuento de los caparazones. En caso de que no se encuentre el número de individuos que se requieren para la cuantificación, necesariamente se tomará el entero de la muestra. El hecho de saber que parte de la muestra original estamos ocupando es además aplicable si deseamos estandarizar y comparar los datos obtenidos en peso y volumen de muestra.

Para tener la población representativa en los estudios micropaleontológicos, varios autores han señalado que el número mínimo de microfósiles marinos por muestra es ~ 300 a 500. A partir de ese número, la diversidad se mantendrá constante y se puede decir que en una



población de ese tamaño se tendrán representadas a todas las especies (Phleguer, 1954; Boltovskoy, 1965; Vincent y Berger, 1981; Peeters *et al.*, 1999).

Después de tener la fracción de material con que se va a trabajar se procede a separar (*pizar*) las testas de foraminíferos planctónicos de cada horizonte. Esto se hace con ayuda de un pincel muy fino y húmedo bajo el microscopio estereoscópico a diferentes aumentos (de 1x – 6x). Las testas separadas se colocan sobre una placa micropaleontológica. La placa es un rectángulo de cartón oscuro de 7.5 x 2.5 cm con 0.2 ó 0.3 cm de espesor, sobre el cual se coloca un portaobjetos y una camisa de aluminio, a fin de proteger los caparazones y facilitar su observación en el momento de determinar las especies.

Posterior a la preparación de las placas micropaleontológicas se efectúa la *determinación taxonómica* de las especies utilizando bibliografía especializada. Luego se elaboran las tablas y gráficas de abundancia y distribución de las especies a lo largo de la columna sedimentaria; las tablas y gráficas de abundancia absoluta (ind/g) y relativa (%) de cada una de las especies; y finalmente la realización del tratamiento estadístico para proceder con la interpretación de los resultados.

#### **Método estadístico**

Con los datos de abundancia relativa (%) se construye la matriz de datos que será empleada en el tratamiento estadístico, pero se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones.

De las 265 muestras iniciales que representan los niveles de profundidad de la columna (tomando el número más grande para la muestra más profunda), se descartaron aquellas que no contenían como mínimo 100 organismos en la fracción completa y sólo se tomaron en cuenta aquellas especies que por lo menos tuvieron un 0.1% de abundancia relativa a lo largo del núcleo. Esto en virtud de que aquellas especies y estratos con valores menores no son representativos estadísticamente y crean un sesgo *falso* en la interpretación, ya que la técnica estadística los agrupara con base a su condición de baja representatividad y no por el significado ecológico que puedan reflejar.

La técnica estadística multivariada empleada fue el *análisis de factores* en modo *Q* utilizando el paquete estadístico STATISTICA'99 edición para Windows (StatSoft Inc., 1999). La matriz de datos comprendió 18 casos [especies] x 69 variables [muestras]. Este análisis permite reducir los datos a un grupo pequeño de componentes o *factores* que ayudan a determinar si los datos representan el grado de mezcla de las asociaciones presentes (Imbrie y Kipp, 1971). De la aplicación de este método se obtienen los valores (*factor scores*) y las cargas del factor (*factor loadings*). Los primeros permiten identificar a las especies importantes para definir a los factores, es decir, las asociaciones de foraminíferos planctónicos. Mientras que los segundos representan el peso de las muestras sobre los factores definidos, o sea, las tendencias o patrones que existen a lo largo del núcleo.



### **Análisis de isótopos estables ( $^{18}\text{O}$ ) y cronología ( $^{14}\text{C}$ )**

Las determinaciones de isótopos de  $^{18}\text{O}$  y de  $^{14}\text{C}$  fueron realizados gracias al apoyo de Robert C. Thunell (departamento de Ciencias Geológicas, Universidad de Carolina del Sur, Columbia, E.U).

Para el análisis de isótopos de oxígeno fueron seleccionados entre 5 y 10 individuos de la especie planctónica *N. dutertrei*, tomados de 22 horizontes distribuidos a lo largo del núcleo aproximadamente cada 20 cm. Todas las muestras fueron colocadas en metanol dentro de una tina sónica en un espectrómetro de masas *VG Optima Isotope Ratio* con carrusel de carbonatos automático, poniéndolos a reaccionar en ácido fosfórico a  $90^\circ\text{C}$ . Para estandarizar los resultados, todos los datos son reportados en relación al Pee Dee Belemnite (PDB) y los resultados están reportados en notación “:

$$^{18}\text{O} = 1000 \left[ \left( \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{muestra}} / \left( \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{estandar}} \right]$$

La cronología del núcleo se obtuvo mediante fechaciones de  $^{14}\text{C}$ , obtenidas a partir de una acelerador acoplado a un espectrómetro de masas (AMS). El AMS mide indirectamente la cantidad de  $^{14}\text{C}$  de cada muestra (contando las partículas- $\beta$  emitidas) midiendo las concentraciones de iones individuales ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ). Los iones son activados en un acelerador electrostático a muy altas velocidades, los cuales pasan a través de un campo magnético que los separa por cargas y permite distinguirlos entre si. Las edades corregidas de  $^{14}\text{C}$  fueron convertidas a años calendario (años Cal) usando siguiente ecuación (Stuiver *et al.*, 1998):

$$\text{años Cal} = 1950 - \text{años AP}$$

Donde el *Presente* es el año 1950, *AP* (antes del Presente) son los años anteriores a esa fecha y los años calendario pueden ser antes o después de Cristo (*a. C ó d. C*).



## RESULTADOS

### DESCRIPCIÓN DEL NÚCLEO ME0005A-03JC

Longitudinalmente, la columna estratigráfica es predominantemente laminada. Sin embargo muchos intervalos están muy bioturbados o bien presentan perturbaciones de este tipo entre laminaciones. La base del núcleo está completamente bioturbada. Al extraer el núcleo se percibió un fuerte olor a azufre, lo que indica condiciones reductoras provenientes de la superficie del sedimento en el momento del depósito. Ocasionalmente pueden ser encontradas en el núcleo capas muy delgadas (~ 0.5 a 1 mm) formadas de ceniza clara y /o depósitos de turbiditas, pero las laminaciones son también gruesas en algunos intervalos.

El tamaño de sedimento (Folk, 1969) indica que la mayor parte del núcleo es lodo ( $\geq 90\%$  lodo;  $\leq 10\%$  arena), con porcentajes promedio de arenas del 3.2%. En los intervalos entre 735 a 1000 cm se intercalan sedimentos lodo-arenosos ( $\geq 50\%$  a  $\leq 10\%$  arena), pero los estratos no superan el 20% de arena en ninguna muestra (tabla 1 y gráfica 1b).

### CURVA ISOTÓPICA DE $^{18}\text{O}$ Y FECHAMIENTO CON $^{14}\text{C}$

Se elaboró la curva de  $^{18}\text{O}$  para evidenciar cambios en la temperatura de las aguas superficiales presentes en el momento en que los foraminíferos fabricaron sus testas carbonatadas ( $\text{CaCO}_3$ ). Al utilizar los foraminíferos los elementos disponibles en el agua de mar, la proporción de  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  presente en el océano es la misma que la de los caparazones. Por lo que al analizar isotópicamente sus estructuras también sabremos si ocurrieron alteraciones en los ciclos glaciario-interglaciario, que son los que controlan la concentración  $^{18}\text{O}$  u  $^{16}\text{O}$  en el agua oceánica y en los casquetes polares, al liberar o secuestrar los isótopos de oxígeno (Emiliani, 1954). La curva de  $^{18}\text{O}$  del núcleo ME0005A-03JC muestra que los valores altos se encuentran entre los 800 a 1400 cm ( $^{18}\text{O}_{\text{POB}} > 1\%$ ), un brusco cambio entre los 800 - 900 cm (de 1.5 y -0.5 ‰) y los  $^{18}\text{O}$  más bajos de los 800 hacia la superficie del núcleo ( $^{18}\text{O}_{\text{POB}} < -1\%$ ) (gráfica 1a).

Para conocer el tiempo que está representando el núcleo ME0005A-03JC se obtuvieron 10 fechaciones con carbono-14 ( $^{14}\text{C}$ ). La muestra más profunda (1342-1344 cm) indica que el núcleo alcanza 23,078 años AP. El intervalo con el cambio brusco en los valores de  $^{18}\text{O}$  posee una edad de 15,527 años AP a los 900-902 cm y de 12,884 años AP a los 802-804 cm. La parte superior del núcleo únicamente alcanza hasta los 1,706 años AP. Las tasas de sedimentación son variables a través del núcleo y van de 0.4 a 0.9 mm/año, con un promedio de 0.62 mm/año (tabla 2 y gráfica 1).

RESULTADOS

Tabla 1. Sedimento arenoso (%) y número de foraminíferos planctónicos por gramo de sedimento (ind/g).

Nivel	% arena	Ind/g	Nivel	% arena	Ind/g	Nivel	% arena	Ind/g
1-3	0.945	3.33	445-447	0.916	1.75	800-802	17.439	112.40
5-7	1.855	0.00	450-452	1.152	0.58	805-807	5.863	0.00
10-12	1.839	0.01	455-457	3.881	0.01	810-813	5.711	7.04
15-17	3.315	23.31	461-463	0.783	0.30	805-807	17.690	0.00
21-23	0.855	100.84	465-467	0.872	0.00	810-812	4.681	74.42
25-27	0.089	23.82	470-472	1.028	1.28	815-817	9.310	500.47
30-32	2.971	0.01	475-477	0.863	1.02	818-820	7.424	388.72
35-37	1.354	47.87	481-483	1.284	0.30	825-827	9.582	78.26
41-43	2.011	1.51	485-487	0.823	0.00	830-832	15.790	30.22
45-47	2.802	0.01	490-492	0.582	0.01	831-833	5.372	98.88
50-52	2.352	356.78	495-497	1.456	0.00	835-837	11.018	202.99
55-57	2.572	33.56	501-503	0.822	0.85	839-841	3.028	0.00
61-63	0.830	1.16	505-507	1.080	1.32	875-877	2.287	0.00
65-67	2.023	2.71	510-512	0.855	0.01	881-883	10.877	720.00
70-72	3.403	0.01	515-517	0.887	0.00	885-887	3.683	33.04
75-77	1.007	0.00	521-523	0.822	1.55	890-892	8.500	66.69
81-83	0.878	0.00	525-527	2.740	3.08	895-897	8.504	1.87
85-87	2.384	0.00	530-532	3.596	0.01	1001-1003	4.566	2.19
90-92	3.048	50.05	535-537	0.822	0.00	1005-1007	7.459	63.09
95-97	3.089	166.78	541-543	0.852	0.00	1010-1012	3.903	8.87
101-103	1.529	1.11	545-547	2.503	0.00	1015-1017	3.520	38.38
105-107	2.294	0.01	550-552	5.898	27.81	1021-1023	3.185	128.10
110-112	2.608	134.88	555-557	0.823	41.40	1025-1027	3.024	38.81
115-117	3.933	43.80	561-563	0.783	23.43	1030-1032	3.158	2.87
121-123	1.002	0.52	565-567	0.893	0.00	1035-1037	4.818	0.00
125-127	4.622	862.82	571-573	11.047	148.98	1041-1043	5.442	0.00
130-132	3.204	20.82	575-577	1.119	24.18	1045-1047	3.081	21.53
135-137	2.442	192.45	581-583	1.132	1.04	1050-1052	3.139	0.00
141-143	0.796	0.01	585-587	0.760	0.00	1055-1057	10.194	178.57
145-147	1.384	0.01	590-592	0.798	0.82	1060-1062	3.883	2.82
150-152	2.757	0.01	595-597	0.785	0.01	1065-1067	4.282	72.58
155-157	1.678	0.01	601-603	0.538	0.00	1070-1072	2.582	0.00
161-163	0.151	2.80	605-607	2.200	0.01	1075-1077	2.583	0.00
165-167	0.890	0.01	610-612	7.821	43.01	1081-1083	5.280	0.00
170-172	1.959	0.01	615-617	1.078	21.43	1085-1087	2.667	0.00
175-177	1.942	149.23	621-623	0.479	0.00	1090-1092	2.718	0.00
181-183	1.354	0.01	625-627	1.227	5.23	1095-1097	2.758	0.00
185-187	2.035	0.01	630-632	1.588	0.01	1101-1103	3.069	0.00
190-192	1.698	0.01	635-637	0.008	54.69	1105-1107	2.011	0.01
195-197	2.741	2.94	641-643	0.313	0.00	1110-1112	2.529	0.00
201-203	1.523	6.12	645-647	1.375	1.15	1115-1117	3.059	0.00
205-207	2.903	0.01	650-652	1.170	27.34	1121-1123	2.854	0.00
210-212	2.431	0.01	655-657	0.793	0.00	1125-1127	2.150	10.75
215-217	0.823	0.01	661-663	1.316	0.28	1130-1132	2.746	1.78
221-223	1.582	0.22	665-667	1.123	0.00	1135-1137	2.810	3.63
225-227	2.852	0.01	670-672	2.504	0.00	1141-1143	3.024	76.89
230-232	2.987	2.17	675-677	2.047	14.30	1145-1147	4.121	51.99
235-237	1.410	12.18	681-683	2.840	294.33	1150-1152	4.530	29.78
241-243	0.721	0.00	685-687	1.304	2.52	1155-1157	3.747	144.48
245-247	0.933	0.01	690-692	1.350	2.89	1161-1163	2.581	0.00
250-252	1.255	0.01	695-697	1.150	86.55	1165-1167	2.720	24.05
255-257	1.041	0.00	701-703	0.905	0.00	1170-1172	2.283	0.00
261-263	1.280	0.00	705-707	1.201	43.02	1175-1177	3.469	123.12
265-267	0.709	0.01	710-712	0.670	0.00	1181-1183	4.621	403.28
270-272	0.978	0.01	715-717	0.664	25.54	1185-1187	2.050	48.38
275-277	1.064	0.51	721-723	0.303	0.00	1190-1192	5.575	12.30
281-283	1.380	0.00	725-727	0.783	5.22	1195-1197	1.744	0.00
285-287	0.382	0.01	730-732	0.956	19.82	1201-1203	4.937	133.08
290-292	0.840	0.00	735-737	1.925	2.11	1205-1207	3.238	5.18
295-297	2.295	165.07	741-743	0.873	0.00	1210-1212	4.038	9.05
301-303	1.245	0.00	745-747	1.328	27.07	1215-1217	1.519	0.00
305-307	1.068	0.01	750-752	0.968	130.23	1221-1223	2.358	2.33
310-312	1.239	0.00	755-757	4.623	0.00	1225-1227	3.354	154.53
315-317	4.764	78.39	761-763	1.304	0.00	1230-1232	3.326	662.24
321-323	0.579	0.00	765-767	3.461	0.00	1235-1237	29.733	59.47
325-327	0.559	0.00	771-773	4.282	0.00	1241-1243	2.700	0.00
330-332	0.715	0.00	775-777	1.219	0.00	1245-1247	4.004	84.82
335-337	1.421	0.01	781-783	0.010	0.00	1250-1252	6.019	803.98
341-343	0.952	0.00	785-787	1.880	0.00	1255-1257	9.682	180.17
345-347	1.085	0.00	790-792	0.054	94.50	1261-1263	2.880	0.00
350-352	2.540	542.22	795-797	2.054	2.28	1265-1267	1.820	0.00
355-357	0.913	0.01	801-803	2.093	91.68	1270-1272	1.535	0.00
361-363	1.373	0.00	805-807	1.738	8.88	1275-1277	1.202	0.00
365-367	0.821	0.01	810-812	1.816	1.98	1281-1283	3.799	109.49
370-372	1.139	0.00	815-817	15.904	7.00	1285-1287	1.889	12.42
375-377	1.835	1.03	821-823	2.532	78.87	1290-1292	2.159	0.00
381-383	1.278	0.00	825-827	15.524	12.19	1295-1297	2.568	0.00
385-387	11.483	0.01	830-832	1.614	3.10	1301-1303	2.428	40.51
390-392	1.712	112.92	835-837	9.781	8.79	1305-1307	2.680	4.21
395-397	1.404	1.32	841-843	4.725	12.07	1310-1312	2.421	80.67
401-403	1.284	0.00	845-847	0.815	1.32	1315-1317	2.982	0.00
405-407	2.852	42.28	850-852	4.150	39.01	1321-1323	2.258	0.00
410-412	1.096	0.00	855-857	2.351	0.00	1325-1327	3.185	0.00
415-417	2.153	52.84	861-863	3.690	0.00	1330-1332	1.023	0.00
421-423	2.447	865.867	865-867	1.444	17.25	1335-1337	2.547	74.74
425-427	1.202	15.18	870-872	9.403	13.07	1340-1342	4.274	29.55
430-432	0.708	0.00	875-877	1.535	0.00	1402-1404	4.311	29.00
435-437	0.893	0.01	881-883	13.708	92.18			
441-443	0.812	0.00	885-887	7.548	0.01			

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



## FORAMINIFEROS PLANCTÓNICOS

Se obtuvo un total de 21 especies de foraminíferos planctónicos pertenecientes a 11 géneros. Para la determinación de las diferentes especies se consultó bibliografía especializada (Kennett y Srinivasan, 1983; Loeblich y Tappan, 1987) y se reconoce que todas son del Reciente (no extintas)

Phylum **PROTISTA** (Goldfuss, 1821)

Subphylum **SARCODINA** (Schamarda, 1871)

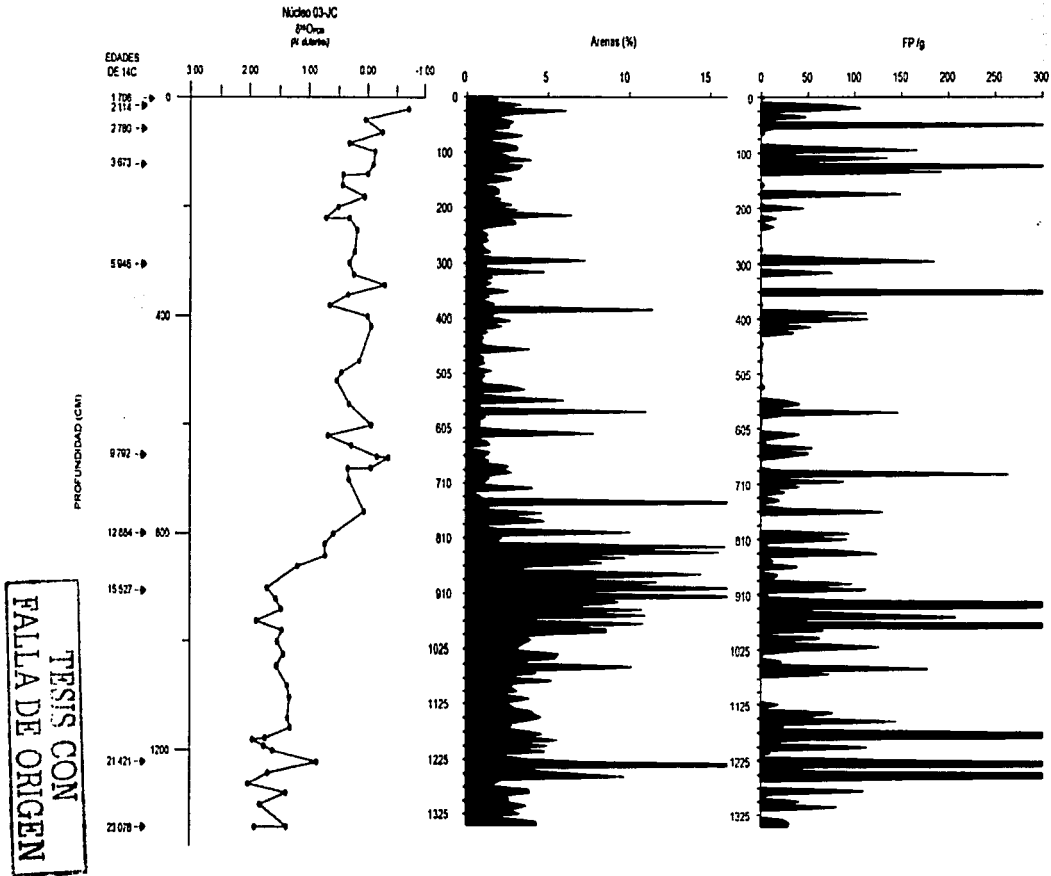
Clase **RETICULAREA** (Lankester, 1885)

Subclase **GRANULORETICULOSIA** (Saadler, 1934)

Orden **GLOBIGERINIDA** (Eichwald, 1830)

- *Candeina nitida* (d'Orbigny, 1839) p. 229, pl. 57, fig. 6-8 (Kennett y Srinivasan, 1983).
- *Globigerina (Globigerina) bulloides* (d'Orbigny, 1826) p. 36, pl. 6, fig. 4-6.
- *Globigerina (Globigerina) falconnensis* (Blow, 1959) p. 40, pl. 7, fig. 1-3.
- *Globigerina (Zeaglobigerina) rubescens* (Hofker, 1956) p. 50, pl. 9, fig. 7-9.
- *Globigerinella aequilateralis* (Parker, 1962) p. 238, pl. 60, fig. 4-6.
- *Globigerinella calida* (Parker, 1962) p. 240, pl. 60, fig. 7-9.
- *Globigerinina glutinata* (Egger, 1893) p. 224, pl. 56, fig. 1, 3-5.
- *Globigerinina parkerae* (Bermudez, 1961) p. 226, pl. 57, fig. 1-3.
- *Globigerinina uvula* (Ehrenberg, 1861) p. 224, pl. 56, fig. 6-8.
- *Globigerinoides sacculifer* (Brady, 1877) p. 66, pl. 14, fig. 4-6.
- *Globigerinoides quadrilobatus* (d'Orbigny, 1846) p. 66, pl. 14, fig. 1-3.
- *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny, 1939), p. 78, pl. 17, fig. 1-3.
- *Globigerinoides tenellus* (Parker, 1958) p. 80, pl. 17, fig. 7-9.
- *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.
- *Globorotaloides hexagona* (Natland, 1938) p. 216, pl. 54, fig. 1, 3-5.
- *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.
- *Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg, 1861), p. 192, pl. 47, fig. 3-5; variante con enrollamiento diestro (D).
- *Orbulina universa* (d'Orbigny, 1839) p. 86, pl. 20, fig. 4-6.
- *Pulleniatina obliquiloculata* (Parker & Jones, 1865) p. 202, pl. 50, fig. 1-5.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Gráfica 1.

- a) Curva de  $\delta^{18}O$  y fechaciones con  $^{14}C$  (años AP).
- b) Sedimento arenoso (%).
- c) Abundancia de foraminíferos planctónicos (FP) por gramo de sedimento (ind/g).



**Tabla 2.**  
Fechações con  $^{14}\text{C}$   
y estimación de la tasa  
de sedimentación.

Intervalo (cm)	Especies	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Edad convenc. $^{14}\text{C}$	R	Edad Calibrada (años Cal BP)	Intervalo 1 $\sigma$ (años BP)	Tasa de Sedimentación (cm/año)
2-3	<i>Bolivina</i> spp., <i>Lyidocina</i> spp.	-1.58	2 530	400	1 706	1792 - 1831	
16-18	<i>Bolivina</i> spp., <i>Lyidocina</i> spp.	-1.36	2 870	400	2 114	2189 - 2024	0.4
64-66	<i>Bolivina</i> spp., <i>Lyidocina</i> spp.	-1.28	3 440	400	2 780	2849 - 2748	0.7
122-124	<i>Bolivina</i> spp., <i>Lyidocina</i> spp.	-1.29	4 150	400	3 673	3752 - 3598	0.8
302-304	<i>Bolivina</i> spp., <i>Lyidocina</i> spp.	-1.71	5 990	400	5 948	6034 - 5901	0.8
652-654	<i>Bolivina</i> spp., <i>Lyidocina</i> spp.	-1.5	9 480	400	9 792	9832 - 9592	0.9
802-804	<i>Bolivina</i> spp., <i>Lyidocina</i> spp.	-1.63	11 680	400	12 884	12988 - 12811	0.5
900-902	<i>Neogloboquadrina dutertrei</i>	0.33	13 580	185	15 527	15839 - 15219	0.4
1228-1230	<i>Neogloboquadrina dutertrei</i>	0.81	18 710	185	21 421	21753 - 21089	0.6
1342-1344	<i>Neogloboquadrina dutertrei</i>	1.21	20 150	185	23 078	23473 - 22683	0.7

Con las especies del género *Neogloboquadrina* existe una controversia en la determinación de aquellos individuos que tienen una gradación morfológica entre *N. dutertrei* y *N. pachyderma* denominados *inter-gradaciones P-D* (Ufkes y Zachariasse, 1993; Hilbretch, 1997), pero en este trabajo no se separaron dichos morfotipos. Los organismos con 4 cámaras que no tenían diente en la apertura umbilical ni suturas profundas en las cámaras se consideraron como *N. pachyderma* y no como *N. dutertrei*.

De las 21 especies encontradas, 6 son las más abundantes y representan el 87% de abundancia total de foraminíferos planctónicos a lo largo de la columna: *Globigerina bulloides*, *Globigerinoides ruber*, *Globigerinita glutinata*, *Globorotalia menardii*, *Neogloboquadrina dutertrei* y *Neogloboquadrina pachyderma* (D).

Mientras que 4 de ellas (0.44%) fueron omitidas por ser raras o por presentarse esporádicamente a lo largo del núcleo: *Candeiina nitida*, *Globorotalia theyeri*, *Hastigerina pelagica* y *Globorotalia aequilateralis*.

### 1. Abundancias Absolutas:

De los 265 horizontes analizados, 196 de ellos (73.96%) no tuvieron la cantidad suficiente de foraminíferos planctónicos para poder realizar el análisis estadístico requerido. El número mínimo de organismos es generalmente de ~ 300 ind /muestra, pero para el caso particular del Golfo de Tehuantepec se puede tomar desde e" 100 ind /muestra, ya que en esta zona la diversidad se mantiene constante después de ese valor y se tienen representadas a todas las especies (Arellano, 2001).

De esta tendencia se pueden distinguir dos zonas en el núcleo (tabla 1 y gráfica 1c): La parte basal de 1340 a 900 cm, que tienen como promedio 74 ind /g y es donde existe la mayor cantidad de foraminíferos planctónicos por muestra. Mientras que de los 900 a 0 cm están los

intervalos con escasos o nulos organismos (28 ind /g en promedio), especialmente entre 550 - 420 cm, de 270 - 140 cm y los primeros 15 cm.

De las especies encontradas 6 son las más representativas en las asociaciones presentes de foraminíferos planctónicos. Siendo en promedio a lo largo de la columna la más abundante *Globigerinita glutinata* (10 ind /g), *Neogloboquadrina dutertrei* (22 ind /g), *Globigerina bulloides* (8 ind /g), *Globorotalia menardii* (14 ind/g), *Neogloboquadrina pachyderma* (D) (6 ind /g) y la menos *Globigerinoides ruber* (5 ind /g). Las especies restantes poseen valores promedio de 0 - 1 ind /g por nivel.

## 2. Abundancias Relativas:

Dentro de los 69 niveles que contenían la cantidad estadísticamente representativa de foraminíferos planctónicos (e" 100 ind /muestra), las especies con los porcentajes promedio mayores nuevamente son: *Globigerinita glutinata* (24.75%), *Neogloboquadrina dutertrei* (21.28%) *Globigerina bulloides* (16.05%), *Globorotalia menardii* (13.90%), *Neogloboquadrina pachyderma* (D) (5.95%) y *Globigerinoides ruber* (5.16%). En la próxima sección se hablará con más detalle acerca de las preferencias ambientales y ecológicas de cada una de ellas.

Así mismo se observa que *G. menardii*, *N. dutertrei* y *N. pachyderma* (D) se ubican preferentemente hacia el final del núcleo, entre 1340 a 830 cm. *G. glutinata* es la especie que muestra la mayor heterogeneidad a lo largo de la columna, pero tiene cierta tendencia a dominar en dos porciones del núcleo: entre los 900 y 700 cm y entre los 95 a 15 cm. Mientras que *G. bulloides* y *G. ruber* predominan entre 420 y 100 cm (tabla 3 y gráfica 3).

Basados en la distribución de especies a lo largo del núcleo a continuación describiremos la ecología de las especies más abundantes, puesto que son ellas las que nos ayudarán a determinar las tendencias que se desarrollan en la columna.

## 3. Condiciones Ecológicas de los Foraminíferos Planctónicos:

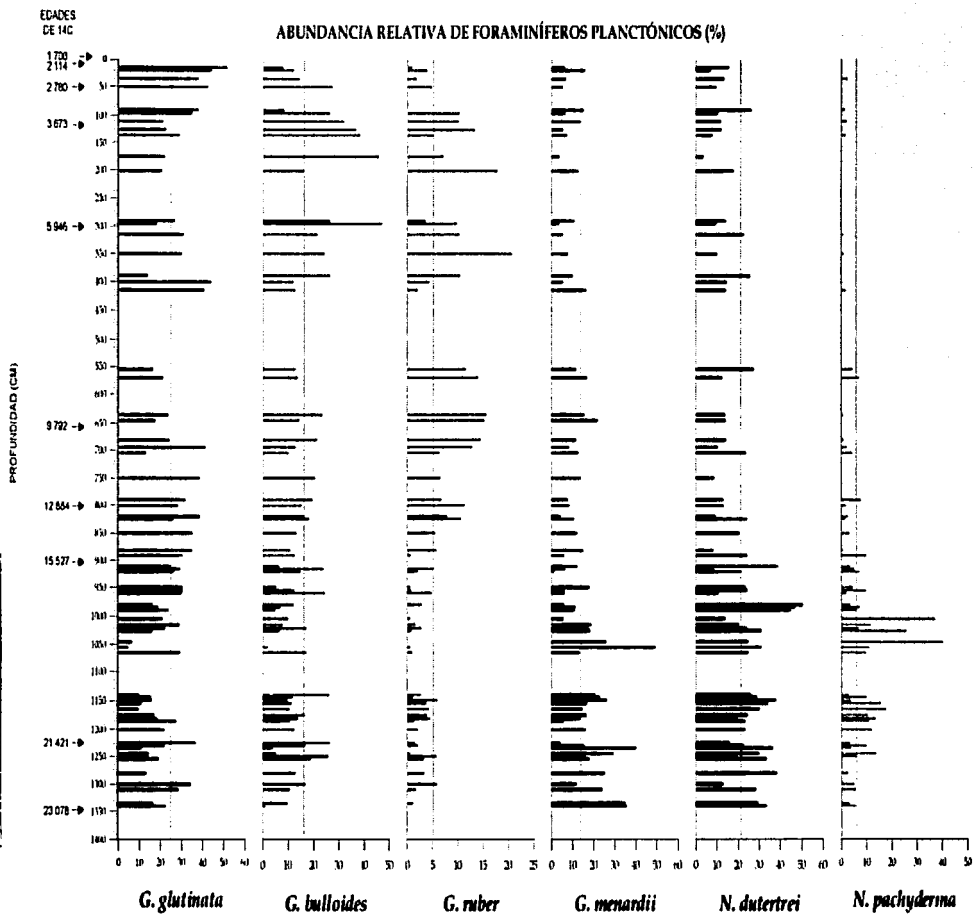
Las surgencias costeras se caracterizan por poseer en alguna época del año disminución de temperatura, bajo contenido de oxígeno y alto contenido de nutrientes que aumentan la productividad biológica. Las zonas de surgencia son importantes en las investigaciones paleoceanográficas porque su influencia queda reflejada en los sedimentos depositados, ya que al afectar la superficie del océano determinan la sucesión ecológica de los organismos planctónicos que se desarrollan en el área.

Los foraminíferos no son la excepción y necesariamente sus poblaciones van respondiendo a dicho estímulo. La distribución y ecología de los foraminíferos planctónicos del Reciente es esencialmente similar al resto del zooplancton, gobernada principalmente por la disponibilidad de alimento que de hecho, es una función del complejo sistema de variables que determinan una masa de agua.

**Tabla 3. Página opuesta.**  
Abundancias relativas (%) de  
foraminíferos planctónicos  
(FP > 100 ind /muestra)

Nivel (cm)	G. butabidos	G. calda	G. quinquieborba	G. glumifera	G. perenne	G. quadrifolius	G. ruber	G. succifery	G. lanatus	G. rmanarzi	G. heragosa	N. chivireni	N. pachyderma	O. univerna	P. obliquicollata	G. rubescens	G. abnormis	G. uride
15	7.93	0.00	0.00	51.30	6.09	3.48	0.87	0.00	0.87	6.09	3.48	15.85	0.00	0.87	0.87	0.00	0.00	2.81
20	11.91	2.13	0.00	43.83	4.88	5.11	3.83	1.28	0.00	15.74	1.28	6.81	0.43	0.00	0.43	0.00	1.70	0.00
35	14.17	5.83	0.00	37.50	1.67	3.33	1.67	0.00	0.00	6.67	3.33	13.33	2.50	0.83	1.67	2.50	2.50	2.50
50	27.27	2.82	0.00	42.32	2.51	0.00	4.70	0.94	0.63	5.02	0.31	9.72	0.00	0.00	0.00	0.31	1.57	1.88
95	8.27	0.00	0.75	37.59	2.26	1.50	0.00	0.00	2.28	15.04	0.75	26.32	1.50	2.28	0.75	0.00	0.00	0.75
95	26.14	1.14	0.00	34.68	3.98	2.27	10.23	1.14	0.00	6.25	0.00	10.23	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	1.14
110	31.79	0.00	0.00	10.01	0.54	0.00	0.54	0.00	0.54	13.00	0.82	13.00	2.17	0.00	0.82	0.00	1.90	0.54
125	36.47	0.00	0.00	22.22	2.42	0.97	13.29	0.48	2.42	5.07	1.93	12.08	0.00	0.24	0.48	0.00	1.69	0.00
135	37.99	1.08	0.00	28.67	3.23	0.72	5.02	0.00	1.43	7.17	0.00	7.89	1.79	0.72	0.72	0.00	2.67	0.72
175	45.56	0.77	0.39	21.62	3.47	1.93	6.95	0.39	1.54	3.47	2.70	3.47	0.00	0.39	0.77	1.54	2.70	1.93
201	16.10	2.54	0.00	20.34	0.85	5.08	17.80	0.00	0.00	12.71	0.85	17.80	0.00	0.85	1.69	1.69	1.69	0.00
290	26.43	0.00	0.00	26.43	2.14	5.00	3.57	2.14	0.00	10.71	1.43	14.29	0.00	0.71	0.00	2.14	2.14	2.14
295	46.97	0.97	0.00	17.68	1.94	0.97	9.69	0.00	0.24	3.39	1.45	9.44	0.24	0.24	0.00	1.21	3.39	1.45
315	21.19	0.00	0.00	30.51	1.69	0.85	10.17	1.69	0.00	5.08	0.00	22.88	0.85	1.69	0.85	0.00	2.54	0.00
350	24.12	0.23	0.00	29.74	1.17	1.17	29.81	0.70	1.41	7.73	0.47	10.07	1.17	0.00	0.00	0.00	1.41	1.41
390	26.29	0.47	0.00	13.62	1.41	2.35	10.33	1.41	0.94	9.86	2.35	25.82	0.00	0.94	0.47	0.00	3.78	0.00
401	11.89	0.70	0.00	43.71	3.85	3.50	4.20	0.00	8.04	5.24	0.70	14.69	0.35	0.00	0.00	0.00	2.10	0.00
415	12.50	0.00	0.00	40.38	3.85	2.88	1.82	0.00	0.00	16.35	1.92	14.42	1.92	0.96	0.00	0.00	1.92	0.96
555	12.64	3.45	0.00	16.09	1.15	3.45	11.49	2.30	0.00	11.49	1.15	27.59	4.60	1.15	0.00	1.15	0.00	2.30
570	13.52	1.42	0.00	20.64	2.14	1.78	13.88	0.71	0.71	16.73	2.14	12.46	7.12	0.00	0.00	0.00	3.20	2.14
635	23.44	2.34	0.00	23.44	0.78	0.00	15.63	0.00	0.78	15.63	0.78	14.06	0.78	0.78	0.00	0.00	0.78	0.78
645	14.29	2.86	0.00	17.14	2.86	4.76	15.24	0.00	0.95	21.00	0.00	14.29	0.00	0.95	0.00	0.95	2.86	0.95
681	21.18	0.51	0.00	14.51	0.51	14.51	0.51	0.51	0.51	13.18	0.51	13.18	0.51	0.51	0.00	0.51	2.20	0.51
695	12.71	1.10	0.00	40.88	3.87	0.00	12.71	1.86	0.55	8.29	1.10	10.50	2.21	1.10	0.00	2.21	0.00	1.10
705	10.09	0.00	0.00	12.84	3.67	1.83	6.42	0.92	0.00	12.84	1.83	23.85	4.59	0.00	0.00	14.68	4.59	1.83
750	20.43	1.30	0.00	38.26	2.17	1.30	6.52	0.00	0.00	13.48	0.87	8.70	0.00	0.43	0.00	3.48	1.74	0.87
790	19.59	1.55	1.03	31.44	3.09	0.52	6.70	0.00	3.61	7.73	0.00	12.89	7.73	0.52	0.52	1.03	0.52	1.03
801	15.20	0.61	0.00	27.96	6.69	0.61	11.25	0.00	6.38	8.21	0.30	13.07	1.82	0.00	0.61	0.61	1.22	0.86
821	16.30	1.11	0.00	38.52	4.81	1.11	7.78	0.37	5.93	4.07	7.74	9.26	2.59	0.00	1.48	1.11	0.74	0.47
825	18.16	1.40	0.00	25.70	2.23	0.00	10.61	1.68	10.61	0.56	24.30	1.68	0.00	0.28	0.28	1.12	1.12	1.12
850	13.19	0.00	0.00	24.37	2.17	0.00	0.00	0.00	0.00	2.59	0.00	20.95	3.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
881	10.89	0.00	0.00	34.69	3.99	2.14	5.70	0.48	2.85	14.96	0.95	8.31	0.71	1.66	0.24	1.66	3.58	2.85
890	12.42	0.00	1.31	30.07	5.23	2.61	0.65	1.31	1.96	5.88	1.31	24.18	9.80	1.96	1.31	0.00	0.00	0.00
910	6.32	0.00	1.15	24.43	2.87	3.45	0.00	0.57	0.86	12.07	0.57	38.79	3.74	0.00	1.15	2.30	0.00	1.72
915	23.87	1.81	2.72	29.00	3.93	1.21	5.14	1.51	2.11	6.34	0.91	6.16	5.44	0.00	1.21	1.51	2.42	1.51
920	14.88	3.40	4.02	25.97	3.88	2.32	2.01	1.24	1.85	0.93	2.63	21.33	7.26	0.00	0.00	0.77	2.94	2.32
950	5.13	0.00	0.00	30.26	6.15	3.08	0.51	0.51	3.08	17.95	0.00	23.59	4.62	2.56	1.03	0.00	1.03	0.51
955	12.42	0.00	1.31	30.07	5.23	2.61	0.65	1.31	1.96	5.88	1.31	24.18	9.80	1.96	1.31	0.00	0.00	0.00
985	24.25	1.60	1.50	29.64	2.69	3.29	4.79	1.20	2.99	5.96	0.00	19.50	2.10	1.50	0.30	4.19	1.20	1.20
981	12.13	0.25	0.00	15.84	0.99	2.89	2.72	0.74	1.98	5.69	0.00	50.25	3.71	0.74	0.00	0.25	0.99	0.99
985	6.75	0.61	1.23	18.40	1.23	3.07	0.00	0.00	1.23	11.04	0.00	46.63	7.36	1.23	0.61	0.00	0.00	0.61
990	4.61	0.00	0.48	23.56	1.92	0.48	0.00	0.00	0.00	10.58	0.48	44.71	6.25	2.40	1.44	2.40	0.00	0.48
1005	9.85	1.48	2.46	20.69	2.96	0.00	0.49	0.00	1.97	5.42	0.00	13.79	36.95	0.49	0.49	0.00	0.99	1.97
1015	7.81	0.78	3.13	28.91	1.56	1.56	1.56	0.00	1.56	18.75	1.56	20.31	11.72	0.78	0.00	0.00	0.00	0.78
1021	17.12	1.28	1.08	21.80	1.62	0.00	2.70	0.18	0.90	17.12	1.28	23.96	6.85	0.36	0.00	0.00	1.62	1.62
1025	6.47	0.00	0.73	15.83	0.00	0.00	0.00	0.72	0.00	17.99	1.44	30.94	25.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1045	10.00	1.03	0.00	6.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.77	0.00	24.74	40.21	1.03	0.00	1.03	0.00	1.03
1055	1.81	0.00	0.00	4.40	0.00	0.00	0.52	0.00	0.00	49.22	0.00	30.83	10.88	1.55	0.78	0.00	0.00	0.00
1065	17.07	0.00	0.61	28.96	0.91	0.00	0.91	0.00	0.00	13.11	0.91	24.70	9.76	0.30	0.00	0.00	2.74	0.00
1141	26.12	0.26	0.26	9.50	2.26	1.06	2.64	1.26	1.06	20.58	1.06	25.88	3.17	0.79	0.00	2.11	2.60	1.10
1145	11.70	0.53	1.60	15.43	2.68	1.08	1.08	0.00	0.53	22.87	0.53	28.72	10.11	1.08	0.00	1.08	0.53	0.00
1150	9.71	0.00	0.00	15.53	0.00	0.00	0.83	0.00	0.00	26.21	0.00	37.66	3.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1155	11.36	0.81	1.14	10.57	0.81	0.00	3.74	0.00	0.00	16.59	0.65	33.98	15.81	1.48	0.16	0.49	1.63	0.81
1165	10.42	4.17	2.08	9.38	1.04	0.00	4.17	0.00	2.08	14.56	3.13	30.21	17.71	0.00	0.00	1.04	0.00	0.00
1175	16.54	1.03	0.00	16.80	1.55	0.78	3.88	0.00	0.00	16.54	0.00	24.55	10.59	3.62	0.00	1.81	2.07	0.00
1181	13.71	0.00	1.42	18.20	0.24	0.00	4.49	0.24	0.47	13.24	2.84	19.15	13.71	6.15	0.71	2.13	0.71	1.42
1185	10.53	1.75	0.88	27.19	4.82	0.44	1.32	0.00	3.07	5.70	3.51	23.25	10.98	2.19	0.00	0.44	0.88	2.64
1201	12.38	0.65	1.13	21.69	1.13	0.00	1.97	0.00	0.00	16.06	1.13	23.36	12.11	0.26	0.00	0.65	3.10	2.54
1225	26.34	0.23	0.98	36.59	2.20	0.24	1.46	0.00	0.00	3.90	3.66	15.95	3.41	0.00	0.00	0.06	1.22	1.71
1230	16.67	0.17	0.51	21.77	0.85	1.36	2.04	0.68	1.02	15.14	1.02	22.45	10.03	3.23	0.00	0.17	1.19	1.36
1235	3.81	0.95	0.95	10.48	0.95	0.95	0.00	0.95	0.00	40.00	0.95	36.19	3.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1245	5.24	0.26	0.26	14.14	0.00	0.00	0.52	0.00	0.00	29.32	0.26	29.84	13.61	4.97	0.00	0.52	0.26	0.79
1250	25.90	2.16	1.80	13.67	1.80	1.80	0.56	0.72	0.72	15.11	2.16	18.71	6.12	0.72	0.00	1.44	0.36	0.72
1255	18.73	1.70	0.24	18.98	0.97	0.24	3.16	0.00	0.00	17.76	0.49	33.33	0.00	0.49	0.00	2.19	0.97	0.73
1281	12.84	0.00	0.00	13.13	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	28.13	0.00	35.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1301	16.86	3.49	0.00	34.30	1.74	0.00	5.81	0.00	0.00	11.63	0.58	12.79	5.23	1.16	0.00	1.74	1.74	1.74
1310	10.61	0.00	0.58	28.49	0.00	0.00	1.68	0.00	0.00	24.02	0.00	28.49	5.59	0.00	0.00	0.58	0.00	0.00
1335	9.78	4.35	0.00	16.30	0.00	0.00	1.09	0.00	1.09	34.78	0.00	29.35	3.26	0.00	0.00	0		





Gráfica 3.

Abundancias relativas (%) de las 6 especies de foraminíferos planctónicos más abundantes.



### ***Globigerinita glutinata***

Es una de las especies más ampliamente distribuidas en los océanos. Aparentemente puede tolerar un amplio intervalo de temperatura y salinidad (entre 5° – 30° C y 34 – 37 ups) (Kennett y Srinivasan, 1983; Hemleben *et al.*, 1989), sin embargo, se encuentra más abundantemente (~ 18% de abundancia relativa) en aguas tropicales - subtropicales, especialmente hacia las áreas marginales donde las temperaturas se mantienen entre 23° a 28° C, la salinidad con un máximo de 35.5 ups y que estacionalmente puedan ser influenciadas por eventos de surgencia (Hilbrecht, 1996; Ufkes *et al.*, 1998). En la columna de agua prefiere las aguas intermedias de la capa de mezcla (50 - 100 m) con estadios de crecimiento dentro del intervalo de la termoclina (Vincent y Berger, 1981; Hemleben *et al.*, 1989), que en el caso del Golfo de Tehuantepec se encuentra entre 30 - 50 m. Cuando la termoclina y nutriclina llegan a la zona fótica debido a la mezcla vertical, aumenta la productividad primaria y las especies como *G. glutinata* que gustan de vivir en la zona de convergencia subsuperficial, florecen y quedan bien representadas en las asociaciones fósiles (Keigwin, 1976; Ortiz y Mix, 1992; Andersen y Ravelo, 1997). A esta especie se le encuentra fácilmente durante los largos estadios de florecimiento fitoplanctónico, ya que su dieta principal es de diatomeas y a veces crisófitas. Normalmente es asimbiótica pero se le ha llegado a encontrar en simbiosis facultativa cuando es elevada la abundancia de algas (Hemleben *et al.*, 1989; Sautter y Thunell, 1989; Hilbrecht, 1996; Ufkes, 1998; Watkins *et al.*, 1998).

### ***Globorotalia menardii***

Tiene una preferencia muy clara por la región tropical (0° – 20° N-S), con altas abundancias relativas (hasta 40%) en aguas cálidas superficiales (22° - 27° C) y salinidades normales (~ 35 ups) (Watkins *et al.*, 1998). Tiene migraciones verticales a lo largo de su ciclo de vida, por lo que se le puede encontrar tanto en aguas cálidas profundas (~ 100 m) como cerca de la superficie cuando desciende un poco la temperatura del agua (Hemleben, 1989). No es una especie muy típica en aguas mezcladas de surgencia, más bien se mantiene donde ésta no ocurre y es común alrededor de los giros subtropicales ciclónicos (Brasier, 1995; Murray, 1995; Ufkes *et al.*, 1998).

### ***Negloboquadrina dutertrei***

Vive preferentemente en aguas profundas (100 – 200 m) de latitudes tropicales a cálido tropicales, pero se le ha encontrado como especie rara en regiones transicionales (Bé, 1977; Kennett, 1982; Kennett y Srinivasan, 1983). Entre los 21° y 24° C de temperatura superficiales alcanza su máxima abundancia relativa (~ 25%), pero su umbral de temperatura mínima varía entre 15° – 20° C conforme la profundidad aumenta. Su intervalo de salinidad es estrecho y favorece cuando es cercano a 35 ups (Hilbrecht, 1996). Es una especie bien adaptada a los ambientes tropicales productivos, incluyendo los márgenes continentales. En esas regiones prefiere la zona cálida y somera de la termoclina, con las condiciones de máxima clorofila que se forman ya sea antes o después de un evento de surgencia, característicamente en la periferia de los giros ciclónicos (Thunell y Reynolds, 1984; Hemleben *et al.*, 1989; Patrick y Thunell, 1997).

### ***Neogloboquadrina pachyderma***

Se encuentra desde regiones cálido subtropicales hasta polares, pero es usada muy eficientemente como indicador de condiciones ecológicas debido a que existen 2 variantes con enrollamientos de testa diferentes (a la izquierda y a la derecha), las cuales se restringen principalmente por la temperatura. La variante *sinistra* (S) vive en altas latitudes con ~ 60% de abundancia relativa e indica masas de agua fría, incluso ha sido encontrada viviendo en el hielo. Pero la variante *diestra* (D) representa aguas más cálidas, con abundancias relativas de 6– 10% en latitudes de 20° – 40° N-S y en regiones tropicales de < 5 - 7%. Esto demuestra la gran tolerancia de la especie a la temperatura superficial pero deben considerarse sus porcentajes de abundancia, aunque también es una especie que en ciertos momentos de su ciclo ontogenético tiene un hábitat profundo (~ 100m). Alcanza una amplia tolerancia a la salinidad (34 – 37 ups) pero prefieren los valores de ~ 35.5 ups. (Berger, 1969; Bé y Tolderlund, 1971; Bé, 1977; Kennett y Srinivasan, 1983; Hilbrecht, 1996, 1997; Ufkes y Zachariasse, 1993; Ufkes *et al.*, 1998). *N. Pachyderma* tiene una dieta de fitoplancton, primordialmente de diatomeas, por lo que se le encuentra comúnmente en la profundidad máxima de clorofila, PMC.

Las especies *G. menardii*, *N. dutertrei* y *N. pachyderma* están adaptadas a las regiones de surgencia estacional, pero con una máxima presencia justo antes de que comience la intensa mezcla de las aguas. Están asociadas a las condiciones de termoclina debido a que tienen preferencia por las aguas estratificadas, donde se generan gradientes verticales de temperatura y densidad. Habitualmente se les encuentra bajo los 100 m de profundidad y son consideradas especies resistentes a los procesos biogeoquímicos de disolución de carbonatos porque poseen testas robustas y densas (Bé, 1977; Vincent y Berger, 1981). Son especies herbívoras, eutróficas y algunas veces simbióticas, cuyas máximas abundancias se dan en la PMC (Fairbanks *et al.*, 1980; Kennett, 1982; Seibold y Berger, 1982; Brasier, 1995; Murray, 1995).

### ***Globigerina bulloides***

Tradicionalmente a se le consideraba una especie templada a subpolar, cuya abundancia relativa disminuía hacia las zonas ecuatoriales (Bé, 1959, 1977; Hemleben *et al.*, 1989, Malgram y Kennett, 1997), pero también se ha reportado que tolera el intervalo global de temperaturas superficiales (0° – 30° C), variaciones en la salinidad (34 – 37 ups) y estratificación, además de que se le encuentra muy abundantemente en regiones productivas de latitudes bajas. Su distribución geográfica sugiere que más bien tiene preferencia por ambientes productivos y no es tan limitada por las propiedades físicas (Hilbrecht, 1996). Actualmente se le considera como especie característica y dominante en áreas de surgencia alrededor del mundo. Alcanza abundancias de ~ 40% con temperaturas entre 10 – 16° C y de ~ 25% entre 15 – 22° C cuando la salinidad se mantiene entre 34.5 – 35 ups (Murray, 1995; Ufkes, 1998). En general está presente todo el año en estos lugares, los cuales presentan estacionalmente aguas ricas en alimento que se extiende hacia la zona fótica (Thunell y Reynolds, 1984). En la columna de agua se le encuentra



en aguas intermedias, entre 50 – 100 m de profundidad, principalmente por encima de la termoclina (Vincent y Berger, 1981). Carece de simbioses, por lo que no se restringe necesariamente a la zona fótica y puede tener migraciones verticales incluso hasta 400 m de profundidad (Hemleben *et al.*, 1989). *G. bulloides* se alimenta de otros integrantes del zooplancton como: bacterias, copépodos, larvas y otros foraminíferos. Está asociado con altos niveles de zooplancton y bajos de fitoplancton, siendo común hacia los últimos estadios de surgencia y donde no se desarrolla el máximo de clorofila (Sautter y Thunell, 1989; Brasier, 1995; Murray, 1995; Ufkes *et al.*, 1998). Por tratarse de una especie que ocupa un hábitat generalmente frío, tiene una mayor longevidad que otras especies y tal vez por eso, en su historia de vida, tenga una mayor cantidad de eventos reproductivos que le permita dejar un elevado número de individuos (Parker, 1960, 1962; Parker *et al.*, 1999).

#### ***G. ruber***

Es una especie que tolera las elevadas temperaturas superficiales del océano y aparece en aguas tropicales - subtropicales. Vive óptimamente a temperaturas entre los 25 – 29° C y tolera un amplio intervalo de salinidad (de 22 – 37.4 ups) (Bé, 1959; Hemleben *et al.*, 1989; Vincent y Berger, 1981; Kennett y Srinivasan, 1983; Watkins *et al.*, 1998). Dentro de los mares cálidos, *G. ruber* se presenta en dos variedades: Una *color blanco*, que es la más común y se encuentra formando parte de las asociaciones dominantes de especies tropicales y subtropicales de foraminíferos planctónicos (hasta 42% de abundancia relativa). Otra *color rosa*, que es normal encontrarla pero nunca va a estar dominado (nunca mayor al 13%) y se sabe que prefiere ambientes más calientes (> 27° C), de menor salinidad (~ 35 ups) y más superficiales que la variedad blanca (Hemleben *et al.*, 1989; Hilbrecht, 1996). Son organismos someros que habitan dentro de los primeros 50 m de profundidad (preferentemente arriba de la termoclina) y viven en simbiosis con dinoflagelados (Vincent y Berger, 1981; Thunell y Reynolds, 1984; Watkins *et al.*, 1998). Ecológicamente es un taxón marcador de condiciones superficiales oligotróficas que se desarrollan hacia el final de la sucesión de surgencia, posteriormente es reemplazado por especies adaptadas al régimen eutrófico. Prefiere las masas de agua centrales y donde hay dominancia de copépodos (Brasier, 1995; Murray, 1995; Ufkes *et al.*, 1998).

Las especies *G. bulloides* y *G. ruber* simbolizan que ocurrió propiamente un evento de surgencia, es decir, reflejan desde el aumento en la cantidad de nutrientes del agua superficial, el florecimiento del fitoplancton, el auge del zooplancton, hasta la subsecuente oligotrofia de las aguas. Ya que las condiciones apropiadas para desarrollar ambas poblaciones requiere de la sucesión ecológica que propicia la surgencia.

#### **4. Análisis de Factores:**

Para poder aplicar el análisis de factores se creó una tabla de datos con el número de muestras que presentaran más de 100 individuos y con aquellas especies que por lo menos

## Análisis Multivariado de Factores modo Q

Eigenvalores (Σic.sta)

Extracción: Factores principales (comm.=multiple R-cuadrada)

Factores	Eigenval	% total	Eigenval	%
	Varianza	Acumul.	Acumul.	
1	43.34	62.81	43.34	62.81
2	8.14	11.80	51.48	74.61
3	3.21	4.65	54.69	79.26

## Factor Scores (Σic.sta)

Rotación: Varimax normalizada

Extracción: Factores principales (comm.=multiple R-cuadrada)

(Valores marcados son &gt; 0.850)

Especies	Factor 1	Factor 2	Factor 3
<i>Gibbiperla rubescens</i>	-0.374	-0.398	-0.337
<i>Gibbiperla lakonensis</i>	-0.351	-0.472	-0.133
<i>Gibbiperla hultoides</i>	-0.207	-0.342	3.764
<i>Gibbiperla quinquefolia</i>	-0.311	-0.404	-0.478
<i>Gibbiperla calida</i>	-0.317	-0.423	-0.304
<i>Gibbiperla olivata</i>	4.182	-0.027	0.244
<i>Gibbiperla parkerae</i>	0.135	-0.518	-0.425
<i>Gibbiperla uvula</i>	-0.186	-0.493	-0.594
<i>Gibbiperloides pseudobabvus</i>	-0.185	-0.468	-0.329
<i>Gibbiperloides ruber</i>	-0.426	-0.513	1.188
<i>Gibbiperloides sacculifer</i>	-0.350	-0.489	-0.366
<i>Gibbiperloides tenellus</i>	-0.092	-0.517	-0.463
<i>Gibbiperla mesarcti</i>	-0.545	2.881	0.274
<i>Gibbiperloides hexagona</i>	-0.284	-0.429	-0.347
<i>Neogibbiperla duxensis</i>	-0.020	3.345	0.121
<i>Neogibbiperla pachyterma</i>	-0.020	6.884	-1.081
<i>Orbulina unguis</i>	-0.317	-0.333	-0.470
<i>Palaemonia obliquicosta</i>	-0.304	-0.406	-0.435

## Factor Loadings (Varimax normalizado) (Σic.sta)

Extracción: Factores principales (comm.=multiple R-cuadrada)

(Valores marcados son &gt; 0.700)

Nivel	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Nivel	Factor 1	Factor 2	Factor 3
cm				(cm)			
N15	0.888	0.214	0.154	N850	0.888	0.524	0.120
N20	0.818	0.193	0.278	N855	0.882	0.522	0.237
N35	0.817	0.242	0.318	N860	0.873	0.165	0.603
N50	0.747	0.108	0.531	N880	0.723	0.740	0.223
N90	0.739	0.543	0.191	N885	0.726	0.884	0.114
N95	0.679	0.132	0.615	N890	0.706	0.770	0.080
N110	0.570	0.277	0.796	N1005	0.415	0.428	-0.005
N125	0.381	0.131	0.828	N1015	0.626	0.841	0.159
N135	0.499	0.098	0.748	N1020	0.454	0.879	0.430
N175	0.323	-0.048	0.834	N1025	0.269	0.824	0.037
N200	0.421	0.434	0.887	N1045	0.040	0.742	-0.150
N260	0.554	0.298	0.888	N1055	-0.047	0.830	0.049
N295	0.238	0.050	0.878	N1065	0.582	0.888	0.383
N315	0.814	0.380	0.541	N1140	0.082	0.888	0.611
N350	0.566	0.148	0.885	N1145	0.287	0.845	0.255
N390	0.215	0.516	0.798	N1150	0.207	0.858	0.259
N400	0.851	0.208	0.261	N1155	0.152	0.888	0.217
N415	0.781	0.358	0.280	N1165	0.138	0.848	0.183
N555	0.327	0.781	0.416	N1175	0.337	0.746	0.413
N570	0.486	0.481	0.888	N1180	0.437	0.877	0.340
N635	0.447	0.359	0.884	N1185	0.873	0.549	0.199
N645	0.317	0.504	0.848	N1200	0.482	0.723	0.284
N680	0.514	0.332	0.871	N1225	0.785	0.235	0.519
N695	0.811	0.185	0.352	N1230	0.481	0.888	0.398
N705	0.247	0.888	0.308	N1235	0.074	0.882	0.108
N750	0.737	0.205	0.487	N1245	0.187	0.879	0.086
N790	0.722	0.295	0.481	N1250	0.239	0.545	0.884
N900	0.888	0.289	0.473	N1255	0.318	0.719	0.449
N820	0.838	0.109	0.385	N1280	0.163	0.845	0.303
N825	0.836	0.521	0.521	N1300	0.788	0.327	0.424
N850	0.727	0.461	0.338	N1310	0.505	0.738	0.255
N880	0.787	0.248	0.305	N1335	0.208	0.888	0.230
N890	0.882	0.522	0.237	N1340	0.312	0.834	0.082
N910	0.452	0.744	0.133	Final Var	19.689	21.468	13.526
N915	0.679	0.149	0.590	Prop Total	0.285	0.311	0.186
N920	0.671	0.417	0.333				

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

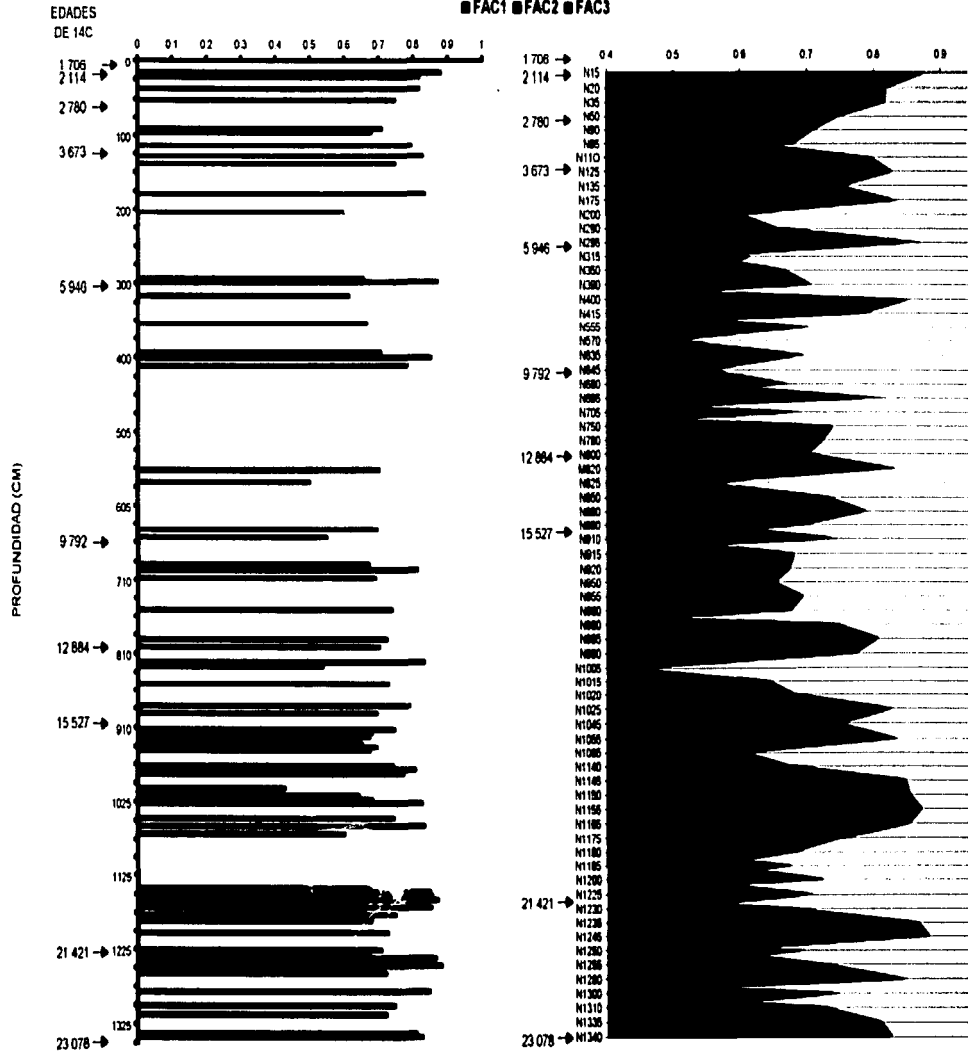
Gráfica 4. Página opuesta  
Análisis de Factores.  
Factor loadings - cargas del  
factor.  
Todos los ítems (directos)  
Níves con ítem ítems (directos)  
(ordenados)

Tabla 4. Prueba estadística  
Análisis de Factores (Q)  
Factor loadings - cargas del  
factor  
Factor scores - valores del  
factor

RESULTADOS

# FACTOR LOADINGS

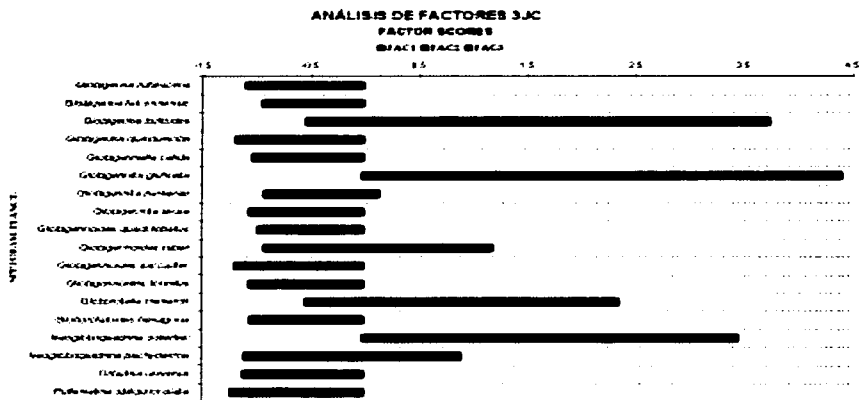
■ FAC1 ■ FAC2 ■ FAC3



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Gráfica 5.** Análisis de Factores.  
Factor scores- valores del factor.



tuvieran un 0.1% de abundancia relativa como promedio. La matriz de datos incluyó finalmente 18 especies [casos] x 69 muestras [variables] y a partir de ella se calcularon las cargas (*factor loadings*) y los valores del factor (*factor scores*).

Al analizar los *eigenvalues*, los porcentajes acumulados (cantidad de información que explican los factores) y la representatividad de los datos obtenidos (varianza total), se resolvió trabajar con 3 factores que explican el 79.26% de las variaciones en las asociaciones de foraminíferos de la situación columna sedimentaria (tabla 4, gráfica 4 y 5a, b).

1. **FACTOR 1** (62.81% del total de la varianza). Los *factor loadings* indican que principalmente explica los intervalos entre 960 a 750 cm, algunas muestras ocasionales entre los 693 a 315 cm y la parte superior de la columna desde 95 – 15 cm. Los *factor scores* indican que la especie *Globigerinella glutinata* es la que posee los más altos valores (4.162), es decir, es la predominante en dichas secciones y por tanto es la que puede definirnos la situación ecológica de esos intervalos o periodos de tiempo.
2. **FACTOR 2** (11.80% de varianza total). Puntualizando claramente los *factor loadings* que con él se puede interpretar desde el final del núcleo (1340 cm) hasta los 980 cm. La asociación de foraminíferos planctónicos evidenciados en los *factor scores* involucran a *Neogloboquadrina dutertrei* (3.345), *Globorotalia menardii* (2.081) y *Neogloboquadrina pachyderma* (0.894).
3. **FACTOR 3** (4.65% de varianza total). Con los *factor loadings* más altos entre los 390 a 110 cm. Las especies que marcan los *factor scores* agrupan a *Globigerina bulloides* (3.744) y *Globigerinoides ruber* (1.189) como asociación representativa.



## DISCUSION

### REGISTRO SEDIMENTARIO Y ABUNDANCIA DE FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS

Los sedimentos del núcleo ME0005A-03JC de la región occidental del Golfo de Tehuantepec están compuestos de sedimentos hemipelágicos, horizontes ricos en material orgánico y elementos terrígenos que se acumulan como finas laminaciones claras a oscuras o bien como sedimentos masivos. A pesar de que el fondo del golfo se caracteriza por valores bajos de oxígeno (ZOM) existen niveles con bioturbaciones producidas por la micro y meiofauna bentónica, lo cual es evidencia de fluctuaciones espacio - temporales en la cantidad de  $O_2$  producido en la superficie o como resultado de cambios en la oxigenación de la masa de agua profunda.

Es evidente que a lo largo de la columna sedimentaria los foraminíferos planctónicos resultan un paleoindicador discontinuo debido a que mucho del registro que pudieran dejar sus testas no se preserva, principalmente durante la porción correspondiente al Holoceno. Las posibles razones de que no se encuentren estos organismos pueden ser tan variadas como la misma oceanografía de la región. Un factor puede ser que las corrientes y los giros no permiten que se depositen las testas debido a los movimientos de mezcla vertical y horizontal superficiales, funcionando como barreras físicas los primeros metros de la columna de agua. También es cierto que al existir variaciones en las tasas de productividad de la zona, los organismos no encuentran las condiciones adecuadas para desarrollarse y las poblaciones merman en el número de individuos, pero esta posibilidad se descartará en el momento en que se analicen paleoindicadores que sean productores primarios, como el caso de las diatomeas. Finalmente una tercera explicación es que pudieran estar sucediendo eventos diagenéticos de disolución de carbonatos, desafortunadamente esto tampoco puede asegurarse ya que por el momento no se cuentan con análisis de carbonatos ( $\% CaCO_3$ ) ni de carbono orgánico ( $C_{org}$ ).

En trabajos como el de Douglas *et al.* (2002), se menciona que en la Bahía de La Paz, en un núcleo colectado en Cuenca Alfonso (211 cm de longitud que abarcan 7700 años BP), existen ciclos de disolución marcados por bajas en el contenido de carbonatos. El flujo de  $C_{org}$  proveniente de la productividad del plancton media la disolución de carbonatos y disminuye a su vez el oxígeno ( $O_2$ ) del agua de fondo. Es decir, el aumento en la disolución de carbonatos va directamente relacionado con el aumento de carbono orgánico total (TOC) y la disminución de la cantidad de  $O_2$ . Los ciclos mencionados parecen presentarse cada 900, 350 y 150 años y están ligados a pulsos de productividad reflejados en el registro biogénico de otros lugares del Golfo de California (Douglas *comunicación personal*, 2003). Esta situación probablemente pueda también presentarse en otras regiones de la ZOM, como el Golfo de Tehuantepec, pero para ello se requerirán de estudios biogeoquímicos en los sedimentos.



## RECONSTRUCCIÓN PALEOCEANOGRÁFICA

Integrando los resultados obtenidos de la curva  $^{18}\text{O}$  (tabla 1 y gráfica 1), edades de  $^{14}\text{C}$  (tabla 2 y gráfica 1) y el análisis de factores (tabla 4, gráfica 4 y 5), en el núcleo ME0005A-03JC se distinguen tres cambios principales:

### 1. Pleistoceno Tardío: *Ultimo Máximo Glaciar*.

Abarca el intervalo comprendido entre los 23 078 y 15 527 años BP (de 1344 a 900 cm) (FACTOR 2). En esta sección el sedimento es lodoso (Folk, 1969) y las asociaciones de foraminíferos planctónicos muestran la predominancia de las especies de aguas cálidas, estratificadas de termoclina estable: *Neogloboquadrina dutertrei*, *Globorotalia menardii* y la no tan tropical *Neogloboquadrina pachyderma* (Kennett, 1983; Hemleben *et al.*, 1989; Hilbretch, 1996), por lo que en este periodo de tiempo la incursión de aguas cálidas debió ser predominante en el Golfo de Tehuantepec, quizá porque las surgencias que actualmente son características de este lugar no eran tan frecuentes. La disminución de las surgencias en la zona de estudio pudo haber sido ocasionada por los cambios en la circulación atmosférica, especialmente originado por la diferente posición de las celdas de alta presión sobre Norteamérica y de baja presión sobre las aguas del Pacífico y Atlántico durante el glaciar. Lo que pudo provocar que el flujo de los vientos no atravesara sobre el Istmo de Tehuantepec con la suficiente intensidad para desarrollar dicha manifestación invernal. Además, es factible que la velocidad de los vientos se haya debilitado por la ampliación de las superficies continentales al bajar el nivel del mar. Por lo menos en el Istmo de Tehuantepec la extensión aumentó de ~ 220 a 350 km, que es la amplitud que tiene el istmo entre las isobatas de 130 m desde el Golfo de México hasta el Océano Pacífico y donde se marca el nivel del mar más profundo según Boumaggard *et al.* (1998)

Según el modelo de reconstrucción paleoclimática COHMAP (Cooperative Holocene Mapping Project, 1988; Bradley, 1989; Bradbury, 1997; Bigg, 1996; Ganeshram y Pedersen, 1998), los cambios periódicos que sufre la órbita terrestre explican en términos generales la historia climática y el desarrollo de los casquetes desde el Máximo Glaciar (UMG) ca. 18,000 años hasta el presente (Kutzbach y Gueter, 1986).

A los 18 ka los casquetes polares presentaban su máxima extensión, con el hielo invernal del Atlántico Norte extendiéndose al S de las costas de Francia. El límite S de la frontera hielocéfano tanto en el Atlántico como en el Pacífico Norte poseían valores de temperatura  $10^{\circ}\text{C}$  por debajo de lo actual. La supuesta temperatura sobre el continente también era mucho menor que hoy en día, especialmente sobre los elevados y reflejantes casquetes de hielo. La fuerte circulación anticiclónica alrededor de la plataforma de hielo Laurentida provocó condiciones frías en el Atlántico Norte y fuertes vientos del E a lo largo del flanco sureño de la masa de

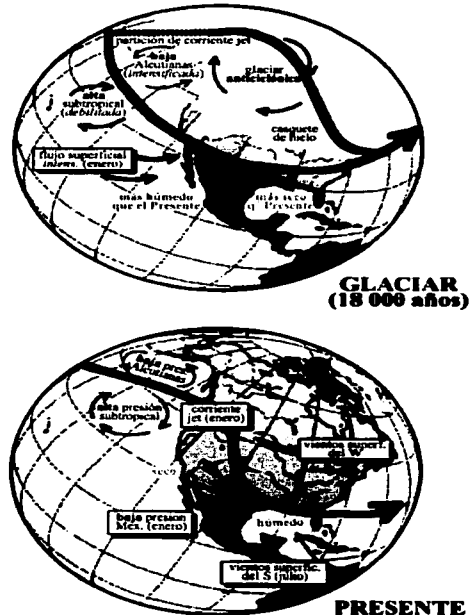


hielo. El fuerte gradiente térmico del límite sur de las capas de hielo continental y la extensión del hielo marino se asocian con un reforzamiento de la corriente de vientos máximos subpolares que en esos momentos se extendía por Norteamérica y el E de Eurasia. El grosor de 3 km de la plataforma Laurentida fue también responsable de la irregularidad y bifurcación con que aparecía el flujo de la corriente de chorro subpolar Norteamericana, con una rama localizada hacia el sur de E. U. y la otra a lo largo del límite norte de la capa de hielo, lo que pudo haber provocado que las vaguadas de invierno no descargaran directamente hacia el centro del Golfo de México y posteriormente hacia Tehuantepec (figura 15)

La asociación *G. menardii*, *N. dutertrei* y *N. pachyderma* no indica necesariamente que la productividad en la zona se viera mermada, ya que todas son especies herbívoras de regiones fértiles que se desarrollan justo en la profundidad de máxima clorofila (PMC). Como se mencionó anteriormente, el Golfo de Tehuantepec posee un segundo pico de elevada productividad cuando

**Figura 15.**

(Modificada de Ganeshram y Pedersen, 1998)  
Modificaciones en el patrón de circulación atmosférica y la surgencia. Modelo COHMAP (1988).



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

las corrientes cálidas del sureste llevan aguas nutritivas provenientes de regiones como el Domo de Costa Rica o incluso de la región de surgencia de Papagayo y Panamá (figura 11, 13). Situación que pudo haberse mantenido debido a que las regiones de surgencia dominadas por los vientos alisios, se intensificaron durante el UMG (Bradley, 1989; Pedersen, *et al.*, 1991; Patrick y Thunell, 1997; Ganeshram y Pedersen, 1998).

## 2. Pleistoceno Tardío: *Deglaciación*

La porción que corresponde a este periodo abarca de los 15 527 – 11 690 años AP (900 a 750 cm) (FACTOR 1). Esta sección se distingue en la curva de  $\delta^{18}O$  por el cambio abrupto en los valores que van de 2 ‰ a 0‰, así como en el porcentaje de arenas que aumenta sutilmente de 5 a 12%. La asociación faunal está dominada por *Globigerinita glutinata*, especie encontrada en regiones subtropicales y áreas marginales de zonas productivas. Generalmente *G. glutinata* aumenta en número cuando las demás especies, propiamente de surgencia o de aguas cálidas estratificadas, no encuentran las condiciones adecuadas para que prosperen sus poblaciones (Bé, 1959; Vincent y Berger, 1981; Kennett y Srinivasan, 1983; Hilbrecht, 1996). *G. glutinata* pudiera indicar condiciones de mezcla vertical cercanas a la costa y aumento de productividad primaria en la zona de convergencia subsuperficial. Estas condiciones no necesariamente se desarrollan solo en momentos de surgencia, igualmente pueden ser producto de mayor descarga de agua dulce y un mayor aporte de nutrientes provisto por ríos, lagunas o corrientes vecinas. El escenario climático que pudiera coincidir con el intervalo de 15 527 a 11 690 años AP, es el que describen los modelos que ocurrió a los 12 ka, donde el calentamiento general se asocia con un aumento de la radiación solar de verano (COHMAP, 1988; Crowley y North, 1991). La capa de hielo Laurentida disminuyó en tamaño y grosor lo suficiente como para que la corriente chorro de invierno no se dividiera, pero si seguía siendo más fuerte que actualmente. El giro anticiclónico glacial se debilitó en la región oeste de Norteamérica en donde los vientos del oeste reemplazaron a los del este. El giro anticiclónico sobre el oeste europeo también se hizo más débil que durante el UMG, además de que el aumento de la insolación de verano comenzó el calentamiento del continente.

Lo anterior, teóricamente produjo un ligero restablecimiento de las condiciones atmosféricas, es decir, eventualmente durante la deglaciación pudieron irrumpir vientos meridionales que provocaron mezcla y aporte de nutrientes en la región, además de los ya provistos por las áreas vecinas de surgencia.

Por otro lado, es posible que esta especie no nos esté definiendo las condiciones ecológicas en las que se desarrolla. Quizá la escasez de las demás especies se deba a que existen condiciones de disolución o bien algún otro tipo de proceso diagenético en el sedimento, ya que incluso en muestras superficiales de fondo es difícil definir con claridad las condiciones oceanográficas de su distribución, además de que no se conocen del todo los procesos



biogeoquímicos que pueden estar actuando en la región. Lo que se ha reportado en la literatura (Be, 1977; Vincent y Berger, 1981; Kennett, 1982), es que en comparación con *G. bulloides* y *G. ruber*, *G. glutinata* posee una testa de carbonato de calcio un poco más resistente, lo que pudiera favorecer la mayor cantidad de individuos por gramo de sedimento, aún cuando las condiciones de mezcla superficial beneficien más a las dos primeras. Es factible que al haber un cambio en la cantidad de materiales depositados hacia la plataforma, producto de la transgresión oceánica, las condiciones de sedimentación cambiaran y geoquímicamente favorecieran la preservación de testas de *G. glutinata* más que de las otras especies. Una sugerencia para resolver esta interrogante consistiría en esclarecer los patrones zooplantónicos de la especie con muestras de redes; realizar una cuantificación del aporte sedimentario mediante una trampa de sedimentos; o bien emplear, conjuntamente con los foraminíferos planctónicos, paleoindicadores como las diatomeas para buscar algún tipo de correlación entre la productividad y los intervalos de máxima abundancia de *G. glutinata*.

### 3. Holoceno:

Comprende la parte superior del núcleo de ~ 11 690 años AP (765 cm) hasta los 1 706 años AP (la cima del núcleo). En esta porción existen abundantes intervalos en los que se carece de suficientes foraminíferos planctónicos (especialmente de los 550 a 420 cm y los últimos 15 cm), pero en aquellos donde su registro es abundante, el análisis de factores indica que existen 2 posibles escenarios oceanográficos:

- Uno que está representado por el FACTOR 3, que abarca dos porciones del núcleo: de los ~10 300 a 8 800 años AP (680 a 570 cm) y de ~7 000 a 3 300 años AP (390 a 100 cm). A estos intervalos les corresponde la asociación de *Globigerina bulloides* y *Globigerinoides ruber*. *G. bulloides* es un organismo de aguas frías que habita en regiones tropicales de surgencia, es zooplánctonfago y definitivamente aumenta sus poblaciones cuando la cantidad de fitoplancton es escasa pero la de zoopláncton elevada. Por su parte, *G. ruber* se desarrolla más abundantemente en aguas cálidas oligotróficas, pero en regiones de surgencia también prefiere los últimos estadios, es decir, justo antes de que se reestablezcan las condiciones de estratificación de las aguas (Brasier, 1995; Murray, 1995; Sautter y Sancetta, 1998). Este par representa el final de la típica sucesión de especies de las regiones de surgencia, lo cual posiblemente marca en el registro sedimentario una mayor permanencia de este tipo de eventos. El modelo meteorológico de hace 9 ka (Kipp, 1976; COHMAP, 1988, Holcombe, 1989; Cannariato *et al.*, 1999), que ejemplificaría el intervalo de tiempo del núcleo de ~10 300 a 8 800 años AP, indica que hubo un máximo de extremosidad en el clima, es decir, un incremento en la insolación de verano y los inviernos más fríos; esencialmente porque el relicto de la capa de

hielo de Laurentida continuaba con su influencia climática. Solo un pequeño giro anticiclónico glaciario permanecía activo al E de Norteamérica. Para entonces la celda de alta presión subtropical del Pacífico tuvo un reforzamiento al O de Norteamérica, donde los vientos del NO reemplazaron a los del O a lo largo de la costa. El aumento en la insolación causó que las temperaturas de verano fueran de 2 a 4° C más altas que el presente, pero seguían siendo frías al sur de la capa glaciaria del E de Norteamérica. Un viento de monzón del sur fluía seguramente a lo largo de la costa del Golfo de México y hacia el interior de nuestro país.

Los 6 ka, que se relacionarían con los ~7 000 - 3 300 años AP dentro de este núcleo, se encontraban con temperaturas de verano entre 2 a 4° C más elevadas que en el presente, por lo menos a través del interior de Norteamérica y Eurasia y el flujo sureño reforzado dentro de Estados Unidos. También se menciona que los vientos del oeste al NO de Norteamérica y Europa, que eran muy fuertes, se debilitaron desde los 6 ka hacia el presente y posteriormente la temperatura de verano comenzó a declinar con la insolación de verano (COHMAP, 1988).

En estos dos periodos climáticos (9 y 6 ka) la tendencia principal es el calentamiento, con una elevación de la temperatura sobre el continente que propiciaba ambientes más extremos, en la que la predominante sequía suscitaba la formación de celdas de baja presión y el incremento de flujos monzónicos del mar a la tierra. Al reforzarse la celda de alta presión subtropical del Pacífico y al mantenerse un giro anticiclónico sobre la ahora escasa capa glaciaria, la corriente chorro pudo haberse mantenido más meses al año de lo que ocurre actualmente y pudo propiciar que los vientos *nortes* que generan los *tehuanos* en el Golfo de Tehuantepec perduraran de la misma manera. También se dice que los vientos del NO fluyeron a lo largo de la costa del Pacífico, lo cual pudo ocasionar que la CNE (Corriente Norecuatorial) tuviera una influencia más sureña y costera, que provocara un choque de aguas más frías con las cálidas ecuatoriales como la CCCR (corriente costera de Costa Rica).

El supuesto anterior propiciaría que la asociación de surgencia el Golfo de Tehuantepec (*G. bulloides* – *G. ruber*) predominara respecto a las especies que prefieren aguas cálidas, estratificadas, condiciones eutróficas y abundante fitoplancton, las cuales evidentemente rehuyen a las especies carnívoras u oportunistas que les gusta vivir bajo condiciones de intensa mezcla y aumento en la cantidad de zooplancton.

- El otro tipo de escenario abarca de los 3 500 a 1 706 años AP (95 a 15 cm), donde nuevamente *Globigerinita glutinata* (FACTOR 1) vuelve a tener representación y probablemente indica condiciones transicionales entre las aguas estratificadas y la mayor permanencia de la surgencia, con mezcla superficial cercana a la región costera y aumento en la cantidad de fitoplancton (Bé, 1959; Vincent y Berger, 1981; Kennett y Srinivasan, 1983; Hilbrecht, 1996). Si *G. glutinata* indica condiciones un poco similares al escenario oceanográfico del factor anterior, pudiera representar variaciones en la productividad, en donde se está reflejando una asociación planctónica con diferentes hábitos alimenticios o tipo de competencia ecológica



dentro del marco oceanográfico de una zona productiva. Es decir, esta especie pudiera representar que no hay permanencia de aguas estratificadas muy cálidas, ni un aumento en la cantidad de zooplancton sobre el fitoplancton o condiciones oligotróficas durante la mayor parte del tiempo, pero si formación de frentes oceánicos y mezcla de aguas superficiales, aunque no necesariamente por frecuentes eventos de surgencia. Pero como se mencionó anteriormente, solo se podrá aclarar dicha situación si analizamos las asociaciones de algas silíceas (diatomeas) a lo largo del núcleo y evidenciar posibles cambios de productividad.

Igualmente podemos volver a la discusión referente a *G. glutinata* en donde se planteó que no refleja una situación ecológica, sino que marca cambios en las condiciones de depósito, probablemente como parte de ciclos de disolución aún no identificados, pero que ya se ha planteado que ocurren en otras regiones del Pacífico (Douglas *et al.*, 2001; Douglas, 2003 *comunicación personal*), pero para lo cual nuevamente sería necesario analizar geoquímicamente el sedimento.

Dentro del patrón climático se puede hablar de condiciones como las que conocemos actualmente: el hielo de Norteamérica restringido a Groenlandia y el Océano Ártico, tanto en verano como en invierno. El desarrollo de la corriente de chorro del oeste dominando el clima de medianas latitudes durante el invierno, lo que gobierna la localización y el patrón del desplazamiento del sistema de tormentas, así como el desarrollo de las vaguadas y la formación de *nortes*. Actualmente la corriente chorro cruza Norteamérica alrededor de los 50° N, que dentro del continente gira al SE y cruza la costa E alrededor de los 40° N. Cuando se desvía la corriente de vientos máximos hacia su lado derecho, es probablemente la causa de la acumulación de aire que origina las altas presiones subtropicales (COHMAP, 1988; Crowley y North, 1991; Bradbury, 1997; O'Hara y Metcalfe, 1997; Ganeshram y Pedersen, 1998 *Cannariato et al.*, 1999). En la superficie de los océanos Atlántico y Pacífico, las celdas de alta presión subtropical dominan la circulación de verano, mientras que las celdas de baja presión de las Aleutinas e Islandia prevalecen en invierno sobre los océanos del norte (figura 15).

Finalmente es importante mencionar que desafortunadamente las fechaciones con <sup>14</sup>C revelan que el núcleo está descabezado, ya que la porción superior tiene una edad de 1 706 años AP, así que es imposible hablar de los cambios posteriores a esta fecha. Pero si es claro que el registro del núcleo ME0005A-03JC posee variaciones con 3 escenarios importantes y aparentemente contrastantes. En términos generales están indicando que en la región del Golfo de Tehuantepec el patrón de circulación (atmosférica y oceánica) es muy sensible a los desplazamientos que llegan a tener los centros de alta y baja presión, tanto en latitud como en longitud. Esto afecta no solo la circulación superficial del océano, sino que además influye en los procesos de sedimentación, preservación y determinación de las condiciones ambientales del fondo oceánico, a la vez que repercute en las poblaciones de microorganismos.





## CONCLUSIONES

En el núcleo ME0005A-03JC se distinguieron tres eventos paleoceanográficos:

1- El final del Último Máximo Glaciar (de 23 078 a 15 527 años AP) determinado por la asociación *Neoglobobuadrina dutertrei* - *Globobrotalia menardii* - *Neoglobobuadrina pachyderma* que indica condiciones de termoclina estable, columna de agua estratificada y mayor persistencia de aguas cálidas ecuatoriales en la región. En este momento la surgencia del golfo no se presentaba debido al desplazamiento de las celdas de presión y la bifurcación de la corriente de chorro que produjo la gran capa de hielo polar. La productividad debió haberse mantenido gracias a la presencia de nutrientes que aportaban las aguas ecuatoriales desde las áreas vecinas de surgencia en Centroamérica.

2- La deglaciación (de 15 527 a 12 884 años AP) con la especie *Globigerinita glutinata* indicando dos circunstancias diferentes: a) Condiciones de capa superficial mezclada y abundante fitoplancton producto de aguas nutritivas provenientes de áreas vecinas y la eventual formación de surgencias en el Golfo de Tehuantepec debido al restablecimiento de la corriente de chorro o; b) que debido al aumento en el nivel del mar las condiciones biogeoquímicas de depósito cambiaron y solo *G. glutinata* se preservó con abundancia.

3- El Holoceno (de 12 884 a 1706 años AP) con dos asociaciones: *Globigerina bulloides* - *Globigerinoides ruber* que indican una mayor permanencia de la surgencia del Golfo de Tehuantepec debido a un reforzamiento en la celda de alta presión del Pacífico, la permanencia de la corriente de chorro y al intenso flujo de los vientos del NO a lo largo de la costa. Y nuevamente la de *Globigerinita glutinata* que marca un periodo de transición en las anteriores condiciones oceánicas, o bien un evento biogeoquímico aún no definido.

Estas asociaciones, junto con los horizontes de escasa o nula cantidad de testas de foraminíferos, muestran que los cambios en la circulación y en el régimen de las surgencias del Golfo de Tehuantepec son susceptibles de variar en escalas de tiempo menores a los ciclos glacial - interglacial.

El elemento fundamental para entender los climas tropicales son las variaciones estacionales de los centros de Altas y Bajas presiones, los cuales no están estáticos, sino que se desplazan a lo largo del año siguiendo el movimiento aparente del Sol entre los trópicos o bien a lo largo de miles de años como consecuencia de cambios astronómicos que sufren la Tierra y el Sol.

Según los modelos climáticos y de predicción, a la corriente de vientos máximos le corresponde un papel fundamental en la puesta en marcha de la circulación general de la atmósfera y particularmente en la formación de los alisios y de los vientos del oeste, que por consecuencia afectan tanto la circulación oceánica superficial y las condiciones de desarrollo de los fenómenos de surgencia en el caso particular del Golfo de Tehuantepec.



**Para poder revelar más claramente las variaciones del patrón de circulación superficial del golfo, aún es necesario establecer los patrones de distribución de los foraminíferos planctónicos dentro del zooplancton, realizar estudios biogeoquímicos en el sedimento superficial y conocer más acerca de la distribución y variación de la productividad primaria en correspondencia con las corrientes y áreas vecinas de influencia.**



## BIBLIOGRAFIA

- ↻ **Arillano Torres E. (2001).** Reconstrucción paleoceanográfica del Cuaternario Tardío del Golfo de Tehuantepec a través de su registro micropaleontológico. *Tesis Licenciatura.* Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. 60 pags.
- ↻ **Allen, B. D. y R. G. Anderson (1993).** Evidence from western North America for rapid shifts in climate during the Last Glacial Maximum. *Science.* 260: p. 1920-1923.
- ↻ **Andersen, D. J. y A. C. Ravelo (1997).** Tropical Pacific Ocean thermocline depth reconstructions for the last glacial maximum. *Paleoceanography.* 12(3): p. 395-413.
- ↻ **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., M del C. Maldonado M., J. Becernil 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. *Pacific Science.* 5 (4): p. 415-426.
- ↻ **Badan, A. (1997).** La Corriente Costera de Costa Rica en el Pacífico Mexicano. En Lavin M. F. (ed). *Contribuciones a la Oceanografía Física en México.* 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. *Journal of Paleontology.* 27: p. 161-182.
- ↻ **Bandy, O. L. (1961).** Distribution of foraminifera, radiolaria & diatoms of the Gulf of California. *Micropaleontology.* 7(1): p. 1-26.
- ↻ **Bandy, O. L. (consult) (1967).** Foraminiferal indices in paleoecology. Esso production Research Company, Stratigraphic Geology Division EPR67-ER20, October. 73 pag.
- ↻ **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. (1977).** 1. An ecological, zoogeographic and taxonomic review of Recent planktonic foraminifera. Ramsay, A. T. S. (ed.), re-impresión de *Oceanic Micropaleontology.* Academic Press, London. Vol 1, cap. 1: p. 1-100.
- ↻ **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 micropaleontol-*

- ogy of oceans. Funnell, B. M. & W. R. Riedel (eds.). Cambridge University Press. 371 pages.
- ↻ **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. ODP, Sci. Results*. 129 part 2: College Station, TX (Ocean Drilling Project).
- ↻ **Berger, W. H. (1989).** Ecologic patterns of living planktonic foraminifera. *Deep Sea Res.* 16: p. 1-24.
- ↻ **Berger, W. H. (1970).** Planktonic foraminifera: differential production and exportation off Baja California. *Limnol. Oceanogr.* 15: p. 183-204.
- ↻ **Berger, W. H. (1981).** Paleoceanography: the deep-sea record, p.p. 1437-1519; en Emiliani, C (editor) *The Sea: The Oceanic Lithosphere* (vol. 7). John Wiley & Sons Publisher, USA.
- ↻ **Berger, W. H. y G. Wefer. (2002).** On the reconstruction of upwelling history: Namibia upwelling. *Marine Geology.* 180: p. 3-26.
- ↻ **Bigg, G. R. (1996)** The oceans and climate: the ocean & natural climatic variability. Cambridge University Press, Great Britain, 226 pages.
- ↻ **Boersma, A. (1978).** Calcareous Microfossils. En *Introduction to Marine Micropaleontology*. Haq, B. U. & A. Boersma (eds.). Elsevier. New York. p.18-77.
- ↻ **Boltovskoy, E. (1985).** Los foraminíferos recientes. *Biología, métodos de estudio, aplicación oceanográfica.* Edt. Eudeba. Buenos Aires. 510 pages.
- ↻ **Boltovskoy, E. (1969).** Foraminifera as hydrological indicators. En Brönnimann, P. y Renz, H. H. (eds.) *Proc. I. Plankt. Conf.* 2: p. 1-14. E. J. Brill, Leiden.
- ↻ **Boumaggard, El H., J. Gayet, C. Bobier, M. L. Machain C., y E. Aguayo C. (1998).** Distribution des sédiments sur la marge du Golfe of Tehuantepec (Pacific Oriental). Exemple d'interaction tectonique - eustatisme. *Oceanol. Acta.* 21 (1): p. 21-31.
- ↻ **Bradbury, J. P. (1997).** Sources of glacial moisture in Mesoamerica. *Quaternary International* vol. 43/44: p.p. 97-110.
- ↻ **Bradley, R. S. (1989).** Recent developments in Quaternary paleoclimatology en CLIMATE AND GEO-SCIENCES. Berger, S. Schneider & Cl. Duplessy (eds.). Series C: Mathematical & Physical Sciences - Vol. 285. Kluwer Academic Publishers. London. p. 165-171.
- ↻ **Brasier, M. D. (1995).** Fossil indicators of nutrient levels. 1: Eutrophication and climatic change. En *Marine Paleoenvironmental Analysis from Fossils.* Boenke, D. W. J. y P Allison (eds). Geological Society Special Publication, no. 83, p. 113-132.
- ↻ **Buzas, M. A. (1979).** Quantitative Biofacies Analysis. En *Foraminiferal Ecology and Paleoecology.* Lipps, J. H. et al (eds.). Society of Economic Paleontologists and Mineralo-



gists: 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. (1986).** Estudio de las playas del estado de Chiapas, México. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*. México. 13(1): p. 331-344.
- ↻ **Carranza, E. A., L. Rosales H. y R. Lozano S. C. (1988).** Estudio sedimentológico de las playas del estado de Oaxaca, México. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*. México. 15(2): p. 23-38.
- ↻ **Carranza, E. A., L. Rosales H., E. Ruíz Ramírez y S. Santiago P. (1989).** Investigations of phosphorite deposits in the Gulf of Tehuantepec, México. *Marine Mining*. 8: p. 317-323.
- ↻ **Carranza, E. A., M. Gutiérrez y R. Rodríguez. (1975).** Unidades morfotectónicas continentales de las costas Mexicanas. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*. México. 2(1): p. 81-88.
- ↻ **Carranza, E. A., Morales de la Garza y L. Rosales (1998).** Tectónica, sedimentología y geoquímica. En Tapia, G. M. (ed). *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos.* Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. Cap.1: 1-12
- ↻ **Clarke, A. J. (1988).** Inertial wind path and sea surface temperature patterns near the Gulf of Tehuantepec and Gulf of Papagayo. *Journal of Geophysical Research*. 93(C12): p. 15491-15501.
- ↻ **CLIMAP Project Members. (1976).** The surface of the Ice-Age Earth. *Science*. 191: p. 1131-1137.
- ↻ **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.
- ↻ **COHMAP Members (1988).** Climatic change of the last 18,000 years: observations and model simulations. *Science*. 241: p. 1043-1052.
- ↻ **Crowley, T. J. y G. R. North (1991).** Paleoclimatology: reconstructing climate of the last 20,000 years. Oxford University Press, New York, USA. p. 47-70.
- ↻ **Cuesta Castillo, L. B. (2003)** Distribución y abundancia de los foraminíferos planctónicos de la Bahía de La Paz, México y su relación con la dinámica oceánica. *Tesis de Licenciatura.* Biología, Facultad de. Ciencias, UNAM.
- ↻ **Curry, W. B., D. R. Ostermann, M. B. S. Guptha, y V. Ittekkot (1992).** Foraminiferal production and monsoonal upwelling in the Arabian Sea: Evidence from sediment trap. En Summerhayes, C. P., W. L. Prell, K. S. Emeis (eds.) *Upwelling Systems: Evolutions*

since the Early Miocene. Geol. Soc. Spec. Publ.

- ↻ **De la Lanza, E. G. (comp.) (1991).** Oceanografía de Mares Mexicanos. ARG (ed.), S. A. México D. F. p. 117-207.
- ↻ **Douglas R. G., D. Gorsline, A. Grippo, I. Granados y O. González Y. (2001).** Holocene Ocean-Climate Variations in Alfonso Basin, Gulf of California, Mexico. En West, G. J. y L. D. Buffaloe (eds.) Proceedings of the Eighteenth Annual Pacific Climate Workshop. PACLIM Technical report 68. p. 7-20.
- ↻ **Emilliani, C. (1954).** Depth habitat of some species of pelagic foraminifera as indicated by oxygen isotopes ratios. *Amer. J. Sci.* 252: p. 142-158.
- ↻ **Fairbanks, R. G., M. Sverdrlove, R. Free, P. H. Wiebe y A. W. H. Bé (1982).** Vertical distribution and isotopic fractionation of living planktonic foraminifera from the Panama Basin. *Nature.* 298: p. 841-844.
- ↻ **Fairbanks, R. G., P. H. Wiebe y A. W. H. Bé (1980).** Vertical distribution and isotopic composition of living planktonic in the western North Atlantic. *Science.* 207 (4): p. 61.
- ↻ **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.
- ↻ **Ganeshram, R. J. y T. F. Pedersen (1998).** Glacial-interglacial variability in the upwelling and the bioproductivity off the NW Mexico: implications for Quaternary paleoclimate. *Paleoceanography*, vol. 13, no. 6, p. 634-645.
- ↻ **García, Enriqueta. (ed) (1981).** Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM 3ª edición. México, 252 pags.
- ↻ **Gaxiola C. G y S. Álvarez B. (1986).** Productividad primaria del Pacífico Mexicano. *Ciencias Marinas.* 12:26-33.
- ↻ **Griffiths, R. C. (1968).** Physical, chemical and biological oceanography of the entrance to the Gulf of California. En *Contributions from the Scripps Institution of Oceanography.* Univ. Cal., San Diego, USA. 123 pags.
- ↻ **Haq, B. U. & A. Boersma (eds.) (1978).** Introduction to Marine Micropaleontology. Elsevier. New York. 350 pags.
- ↻ **Hemleben, Ch., M. Spindler y O. R. Anderson. (1989)** Modern planktonic foraminifera. Springer - Verlag, New York Inc. 363 pags.
- ↻ **Hilbrecht, H. (1996).** Extant planktonic foraminifera and the physical environment in the



- Atlantic and Indian oceans. En <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/geology/hh1996.html>. Swiss Federal Institute of Technology. Zürich Switzerland.
- ↻ **Hilbrecht, H. (1997).** Morphologic gradation and ecology in *N. pachyderma* and *N. dutertrei* (planktonic foraminifers) from core top sediments. *Marine Micropaleontology*. 31: p. 31-43.
- ↻ **Holcombe, T.L. (1989).** Paleoclimate data for studies of global climate change & Earth system science. En *Climate and Geo-Sciences*. Berger, S. Schneider & Cl. Duplessy (eds.). Series C: Mathematical & Physical Sciences - Vol. 285. Kluwer Academic Publishers. London. p. 173-177.
- ↻ **Hurd, W. E. (1929).** Northers of the Gulf of Tehuantepec. *Mon. Weather Rev.*, 57 (5): p. 192-194.
- ↻ **Imbrie, J. y N. G. Kipp (1971).** A new micropaleontological method for quantitative paleoclimatology: Application to a Late Pleistocene caribbean core. En Turekian, K. K. (ed). *The Late Cenozoic Glacial Ages*. Yale Univ. Press, New Haven, C. T., p. 71-181.
- ↻ **Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project (1976 a 1982):** Washington (U. S. Government Printing Office), Vols. 54-64.
- ↻ **Keigwin, L. D. (1976).** Late Cenozoic planktonic foraminiferal biostratigraphy and paleoceanography of the Panama Basin. *Micropaleontology*. 22(4): p. 419-442.
- ↻ **Kennett, J. P. (1982).** Marine Geology. Prentice Hall, Englewood Cliffs. 830 pags.
- ↻ **Kennett, J. P. y M. S. Srinivasan. (1983).** Neogene Planktonic Foraminifera. Hutchinson Ross Publishing Company. New York. 260 pags.
- ↻ **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.
- ↻ **Kipp, N. G. (1976).** New transfer function for estimating past sea surface conditions from seabed distribution of planktonic foraminifera assemblages in the North Atlantic. En Turekian, K. K. (ed.). *Investigations of Late Quaternary Paleoceanography and Paleoclimatology*. Geol. Soc. Am. Memoir 145: p. 3-41.
- ↻ **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.
- ↻ **Kutzbach, J. E. y P. J. Guetter (1986).** The influence of changing orbital parameters and surface boundary conditions on climate simulations for the past 18,000 years. *Journal of Atmospheric Sciences*. 43(16): p. 1726-1759.
- ↻ **Lara, L. J. R., E. G. Robles J., M. C. Bazan G. y E. Millán N. (1998).** Productividad del fitoplancton. En Tapia, G. M. (ed.). *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos.*

- Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. 240 pags.
- ↻ **Lavin, M., M. Robles, M. Argote, E. Barton, R. Smith, J. Brown, M. Kosro, A. Tranaviña, H. Vélez y J. García. (1992).** Physics of the Gulf of Tehuantepec. En *Ciencia y Desarrollo*. México. 17 (103): p. 97-108.
- ↻ **Legeckina, R. (1988).** Upwelling off the gulfs of Panama and Papagayo in the Tropical Pacific during March 1985. *J. Geophys. Res. C. Oceans*. 93: p. 115485-15489.
- ↻ **Loeblich A. R. Jr. y H. Tappan. (1964).** Treatise on invertebrate paleontology. Part C: Sarcodina, chiefly *Tecamoebians* and *Foraminiferida*. R. C. Moore (ed.). Geol. Soc. Amer. and University of Kansas Press.
- ↻ **Loeblich, A. R. Jr. y H. Tappan. (1967).** Foraminiferal genera and their classification. Von Nostrand Reinhold Company, New York. 2 vols.
- ↻ **Lugo, J. H. (1986).** Morfoestructuras del fondo oceánico mexicano. *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 15: p. 9-40.
- ↻ **Lydolph, P. E. (1985).** The climate of the Earth. Roman and Alanheld Publishers. USA Caps. 2, 6 y 11.
- ↻ **Lyle, M., R. Zahn, F. Prah, J. Dymond, R. Collier, N. Pisias y E. Suess (1992).** Paleoproductivity and carbon burial across the California Current: the multitracers transect, 42°N. *Paleoceanography*. 7(3): p. 251-272.
- ↻ **Lluch, C. S. E., S. Álvarez B., E. M. Santamaría del A., F. E. Müller K. y S. Hernández V. (1997).** El Golfo de Tehuantepec y áreas adyacentes: variación espacio-temporal de pigmentos fotosintéticos derivados de satélite. *Ciencias Marinas*. 23(3): p. 329-340.
- ↻ **Malgram, B. A. y J. P. Kennett (1997).** Biometric differentiation between Recent *G. bulloides* y *G. falconensis* in the southern Indian Ocean. *Journal of Foraminiferal Research*. 7(2): p. 138-148.
- ↻ **Mata Mendoza A. M. (1980).** Distribución de foraminíferos bentónicos en la parte SE del Golfo de Tehuantepec, México. Tesis de Licenciatura. Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. 105 pags.
- ↻ **Matoba, Y. y M. Oda (1982).** Late Pliocene to Holocene planktonic foraminifers of the Guaymas Basin, Gulf of California, Sites 477 through 481. En Curay J. R., D. G. Moore, et al. (eds.) *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*. Washington (U.S. Govt. Printing Office) 64 (2): p. 1003-1026.
- ↻ **McCoy, F. y C. Sancetta. (1985).** North Pacific sediments. En *The Ocean margins and basins: The Pacific Ocean*. Naim, E.A., F.G. Stehli y S. Uyeda (eds.). Plenum Press, New York. 7A: p. 1-54.



- ↻ **McCreary, J., H. Lee y D. Enfield. (1989).** The response of the coastal ocean to strong offshore winds: with application to circulation in the gulfs of Tehuantepec and Papagayo en *Journal of Marine Research*. 47 (1): p. 81-109.
- ↻ **Meave, del C. M. E. y D. U. Hernández B. (1996).** Fitoplancton. En Tapia, G. M. (ed.). *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos*. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. 240 pags.
- ↻ **Molina Cruz, A y M. Matinez López. (1994).** Oceanography of the Gulf of Tehuantepec, México, indicated by radiolaria remains. *Palaeogeo., Palaeoclimat., Palaeoecol.* 110: p. 179-195.
- ↻ **Monreal Gómez, M. A. y D. A. Salas de León. (1996).** Dinámica y estructura termohalina. En Tapia, G. M. (ed.). *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos*. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. 240 pags.
- ↻ **Monreal Gómez, M. A., D. A. Salas de León. & J. Aldeco R. (1999)** Las Surgencias Costeras de América *Geofisica IPGH*. 51: p. 7-43..
- ↻ **Morales de la Garza, E. A. (1990).** Estudio de sedimentos fosfatados en el Golfo de Tehuantepec. *Tesis de Maestría (Geología Marina)*. UACP y P – CCH, México.
- ↻ **Mosiño, A. P. y E. García (1973).** The climate of Mexico. En Bryson, R. A. y F. K. Hare (eds.). *Climates of North America*. World Survey of climatology 11; ed. jefe: H. E. Landsberg. Elsevier Sci Publ. Co. – Amsterdam. Cap 4: p. 345-404.
- ↻ **Murray, J. y Renard, A. F. (1891).** Deep-sea deposits based on the specimens collected during the voyage of H. M. S. Challenger in the years 1872-1876. *Rept. Voy. Challenger*. Longmans, London. 525 pags.
- ↻ **Murray J. W. (1995).** Microfossil indicators of ocean water masses, circulation and climate. En *Marine Palaeoenvironmental Analysis from Fossils*. Bosence, D. W. J. y P Allison (eds). Geological Society Special Publication, no. 83, p. 245-264.
- ↻ **O'Hara, S. y S. E. Metcalfe (1997).** The climate of México since the Aztec period *Quaternary International* vol. 43/44: pp. 25-31
- ↻ **Oberhänsli H., C. Benner, G. Malnecke, H. Schmidt, R. Schneider y G. Wefer (1992).** Planktonic foraminifers as tracers of ocean currents in the eastern South Atlantic. *Paleoceanography*. 7(5): p. 607-662.
- ↻ **Ortiz, J. D. y A. C. Mix (1992).** The spatial distribution and seasonal succession of planktonic foraminifera in the California Current off Oregon, September 1987 – September 1988. En Summerhayes, C. P., W. L. Prell y K. C. Emeis (eds.). *Upwelling Systems: Evolution since the Early Miocene*. Geol. Soc. Public. 64: p. 197-213.



- ↻ **Parker, F. L. (1960).** Living planktonic foraminifera from the equatorial and southeast Pacific. *Tohoku Univ., Sci. Repts. Ser. 2(Geol.) Spec.* Vol. 4 (71) p. 71-82.
- ↻ **Parker, F. L. (1962).** Planktonic foraminifera species in Pacific sediments. *Micropaleontology*, 8(2): p. 219-254.
- ↻ **Parker, W. C., A. Feldman y A. I. Arnold. (1999).** Paleobiogeographic patterns in the morphologic diversification of the Neogene planktonic foraminifera. *Palaeogeography, Palaeoclimatology & Palaeoecology*., 152: p. 1-14.
- ↻ **Patrick, A. y R. Thunell (1997).** Tropical Pacific sea surface temperatures and upper water column thermal structure during the last glacial maximum. *Paleoceanography*. 12(5): p. 649-657.
- ↻ **Pedersen, T. F., B. Nielsen y M. Pickering (1991).** Timing of Late Quaternary productivity pulses in the Panama Basin and implications for atmospheric CO<sub>2</sub>. *Paleoceanography*. 6(6): p. 657-677.
- ↻ **Peeters, F., E. Ivanova, S. Coran, G. Brummer, G. Ganssen, S. Troelstra y J. van Hinte (1999).** A size analysis of planktonic foraminifera from the Arabian Sea. *Marine Micropaleontology*. 36: p. 31-63.
- ↻ **Pérez Cruz. L. L. (1989).** Foraminíferos bentónicos como indicadores de la zona de oxígeno mínimo en el Golfo de Tehuantepec. *Tesis de Maestría (Ocean Biol. y Pesq.)*. UACP y P - CCH. 159 pags.
- ↻ **Pérez Cruz. L. L. & M. L. Machain Castillo. (1990).** Benthic Foraminifera of the Oxygen Minimum Zone, continental shelf of the Gulf of Tehuantepec. *Journal of Foraminiferal Research*. 20 (4): p. 312-325.
- ↻ **Pérez, Miguel Angel. (1994).** La biota del golfo. En Toledo Alejandro (editor). *Pobreza y Riqueza en la Costa de Chiapas y Oaxaca*. Centro de Ecología y Desarrollo. México. p. 87-127.
- ↻ **Phleger, F. P. (1954).** Foraminifera and deep-sea research. *Deep-Sea Res.* 2: p. 1-23.
- ↻ **Phleger, F. P., F. L. Parker y J. K. Peirson (1953).** North Atlantic foraminifera. *Swedish Deep-Sea Expedition, Report*. 7(1): p. 3-122.
- ↻ **Ramírez-Herrera, M. T. y J. Urrutia-Fucugauchi (1999).** Morphotectonic zones along the coast of the Pacific continental margin, southern México. *Geomorphology* 28: 237-250.
- ↻ **Sautter, L. R. y C. Sancetta (1992).** Seasonal associations of phytoplankton and planktonic foraminifera in an upwelling region and their contribution to the seafloor. *Marine Micropaleontology*. 18: p. 263-278.



- ↻ **Sautter, L. R. y R. C. Thunell (1989).** Seasonal succession of planktonic foraminifera: results from a four-year time-series sediment trap experiment in the northeast Pacific. *Journal of Foraminiferal Research*. 19(4): p. 253-267.
- ↻ **Savin, S. M., & H-W. Yeh (1981).** Stable isotopes in ocean sediments. En Emiliani, C. (edit). *The Sea: The Oceanic Lithosphere*. Wiley-Inter science Publication, USA. Vol. 7, cap. 25: p. 1025-1120.
- ↻ **Secretaría de Marina (1980).** Estudio oceanográfico del Golfo de Tehuantepec. *Inv. Ocean /Tehua-04-78*. Dirección General de Oceanografía. México. Tomo I-III.
- ↻ **Segura, V. L. R. y A. L. Carreño (1991).** Foraminíferos y ostrácodos de la Laguna de La Paz, Baja California Sur, México. *Inv. Mar. CICIMAR*. 6(1): p. 195-224.
- ↻ **Selbold, E y W. H. Berger (1982).** The sea floor. An introduction to Marine Geology. Springer-Verlag, New York. 288 pags.
- ↻ **Stuiver, M., Reimer, P.J., Bard, E., Beck, J.W., Burr, G.S., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, F.G., v. d. Plicht, J., and Spurk, M. (1998).** INTCAL98 Radiocarbon age calibration 24,000 - 0 cal BP. *Radiocarbon* 40:1041-1083.
- ↻ **Stumpf, H. G. (1975).** Satelite detection of upwelling in the Gulf of Tehuantepec, Mexico en *Journal Physics Oceanography*. 5: p. 383-388.
- ↻ **Thiede, J. (1983).** Skeletal plankton and nekton in upwelling water masses off northwestern South America and Northwest Africa. En Suess, E y J. Thiede (eds.). *Coastal upwelling its sedimentary record. Part A: Responses of the sedimentary regime to present coastal upwelling.* Plenum Press, Nueva York. p. 183-207.
- ↻ **Thunell, C. R. y L. A. Reynolds (1984).** Sedimentation of planktonic foraminifera: seasonal changes in species flux in the Panama Basin. *Micropaleontology*. 30(3): p. 243-262.
- ↻ **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. Lavin (ed). Monografía 3. Unión Geofis. Mex. p. 24-48.
- ↻ **Ufkes, E. y W. J. Zachariasse (1993).** Origins of coiling differences in living Neoglobobquadrinids in the Walvis Bay region, off Namibia, southwest Africa. *Micropaleontology*. 39(3): p. 283-287.
- ↻ **Ufkes, E., J. H. Fred Jansen. y G. J. A. Brummer (1996).** 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. En Tapia, G. M. (ed). *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus*

recursos. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. Cap 4: 35-50.

- ↻ **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.
- ↻ **Watkins, J. M., A. C. Mix y J. Wilson (1998).** Living planktic foraminifera in the central tropical Pacific Ocean: articulating the equatorial "cold tongue" during La Niña, 1992, *Marine Micropaleontology*. 33: p. 157-174.
- ↻ **Wyrski, K. (1967).** Circulation and water masses in the eastern equatorial Pacific Ocean, *Int. Oceanol. & Limnol.* 1(2): p. 117-147.

Zepcarstepc

