



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**Diferencia entre faunas glaciares y recientes de
foraminíferos bentónicos y su relación con Zonas de
Oxígeno Mínimo en el Golfo de Tehuantepec, México.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

ALBA NAYELLI MEDINA SÁNCHEZ

DIRECTORA DE TESIS:
Dra. MARIA LUISA MACHAIN CASTILLO

2010





Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Hoja de datos del jurado

1. Datos del alumno Apellido paterno Apellido materno Nombre(s) Teléfono Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias Carrera Número de cuenta	Medina Sánchez Alba Nayelli 55 38 91 04 Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias Biología 300100604
2. Datos del tutor Grado Nombre(s) Apellido paterno Apellido materno	Dra. María Luisa Machain Castillo
3. Datos del sinodal 1 Grado Nombre(s) Apellido paterno Apellido materno	Dr. Frank Raúl Gío Argáez
4. Datos del sinodal 2 Grado Nombre(s) Apellido paterno Apellido materno	Dr. Adolfo Gracia Gasca
5. Datos del sinodal 3 Grado Nombre(s) Apellido paterno Apellido materno	Dra. Ligia Lucina Pérez Cruz
6. Datos del sinodal 4 Grado Nombre(s) Apellido paterno Apellido materno	M. en C. Mario Alejandro Gómez Ponce
7. Datos del trabajo escrito. Título Número de páginas Año	Diferencia entre faunas glaciares y recientes de foraminíferos bentónicos y su relación con Zonas de Oxígeno Mínimo en el Golfo de Tehuantepec, México. 93 Páginas 2010

Agradecimientos

El proyecto que presento, resume casi dos años y un poquito más de trabajo, esfuerzo, aprendizaje; pero también nuevas experiencias, enriquecimiento personal y profesional; además de momentos muy agradables que hicieron que todo esto haya valido la pena. Pero no puedo terminarlo sin expresar mi enorme agradecimiento a todas las personas que estuvieron a mi lado todo este tiempo.

A mi "super" Ma. Beatriz quien siempre me impulso con sus ideas y me motivo a trabajar, alcanzar y sobre todo completar mis trabajos y metas. Le agradezco su inmenso amor, cariño, cuidado, dedicación, entrega, comprensión, enseñanza, paciencia, consejos, compañía, apoyo, ayuda, rescate, complicidad y muchísimo más, que ella ha hecho y me ha dado por más de 25 años. Y además por formar y hacer de nosotras un "super duo" dinámico tan increíble, fenomenal y lleno de momentos mega extraordinarios. Eres la mejor "super Ma." del mundo. Sin ti, no estaría aquí. Y sabes que todo esto es por ti y gracias a ti, sin duda alguna.

A mi tío Juan por todo su amor, cariño, comprensión, cuidado, preocupación, porras, escuchadas, apapachos, enseñanzas y consentidas. Sin ti, tampoco hubiera logrado todo esto. Significas mucho en mi vida y quiero sigas conmigo y con nosotras en todo lo que venga. Como los 3 mosqueteros, sin los 20 años después.

A mis abues Margarita y Toño, quienes me apoyaron, echaron porras "con los de allá arriba" y me escucharon la mayoría del tiempo a larga distancia (después les paso lo del recibo de teléfono). Además de interesarse en el proyecto y darme ánimos cuando no se veía fin y muchísimo menos luz.

A Alec's, que aunque la vida nos ha puesto demasiados obstáculos seguimos en esta corriente profunda muy bien oxigenada, increíble y fantástica, y todo lo que se le parezca, de super equipo de "foras-medusas", lleno de amor, mucha enseñanza, aprendizaje, y sobre todo seguimos aquí, disfrutando de la vida en simbiosis. Cambiaste mi rumbo completamente y le diste un giro maravilloso, definitivo y especial.

A mi mamá Reyna, por todo su cuidado, dedicación cariño y amor. Y sobre todo por quererme como su hija, la más pequeña, y estar al pendiente de mí todo el tiempo. Además de darme una familia mega increíble y unida.

A mis familias enteras –familia "Michoacana" Medina Sánchez: Vique, Felipe, Victor, Gerardo, Eni, Asa, Iris, Joel, Migue, Daris y Carmela con sus boxeadas. Familia Aguilar Hernández (mis hermanas y hermanos): Carmela, Claudia, Lupita, Jesús, Enrique, Maricarmen, Pepe, Citlalli, Ana, Julio y mis sobrinas y sobrino-, por todos los momentos tan agradables que pasamos y todas las porras que me echaron a lo largo de este ciclo y bueno... toda la vida, además del enriquecimiento personal.

A Jenny, quien forma parte también de mi familia y me ha dado el ánimo y apoyo para seguir adelante; además de muchas alegrías. Y enseñarme un estilo muy "nice".

A Maggy quien fue como un ángel caído del cielo en el momento preciso, que me enseñó a ser más fuerte en infinitas ocasiones; me ha escuchado y sobre todo me ha ayudado a levantarme, salir y enfrentarme a tantas situaciones no muy agradables.

Al Profe. Raúl Gío, por mostrarme el fascinante camino de la micropaleontología y paleoceanografía, y darme la oportunidad de trabajar con un tema interesante y sobre todo que me apasiona y llena, y que quiero seguir haciendo toda mi vida. Y por confiar alguna vez en mi y darme su apoyo.

A la Dra. Machain, por su dirección, comentarios, sugerencias y ayudaditas. Sobre todo por hacerme tomar la decisión de levantarme de todos los embates de la vida; y a ser cada vez más fuerte, perseverante y tolerante.

A la Dra. Ligia Pérez Cruz, por su sinceridad, sus conocimientos, su apoyo, paciencia y tiempo dedicado. Y por regresarme al camino de los "foras" y con optimismo.

Al Dr. Adolfo Gracia y al M. en C. Alejandro Gómez Ponce por enseñarme tantas cosas y acompañarme durante más de tres años. Además por aceptar formar parte de mi comité y por tomarse tu tiempo para leer y evaluar este trabajo, además de sus afinados comentarios.

A Barbariña, Astrid, y Gaby Diego, por sus enseñanzas, su gran apoyo continuo y disponibilidad en atenderme y ayudarme. Sin ustedes esto no se hubiera cocinado "tan rico". De verdad mil gracias.

A todos los hermanos "foraminiferólogos": Circe, Toñito, Day y Paty, y la comunidad de mar profundo Adris y Balam, por sus risas, amistad, compañerismo, despotricadas, complicidad y solidaridad tratando de escalar y no precisamente montañas.

A mis amigos de verdad de primer semestre: Memito y Anacaren, con los que pase muchísimos ratos agradables y con los que crecí y aprendí.

A Nadia, la compañera y a Karlita (kuifa) porque aunque estemos distanciadas, siempre estarán en mi mente y corazón por todos los momentos grandiosos compartidos en este mundo tan líquido.

A la queridísima banda futbolera del "Real Procariontes/Chupirul" que me recibió como si fuera de ellos desde hace mucho tiempo y que compartió conmigo muchos conocimientos, nuevas experiencias y me hizo pasar momentos tremendos, llenos de adrenalina e inolvidables.

A los "pamboleros echales" de "Brasil" por compartir conmigo gratas experiencias.

A los del "Poli-IPN" por brindarme su amistad y dejarme entrar en su mundo de medusas, camarones, y parásitos.

Creo que no me olvido de nadie, pero de todas maneras gracias a todos los que están y no están y que vivieron conmigo la realización de esta tesis con sus altos y bajos y por haberme brindado apoyo, colaboración, ánimo y amistad.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
MARCO DE REFERENCIA	3
Foraminíferos	7
Zona de Oxígeno Mínimo (ZOM)	12
Cambios climáticos: Último Máximo Glacial (UMG) al Reciente	
ANTECEDENTES	18
AREA DE ESTUDIO	
Meteorología	26
Oceanografía geológica	27
Oceanografía física	31
Oceanografía biológica	36
METODOS	
Trabajo de campo	38
Trabajo de gabinete	39
Métodos estadísticos	
Índice de diversidad	42
Análisis de factores	44
RESULTADOS	
Concentración de oxígeno disuelto (O ₂)	47
Descripción de la columna sedimentaria	47
Marco cronoestratigráfico	47
Granulometría	48
Identificación taxonómica y composición específica	49
Comportamiento a nivel genérico	52
Distribución estratigráfica y espacial	53
Abundancia total y densidad (ind/gr)	53
Abundancia relativa	56
Riqueza	59
Índice de diversidad	61
Análisis de factores	64
Análisis de factores y concentración de O ₂	73
DISCUSIONES	78
CONCLUSIONES	83
ANEXO	84
LITERATURA CITADA	86

PALABRAS CLAVE: foraminíferos bentónicos, concentraciones de oxígeno disuelto, Zonas de Oxígeno Mínimo, productividad, surgencias, Golfo de Tehuantepec.

Índice de figuras

Figura 1.	Modelo TROX: modelo conceptual que explica la distribución de foraminíferos bentónicos en el sedimento en términos de disponibilidad de alimento y concentraciones de oxígeno (Modificada de Jorriksen <i>et al.</i> , 1995).	6
Figura 2. a-b	a) Perfil de oxígeno hipotético (Tomada de Bernhard & Sen Gupta, 1999); b) Perfil de oxígeno del Golfo de Tehuantepec, estación 64 (Modificada de Pérez-Cruz & Machain Castillo, 1990); c) Perfil de oxígeno de la Cuenca de Panamá (85.5°, 4.5S y 8.5N) (tomada de Betancur & Martínez, 2003).	7
Figura 3.	Figura 3. Áreas con concentraciones disóxicas y micróxicas a nivel mundial (Modificada de Bernhard & Sen Gupta, 1999)	9
Figura 4.	Esquema del sistema climático terrestre, sus componentes, interacciones entre ellos, factores que los modifican y posibles variaciones climáticas (Tomada de Ruddiman, 2001).	12
Figura 5.	Reconstrucción de temperaturas superficiales o SST, elevaciones de los casquetes y albedo de hace 18.000 años de acuerdo con CLIMAP (1976). A) casquetes, hielo y nieve; albedo de 40%; isólinas de los casquetes en metros sobre del nivel del mar. B) zonas áridas, desiertos, bosques de coníferas; albedo de 30 a 39%. C) estepas y semidesiertos; albedo entre 25 a 29%. D) sabanas; albedo entre 20 y 24%. E) zonas boscosas albedo menor a 20%. F) océanos y lagos con isólinas de SST en °C; albedo por debajo de 10%. (Tomada de CLIMAP 1976).	17
Figura 6.	Modificaciones en el patrón de circulación atmosférica y la surgencia (Modificada de Ganeshram & Pedersen, 1998).	14
Figura 7.	Ubicación geográfica del área de estudio.	26
Figura 8.	Placas tectónicas correspondientes al Golfo de Tehuantepec (Tomada de Carranza-Edwards <i>et al.</i> , 1998).	28
Figura 9.	Distribución de sedimentos y porcentaje de carbonatos en el Golfo de Tehuantepec (Tomada de Carranza-Edwards <i>et al.</i> , 1998).	30
Figura 10.	Patrón de circulación del Océano Pacífico Tropical Este (Modificada de Molina-Cruz & Martínez López, 1994).	33
Figura 11. a-b	Circulación y corrientes principales del Pacífico Oriental en diferentes épocas. a) invierno-primavera y b) verano - otoño. (Modificada de http://www.pmel.noaa.gov/pubs/outstand/kess2580/wyrtki.shtml .)	34
Figura 12	Sistemas hidrográficos generados por el paso de vientos sobre el Istmo de Tehuantepec (Modificada de Arellano-Torres, 2003).	35
Figura 13.	Posición geográfica de la estación donde se colectaron los núcleos estudiados.	38
Figura 14.	Funcionamiento del nucleador de gravedad (Tomada de Granados Barba <i>et al.</i> , 2000).	39
Figura 15. a-b	Proporción de la fracción lodosa respecto a la arenosa en las columnas sedimentarias. a) Pacmex I-7T. b) Tehua II-18.	55
Figura 16. a-b	Distribución de especies en relación a la cantidad de muestras en las que se presentaron. a) Pacmex I-7T. b) Tehua II-18.	54
Figura 17.	Densidad de foraminíferos bentónicos (individuos por gramo de sedimento) a lo largo de los núcleos. a) Pacmex I-7T b) Tehua II-18	55
Figura 18. a-f	Abundancias relativas de las seis especies más abundantes de foraminíferos bentónicos del núcleo Pacmex I-7T.	57
Figura 19. a-c	Abundancias relativas de las tres especies más abundantes de foraminíferos bentónicos del núcleo Tehua II-18	58

Figura 20. a-b	Gráfica sobre la riqueza de especies por muestra a lo largo de la columna sedimentaria. a) Pacmex I-7T. b) Tehua II-18.	60
Figura 21.	Gráfico de H' y J' en el núcleo Pacmex I-7T	62
Figura 22.	Gráfico de H' y J' en el núcleo Tehua II-18	63
Figura 23.	Resultados de análisis de factores: gráfica de <i>Eigenvalues</i> del núcleo Pacmex I-7T	67
Figura 24.	<i>Factor Scores</i> de las especies que caracterizan el factor 1	65
Figura 25.	<i>Factor Scores</i> de las especies que caracterizan el factor 2	66
Figura 26.	Distribución estratigráfica de las asociaciones de foraminíferos bentónicos en el núcleo Pacmex I-7T de acuerdo con los <i>factors loadings</i> . Factor 1: <i>B. interjuncta bicostata</i> y <i>U. excellens</i> . Factor 2: <i>P. bradyana</i> , <i>B. plicata</i> y <i>B. seminuda</i> . Edad basada en estudio de Córdoba-Saldaña (2009)	68
Figura 27.	Resultados de análisis de factores: gráfica de <i>Eigenvalues</i> del núcleo Tehua II-18	72
Figura 28.	<i>Factor Scores</i> de las especies que caracterizan el factor 1	69
Figura 29.	<i>Factor Scores</i> de las especies que caracterizan el factor 2	70
Figura 30.	Distribución estratigráfica de las asociaciones de foraminíferos bentónicos en el núcleo Tehua II-18 de acuerdo con los <i>factors loadings</i> . Factor 1: <i>P. bradyana</i> . Factor 2: <i>B. seminuda</i> y <i>G. soldanii nitidula</i> . Edad establecida en estudio de Córdoba-Saldaña (2009).	71

Índice de tablas

Tabla 1.	Asociaciones de foraminíferos bentónicos de ZOM del Pacífico Este (Modificada de Sen Gupta & Machain-Castillo, 1993).	18
Tabla 2.	Muestra la edad de cada uno de los núcleos y sus diferentes asociaciones de foraminíferos planctónicos (Información de Córdoba-Saldaña, 2009).	48
Tabla 3.	Valores del índice de diversidad y equidad en el núcleo Pacmex I-7T.	62
Tabla 4.	Valores del índice de diversidad y equidad en el núcleo Tehua II-18	63
Tabla 5.	Resultados de análisis de factores: <i>Eigenvalues</i> del núcleo Pacmex I-7T	64
Tabla 6.a	<i>Factor Loadings</i> (cargas del factor) del núcleo Pacmex I-7T.	67
Tabla 6.b	<i>Factor Scores</i> (valores del factor) del núcleo Pacmex I-7T.	67
Tabla 7.	Resultados de análisis de factores: <i>Eigenvalues</i> del núcleo Tehua II-18.	69
Tabla 8. a	<i>Factor Loadings</i> (cargas del factor) del núcleo Tehua II-18.	72
Tabla 8. b	<i>Factor Scores</i> (valores del factor) del núcleo Tehua II-18	72
Tabla 9. a – g	Intervalos de O ₂ en los que se encuentra cada una de las especies dominantes de los núcleos Pacmex I-7T y Tehua II-18 en áreas del Pacífico Oriental. a) <i>Bolivina interjuncta bicostata</i> . b) <i>Bolivina plicata</i> . c) <i>Bolivina seminuda</i> . d) <i>Cassidulina corbyi</i> . e) <i>Gyroidina soldanii nitidula</i> . f) <i>Pseudoparrella bradyana</i> . g) <i>Uvigerina excellens</i> .	75
Tabla 10.	Intervalo de O ₂ en los que se encuentra la asociación del factor 2 del núcleo Pacmex I-7T.	79
Tabla 11.	Intervalo de O ₂ en los que se encuentra la asociación del factor 1 del núcleo Pacmex I-7T.	80
Tabla 12.	Intervalos de O ₂ en los que se encuentra la asociación del factor 1 del núcleo Tehua II-18.	81
Tabla 13.	Intervalos de O ₂ en los que se encuentra la asociación del factor 2 del núcleo Tehua II-18.	82
Tabla 14.	Resumen de resultados del análisis estadísticos y multivariados en los núcleos Pacmex I-7T y Tehua II-18.	84

Resumen

Los foraminíferos bentónicos son organismos de gran utilidad en estudios paleoambientales ya que reflejan las condiciones de varios de los componentes del fondo oceánico, entre ellos, la concentración de oxígeno disuelto (O_2). A fin de conocer las variaciones de este gas a partir del final del Último Máximo Glacial hasta el Reciente en aguas de fondo en el Golfo de Tehuantepec, se analizaron las poblaciones de foraminíferos bentónicos en dos secuencias sedimentarias ubicadas en las zonas Oeste (Tehua II-18) y Este (Pacmex I-7T) del área de estudio.

Mediante el análisis de factores en la columna Pacmex I-7T se definieron dos asociaciones. La asociación del factor 2 establecida por *Pseudoparrella bradyana*, *Bolivina plicata* y *Bolivina seminuda* sugirió un ambiente con concentraciones de 0 a 1 ml/L, y la asociación del factor 1 determinada por *Bolivina interjuncta bicostata*, *Uvigerina excellens* y *Pseudoparrella bradyana* indicó condiciones de entre 0.01 a 2 ml/L O_2 en el agua de fondo.

Los intervalos de O_2 mostrados por ambas asociaciones no proporcionaron información específica para diferenciar claramente los cambios en la oxigenación del agua de fondo; sin embargo, se encontraron evidencias en los análisis granulométricos y de densidad de organismos que permitieron diferenciar cambios en el ambiente. Con estos análisis se observó que la asociación del factor 2 ubicada durante la época del Pleistoceno (UMG y Deglaciación) presentó menor productividad, la cual estuvo ligada a un menor consumo de O_2 . A su vez la menor productividad estuvo relacionada probablemente con el hecho de que las surgencias no fueron tan prominentes al igual que los vientos tal como se ha reportado en la literatura. Mientras que la asociación del factor 1 ubicada dentro del Holoceno presentó una mayor productividad con mayor consumo de O_2 . Generada la mayor productividad posiblemente por las surgencias, producto del paso de los fuertes vientos por el Istmo de Tehuantepec tal como acontece en la actualidad.

En el núcleo Tehua II-18 ubicado dentro del Holoceno, se registraron igualmente dos factores. El factor 1 representado por la asociación de *P. bradyana* y *B. seminuda* del factor 1 y el factor 2 definido por la asociación *B. seminuda*, *G. soldanii nitidula* y *C. corbyi*. Ambas asociaciones evidenciaron concentraciones de O_2 menores a 1 ml/L, además de pequeñas diferencias en la cantidad de arenas, la densidad de organismos y los índices de riqueza, diversidad y equidad; lo cual sugirió que este parámetro en el agua de fondo no ha variado significativamente, así como tampoco lo ha hecho la productividad biológica en los 4791 años propuestos para el núcleo.

Introducción

Un cambio ambiental global comprende numerosos fenómenos y procesos íntimamente relacionados; por eso, cuando se habla de variaciones en el clima, se trata implícitamente de modificaciones o cambios en las capas de los fluidos de la tierra (atmósfera y océanos), experimentados a diferentes escalas y frecuencias temporales (Ruddiman, 2001).

La búsqueda del registro de estos cambios se realiza en los ambientes sedimentarios, tanto en los continentales, de transición, como en los marinos (Haq y Boersma, 1998); específicamente en estos últimos, ya que por tener una baja erosividad, una alta preservación (Hillarie-Marcel y Vernal, 2007), una mayor continuidad temporal y espacial (Kennett, 1982), una alta calidad y resolución (Wefer *et al.*, 1999; Calvert y Pedersen, 2007) y un mayor alcance estratigráfico, podemos observar tanto condiciones oceánicas prevalecientes hace millones de años, como las de la actualidad.

Los efectos del clima, pueden apreciarse en una gran cantidad de indicadores ambientales tanto biológicos como geofísicos, geoquímicos y sedimentológicos (Roger, 1980). Para este trabajo, se han seleccionado restos de origen biológico (bioindicadores) correspondientes a foraminíferos bentónicos; su importancia radica en que son buenos indicadores de la oxigenación del agua de fondo y de la productividad, son abundantes y se encuentran en todo el ambiente marino, desde las zonas internareales hasta las planicies abisales (Kennett, 1982; Haq y Boersma, 1998). Además de que presentan una relación estrecha con su ambiente y una alta especificidad por sus microhábitats, por lo que su presencia indica características específicas.

En la literatura, diversos autores han dado constancia de cambios significativos en las poblaciones de los foraminíferos bentónicos y una zonación de las especies dependiendo de las propiedades del agua de fondo y de los sedimentos (Murray, 1991; Boltovskoy y Wright, 1976); mencionando que la densidad y distribución de cada población, depende de una gran variedad de factores, y cada uno de ellos, define límites de aparición de organismos, así como sus proporciones, mismas que dependerán de la tolerancia que presenten a cada factor (Murray, 2001; Langezaal *et al.*, 2006).

Uno de los parámetros importantes, responsable de la abundancia y especificidad de los foraminíferos bentónicos (ya que representa una limitante) es el oxígeno disuelto. Este gas se encuentra en los océanos en concentraciones que van desde 8.5 a 0.01 ml/L, o a veces llega a ser nulo (0 ml/L), dependiendo de una gran cantidad de variables.

Estas condiciones de poco o nulo oxígeno, se reconocen como ZOM's o Zonas de Oxígeno Mínimo (<1 ml/L), y son capas del océano en las que el oxígeno se reduce a causa de una lenta o nula circulación de las masas de agua combinada con una alta productividad superficial (Wyrski, 1962; Kamykowski y Zentara 1990; generada principalmente por los nutrientes que emergen con las vigorosas surgencias (Helly y Levin, 2004), y cuyo impacto se observa en el consumo de oxígeno. Asimismo, se origina también por la presencia de masas de aguas viejas, o por la falta de mezcla con las capas superiores.

El estudio de estas condiciones de ZOM y los organismos que la habitan, junto con su configuración específica y asociaciones, es de gran importancia y en el caso del Golfo de Tehuantepec es especialmente relevante por la compleja dinámica oceánica que forma gradientes tanto verticales y horizontales con los parámetros fisicoquímicos (Monreal y Salas, 1998), debido a la presencia de surgencias inducidas por los vientos "Tehuano" durante el Holoceno y consecuentemente, una alta productividad.

Objetivos

- Caracterizar la fauna de foraminíferos bentónicos desde el Último Máximo Glacial hasta el Reciente, mediante el análisis de la composición, abundancia, riqueza, diversidad de sus asociaciones, en dos secuencias sedimentarias ubicadas al Este y Oeste del Golfo de Tehuantepec.
- Con base en las afinidades ecológicas de las especies indicadoras y/o asociaciones, inferir las condiciones de oxigenación en el agua de fondo a través del tiempo.
- Relacionar las condiciones de oxigenación a los escenarios oceanográficos y atmosféricos del área.

Marco de Referencia

- **Foraminíferos**

Los foraminíferos son protozoarios marinos clasificados taxonómicamente de acuerdo con Armstrong *et al.* (2005) dentro del Reino Protozoa, Phylum Sarcodina, Clase Rhizopoda, Orden Foraminiferida.

Los foraminíferos se caracterizan por desarrollar testas de calcita o aragonita, aunque también se han observado organismos con conchas secretadas a partir de materia orgánica o partículas que son cementadas (Boltovskoy, 1965; Kennett, 1982; Haq y Boersma 1998; Arenillas, 2002). Estas conchas o caparazones están formadas por una o más cámaras que se comunican entre sí por un foramen o apertura. La función de la testa es proteger el citoplasma del organismo donde se realizan las funciones vitales (Murray, 1991).

Este tejido suave se diferencia en dos zonas: la externa o ectoplasma, que está constituida por una fina membrana con burbujas y pseudópodos, los cuales son finas prolongaciones que recubren a la testa de forma radial permitiendo la respiración, el movimiento (~1 cm/hr) y la fijación del organismo, así como la captura de alimento y la eliminación de desechos, induciendo además la construcción de la concha. Y la interna o endoplasma, que conforma la célula del organismo siendo aquí donde se encuentra el material genético (Murray, 1991; Haq y Boersma, 1998; Goldstein, 1999; Arenillas, 2002; Armstrong *et al.*, 2005).

El ciclo de vida de los foraminíferos tiene alternancia de generaciones –esquizogonia y gamogonia-, lo que origina un dimorfismo en las testas, resultando formas microesféricas consecuencia de la fusión sexual de dos gametos y formas megalosféricas, generadas por segmentación en la reproducción asexual. Existen algunos organismos que solo se reproducen asexualmente como los pertenecientes al género *Rosalina* (Murray, 1991; Haq y Boersma, 1998; Goldstein, 1999; Armstrong *et al.*, 2005). De acuerdo con Arenillas (2002) la reproducción de los foraminíferos puede ser anual, mensual o cada dos semanas.

Para alimentarse presentan diferentes estrategias que dependen de la etapa o estadio en que se encuentran (juveniles o adultos), del ambiente en el que habitan, y de la cantidad de alimento disponible. Por lo tanto, los foraminíferos pueden ser: a) herbívoros, generalmente restringidos a la zona fótica; b) detritívoros, ubicados en la interfase sedimento-agua y por lo regular en áreas donde las partículas son muy finas; c) carnívoros, se alimentan de presas que pueden ser artrópodos, pequeños erizos, gusanos, radiolarios, copépodos o hasta otros foraminíferos; d) bacteriófagos, que como su nombre lo indica ingieren bacterias; e) simbioses, donde los foraminíferos y otros organismos como algas y/o bacterias, se asocian para obtener un beneficio mutuo (Boltovskoy y Wright, 1976; Murray, 1991; Goldstein y Corliss 1994; Goldstein, 1999; Arenillas, 2002; Armstrong *et al.*, 2005); y f) parásitos, en este caso Goldstein (1999) refiere que existen especies parasitadoras de bivalvos, esponjas, corales y hasta de otros foraminíferos.

Actualmente los foraminíferos habitan una amplia variedad de ambientes que van desde las zonas intermareales hasta las planicies abisales (Kennett, 1982; Haq y Boersma, 1998); latitudinalmente tienen presencia desde los trópicos hasta las regiones polares; cubriendo hábitats tanto planctónicos como bentónicos (Arenillas, 2002).

La existencia de los foraminíferos bentónicos data desde la era del Paleozoico, en el periodo Cámbrico, mientras que los planctónicos surgen en la era Mesozoica, en el periodo del Jurásico, (Lipps, 1990; Haq y Boersma, 1998; Goldstein, 1999). Desde entonces estos organismos se han diversificado; Boltovskoy y Wright (1976) y Buzas y Culver (1990) mencionan que alrededor de entre 38,000 a 40,000 especies bentónicas y planctónicas, se han registrado a lo largo de toda la escala geológica; sin embargo, indican que la mayoría son especies extintas y algunas otras son sinonimias.

Los organismos que se analizan en el presente estudio, son los foraminíferos bentónicos (FB), mismos que de acuerdo a su posición y distribución en el sustrato, pueden ser epifaunales, que viven en o sobre la interfase sedimento-agua; semi-infaunales e infaunales que habitan dentro del sedimento de entre los primeros 10 hasta 30 cm de

profundidad (Corliss, 1991; Murray, 1991; Moodley *et al.*, 1998; Jorissen, 1999; Geslin *et al.*, 2004).

La zonación de foraminíferos bentónicos es producto de una compleja interacción entre factores biológicos y fisicoquímicos. Kennet (1982) y Haq y Boersma (1998) consideran que la distribución, dominancia y diversidad de estos organismos está influenciada por la profundidad, la presión, la intensidad luminosa y la turbidez.

Por su parte, Jorissen (1999) reconoce otras variables como la competencia, la predación, y la bioturbación de los sedimentos. Hayward *et al.* (2002) además adiciona el contenido de O₂ en aguas de fondo, la sustentabilidad de la tasa de flujo del carbón orgánico, la advección lateral de las masas de agua, la alcalinidad, el estado energético en la capa límite béntica, la granulometría, la salinidad y la temperatura de agua de fondo. No obstante, como menciona Murray (2006), en distintos ambientes, diferentes factores limitaran en mayor o menor medida la distribución temporal y espacial de los foraminíferos bentónicos.

Por ejemplo, trabajos como los de Loubere (1991, 1996) en el Norte y Ecuador del Pacífico Oriental; Gooday y Rathburn (1999) en el Noreste del Pacífico y Noratlántico; Fontanier *et al.* (2002) y Langezaal *et al.* (2006) en el Noratlántico (Bahía de Biscay); y revisiones como las de Jorissen (1999, 2007), Van der Zwaan *et al.* (1999) y Gooday (2003) sugieren que, factores como la temperatura y la salinidad entre otros, son estables en zonas de mar abierto y que por lo tanto, los cambios poblacionales en los foraminíferos bentónicos, se encuentran asociados fundamentalmente a la concentración de oxígeno disuelto y al flujo de materia orgánica en la interfase sedimento-agua y dentro del sedimento.

Lo que se explica mediante el modelo llamado TROX, el cual asume que la ocupación de diversos microhabitats, la distribución y abundancia de los foraminíferos bentónicos, se regula por la relación existente entre el flujo de materia orgánica, el contenido de oxígeno y la competitividad entre las diferentes especies. En el que cada factor de estos tres, actúa de diferente manera y provoca un patrón de comportamiento complejo en las diversas especies y asociaciones (Van der Zwaan *et al.*, 1999) (Fig. 1).

Asimismo, este modelo menciona específicamente que en ambientes oligotróficos, la presencia de especies está determinada por un nivel crítico de alimento, presentándose una mayor proporción de organismos epifaunales con baja diversidad; mientras que en ambientes eutróficos la presencia de foraminíferos bentónicos queda establecida por un nivel crítico de O_2 , dominando una mayor cantidad de organismos infaunales con baja diversidad. Por el contrario, en ambientes mesotróficos se registra una alta diversidad y abundancia (Jorissen *et al.*, 1995; Gooday y Rathburn, 1999; Van der Zwaan *et al.*, 1999).

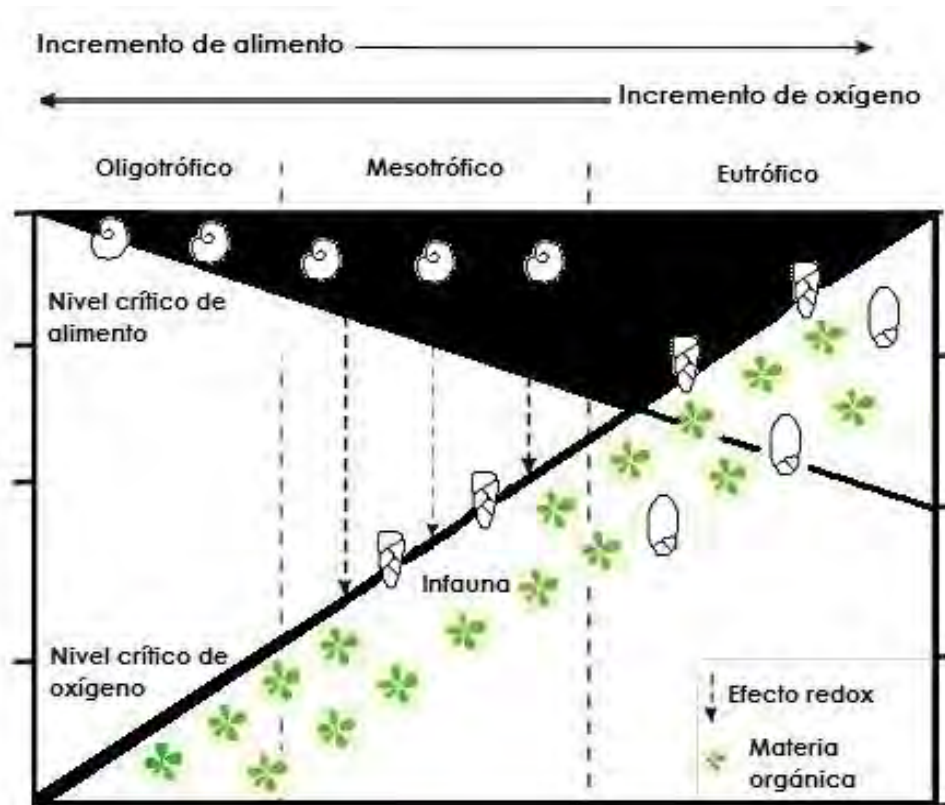


Figura 1. Modelo TROX: modelo conceptual que explica la distribución de foraminíferos bentónicos en el sedimento en términos de disponibilidad de alimento y concentraciones de oxígeno (Modificada de Jorissen *et al.*, 1995).

Por lo tanto, al establecerse una relación entre los parámetros antes mencionados y los foraminíferos bentónicos, estos se han definido como indicadores o *proxies* y han sido utilizados desde mitad del siglo XIX como paleosensores o indicadores indirectos de las condiciones oceanográficas y climáticas del planeta.

Zona de oxígeno mínimo (ZOM)

Las concentraciones de oxígeno disuelto (O_2) que se encuentran en los océanos son muy diversas y dependen de una gran cantidad de variables (Wyrski, 1962). Los valores de O_2 van de los 8.5 ml/L en zonas de sobresaturación, a menos de 0.1 ml/L o hasta una ausencia total (0 ml/L) (Tait, 1970).

En un perfil de oxígeno de mar abierto, se pueden delimitar tres zonas: la zona superficial, que registra valores máximos o de saturación debido a los procesos de mezcla entre océano-atmósfera y a la producción fotosintética; la zona intermedia, en la cual la concentración de O_2 decrece debido a la reducida o nula circulación, a la actividad biológica y a la degradación de materia orgánica, formando en ocasiones Zonas de Oxígeno Mínimo; y la zona de fondo, en donde la cantidad de oxígeno disuelto en el agua vuelve a aumentar a consecuencia de la circulación de las masas de agua profundas ricas en oxígeno. (Wyrski, 1962; Tait, 1970; De la Lanza, 1991) (Fig. 2a-b.).

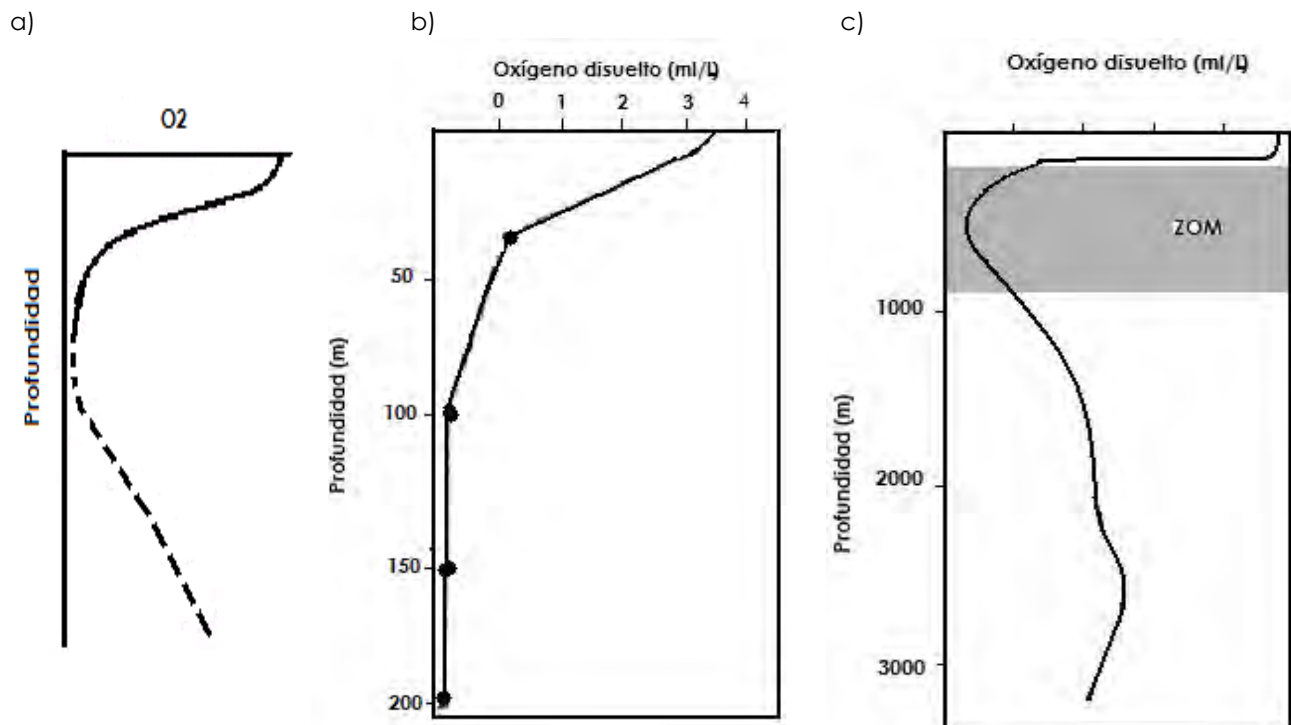


Figura 2. a) Perfil de oxígeno hipotético (Tomada de Bernhard y Sen Gupta, 1999); b) Perfil de oxígeno del Golfo de Tehuantepec, estación 64 (Modificada de Pérez-Cruz y Machain Castillo, 1990); c) Perfil de oxígeno de la Cuenca de Panamá (85.5°, 4.5S y 8.5N) (tomada de Betancur y Martínez, 2003).

Entre las diversas nomenclaturas que se utilizan para determinar el contenido de oxígeno disuelto en el agua, se encuentra la de Kaiho (1994) quién registró inicialmente cinco condiciones distintas:

Zona	Concentración de O ₂ (ml/L)
altamente óxica	3.0 – >6.0
óxica	1.5 – 3.0
subóxica	0.3 – 1.5
disóxica	0.1 – 0.3
anóxica	0 – 0.1

En 1999, Kaiho modifica ésta clasificación y agrega una zona más, resultando:

Zona	Concentración de O ₂ (ml/L)
altamente óxica	3.2 – >6.0
medianamente óxica	2 – 3.2
bajamente óxica	1.2 - 2
subóxica	0.3 – 1.2
disóxica	0.1 – 0.3
anóxica	0 – 0.1

Posteriormente Bernhard y Sen Gupta (1999), establecen una división distinta, argumentando que ambientes con poco oxígeno, es decir, con concentraciones entre 0.1 ml/L a 0.01 ml/L de O₂, no deben considerarse como una zona sin oxígeno o anóxica. Por ello, establecieron las siguientes zonas:

Zona	Concentración de O ₂ (ml/L)
óxica	>1.0
disóxica	0.1 – 1.0
micróxica	< 0.1
anóxica	0

En el presente estudio se ha utilizado la clasificación de Bernhard y Sen Gupta debido a que además de ampliar la zona óxica hasta las concentraciones máximas registradas en el mundo, distingue entre condiciones sin oxígeno (anóxicas) y condiciones con muy poco O₂, es decir, concentraciones menores a 0.1 ml/L (micróxicas).

En una serie de muestras colectadas por la NODC (National Oceanographic Data Center) de Washington DC, durante más de setenta y cinco años (1905 a 1982), se estableció la distribución y localización mundial de ambientes con concentraciones micróxicas y disóxicas (Kamykowski y Zentara, 1990; Aranda da Silva, 2005) (Fig. 3).

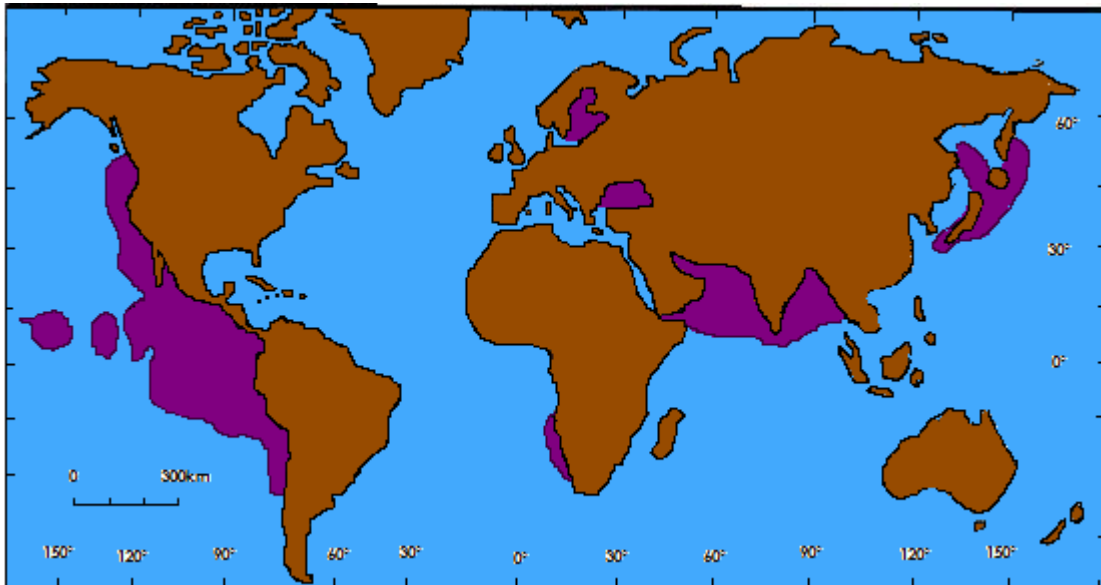


Figura 3. Áreas con concentraciones disóxicas y micróxicas a nivel mundial (Modificada de Bernhard y Sen Gupta, 1999).

Comprendida entre estas áreas micróxicas-disóxicas (0.01 a 1 ml/L), se localiza la llamada Zona de Oxígeno Mínimo o ZOM, que es un término utilizado para describir áreas donde el oxígeno se reduce drásticamente por el consumo bioquímico que se efectúa en el proceso de la respiración y la formación de tejidos de los organismos, por la oxidación de la materia orgánica en su trayectoria vertical de la superficie hacia el fondo de la columna de agua y por el retardo con que este gas es reemplazado por la circulación (Wyrski, 1962; Phleger y Soutar, 1973; Kamykowski y Zentara, 1990; Díaz y Rosenberg, 1995; Helly y Levin, 2004).

Es importante mencionar que no todos los autores consideran la misma concentración para la ZOM, por ejemplo Smart (2003) ubica a la ZOM con valores menores a 1 ml/L; Rogers (1999), Helly y Levin (2004), Aranda da Silva (2005), y Fuenzalida *et al.* (2009) la consideran por debajo de 0.5 ml/L de O₂; y Morrison (1999) con concentraciones a >0.1 ml/L. En este trabajo, la ZOM se considera con concentraciones menores a 1 ml/L.

La formación de las ZOM depende de la zona geográfica, de los procesos locales, regionales o globales. No obstante Rogers (1999) basado en Wyrski (1962), propone que su creación se debe a una lenta o nula circulación y/o a una alta productividad del área.

Por ejemplo, Sen Gupta y Machain-Castillo (1993) mencionan que en el caso de los fiordos de latitudes altas se forman verdaderas barreras entre el agua superficial menos densa y las masas de agua profundas, lo que impide un intercambio de O₂ entre ellas; si a esto le sumamos el consumo bioquímico que se realiza en el lugar, se terminará con el oxígeno disponible de la capa de agua profunda.

Por su parte, Bernhard y Sen Gupta (1999) señalan que en las desembocaduras de ríos de gran caudal como el Río Mississippi, la descarga estacional de grandes cantidades de agua dulce forma una capa superficial menos densa que impide el intercambio gaseoso con el agua profunda.

Helly y Levin (2004) y Wilson (2007) sugieren que las ZOM están relacionadas a áreas de surgencia a lo largo de márgenes continentales, en donde el afloramiento de aguas subsuperficiales con altas cantidades de nutrientes induce una alta productividad biológica y un alto consumo por oxidación de la materia orgánica, disminuyendo la concentración de O₂ en la columna de agua por debajo de la capa superficial, sobre todo a la masa de agua intermedia.

A este último tipo de formación corresponde la región Pacífico Este que representa, de acuerdo con Kamykowski y Zentara (1990) y Helly y Levin (2004), aproximadamente el 31% de las ZOM del mundo; aunque estudios más recientes como el de Fuenzalida *et al.* (2009) documentan que constituye el 85.9% del área total de las ZOM's en el mundo con 27.89 10⁶ km², y el 76.7% del volumen con 10.71 10⁶ km³.

La ZOM del Pacífico Oriental se extiende desde el sur de Canadá hasta Perú-Chile (Aranda da Silva, 2005), con variaciones en profundidad, intensidad y amplitud; siendo la ZOM de las costas del Pacífico Mexicano una de las más extensas en profundidad registrándose con un espesor de aproximadamente de 1000 m de acuerdo con

Fuenzalida *et al.* (2009) con un límite superior entre los 75 y 100 m de profundidad (Pérez-Cruz y Machain-Castillo, 1990).

Para muchos organismos, la ZOM representa un lugar de estrés biológico, debido a que no pueden tolerar las condiciones extremas que se presentan; sin embargo, existen otros organismos como los foraminíferos bentónicos, que ante este ambiente, han desarrollado adaptaciones en su metabolismo y morfología, lo que les permite habitarlo (Kennett, 1982).

Las adaptaciones pueden ser, según Phleger (1964) y Bernhard (1986), una disminución de talla debido a su reproducción temprana favorecida en algunos casos por el abundante alimento en el ambiente. De acuerdo con Pérez-Cruz y Machain-Castillo (1990), una pared calcárea delgada y parcial o completamente transparente; además de una gran cantidad de poros de mayor tamaño en la testa que optimizan el consumo del oxígeno.

Por otro lado, Bernhard y Sen Gupta (1999) sugieren que poblacionalmente se observan abundancias altas, esto, debido a la baja predación y a la mínima competencia que existe. Asimismo, Sen Gupta y Machain-Castillo (1993), Gooday (1996), Von Rad *et al.* (1995) Helly y Levin (2004), Wilson, (2007), plantean una reducida diversidad debido a que sólo un pequeño número de especies puede tolerar dichas condiciones.

Los géneros de foraminíferos bentónicos asociados a estas áreas son *Bolivina*, *Cassidulina*, *Epistominella*, *Globobulimina*, *Pseudoparrella*, *Uvigerina* y *Suggrunda* (Phleger y Soutar, 1973; Quintero y Gardner, 1987; Bernhard, 1989; Pérez-Cruz y Machain-Castillo, 1990; Kennett y Imgram, 1995; Bernhard y Sen Gupta, 1999).

Cambios climáticos: Último Máximo Glacial (UMG) al Reciente

Las condiciones climáticas del pasado han sido muy diferentes de las actuales, según lo reportan diversas investigaciones geológicas. De acuerdo con Ruddiman (2001) estas condiciones climáticas tanto regionales como globales son determinadas principalmente por cinco subsistemas -atmósfera, hidrósfera, litósfera, biósfera y criósfera- mismas que al interaccionar dan como resultado características diversas en diferentes tiempos. Además, estos cinco componentes experimentan variaciones provocadas por cambios en la órbita de la Tierra y oscilaciones en la cantidad de radiación solar. Actualmente, se adicionan las actividades antropogénicas para casos específicos (Fig. 4).

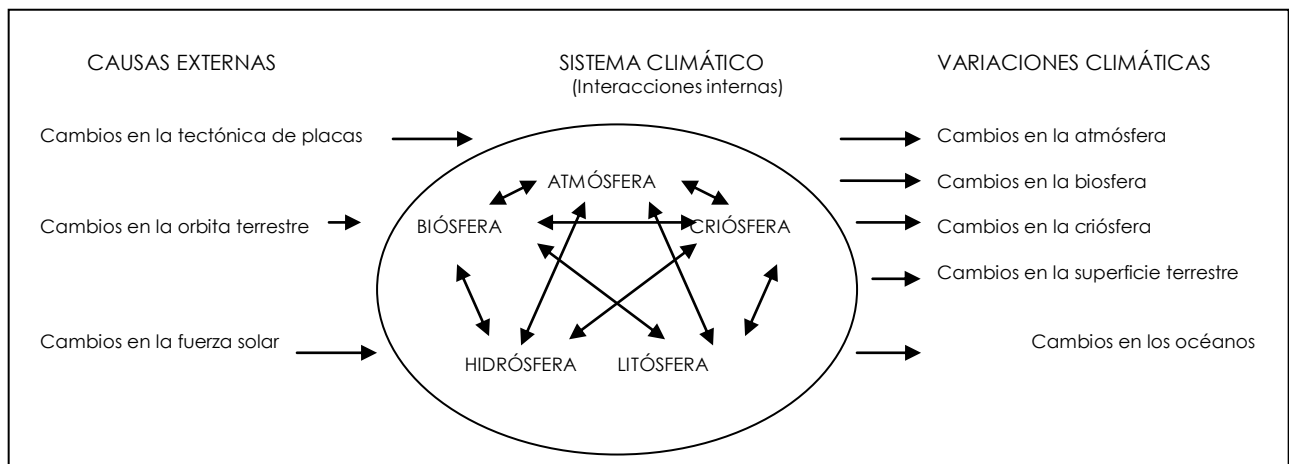


Figura 4. Esquema del sistema climático terrestre, sus componentes, interacciones entre ellos, factores que los modifican y posibles variaciones climáticas (Tomada de Ruddiman, 2001).

Estudios de alta resolución llevados a cabo por diferentes organizaciones como CLIMAP (Climate: Long-range Investigation Mapping and Prediction, 1976, 1981 y 1984) en la parte marina, COHMAP (Cooperative Holocene Mapping Project, 1988) en la parte terrestre, y otros como SPECMAP (Spectral Mapping Project), suministran evidencias que indican que a lo largo de la historia de nuestro planeta han ocurrido numerosos cambios climáticos a diferentes escalas, generando nuevos conceptos e hipótesis acerca de dichos eventos. Uno de ellos, trata sobre el punto más frío de la última glaciación llamado, el Último Máximo Glacial (UMG).

El Último Máximo Glacial es un intervalo comprendido entre hace aproximadamente 23,000 y 18,000 años de acuerdo con Crowley y North (1991), donde su auge de acuerdo con Ruddiman (2001), Siegert (2001) y Kucera *et al.* (2005), se presentó a los 21,000 años.

De acuerdo con modelos de reconstrucción paleoclimática de CLIMAP (1981), COHMAP (1988), Crowley y North (1991), Felzer *et al.* (1998) y Ruddiman (2001), este evento se caracterizó porque gran parte de la superficie terrestre, es decir, aproximadamente el 30% del Hemisferio Norte al que correspondieron 35 millones de km², estaban cubiertos de hielo, presentándose sobre ellos, casquetes -Laurentida en Norteamérica y Fennoscandia en Europa- de hasta 4 km de espesor.

La presencia de estos casquetes provocó cambios en el nivel del mar y su temperatura, sobre todo las temperaturas superficiales (Sea Surface Temperature ó SST), albedo y en general en la circulación océano-atmosférica, además de cambios en la concentración de gases invernadero -reducción de CO₂, CH₄, entre otros- (Bradley, 1985, 1999; COHMAP, 1988; Crowley y North, 1991; Cronin, 1999); y consecuentemente variaciones en los climas regionales, en su vegetación y fauna (Rind, 1987).

Respecto al nivel del mar, CLIMAP (1976) sugiere que durante el UMG se presentó una disminución global del océano de entre 75 y 90 m. Por su parte, Boumaggard *et al.* (1998) afirman que en el Golfo de Tehuantepec, en dos provincias fisiográficas, la Noroccidental y la Sudoriental, el descenso fue de entre 120 y 130 m, resultando de ello, que grandes extensiones actualmente cubiertas por las aguas marinas, fueran entonces tierra firme. Arellano-Torres (2003) sugiere que las tierras emergidas en el Istmo de Tehuantepec, presentaron en el UMG una extensión aproximada de 350 km superior a los 220 km que se registran en la actualidad.

En relación a las SST, CLIMAP (1976, 1981) determinó con base en el análisis micropaleontológico de 247 muestras alrededor del mundo, que la temperatura global disminuyó aproximadamente entre 1.6 y 2.3 °C, lo cual fue posteriormente confirmado en los trabajos de Rind y Peteet (1985) y Crowley y North (1991); mientras que la SST de los océanos tropicales se redujo entre 1 y 3 °C (Cronin 1999; Deckker *et al.*, 2000). Feldberg y Mix (2002) analizaron las paleotemperaturas superficiales basados en asociaciones de foraminíferos planctónicos del Pacífico Oriental en el Ecuador, concluyendo que en el UMG la temperatura tenía de 3 a 5 °C menos que en la actualidad (Fig. 5).

Asimismo, modelos tanto de CLIMAP (1976, 1981) como de COHMAP (1988) y trabajos como el de Kutzbach *et al.* (1993), mencionan que la presencia y topografía del casquete polar de Laurentida sobre Norteamérica, además del enfriamiento en la tropósfera, ocasionó cambios en la posición, intensidad y velocidad de la corriente de chorro subpolar Norteamericana (*jet stream*), que es una banda estrecha de vientos de alta velocidad que influye en el clima regional. Específicamente la circulación atmosférica obtenida por COHMAP (1988), sugiere que el *jet stream* no sólo cambio de posición geográfica, sino que se bifurcó, provocando que una parte tomara dirección hacia el Sur de Estados Unidos y la otra se siguiera a lo largo del límite Norte de la capa de hielo (Fig. 6).

De acuerdo con Arellano-Torres (2003) dichos cambios pudieron haber provocado que las masas de aire frío de invierno que se desprenden del frente polar, no fueran tan intensas y no descargaran directamente hacia el centro del Golfo de México y posteriormente hacia el Golfo de Tehuantepec como acontece en la actualidad.

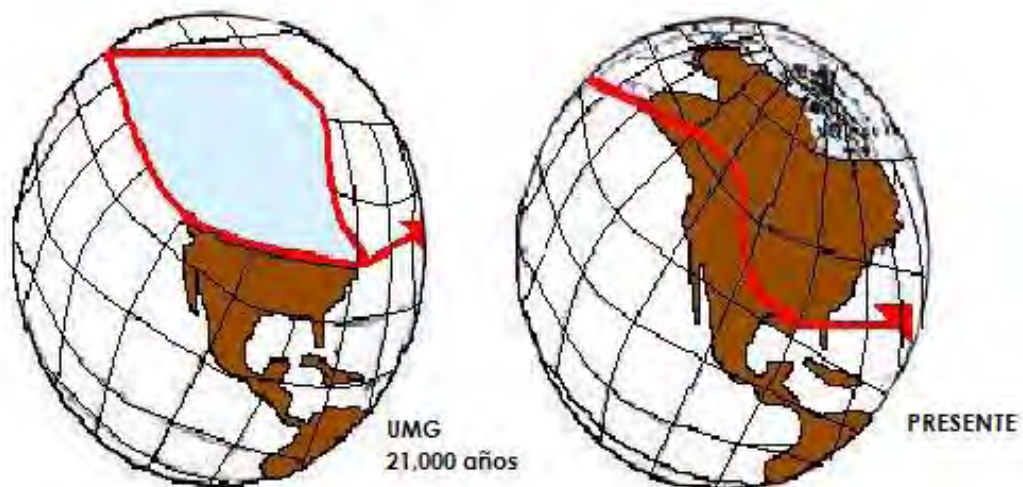


Figura 6. Modificaciones en el patrón de circulación atmosférica y la surgencia (Modificada de Ganeshram y Pedersen, 1998).

Aunque no todos los modelos paleoclimáticos apoyan este escenario como los de Wu y Peltier (1983), las evidencias de los sedimentos marinos encontrados en el margen occidental mexicano cerca de Mazatlán, Sinaloa, son consistentes con los cambios en la circulación atmosférica arriba descritos (Ganeshram y Pedersen, 1998).

Otro de los lapsos estudiados ha sido la transición Pleistoceno-Holoceno donde se ubican eventos como el Oldest Dryas (~17,700) (Cronin, 1999), el Younger Dryas (~12,500-11,000) (Broecker *et al.*, 1988; Keigwin y Boyle, 2000), y el Preboreal (~11,300-11,150) (Bjorck *et al.*, 1997) que son periodos fríos caracterizados por enfriamiento polar y aridez tropical. El Younger Dryas distinguido especialmente por la reducción del sistema de circulación termohalina y cambios en la estructura de la columna de agua, sobre todo en el Atlántico Norte.

Lo anterior como consecuencia de que las grandes descargas de agua dulce provenientes del deshielo de los casquetes polares fueran a través del Río San Lorenzo en vez del Río Mississippi. Estas descargas provocaron una brusca dulcificación de las aguas superficiales, una disminución de la salinidad y la imposibilidad de que las masas de agua se hundieran en el Mar de Labrador y el Mar de Groenlandia sino a menores latitudes; causando un debilitamiento de la formación de aguas profundas y una dificultad de las aguas cálidas para alcanzar latitudes altas, sometiendo a Europa de nuevo a un periodo frío. (McCave *et al.*, 1995; Alley, 2000; Fischer *et al.*, 2003)

Y eventos como el Bolling-Allerod (~14,700-12,900) que son periodos cálidos identificados por el incremento de gases invernadero, el aumento en la temperatura general y el deshielo de los casquetes polares, además del establecimiento vigoroso de la formación de aguas profundas en el Atlántico Norte (Zheng *et al.*, 2000; Clark *et al.*, 2001).

Del Holoceno podemos decir, que comenzó hace aproximadamente 10,000 años y continúa hasta el presente; se caracteriza porque a diferencia del Pleistoceno, en este intervalo aumentaron las temperaturas considerándose así, una época cálida identificada por ser un periodo interglacial (Cronin, 1999).

Actualmente, algunos autores como Denton y Kárlen (1973), Mayewski *et al.* (1981, 2004), O'Brien *et al.* (1995) y Bond *et al.* (1997), advierten con base al análisis de núcleos de hielo, sedimentos marinos y lacustres, que en esa época dominaron los eventos climáticos a escala milenaria, reconociendo periodos tanto interstadiales, es decir, periodos cálidos como es el caso del Optimo Cálido Medieval (~1000 a 1300 A.D.) propiciado por el incremento de gases invernadero y el aumento de la actividad solar (Hughes y Díaz, 1994; Crowley y North, 1991; Cronin, 1999; Crowley y Lowery, 2000); como periodos estadiales o fríos como fue la Pequeña Era del Hielo (~1400 a 1900 A. D.) en donde el Hemisferio Norte en general registró un enfriamiento de aproximadamente 1.7°C ocasionado por una disminución de la actividad solar (Grove, 1988, 2004; Ruddiman, 2001; Labeyrie *et al.*, 2003).

La revisión de aproximadamente 50 registros paleoclimáticos distribuidos globalmente, ha revelado la existencia de seis periodos significativos de rápido cambio climático durante el Holoceno entre 9000 y 8000, 6000 y 5000, 4200 y 3800, 3500 y 2500, 1200 y 1000 y por último entre 600 y 150 años (Mayewski *et al.*, 2004; Pérez-Cruz, 2006).

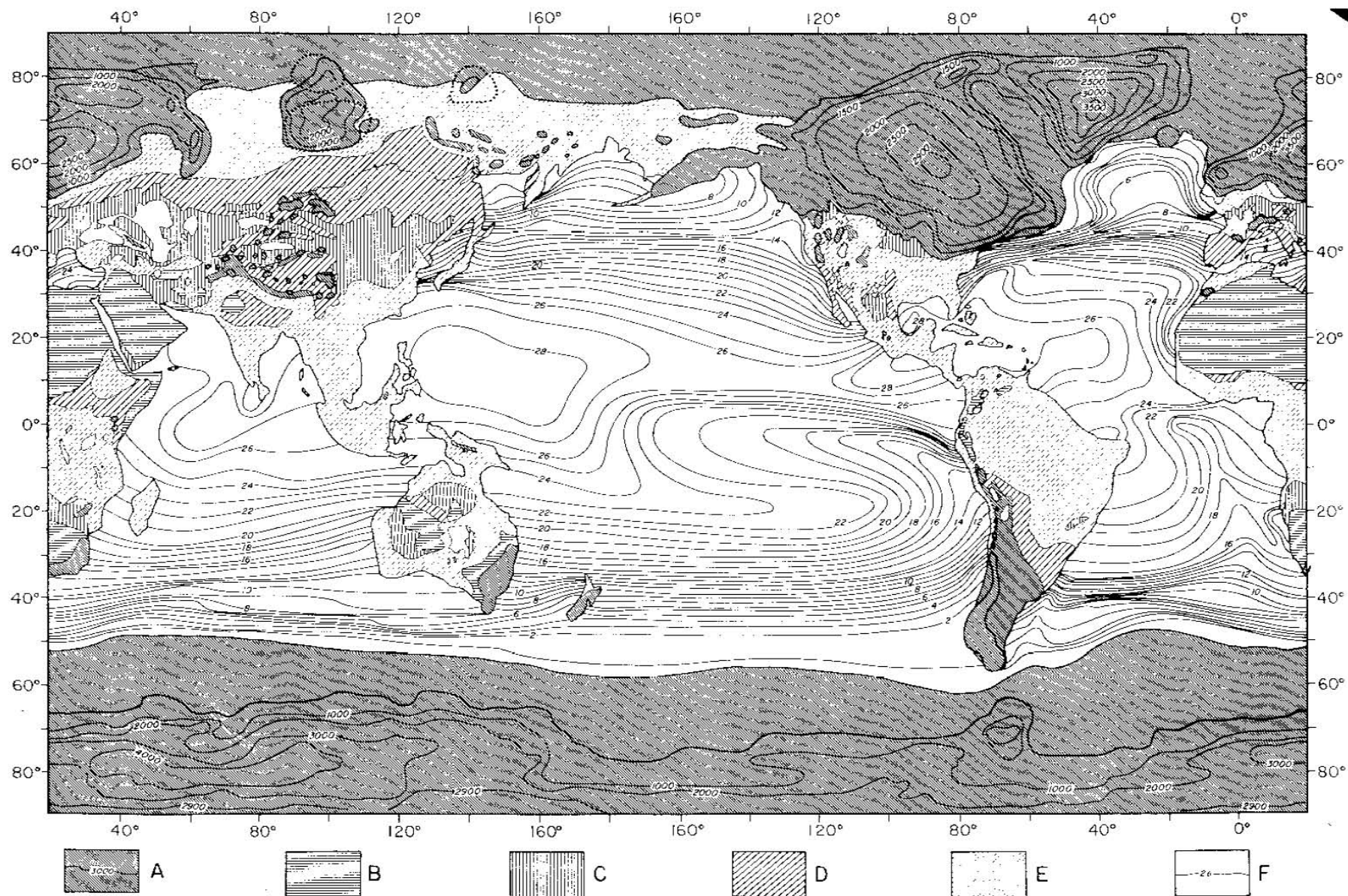


Figura 5. Reconstrucción de temperaturas superficiales o SST, elevaciones de los casquetes y albedo de hace 18.000 años de acuerdo con CLIMAP (1976). A) casquetes, hielo y nieve; albedo de 40%; isóneas de los casquetes en metros sobre del nivel del mar. B) zonas áridas, desiertos, bosques de coníferas; albedo de 30 a 39%. C) estepas y semidesiertos; albedo entre 25 a 29%. D) sabanas; albedo entre 20 y 24%. E) zonas boscosas albedo menor a 20%. F) océanos y lagos con isóneas de SST en °C; albedo por debajo de 10% (Tomada de CLIMAP, 1976).

Antecedentes

A partir del primer trabajo de Bandy (1953) sobre la ecología de los foraminíferos bentónicos, los estudios de esta naturaleza se han multiplicado, dando lugar a diferentes aproximaciones conceptuales a lo largo del tiempo. En un primer momento se relacionó la distribución de estos organismos con la batimetría (Phleger, 1964) o con el clima (Boltovskoy y Wright, 1976). Con ello se consiguió definir asociaciones características de intervalos batimétricos muy amplios o bioprovincias muy extensas, que son escasamente resolutivas para estudios de detalle.

En los últimos años, se han adicionado otros factores considerados más relevantes para explicar la composición, abundancia y distribución de los foraminíferos bentónicos y sus asociaciones, estos son la concentración de oxígeno disuelto principalmente y la disponibilidad de alimento. Por lo que a continuación se presentan algunos de los estudios efectuados en la región del Pacífico Este, desde la Cuenca de California hasta la Trinchera de Perú-Chile, que muestran la relación de foraminíferos bentónicos con diferentes concentraciones de O₂ y la Zona de Oxígeno Mínimo (Tabla 1.).

Tabla 1. Asociaciones de foraminíferos bentónicos de ZOM del Pacífico Este (Modificada de Sen Gupta y Machain-Castillo, 1993).

Área (referencia)	Profundidad (m)	O ₂ (ml/L)	Especies dominantes o características
Río Ruso, California (1)	500 – 1000	0.5	<i>Epistominella pacifica</i> , <i>E. smithi</i> , <i>Bolivina argétea</i> , <i>B. spissa</i> , <i>Bulimina spicata</i> , <i>Buliminella tenuata</i> , <i>Globobulimina</i> spp.
Point Sur, California (2)	700 – 750	<0.3	<i>Bolivina argétea</i> , <i>B. spissa</i>
	<750	>0.3	<i>Cassidulina</i> spp.
Cuenca de Santa Bárbara, California (3)	900 – 1150	0.4 – 0.6	<i>Gyroidina</i> spp.
	550 – 589	<0.1	<i>Suggrunda eckisi</i> , <i>Bolivina seminuda</i> , <i>B. advena</i> , <i>Cassidulinoides cornuta</i> , <i>Buliminella exilis tenuata</i>
Cuenca de Santa Bárbara, California (4)	500 – 600	0.1	<i>Globobulimina hoeglundi</i> , <i>Suggrunda eckisi</i> , <i>Bolivina seminuda</i> , <i>Nonionella stella</i> , <i>Textularia</i> sp.
Borde de California (5)	500 – 1600	<0.3	<i>Bolivina argétea</i> , <i>Buliminella tenuata</i> , <i>Cassidulinoides cornuta</i> , <i>Cassidulina delicata</i> , <i>Epistominella smithi</i> , <i>Uvigerina peregrina</i>
Borde de California (6)	a) 85 – 450	0.5 – 3.0	<i>Epistominella sandiegoensis</i> , <i>Uvigerina juncea</i> , <i>U. excellens</i> , <i>Globobulimina pacifica</i> , <i>Suggrunda eckisi</i> , <i>Alliatina primitiva</i>
	b) 400 – 950	0.1 – 0.3	<i>Bolivina argétea</i> , <i>Loxostomum pseudobeyrichi</i> , <i>Epistominella smithi</i> ,
	c) 550 – 950	0.1 - 0.8	<i>Fursenkonia</i> spp., <i>Cassidulinoides cornuta</i> , <i>Textularia earlandi</i> , <i>Buliminella tenuata</i>
	d) 300 – 1900	0.3 – 1.1	<i>Bolivina spissa</i> , <i>Cassidulina delicata</i> , <i>C. subcarinata</i> , <i>Epistominella smithi</i> , <i>Uvigerina curtica</i> , <i>Eilohedra levicula</i>
	e) 1200 – 1900	0.3 – 0.5	<i>Fursenkonia apertura</i> , <i>Cassidulina cornuta</i> , <i>Loxostomum pseudobeyrichi</i> , <i>Buliminella tenuata</i> , <i>Bolivina pacifica</i> , <i>Chistominella ovoidea</i>

Golfo de California (7)	440 – 980	<0.2	<i>Bolivina subadvena</i>
Baja California (4)	a) 75 – 200	<0.1	<i>Bolivina</i> spp., <i>Uvigerina</i> spp., <i>Bulimina</i> spp.
	b) 530	0.1	<i>Bolivina seminuda</i> , <i>Reophax gracilis</i>
Sinaloa plataforma y talud (8)	a) 720 – 1150	0.3 – 0.8	<i>Cassidulina cushmani</i> , <i>Bolivina minuta</i> , <i>Epistominella smithi</i>
	b) 150 – 187	0.3 – 0.4	<i>Epistominella bradyana</i> , <i>Bolivina seminuda</i> y <i>Bolivina plicata</i>
	c) 1281 – 1795	0.1 – 1.8	<i>Epistominella smithi</i> , <i>Uvigerina excellens</i> , <i>Uvigerina hispida</i>
	d) 500 – 640	0.1 – 0.4	<i>Bulliminella curta</i> , <i>Epistominella bradyana</i> , <i>Epistominella obesa</i>
Golfo de Tehuantepec, México (9)	<200	<0.3	<i>Bolivina</i> sp, <i>Bucella</i> sp, <i>Cassidulina corbyi</i>
Golfo de Tehuantepec, México (10)	a) 100 – 150	0.3 – 0.5	<i>Hanzawaia nitidula</i> , <i>Cassidulina</i> sp.
El Salvador (11)	b) 150 - 200	<0.3	<i>Bolivina plicata</i> , <i>Bolivina seminuda</i> , <i>Epistominella bradyana</i>
	a) 130 – 400	<0.3	<i>Bolivina</i> spp., <i>Uvigerina inclis</i> , <i>Angulogerina semitrigona</i> , <i>Epistominella bradyana</i> , <i>Pullenia salisburyi</i> , <i>Cassidulina laevigata</i>
	b) 400 – 1600	0.3 – 0.4	<i>Uvigerina excellens</i> , <i>Loxostomum pseudobeyrichi</i> , <i>Cassidulina tumida</i> , <i>Gyroidina multilocula</i> , <i>G. nitidula</i> , <i>Epistominella obesa</i>
Golfo de Panamá (12)	800 – 1600	0.6 – 2.0	<i>Epistominella sandiegoensis</i> , <i>Bolivina minuta</i> , <i>Cassidulina delicata</i> , <i>Uvigerina auberiana</i> , <i>Epistominella smithi</i> , <i>Uvigerina excellens</i> , <i>Eponides leviculus</i> .
Perú (13)	a) 30 – 150	<1.0	<i>Bolivina costata</i> , <i>B. seminuda humilis</i>
	b) 150 – 500	<1.0	<i>B. seminuda humilis</i> , <i>Epistominella bradyana</i> , <i>Bolivina plicata</i> , <i>Uvigerina striata</i>
Callao, Perú (4)	180	½ (bajo)	<i>Bolivina</i> spp. cf. <i>B. pacifica</i>
Bahía de Salaverry, Perú (14)	252	0.2	<i>Bolivina seminuda</i>
Trinchera Perú-Chile (15)	a) 190 – 200	<1.0	<i>Bolivina rankini</i> , <i>Bolivina interjuncta</i>
	b) 274	<1.0	<i>Trifarina angulosa</i> , <i>Uvigerina peregrina</i> , <i>Bolivina interjuncta</i>
	c) 900 - 1700	<3.0	<i>Bolivina spissa</i> , <i>Uvigerina peregrina</i> , <i>Epistominella exigua</i> , <i>Eilohedra levicula</i> , <i>Uvigerina auberiana</i> , <i>Bulimina striata</i> , <i>Cibicides mckannai</i>
Revisión de artículos por Kaiho (16)	--	0.3 – 1.5	<i>Fissurina</i> spp., <i>Gyroidina</i> spp., <i>Gyroidinoides</i> spp., <i>Cassidulina</i> spp., <i>Lagena</i> spp., <i>Melonis</i> spp., <i>Nonion</i> spp., <i>Uvigerina</i> spp.
		0.1 – 0.3	<i>Bolivina</i> spp, <i>Bolivina descussata</i> , <i>Bolivina interjuncta</i> , <i>Bolivina seminuda</i> , <i>Suggrunda eckisi</i>

Referencias: 1) Quintero y Gardner (1987); 2) Mullins *et al.* (1985); 3) Harman (1964); 4) Phleger y Soutar (1973); 5) Blake (1976); 6) Douglas y Heitman (1979); 7) Streeter (1972); 8) Rangel Balmaceda (2004); 9) Pérez-Cruz (1989); 10) Pérez-Cruz y Machain-Castillo (1990); 11) Smith (1964); 12) Golik y Phleger (1977); 13) Resig (1981); 14) Oberhansli *et al.* (1990); 15) Ingle *et al.* (1980); 16) Kaiho (1994, 1999).

Asimismo, Bandy (1961) en su estudio de la distribución de foraminíferos, radiolarios y diatomeas en sedimentos del Golfo de California, señaló la presencia de ocho faunas o biofacies que caracterizan la zona; estas faunas se dividieron en fauna de zona lagunar, fauna de zona intermareal, plataforma interna, plataforma externa, talud superior, talud medio superior, talud medio inferior y talud inferior. Además, observó que el rápido cambio de faunas se llevaba a cabo con mucho más frecuencia en la plataforma continental que en el talud, lo cual correlacionó con el descenso brusco de la temperatura de 34 a 12°C y el contenido de O₂ de 5 ml/L en la superficie a menos de 1ml/L a profundidades mayores de 100 m, estableciendo una ZOM de 150 a 400 m.

En cuanto a los foraminíferos bentónicos registró entre otros a *Bolivina interjuncta* y *Epistominella bradyana* en la plataforma externa a una temperatura de entre 12 y 14°C y con una concentración de O₂ de 0.01 a 2 ml/L; a *Bolivina plicata*, *Bolivina seminuda* y *Uvigerina excellens* en el talud superior a temperaturas de entre 6 y 14°C y de 0.01 a 0.8 ml/L de O₂; y a *Gyroidina soldanii* en el talud inferior entre 0 y 2°C y 1.5 ml/L de oxígeno disuelto.

Phleger y Soutar (1973) mencionaron que el límite superior de la ZOM enfrente de las costas de Baja California se encuentra entre los 75 y 100 m de profundidad con una concentración menor a 0.1 ml/L de O₂, mientras que en América Central se localizó entre los 75 y 200 m; señalando que la profundidad depende de la dinámica oceanográfica del área. En ambos casos, sugirieron que la ZOM es generada por las surgencias y la alta productividad.

Ingle *et al.* (1980) refirieron la existencia de dos ZOM's entre Perú y Chile, la primera registrada entre los 150 y 400 m de profundidad, con una concentración de O₂ menor a 1ml/L, y la segunda entre los 900 y 1700 m de profundidad con menos de 3 ml/L. Mencionando también, la presencia de la asociación *B. rankini* y *B. interjuncta* entre 190 y 200 m; *Trifarina angulosa*, *Uvigerina peregrina* y *Bolivina interjuncta* a 274m; y *Bolivina spissa*, *Uvigerina peregrina*, *Epistominella exigua*, *Eilohedra levicula*, *Uvigerina auberiana*, *Bulimina striata* y *Cibicides mckannai* dominando la asociación entre los 900 y 1700 m de profundidad.

Resig (1990) propuso que en los márgenes de Perú, la ZOM se encuentra entre los 100 y los 900 m de profundidad, y con concentraciones menores a 0.2 ml/L de O₂.

Keigwin y Jones (1990) a partir de la composición isotópica del oxígeno y carbono preservados en los foraminíferos bentónicos reconstruyeron la variabilidad de las aguas intermedias en la Cuenca de Guaymas; y observaron que los valores más altos de oxígeno coincidían con el UMG y con el Younger Dryas e interpretaron esta variabilidad isotópica como un reflejo de los cambios en la temperatura y salinidad de las aguas intermedias del Golfo de California.

Kennett e Ingram (1995) al realizar su estudio de foraminíferos bentónicos y planctónicos en la Cuenca de Santa Bárbara, sugirieron que los géneros *Epistominella*, *Nonionellina*, *Nonionella* y *Cassidulina* son los que mayormente constituyen asociaciones del UMG denotando ambientes relativamente oxigenados; mientras que los géneros *Bolivina*, *Globobulimina* y *Suggrunda* componen asociaciones del Holoceno indicando ambientes con bajo O₂.

Bernhard *et al.* (1997) reportaron que la progresión específica de foraminíferos bentónicos en el margen continental de la Cuenca de Santa Bárbara, en concentraciones bajas desde 0.02 a 0.5 ml/L de O₂, se constituyó de *Nonionella stella*, *Spiroplectammina earlandi*, *Chilostomella ovoidea*, *Buliminella tenuata*, *Bolivina seminuda*, *Trochammina pacifica*, *Bolivina argétea*, *Loxostomum pseudobeyrichi*, *Suggrunda eckisi* y *Uvigerina juncea*. Asimismo, mencionaron que encontraron mayores abundancias de estos organismos en las menores concentraciones de O₂. Por otro lado, señalaron que las diferentes especies del género *Bolivina* tienen diferentes requerimientos de O₂, por ejemplo *B. argétea* se encuentra en ambientes más oxigenados que *B. seminuda*, refiriendo a esta última como una de las especies más tolerantes a bajas concentraciones de O₂. Además indicaron que las especies del género *Uvigerina* son consideradas como un indicador de altas concentraciones de materia orgánica bajo condiciones disóxicas pero no severas.

Cannariato *et al.* (1999) propusieron tres asociaciones para la Cuenca de Santa Bárbara, la primera establecida por especies de los géneros *Bolivina*, *Buliminella* y *Globobulimina*, y pertenecientes a ambientes disóxicos (0.1 a 0.3 ml/L) que se relacionaron a la época del Holoceno y sedimentos laminados. La segunda asociación definida por especies de los géneros *Cassidulina*, *Nonionella*, *Oridorsalis* y *Uvigerina* corresponde a ambientes subóxicos (0.3 a 1.5 ml/L). Y la tercera asociación determinada por especies de los géneros *Epistominella*, *Nonionella* y *Rutherfordoides* sugiere ambientes óxicos (>1.5 ml/L) relacionados con eventos como el Younger Dryas y el UMG.

Páez *et al.* (2001) indicaron que la distribución de los foraminíferos bentónicos en la Bahía Mejillones al Sur de Chile (23°), está relacionada directamente con el contenido de O₂ en

agua de fondo; mostrando que *Bolivina seminuda* tuvo una notable adaptación a ambientes con concentraciones de 0.01 ml/L, mientras que *Bulliminella elegantissima* se presentó en mayor abundancia en zonas con concentraciones de 0.5 ml/L; en tanto que *Nonionella stella* y *Bolivina costata* se encontraron en ambos ambientes.

Thunell y Kepple (2004) sugirieron con base a los resultados de $\delta^{15}\text{N}$ y de otros marcadores geoquímicos, que la ZOM se extiende de aproximadamente los 300 hasta los 800 m; no obstante, mencionaron que concentraciones menores a 1ml/L de O_2 se presentaron desde los 100 hasta los 1200 m de profundidad. Asimismo, propusieron para el Holoceno, bajas concentraciones de oxígeno disuelto con una ZOM bien marcada reflejada también por la presencia de sedimentos laminados; y para el UMG plantearon condiciones de mayor oxigenación en el agua de fondo en donde los sedimentos presentan bioturbación.

Douglas y Staines-Urias (2007) evaluaron los efectos de la variabilidad morfológica en la geoquímica de la testa ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ y Mg/Ca) en diferentes especies del género *Bolivina* en el Golfo de California, México. Los autores mencionaron que las 3 especies analizadas (*B. argentea*, *B. interjuncta bicostata* y *B. subadvena*) viven a profundidades de entre 140 y 1000 m, y en temperaturas de entre 5 y 16°C. Sugirieron también, que las formas microesféricas de cada una de las especies, son las más abundantes en la ZOM a concentraciones menores de 0.2 ml/L, debido a que son más resistentes a la disolución y por lo tanto se preservan de una mejor manera. Asimismo, mencionaron que la mayor cantidad de formas megalosféricas, producto de la reproducción asexual se registró después de grandes pulsos de productividad debido al mayor requerimiento energético utilizado por los organismos en esta fase.

Respecto al Golfo de Tehuantepec, se han realizado varias investigaciones sobre las variaciones de la ZOM y las asociaciones de FB desde el reciente hasta el UMG, reportando los siguientes resultados:

Pérez-Cruz (1989) y Pérez-Cruz y Machain-Castillo (1990), a partir de 48 muestras superficiales de entre 100 y 200 m localizadas dentro la plataforma continental, señalaron que el límite superior de la ZOM se presenta aproximadamente entre los 75 y 100 m de profundidad con concentraciones de oxígeno disuelto menores de 0.5 ml/L. Refirieron también, que las poblaciones totales localizadas en estas áreas se caracterizaron por una talla más pequeña de lo normal y una testa muy porosa, siendo los géneros dominantes *Bolivina*, *Cassidulina*, *Epistominella* y *Hanzawaia*. Específicamente describieron con base en análisis de factores que *Hanzawaia nitidula* y *Cassidulina* sp. A. dominaron en la plataforma media de 100 a 150 m de profundidad, donde el agua de fondo presenta concentraciones entre 0.5 a 0.3 ml/L de O₂, mientras que *Bolivina seminuda*, *Bolivina plicata* y *Epistominella bradyana* dominaron en la plataforma externa de 150 a 200 m donde se presentaron concentraciones menores a 0.3 ml/L en el agua de fondo.

Machain-Castillo *et al.* (2002), señalaron que la fauna de foraminíferos bentónicos ha ido cambiando en el Golfo de Tehuantepec y destacaron que desde hace 21,000 años hasta el reciente, dominaron dos asociaciones, la primera caracterizada por los géneros *Epistominella* y *Gyroidina* ubicada en el UMG, que indica agua relativamente oxigenada y la segunda dominada por *Bolivina* spp., que se caracterizó por habitar aguas con condiciones disóxicas pertenecientes a la Deglaciación y el Holoceno. Asimismo, mencionaron que el empobrecimiento progresivo de las concentraciones de O₂ en el agua de fondo está relacionado con el fortalecimiento de las surgencias. De igual manera, indicaron la presencia de una ZOM en la actualidad con concentraciones menores a 0.5 ml/L de O₂ entre 100 y 1000 m de profundidad.

Cuesta-Castillo *et al.* (2004), analizaron las poblaciones de foraminíferos bentónicos en un núcleo colectado en la plataforma continental a 202 m; describiendo tres asociaciones de foraminíferos. La primera asociación caracterizada por la especie *Bolivina seminuda*, que indica concentraciones de O₂ cercanas a los 0.5 ml/L. La segunda asociación está

representada por *Bolivina subadvena*, la cual refiere en concentraciones mayores a 0.5 ml/L; y la tercera asociación determinada por especies del género *Pseudoparella* que indican concentraciones de O₂ mayores a 1 ml/L. La distribución estratigráfica de estas asociaciones sugiere que durante la Deglaciación y principios del Holoceno, el agua de fondo estaba mejor oxigenada que durante el resto del Holoceno donde las concentraciones de O₂ en el área son cercanas a 0.5 ml/L.

Machain-Castillo *et al.* (2006) indicaron que concentraciones menores a 1 ml/L de O₂ en el Golfo de Tehuantepec, se localizan entre 100 y 1200 m de profundidad. Asimismo mostraron que en sedimentos superficiales de estas zonas se presentan tres asociaciones de foraminíferos bentónicos con base en poblaciones vivas. La primera, dominada por *Bolivina seminuda*, la cual se distribuyó entre los 70 a 750 m de profundidad con concentraciones de O₂ menores a 1 ml/L. La segunda caracterizada por *Hanzawaia concentrica*, que se localizó en la parte interna de la plataforma donde las concentraciones de O₂ son mayores a 1 ml/L en agua de fondo. Y la tercera encontrada en las muestras recolectadas de 860 a 1200 m de profundidad, presentándose valores de 0.1 a 0.8 ml/L de O₂ y apareciendo *Pseudoparella bradyana* como especie principal.

Vásquez-Bedoya *et al.* (2008) en su estudio de dinoquistes y foraminíferos bentónicos en sedimentos costeros durante el último siglo, mencionaron que existe uniformidad en la diversidad y las asociaciones de foraminíferos bentónicos a lo largo del núcleo Tehua II-21 localizado a una profundidad de 66.7 m; resaltando que la especie dominante es *Hanzawaia concentrica* que constituye entre el 43 a 57% de la población, siguiéndole *Uvigerina excellens*, *Cancris spp.*, *Planulina ornata*, *Quinqueloculina lamarckiana*, *Epistominella sandiegoensis*, *Nonionella basispinata*, *Cassidulina modeloensis* y *Textularia foliacea* de 2 a 8%. Dicha asociación se presentó a lo largo de los 100 años que abarcó el núcleo, indicando que durante ese tiempo las condiciones de O₂ en el agua de fondo no han variado lo suficiente como para influir en los conjuntos de foraminíferos bentónicos.

Es importante mencionar también, los trabajos de foraminíferos planctónicos que se han realizado en el Golfo de Tehuantepec. Arellano-Torres (2001) efectuó una reconstrucción paleoceanográfica correspondiente al Cuaternario Tardío en un núcleo localizado a 240 m de profundidad. Las asociaciones obtenidas a partir del análisis de factores indicaron una secuencia de tres principales eventos. El primero definido por la dominancia de *Globigerina bulloides* que reflejó un incremento en la actividad de la surgencia, un aumento en la productividad y un mayor consumo de O₂. El segundo, caracterizado por *Globorrotalia menardii* y *Neogloboquadrina dutertrei* que mostró un aumento en la incidencia de las corrientes cálidas hacia el área de estudio, una disminución de las surgencias y un aumento en la cantidad de O₂. Y el último, evidenció un mayor aporte de sedimentos terrígenos.

Posteriormente, Arellano-Torres (2003) analizó el patrón de circulación superficial del Golfo de Tehuantepec durante los últimos 23,000 años, resultando que durante el UMG los vientos del norte, responsables de la producción de las surgencias en el Golfo, se debilitaron al punto de que las surgencias fueron prácticamente suspendidas durante este periodo; siendo por otro lado muy intensas durante el primer tercio de Holoceno y perdurando hasta el presente.

Por su parte Córdoba-Saldaña (2009) observó en el núcleo Pacmex I-7T (Pleistoceno-Holoceno) dos asociaciones de foraminíferos planctónicos. La primera representada por *Globigerina bulloides*, *Globigerinita glutinata* y *Globigerinoides ruber*, indicó una alta productividad relacionada con la presencia de surgencias. La segunda asociación definida por *Globorrotalia menardii*, *Neogloboquadrina dutertrei* y *Neogloboquadrina pachyderma* mostró una baja productividad resultado de la ausencia o reducción de las surgencias; además registró condiciones de termoclina estable y por lo tanto una columna de agua estratificada.

Asimismo, analizó el núcleo Tehua II-18 ubicado dentro del Holoceno con 4791 años. Las asociaciones resultantes de este, fueron por un lado *G. bulloides* y *G. ruber* y por otro *G. glutinata*. Ambas asociaciones revelaron la presencia de surgencias con diferentes grados de intensidad.

Área de estudio

El Golfo de Tehuantepec se localiza en la porción Suroeste de la República Mexicana, en la región tropical del Pacífico Oriental, colindando con los estados de Oaxaca y Chiapas. Sus coordenadas geográficas son 14°30' y 16°12' N y 92°00' al 96°00' W, abarcando un área superficial promedio de 125,000 km² y un radio de casi 200km (Secretaría de Marina, 1978). Es la frontera oceánica Sur de la Zona Económica Exclusiva de México (Fig. 7).

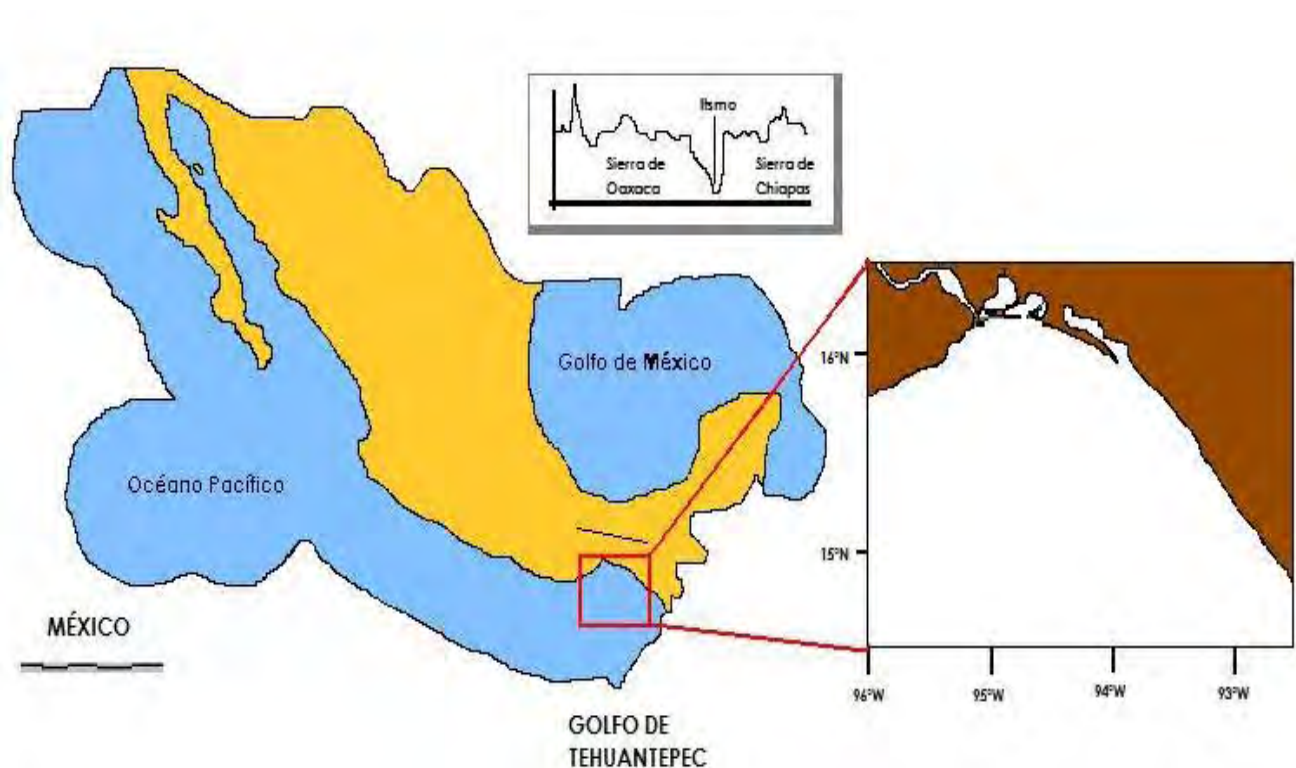


Figura 7. Ubicación geográfica del área de estudio.

Meteorología

La región de estudio muestra una dinámica muy activa, debido a la presencia de dos escenarios principales con base en la influencia de los vientos fríos y secos que provienen del Golfo de México -Alisios y de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT)- y tres centros de presión atmosférica -centro de alta presión del Pacífico Norte localizado a los 30°N, centro de baja presión Aleutiana y el centro de baja presión continental situado al

Suroeste de Norteamérica- que en conjunto, juegan un papel importante en la circulación superficial del Golfo (Lavin *et al.*, 1997; Trasviña, 2002).

Durante el invierno y principios de primavera, los vientos Alisios se intensifican al pasar por la región más baja de la Sierra Madre del Sur llamada "Paso Chivela o La Ventosa", teniendo según Lavin *et al.* (1997) una duración de tres a cinco días, y una velocidad que se incrementa hasta aproximadamente 30 m/s.

Estos vientos llamados "Tehuano", al entrar perpendicularmente a la costa, generan un desplazamiento del agua superficial hacia el Sur de hasta 500 km² y consecuentemente un ascenso de aguas subsuperficiales, lo que conduce a un decremento de 8°C en la temperatura superficial con respecto a las regiones circundantes (Barton *et al.*, 1993), resultando la creación de una zona de surgencias con una muy alta productividad.

Durante verano y otoño, el golfo está dominado por la proximidad de la ZCIT, dando lugar a vientos poco intensos que permiten que las aguas se estratifiquen y haya poca productividad biológica. En esta época también existe la influencia de ciclones tropicales que pasan esporádicamente por la región ocasionando desorganización en el patrón de vientos y en la circulación oceánica (Monreal y Salas, 1998).

Oceanografía geológica

Geológicamente, el Golfo de Tehuantepec se considera una región estructuralmente compleja, debido a que se ubica en los límites de una triple unión, donde convergen la Placa Norteamericana, la Placa de Cocos y la Placa del Caribe (Barrier *et al.*, 1998; Carranza-Edwards *et al.*, 1989) (Fig. 8).

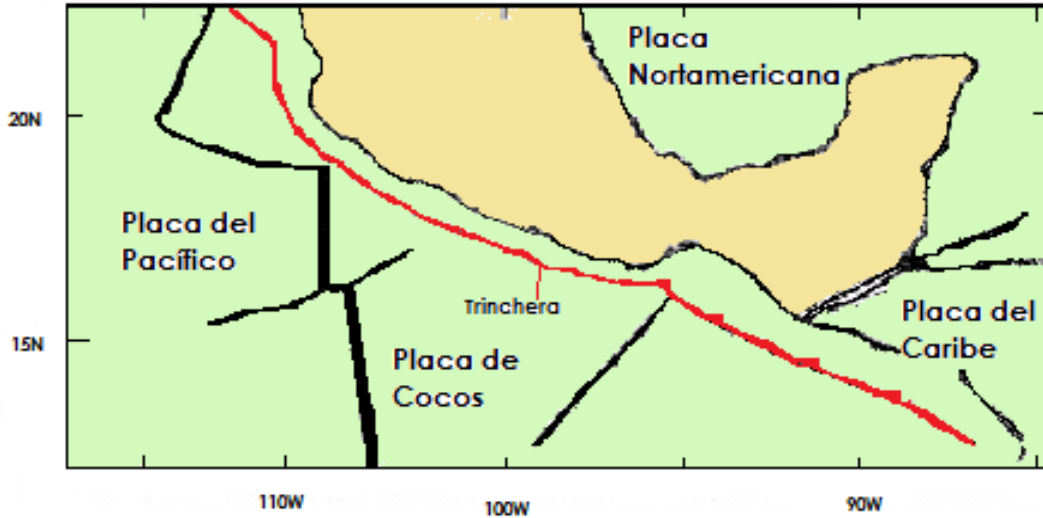


Figura 8. Placas tectónicas correspondientes al Golfo de Tehuantepec (Tomada de Carranza-Edwards *et al.*, 1998).

Su formación podríamos resumirla en tres pasos concretos, de acuerdo con Pedrazzini *et al.* (1982), quien describe primero un fracturamiento en la corteza, lo que causó el hundimiento de la cuenca, subsecuentemente nos habla de la subducción de la Placa de Cocos y el movimiento hacia el Este de la Placa del Caribe, con respecto a la de Norteamérica, y por último, de la presencia de un arco magmático que dio lugar a un sistema de arco-fosa.

Respecto a la batimetría, la Secretaría de Marina (1978) indica profundidades menores de 1800 m, advirtiendo que esta línea batimétrica pasa a una distancia de 19.31 km de la costa y atraviesa el Golfo con ondulaciones hasta llegar a aproximadamente 75.64 km mar adentro.

Lugo (1986) realizó una clasificación geomorfológica del área proponiendo 6 regiones: 1) zona de transición, la cual comprende de 0 a 18 m, en una pequeña franja a todo lo largo de la costa; 2) plataforma interna, que tiene profundidades de entre 18 y 45 m con 30 km de ancho en promedio; 3) plataforma media, que abarca profundidades de 45 a 100 m, siendo ésta una franja con una amplitud promedio de 20 km; 4) plataforma externa con profundidades típicamente reconocidas entre 100 y 250 m, con una anchura promedio de 5 km; 5) talud superior, con profundidades de aproximadamente 250 a 400

m, formando una planicie considerable en la región más interna del golfo y 6) talud continental, que se encuentra constante en amplitud de 25 a 50 km y con profundidades de 2500 a 3000 m.

Por otro lado, Carranza-Edwards *et al.* (1989), mencionan que la plataforma continental tiene aproximadamente 120 km de ancho con extensión radial aproximadamente de 200 km, y se caracteriza por ser amplia hacia la porción Oriental (hasta 50 km) y muy estrecha hacia la porción Occidental (4 a 6 km) ocasionada por la desviación que presenta la Trinchera Mesoamericana respecto al continente. Asimismo advierte que la pendiente es muy suave desde 0 a 70 m y a partir de allí, se hace más pronunciada.

Boumaggard, *et al.* (1998) realizaron un análisis morfoestructural en el Golfo de Tehuantepec y observaron 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) perteneciente a la Placa del Caribe.

La provincia NO, señalan los autores, pertenece al bloque continental de Oaxaca. Aquí la plataforma es muy estrecha, por lo que confirman lo dicho por Carranza-Edwards *et al.* (1989), y tiene una inclinación de entre 2 y 5°. El talud es abrupto (6° de inclinación) y está seccionado por numerosos cañones producto de los accidentes tectónicos. Mientras que la provincia SE que corresponde al bloque de la Sierra de Chiapas, está formado por varias provincias fisiográficas, entre ellas, la plataforma interna (0-75 m), una pendiente (75- 100 m) y la plataforma externa, ésta última caracterizada por la presencia de los Bancos Oaxaqueño y Chiapaneco (entre 100-170 m).

Sedimentológicamente de acuerdo con Carranza-Edwards (1987) y Morales de la Garza y Carranza-Edwards (1995), podemos afirmar que actualmente en la plataforma continental del Golfo predominan las arenas arcillosas en la región Este, mientras que en el Oeste y en zonas cercanas a lagunas marginales y desembocaduras de ríos, se distribuyen principalmente lodos o arcillas arenosas. Asimismo sugieren un importante aporte de sedimentos sobre todo de tipo biogénico, es decir, microfauna constituida

principalmente por foraminíferos planctónicos y bentónicos, así como micromoluscos, ostrácodos y briozoarios en la fracción gruesa (Fig. 9).

Asimismo, aseveran que el Golfo de Tehuantepec recibe una gran cantidad de sedimentos terrígenos en la plataforma continental, debido a que a lo largo de la costa se encuentran bahías como la Ventosa, Sacrificios y Huatulco y las Lagunas Superior e Inferior y del Mar Muerto y el Río Tehuantepec.

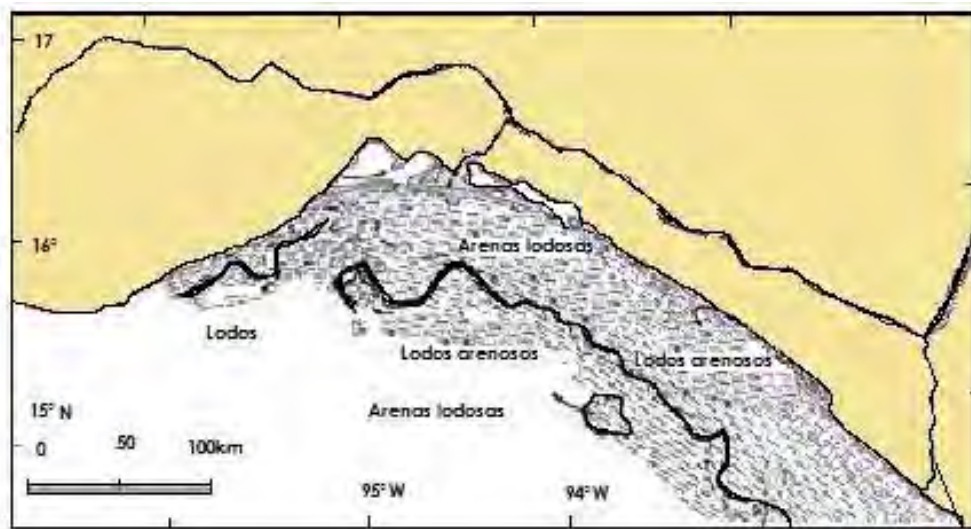


Figura 9. Distribución de sedimentos y porcentaje de carbonatos en el Golfo de Tehuantepec (Tomada de Carranza-Edwards, et al., 1998).

Arellano-Torres (2003) indica que al datar con ^{210}Pb el núcleo 10T localizado a 240 m en la región central del Golfo de Tehuantepec ($15^{\circ}27.22'\text{N}$, $94^{\circ}22.86'\text{O}$), la tasa de sedimentación fue de 0.51 ± 0.06 mm/año. Posteriormente este resultado se modificó al ubicarse en 0.1 mm/año con base en el análisis de ^{14}C . En el núcleo ME0005A-3JC colectado al Oeste del área de estudio ($15^{\circ}39.04'\text{N}$ y $95^{\circ}16.83'\text{O}$) a una profundidad de 740 m, los valores de ^{14}C sugieren una tasa de sedimentación de ~ 0.4 mm/año. Por otro lado, Vásquez-Bedoya et al. (2006) observó una amplia variación en la tasa de sedimentación (0.03-0.25 cm/año) y acumulación (0.5-0.33 cm/año) en el núcleo Tehua II-21 recuperado a 66.7 m.

Oceanografía física

-Parámetros físicoquímicos

La estructura térmica del Golfo de Tehuantepec de acuerdo con Hastenrath y Lamb (1977), De la Lanza (1991) y Monreal y Salas (1998), indican que las aguas superficiales (0 a 30m) durante verano y parte de otoño, están caracterizadas por temperaturas de aproximadamente 25 a 30°C; ésto debido a que la intensidad de los vientos es baja y la intensidad luminosa es mayor. Asimismo, reportan que por debajo de los 30 m, la temperatura decrece ligeramente hasta alcanzar una termoclina somera localizada alrededor de los 40 y 70 m de profundidad, donde se observa un decremento brusco y substancial, con valores hasta de 15°C. Durante invierno y primavera, se registra un descenso en las aguas superficiales presentándose valores de 12 a 22°C.

No obstante, mencionan que en estas dos últimas épocas (invierno y primavera) se advierte una distribución heterogénea en la temperatura superficial entre la zona Occidental, Centro y Oriental del golfo, ocasionada por el efecto de los vientos. Por ejemplo, en la zona Oeste donde se acumula el agua superficial, esta tiene una temperatura promedio de 18°C lo que ocasiona que se hunda la termoclina; en la zona Centro es de 12 a 18 °C; y en la zona Este, la termoclina es elevada hasta cerca de la superficie (Trasviña, 1991).

En cuanto a la salinidad, Blackburn *et al.* (1962) reportaron para el Golfo de Tehuantepec, intervalos de entre 33.0 y 33.73 en los primeros 20 m y para las aguas más profundas, por debajo de 200 m de 34.0 a 34.5; mientras que la Secretaría de Marina (1978) indicó que de los 0 a 50 m, los valores de salinidad varían entre 35.0 y 36.0 y por debajo de esta profundidad se observan valores más altos. De acuerdo con Vázquez-Gutiérrez *et al.* (1998) la salinidad superficial presenta valores máximos durante la época de mayo a julio con hasta 34.8, principalmente en la zona Oeste del golfo; y valores promedio más bajos se presentan de agosto a noviembre con un mínimo de 33.1. Asimismo, en esta misma zona (la Occidental), la distribución vertical se reporta con un máximo de 34.8 y un mínimo de 27.2.

Las concentraciones de O₂ en el área de estudio presentan valores de saturación, es decir entre 4.0 a 5.0 ml/L en la superficie. Este valor decrece rápidamente con la profundidad por lo que entre los 75 y 100 m existen concentraciones menores a 0.5 ml/L que se mantienen en la plataforma externa y el talud superior, donde se encuentra tanto la base de la capa de mezcla como el límite superior de la ZOM. En la plataforma continental las isolíneas de oxígeno son paralelas a la costa, salvo en las áreas de los bancos donde aumentan los valores, probablemente debido a la menor profundidad y a los cambios en la circulación del agua, causados por la geomorfología (Pérez-Cruz y Machain-Castillo, 1990)

- Masas de agua

De acuerdo con Wyrski (1966), De la Lanza (1991), Molina Cruz y Martínez López (1994) y Monreal y Salas (1998), se distinguen varias masas de agua en el área de estudio y estas son: 1) Agua Superficial Tropical, que es una capa somera de mezcla con un grosor de 20 a 50 m, caracterizada por una alta temperatura (~25°C) y baja salinidad (<34) debido a que la evaporación es mucho menor a la precipitación. Se ubica en la región ecuatorial y se introduce en el Golfo de Tehuantepec principalmente en verano y otoño a través de la Corriente Costera de Costa Rica. 2) Agua Superficial Subtropical, esta masa de agua es de alta salinidad (35-36) y temperatura muy variable (15-30°C), se ubica por debajo del agua superficial de baja salinidad, aunque durante movimientos ascendentes en la columna de agua puede encontrarse en la superficie. Se infiltra al Golfo también por la Corriente Costera de Costa Rica en verano y otoño. 3) Agua Superficial de la Corriente de California, ésta tiene su origen en latitudes altas y son aguas frías (12-20°C) y de salinidad baja (34), fluye hacia el sur donde forma parte de la Contracorriente Norecuatorial, e ingresa al Golfo por la porción más occidental durante invierno y primavera. 4) Agua Intermedia del Pacífico, que se encuentra aproximadamente entre los 500 y 1200 m de profundidad y se caracteriza por presentar temperaturas muy bajas de entre 4 y 9°C y bajo contenido de O₂ y 5) Agua Profunda del Pacífico, con temperaturas menores a 5°C y salinidades de entre 34.6 y 34.7.

- Circulación

La circulación de ésta cuenca se encuentra influenciada por la circulación del Pacífico Nororiental que está representada por el Sistema de la Corriente de California y la circulación del Pacífico Oriental que comprende el Sistema Ecuatorial y la Corriente Costera de Costa Rica. En general, la circulación oceánica del Golfo de Tehuantepec esta dominada por la Corriente de California (CC), la Contracorriente de California (CCC), la Corriente Norecuatorial (CNE), la Contracorriente Norecuatorial (CCNE), la Corriente Surecuatorial (CSE), la Corriente Subsuperficial Ecuatorial (CSSE) y la Corriente Costera de Costa Rica (CCCR) (Wyrтки, 1966; Monreal y Salas, 1998)(Fig. 10).

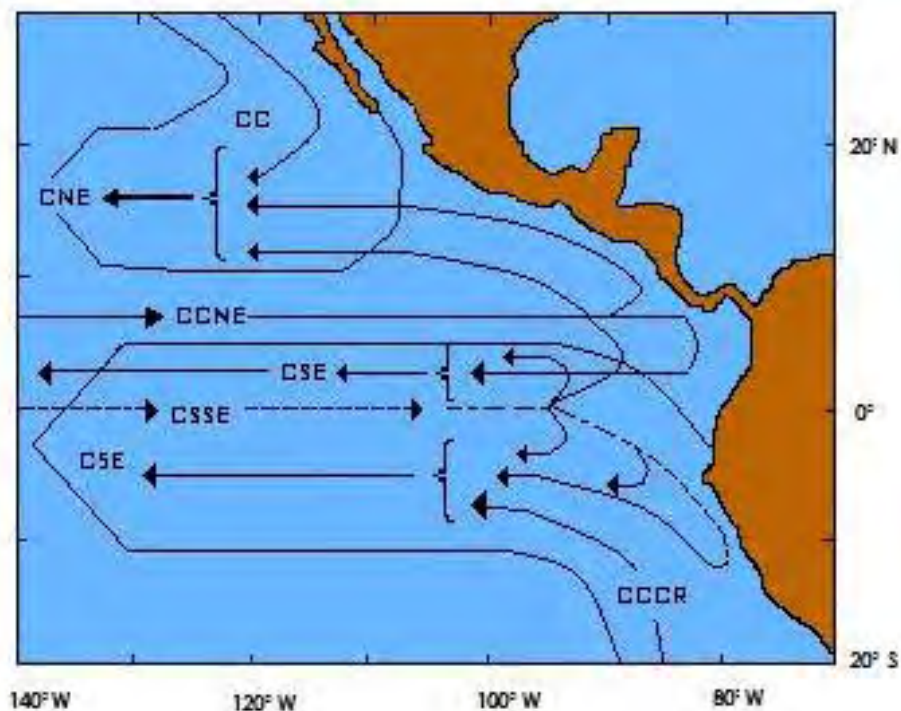


Figura 10. Patrón de circulación del Océano Pacífico Tropical Este (Modificada de Molina-Cruz y Martínez López, 1994).

De acuerdo con De la Lanza (1991) las principales corrientes modificadoras de las condiciones del Golfo, son la CC que transporta agua subártica, es decir fría y con un alto contenido de O₂; y la CCCR proveniente del sur que transporta agua cálida.

En invierno y primavera por la presencia de los "Tehuanos" y la ZCIT en su posición más hacia el Sur cercana al Ecuador entre los 0 y 4°N, la CCCR no pasa por el área de estudio, ya que se desvía hacia el Oeste entre los 9° y 12°S; mientras que la CC llega al Sur

hasta los 15° alimentando a la CNE y entrando al Golfo en las capas subsuperficiales entre los 30 y 60 m de profundidad en la zona occidental (Molina Cruz y Martínez López, 1994); por otro lado la CCNE no llega a las costas ya que los vientos van en sentido contrario a ella.

Por el contrario, en verano y otoño, cuando la ZCIT se encuentra en su posición más al Norte entre los 10 y 12°N, la CCNE viaja al Este hasta los 90°W contribuyendo a la formación del Domo de Costa Rica y dobla posteriormente hacia el Noroeste para alimentar a la CCCR que posteriormente penetra en el Golfo de Tehuantepec (Fig. 11a-b).

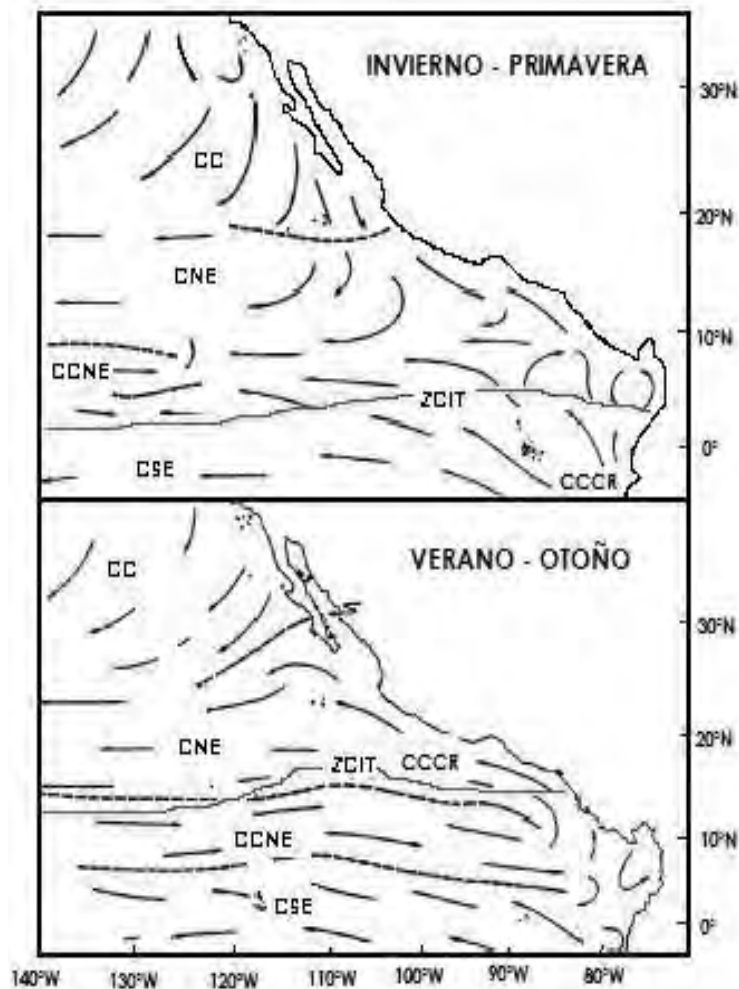


Figura 11. Circulación y corrientes principales del Pacífico Oriental en diferentes épocas. a) invierno-primavera y b) verano – otoño. (Modificada de <http://www.pmel.noaa.gov/pubs/outstand/kess2580/wyrki.shtml>).

En esta región, a causa de los vientos, se destacan tres sistemas hidrográficos: uno en la parte Oriental del golfo donde a veces se presenta un giro ciclónico, el cual es el menos afectado por las masas de aire polar procedentes de altas latitudes (nortes). Este giro posee una superficie termohalina característica de las aguas del Pacífico Oriental (poco salina y más cálida), y presenta una estructura menor a 50 m, una forma similar a la de un domo invertido; además de tener una duración de un par de semanas; otro sistema, se localiza en la parte central del Golfo, el cual es afectado directamente por los vientos y es donde ocurren las surgencias. Y el tercer sistema se ubica al Oeste del Golfo donde se genera un giro anticiclónico, este último, el más importante por ser el más productivo y más longevo ya que dura un par de meses. El giro anticiclónico también se caracteriza por presentar una forma cónica, la cual sobresale de la superficie del mar entre 25 a 30 cm y se extienden entre 200 y 300 km (Monreal y Salas, 1998)(Fig. 12).



Figura 12. Sistemas hidrográficos generados por el paso de vientos sobre el Istmo de Tehuantepec (Modificada de Arellano-Torres, 2003).

Machain-Castillo *et al.* (2008) en su estudio de la distribución y abundancia de los foraminíferos planctónicos y su relación con las condiciones hidrográficas del Golfo de Tehuantepec, mencionaron que las tres asociaciones de foraminíferos planctónicos resultantes, reflejaron las condiciones hidrográficas del Golfo de Tehuantepec; donde la

asociación de *Globigerina bulloides* registrada en la mayor parte del Golfo mostró la fuerte influencia de las surgencias; la asociación de *Globigerinita glutinata* indicó aguas densas localizadas en el eje de las surgencias y un giro anticiclónico altamente productivo. Y la asociación *Globorotalia menardii* y *Neogloboquadrina dutertrei* sugirió aguas cálidas de origen ecuatorial e influencia de giros ciclónicos de baja productividad.

Oceanografía biológica

El Golfo de Tehuantepec es considerado por Ortega-García, *et al.* (2000) como una de las tres zonas centroamericanas del Pacífico Tropical Oriental con altos niveles de productividad primaria derivada principalmente de los procesos de surgencia y de mezcla vertical. Dichos procesos proveen altas concentraciones de nutrientes como silicatos, fosfatos, nitratos y nitritos a la capa superficial, con lo que se inicia una red trófica que a su vez produce y nutre a una rica comunidad biológica que sostiene valiosas pesquerías como la del atún aleta amarilla, barrilete, tiburón, calamar y camarón entre otros.

Robles-Jarero y Lara-Lara (1993) reportaron que en el invierno la parte central del Golfo presentó los valores promedio más altos de micronutrientes (1.2 μM para fosfatos y 10.2 μM para silicatos), seguida por la zona Este (1.1 μM para fosfatos y 9.2 μM para silicatos). Los valores más bajos se presentaron en la zona Oeste (0.8 μM para fosfatos y 6.0 μM para silicatos).

Respecto a la concentración en los pigmentos fotosintéticos, estos autores reportan los valores máximos superficiales de clorofila "a" en la región Oeste del Golfo, derivado principalmente del microfitoplancton ($>20 \mu\text{m}$), mientras que en el lado central y Este la mayor contribución fue de nanofitoplancton ($<20 \mu\text{m}$). Los intervalos de clorofila "a" están entre 0.04-11.1 mg/m^3 , con un promedio de 1.42 mg/m^3 .

Lluch-Cota *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 ($>0.3 \text{mg}/\text{m}^3$); b) la oceánica, con niveles bajos ($<0.3 \text{mg}/\text{m}^3$); c) Golfo de Tehuantepec, con valores medios

de concentración de pigmentos presentando máximos en la época invernal (noviembre-febrero); y d) la Sureste con niveles medios de concentración comparables a los del Golfo.

De acuerdo con Robles-Jarero (1991) dentro los grupos más abundantes que componen el fitoplancton en el Golfo de Tehuantepec se encuentran los nanoflagelados (<10 µm), siguiéndole las diatomeas y por último los dinoflagelados. En cuanto a la distribución espacial, los nanoflagelados forman el grupo dominante de la región Este del Golfo, mientras que las diatomeas lo hacen en la región Oeste.

Meave del Castillo y Hernández-Becerril (1998), reportaron que los géneros más diversos dentro del segundo grupo más abundante, las diatomeas, fueron *Chaetoceros*, *Thalassiosira* y *Rhizosolenia*. Encontrando Hernández-Becerril *et al.* (1993) dentro de los *Chaetoceros* una especie muy interesante determinada como *Ch. buceros* reportada únicamente para el Océano Índico.

Material y Métodos

Trabajo de campo

La colecta del material sedimentario se obtuvo a partir de dos campañas oceanográficas llevadas a cabo a bordo del B/O <<El Puma>> de la UNAM; dentro de los proyectos denominados Pacmex I que fue realizado en mayo-junio de 1999 y Tehua II en octubre del 2004.

En las campañas además de realizar muestreos micropaleontológicos, se registraron datos de temperatura, presión y oxígeno con una sonda CTD, y se tomaron muestras de agua de fondo con botellas Niskin para calcular la concentración de oxígeno disuelto a través del método de Winkler modificado por Carrit y Carpenter (1966).

Para este estudio se seleccionaron dos núcleos sedimentarios. El primero fue colectado en la campaña Pacmex I porción Este del Golfo de Tehuantepec ($14^{\circ}99.84'$ N, $93^{\circ}50.16'$ W), a una profundidad de 190 m, llamado 7T y el segundo núcleo llamado 18 de la campaña Tehua II, recuperado en la porción Oeste ($15^{\circ}59.91'$ N, $95^{\circ}00.31'$ W) a una profundidad de 283 m (Fig. 13).

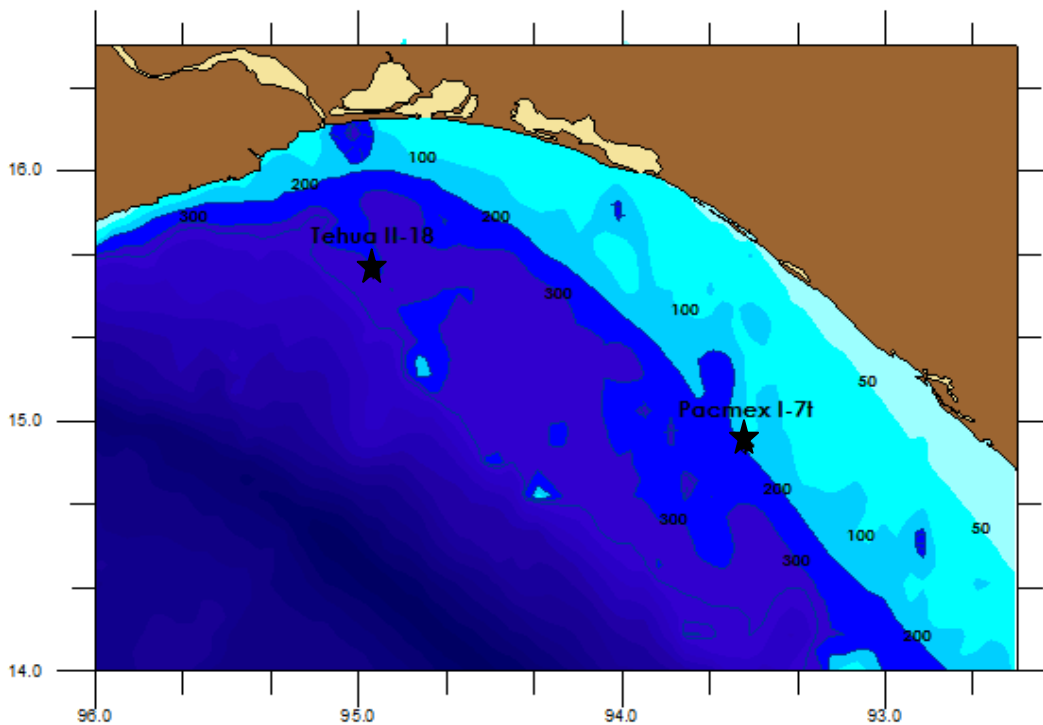


Figura 13. Posición geográfica de las estaciones donde se colectaron los núcleos estudiados.

El muestreo se efectuó por medio de nucleadores de gravedad compuestos por tubos de PVC de ~4", sujetos a un cabezal, con pesas y aletas estabilizadoras, cuyo funcionamiento consiste en descender y penetrar en el fondo marino por gravedad, por lo que llevan ese nombre (Granados Barba *et al.*, 2000) (Fig. 14).

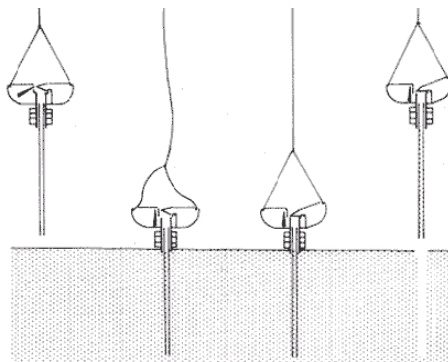


Figura 14. Funcionamiento de un nucleador de gravedad (Tomada de Granados Barba *et al.*, 2000).

Una vez recuperado el nucleador, este se colocó a bordo de la embarcación en forma vertical, con el fin de drenar el exceso de agua; después se selló, se etiquetó y guardó en una cámara fría (~4°C) dentro B/O <<El Puma>> para su conservación y para posteriormente ser transportado al Laboratorio de Micropaleontología.

Trabajo de gabinete

En el Laboratorio de Micropaleontología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, los núcleos se cortaron longitudinalmente obteniendo dos mitades; una de ellas fue guardada dentro de un congelador para evitar la deshidratación del sedimento y se preserva como testigo y la otra se utilizó para realizar este estudio, por lo que esta mitad se utilizó para realizar la descripción de la secuencia sedimentaria así como las estructuras presentes y la coloración del sedimento definida con base a la Tabla de Colores de Munsell.

Posteriormente fue dividida transversalmente cada 5 cm con intervalos de 1 cm en el caso del núcleo Pacmex I-7T donde se obtuvieron 34 muestras; y cada 10 cm con intervalos de 1 cm en el caso del núcleo Tehua II-18 resultando 25 muestras.

Para el procesamiento de las muestras, el primer paso fue colocar el sedimento en cápsulas de porcelana etiquetadas, dejándolo secar a temperatura ambiente, para de aquí obtener su peso seco. Después, la muestra se remojó por unos días para reblandecer nuevamente el sedimento y disgregar cúmulos de partículas para proceder a la actividad de lavado.

Posteriormente, se colocó la muestra en un tamiz metálico de apertura de malla de 0.0625 mm o 250 en el sistema de Tyler Screen a la cual se le aplicó una corriente suave de agua, con el fin de separar los componentes finos, es decir, limos y arcillas, de los componentes gruesos conformados principalmente de las testas de foraminíferos y arenas; y así poder recuperar fácilmente estos protozoarios, y conocer la proporción lodos-arenas y las tendencias granulométricas de los núcleos.

Con el propósito de evitar la contaminación entre muestras, se utilizó una solución de azul de metileno al 5% para distinguir a los microfósiles que pudieron haber quedado entre la malla del tamiz como residuos de lavados anteriores. Ésto en virtud de que el azul de metileno es un colorante que tiñe las testas. Una vez hecho esto, la muestra se secó nuevamente en cápsulas de porcelana, se pesó y guardó en frascos etiquetados.

Para la extracción de organismos, el sedimento se colocó en una charola, esparciéndose para poder separar así los organismos del sedimento, lo cual se realizó con un pincel humedecido y con ayuda de un microscopio estereoscópico Olympus (SZ-CTV/SZ11, Japón) a diferentes aumentos (1x a 11x).

Cabe señalar que se requirió de un tamaño de muestra mínimo de 300 organismos para que la muestra fuera estadísticamente representativa de las especies de la comunidad, ya que después de este valor de acuerdo con Bé (1959), Bradshaw (1959), Parker (1962) y Boltovskoy (1965), la muestra se mantiene virtualmente constante porque todas aquellas especies susceptibles de aparecer están contempladas.

Sin embargo, existieron muestras que llegaron a tener más de 1000 organismos, por lo que para poder trabajarlas fue necesario dividir las con el fraccionador de Otto. Esto se realizó

tantas veces como fue necesario, con el fin de obtener una alícuota de entre 300 a 500 ejemplares.

Cuando estos organismos fueron obtenidos, el siguiente paso fue depositarlos en una placa micropaleontológica con dimensiones de 75x25 mm etiquetada e impregnada de goma de trágacanto, para posteriormente determinar su taxonomía utilizando bibliografía especializada. Concluida la determinación taxonómica, se procedió a realizar matrices de abundancias absolutas y abundancias relativas para cada una de las especies presentes en las muestras.

Con estos datos se realizaron cálculos de individuos por gramo de sedimento en la muestra y se elaboraron gráficas que correlacionan la abundancia relativa de las especies con las diferentes muestras a lo largo de los núcleos, además de histogramas de frecuencia con el fin de agrupar los resultados y observar la abundancia y frecuencia con que aparecen. Asimismo, se obtuvo riqueza, índices de diversidad de Shannon y equidad de Pielou para cada una de las muestras.

Consecutivamente a la matriz de abundancia relativa se le aplicó un análisis de factores modo Q, que será explicado posteriormente, utilizando el paquete estadístico *Statistica 8 Trial* edición para Windows, de StatSoft Inc., 2008; donde para ello, se creó una nueva matriz manteniendo solo aquellas especies que con su abundancia relativa se presentaron en más de tres muestras con más del 1%. Esto en virtud de que las especies con valores menores, no son representativas estadísticamente y crean un sesgo en la interpretación, ya que la técnica estadística las agrupará con base a su condición de baja representatividad y no por el significado ecológico que puedan reflejar (Parker y Arnold 1999). Asimismo, se calcularon las comunalidades con el objetivo de determinar que tan bien se ajustaba el modelo de los factores a los datos; el intervalo de valores es de 0 a 1 donde 1 significa que toda la información es preservada y el 0 que ninguna lo es (Pisias, 1978; Pérez-Cruz, 2006).

Asimismo, se realizaron esquemas para determinar gráficamente las concentraciones de oxígeno disuelto a la cual se encontraron cada una de las especies dominantes con base a los análisis de factores, y después se dispuso de los intervalos para cada asociación.

También, se revisó el trabajo de Córdoba-Saldaña (2009) sobre poblaciones de foraminíferos planctónicos en los núcleos Pacmex I-7T y Tehua II-18, con el fin de disponer únicamente del marco cronoestratigráfico establecido en ese estudio para ambos núcleos.

Métodos estadísticos.

a) Índice de diversidad

Se entiende por índice de diversidad de especies, a aquella expresión que resulta de las formas de interacción entre elementos de un sistema (Margalef, 1989) misma que hace referencia a tres parámetros fundamentales: la abundancia de especies, que indica el número total de organismos por especie en un área determinada; la riqueza de especies, que denota el número total de especies en una zona específica, y la equidad de especies que representa a la abundancia relativa de individuos entre las especies (Krishnamurthy, 2003).

Se dice que una comunidad que contiene unos pocos individuos de muchas especies posee una mayor diversidad que una comunidad que tiene el mismo número total de individuos pero perteneciente solamente a unas pocas especies.

Para cuantificar la diversidad se han propuesto diferentes índices. El más utilizado comúnmente y que quizá ofrece más ventajas según Margalef (1989), es el índice de Shannon, que los ecólogos han adaptado de la teoría de la información o de la comunicación y que mide el grado de incertidumbre. La fórmula para el índice de Shannon es (Smith *et al.*, 2001):

$$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i) (\log p_i)$$

Donde H' es la diversidad de las especies, S es el número de especies y p_i es la proporción de individuos en el total de la muestra que pertenece a la especie i . De acuerdo con Magurran (2004), el valor de H' se ha calculado en muchos estudios ecológicos, los cuales muestran que generalmente este valor varía entre 0 reportando solo una especie en la muestra, y 3.5; también indica que raramente pasa de 4.5 pero puede llegar a un valor máximo de 5.3. Asimismo, menciona que los valores de H' mayores a 3 indican un ambiente marino normal mientras que valores bajos están señalando un ambiente de alta inestabilidad u hostiles.

Por otro lado, menciona que H' al aumentar su valor significa que todas las especies tienen el mismo número de organismos, es decir, presentan una distribución perfectamente uniforme de abundancia.

Para determinar la equidad de Pielou, que tiene como base la función de Shannon y da como resultado la manera en que la abundancia de organismos que se encuentran en una región o el grado de uniformidad en la repartición de los individuos entre las especies, primero se tiene que calcular la H'_{max} que es el valor que tendría H' si todas las especies en la comunidad tuviesen el mismo número de individuos:

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

Donde Log es el logaritmo neperiano y S es el número de especies. Ahora ya se puede calcular la equidad (J'):

$$J' = H'/H'_{max}$$

Los valores obtenidos en este índice de acuerdo con Pielou son de 0 a 1, representando este último valor, la equidad máxima alcanzable, que significa que todas las especies son igualmente abundantes (Magurran, 1988).

b) Análisis de factores

Utilizar datos relativos referentes a microfósiles, presenta según Loubere y Qian (1997), una seria dificultad, ya que inicialmente se dispone de un gran conjunto de datos que es necesario resumir y reducir, dejando sólo algunas variables significativas, lo que se resuelve utilizando el método estadístico de análisis de factores.

De acuerdo con Parker y Arnold (2002), utilizar esta técnica estadística multivariada ayuda a simplificar o condensar una complicada estructura de datos, haciendo más fácil explorar las relaciones que más adelante facilitarán una aparente relación de las pruebas en contra de la norma de azar. Hair *et al.* (2005) y Harman (1976) afirman que es un método cuyo objetivo fundamental es entender el comportamiento de los datos, agrupándolos de acuerdo a sus atributos en común y observando la correlación de estos.

En sí, el análisis de factores asume la existencia de componentes residuales únicos sin importancia de cada una de las variables originales, que no se encuentran relacionados con los factores comunes y que no contribuyen a la correlación de las variables originales, por lo que se comportan de forma lineal. Por ejemplo, gráficamente MacLeod (2002) basado en la fórmula de Spearman manifiesta que la forma del modelo de análisis de factores implica la comparación de varianzas, es la siguiente:

$$X_1 = b_{11}F_1 + b_{12}F_2 + \dots + b_{1r}F_r + e_1$$

$$X_2 = b_{21}F_1 + b_{22}F_2 + \dots + b_{2r}F_r + e_2$$

$$X_3 = b_{31}F_1 + b_{32}F_2 + \dots + b_{3r}F_r + e_3$$

$$X_p = b_{p1}F_1 + b_{p2}F_2 + \dots + b_{pr}F_r + e_p$$

Donde los atributos ($X_1 \dots X_p$) son principalmente el resultado de alguna regularidad o estructura *a priori* de los datos, y las variables originales ($b_1 \dots b_p$) combinaciones lineales de los factores hipotéticos comunes (F_r), más un componente residual y único para cada una de las variables originales (e) que representa la varianza de error, la cual se debe a la poca confiabilidad en el proceso de recolección de datos, al error en la medición o a un componente aleatorio en el fenómeno medido.

La aplicación de esta técnica estadística multivariada en este trabajo, tuvo por objeto examinar las interrelaciones entre las variables, clasificarlas y reducirlas, determinando en este caso, la relación entre las muestras a lo largo de los núcleos y las asociaciones de especies dominantes, por lo que el primer paso, fue realizar una comparación entre todas las muestras para después formar grupos o factores con base en la similitud o diferencia de su composición faunística; utilizando para ello, el modo Q, en el que las especies correspondientes a las filas en la matriz, son los casos y las muestras correspondientes a las columnas, son las variables.

Una vez terminada esta etapa, se continuó con la parte medular, misma que consistió en definir el número de factores que son significativos, representativos y parsimoniosos en los datos, lo que nos llevó a decidir cuántos de estos factores debían utilizarse para nuestro estudio, para así estar en condiciones de valorar la estructura de los datos; esto se estableció mediante el análisis de diversas soluciones factoriales utilizando también diferente números de factores (Hair *et al.*, 2005) y con la observación de la secuencia de *eigenvalues* o el valor propio y de varianzas; y acabó de fijarse por completo cuando la varianza acumulativa sobrepasó un porcentaje relativamente significativo y cuando la variabilidad aleatoria entre los factores es mínima.

Es importante destacar que puede resultar inconveniente seleccionar pocos, o muchos factores, para representar los datos; ya que si se emplean pocos, no se estará revelando una estructura correcta y pueden omitirse importantes dimensiones y por otra parte, si se mantienen demasiados, se dificultarán las interpretaciones.

Para enfatizar las diferencias o similitudes, la matriz se rotó de forma ortogonal manteniendo un ángulo de 90° con el método de varianza maximizada (Varimax normalizada) y se calcularon las cargas factoriales denominadas "*factor loadings (FL)*" que representan el peso de las muestras en los factores definidos, es decir, las tendencias o patrones que existen a lo largo del núcleo y el grado de correspondencia entre cada variable y el factor. De acuerdo con Malmgrem y Haq (1982) estos factores también pueden interpretarse como las causas ambientales en las que las especies con similares respuestas se agrupan. Y los "*factor scores (FS)*" que permiten identificar a las especies

más importantes y/o representativas que definen a los factores, es decir las asociaciones de foraminíferos.

Una versión condensada nos la dan Kim y Muller (1978) que concluyen que el análisis de factores tiene sólo tres pasos importantes: 1) la preparación de una matriz útil, la cual no debe estar rotada, esto con el fin de obtener una indicación preliminar acerca del número de factores a extraer. 2) la extracción de los factores mismos y 3) la rotación para la solución terminal donde se simplifica la estructura de factores disminuyendo alguna de las ambigüedades que a menudo acompañan a las soluciones factoriales no inicialmente rotadas.

Resultados

- **Concentración de oxígeno disuelto (O₂)**

Las columnas sedimentarias Pacmex I-7T y Tehua II-18, al ser colectadas a profundidades de 190 y 283 m, respectivamente, se localizaron ambas dentro de la ZOM del Pacífico Oriental, que de acuerdo con Pérez-Cruz y Machain-Castillo (1990) el límite superior se registra entre 75 y 150 m de profundidad.

Las concentraciones de O₂ de agua de fondo en el lugar de colecta de la secuencia Tehua II-18 fueron, en la campaña efectuada en invierno (octubre 2004) de 0.11 ml/L, mientras que en la llevada a cabo en verano (julio 2003) la concentración fue de 0.42 ml/L.

En el caso del núcleo Pacmex I-7T con campañas en épocas de verano, las concentraciones de O₂ en el agua de fondo presentaron valores de 0.90 ml/L con datos interpolados (mayo-junio 1999) y 0.29 ml/L con medición *in situ* (junio 2003).

- **Descripción de la secuencia sedimentaria**

Longitudinalmente, la columna estratigráfica del núcleo Tehua II-18 es predominantemente homogénea, ya que no se observaron ni bandas, ni laminaciones; el tipo de sedimento dominante consiste en arcilla limosa con una coloración gris oliva oscuro (5Y 3/2). En algunos horizontes, como el 180 a 181 cm y 210 a 211 cm se encontraron conchas de moluscos.

En el caso del núcleo Pacmex I-7T, el tipo sedimento está igualmente integrado por limo arcilloso con una coloración entre gris oliva oscuro a gris oscuro (5Y 3/2 – 5Y 4/1).

- **Marco cronoestratigráfico**

La correlación bioestratigráfica proporcionada por el estudio de los foraminíferos planctónicos de Córdoba Saldaña (2009), permitió desarrollar un marco cronoestratigráfico, que sugirió para el núcleo Pacmex I-7T, la presencia del Holoceno, en el horizonte 0 a 120 cm, de la Deglaciación, en el nivel 125 a 140 cm, y del UMG del nivel 145 a 166 cm.

Para el núcleo Tehua II-18, Córdoba Saldaña (2009) propuso sólo la presencia del Holoceno con una edad extrapolada de 4791 años en la base de la columna sedimentaria (230 cm) con un tasa de sedimentación de 0.48mm/año; basada en la datación con ^{210}Pb realizada en el Laboratorio de Geoquímica Ambiental de la Unidad Académica de Mazatlán del ICMYL, UNAM, por la Dra. Ana Carolina Ruiz Fernández (Tabla 2).

Tabla 2. Muestra la edad, las épocas y eventos ubicados en cada uno de los núcleos (Información de Córdoba-Saldaña, 2009).

Núcleo	Datación con / por	Máxima edad (años)	Época	Evento	Horizontes (cm)
Pacmex I-7T	Correlación con núcleo Pacmex I-10T	No dato	Holoceno	Holoceno	0 a 120
			Pleistoceno	Deglaciación	125 a 140
			Pleistoceno	UMG	145 a 166
Tehua II-18	^{210}Pb	4791	Holoceno	Holoceno	0 a 230

- **Granulometría**

Para conocer la relación limo-arcilla (lodo) y arena en las muestras, fue necesario como ya se explicó anteriormente, determinar la diferencia de peso del sedimento seco, antes y después del lavado. La mayoría de las muestras en el núcleo Pacmex I-7T estuvieron compuestas por lodos de acuerdo con la clasificación de Folk (1969), exceptuando el horizonte 35 cm que mostró un 63% de arenas y un 37% de lodos, y el horizonte 50 cm que presentó un 57% de arenas y un 43% de lodos. De los niveles restantes, estos partieron de un 56% de lodos tendiendo a incrementarse conforme aumentó la profundidad, hasta llegar al 99% de lodos en el horizonte 160 cm (Fig. 15a).

Por su parte, el núcleo Tehua II-18 mostró más del 90% de lodos en todas las muestras; siendo este, el porcentaje mínimo, localizado en la base de la columna estratigráfica (230 cm), que fue ascendiendo a medida que se acercaba a la superficie hasta llegar al 99%

de lodos en el nivel 40 cm. A partir de ese horizonte hacia la superficie, el porcentaje de lodos disminuyó, situándose entre 98 y 94% respectivamente (Fig. 15b).

- **Foraminíferos bentónicos**

- Identificación taxonómica y composición específica

Al realizar la extracción e identificación de organismos, se encontró que todos los estratos presentaron foraminíferos bentónicos; así también, se distinguió que las poblaciones en ambos núcleos, fueron abundantes.

Para el núcleo Pacmex I-7T, se revisaron 34 muestras que dieron como resultado el registro de 43 especies agrupadas en 22 géneros, de los cuales 3, se determinaron sólo a nivel genérico, además de un grupo de organismos no determinados que, por tratarse de individuos juveniles y de talla pequeña, fueron denominados como sp B e incluidos en casi todos los análisis a excepción de análisis de factores, ya que este grupo no refleja ningún significado ecológico.

La clasificación de los foraminíferos hasta Orden de acuerdo con Armstrong *et al.* (2005) es:

Reino PROTISTA (Goldfuss, 1821)
Phylum SARCODINA (Schimarda, 1817)
Clase RHIZOPODA (Lankester, 1821)
Orden FORAMINIFERIDA (Eichwald, 1830)

A partir de Familia, se asume la que cada autor mencionado, propone para cada una de las especies:

- *Angulogerina carinata* Cushman, 1927; p. 159, lám.4, fig. 3.
- *Bolivina acuminata* (*Bolivina subadvena* Cushman var. *acuminata* Natland, 1938) p. 145, lám.30, fig. 20-21.
- *Bolivina acutula* (*Bolivina advena* Cushman var. *acumula* Bandy, 1953); p. 180, lám.24, fig. 7.
- *Bolivina bramlettei* Kleiupell, 1938, p. 267, lám.21, fig. 9-11.
- *Bolivina interjuncta bicostata* (*Bolivina costata*, d' Orbigny var. *bicostata* Cushman, 1926); Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1053, pl 1, fig. 21.
- *Bolivina plicata* Loeblich y Tappan, 1964 C549, fig.434.7a-b.
- *Bolivina tongi filacostata* (*Bolivina tonga* Cushman var. *filacostata* Cushman y McCulloch, 1942) p. 214. pl.27. fig. 7-11.
- *Bolivina vaughani* Natland, 1938; p. 146, lám.5, fig. 11.
- *Bolivina seminuda* Matoba y Yamaguchi, 1982 p. 1053, lám.1, fig. 10^a-14B.

- *Bulimina marginata* d' Orbingy, 1826; p. 269, lám.112, fig. 10-12.
- *Buliminella bassendorfensis* Cushman y Parker, 1937; p. 40, lám.4, fig. 13.
- *Buliminella curta* Matoba y Yamaguchi, 1982 p. 1053, lám.1, fig 2-3.
- *Buliminella elegantissima* Hofker, 1951 p. 131, fig, 80a-g
- *Buliminella tenuata* (*Buliminella subfusiformis* Cushman var. *tenuata* Cushman, 1926) Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1053, lám.1, fig. 4^a-5.
- *Cancris auriculus* Loeblich y Tappan, 1988 p. 545. lám.591, fig. 1-3.
- *Cancris panamensis* Natland, 1938; p. 148, lám.6, fig, 1.
- *Cassidulina corbyi* Cushman y Huges, 1925; p. 14, lám.2, fig, 3a-b.
- *Cassidulina modeloensis* Rankin, 1934 p. 23, lám.3, fig. 12.
- *Cassidulina tortuosa* Haller, 1980; p. 260, lám.13, fig. 4a – c.
- *Cassidulina tumida* Natland, 1938; p. 148, lám.6, fig. 2-3b.
- *Cassidulina waltoni* Uchio, 1960 p. 120, lám.7, fig. 4-5.
- *Epistominella pacifica* Lipps, 1965; p.126, lám.2, fig. 5^oa-c, 7^o-c.
- *Evolvocassidulina braziliensis* Cushman, 1922: p. 130, lám.25, fig. 4-5.
- *Globobulimina pacifica* Cushman, 1927; p. 67, lám.14, fig. 12.
- *Globocassidulina subglobosa* Brady, 1881; p. 60, lám.54, fig, 17.
- *Gyroidina soldanii nitidula* (*Gyroidina soldanii* d' Orbingy var. *nitidula* Schwager, 1929); p.40, lám.8. fig. 9a-c.
- *Hansenica soldanii* (*Gyroidina soldanii* d' Orbingy, 1826) p. 278, lám.7, fig. 5.
- *Lenticula* sp. A. : *Lenticulina* Lamarck, 1804; p.186.
- *Loxostomum bradyi* Asano, 1938; p. 603, lám.16, fig, 2.
- *Loxostomum pseudobeyrichi* Cushman, 1926; p. 35, pl 3, fig. 7-9.
- *Nonionella basiloba* Cushman y McCulloch, 1940 p. 162, lám.18, fig. 3.
- *Nonionella basispinata* Cushman y Moyer, 1930; p. 61, lám.4, fig. 13-14.
- *Nonionella stella* Cushman y Moyer, 1930; p. 61, lám.4, fig. 15-16.
- *Nonionoides grateloupi* (*Nonionina grateloupi* d' Orbingy, 1826) p. 294, lám.6, fig. 6-7.
- *Pseudoparrella bradyana* (*Pulvinulinella bradyana* Cushman, 1927) Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1055, lám.3 fig. 2a-C. / (*Epistominella bradyana* Cushman) Bandy, O., 1961 *Micropaleontology* 7(1), lám.3. Fig 16.
- *Pseudoparrella* sp A. Musezima y Maruhasi, 1944.
- *Pseudoparrella obesa* Bandy y Arnal, 1957; p. 56, lám.7, fig. 8.
- *Pseudoparrella sandiegoensis* (*Epistominella sandiegoensis* Uchio, 1960) p. 68 lám.9. fig. 6-7.
- *Pullenia malkinae* Coryell y Mossman, 1942; p. 234, lám.36. fig, 3-4.
- *Suggrunda eckisi* Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1055, lám.3, fig. 10a-b.
- *Uvigerina curtica* Cushman, 1927; p.157, lám.4, fig. 1.
- *Uvigerina excellens* Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1054, lám.2, fig. 9.
- *Uvigerina incilis* Todd, 1948; p. 260, lám.33, fig. 4.
- *Uvigerina* sp A : *Uvigerina* d' Orbingy, 1826; p. 268.
- *Takayanagia delicada* Cushman, 1927; p. 168, lám.6, fig. 5.
- *Trifarina occidentales* Cushman, 1927; p. 169, lám.5, fig. 3-4.
- sp B (juveniles)

Mientras que para el núcleo Tehua II-18 en 25 muestras, se identificaron 36 especies, más un grupo del que sólo se dispone de género, advirtiéndose, que el conjunto total se clasificó en 20 géneros más un grupo de organismos juveniles, que al igual que en el núcleo anterior, se enlistaron como sp B y se tomaron en cuenta para los análisis a excepción de análisis de factores, ya que no refleja ningún significado ecológico.

- *Angulogerina carinata* Cushman, 1927; p. 159, lám.4 fig. 3.
- *Bolivina acuminata* (*Bolivina subadvena* Cushman var. *acuminata* Natland, 1938) p. 145, lám.30, fig, 20-21.
- *Bolivina acutula* (*Bolivina advena* Cushman var. *acumula* Bandy, 1953) p. 180, lám.24, fig, 7.
- *Bolivina bramlettei* Kleiupell, 1938; p. 267, lám.21, fig, 9-11.
- *Bolivina interjuncta bicostata* (*Bolivina costata*, d' Orbingy var. *bicostata* Cushman, 1926) Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1053, pl 1, fig. 21.
- *Bolivina plicata* d' Orbingy, 1939b; p. 62, lám.8, fig. 4-7.
- *Bolivina tongi filacostata* (*Bolivina tonga* Cushman var. *filacostata* Cushman y McCulloch, 1942) p. 214. pl.27. fig. 7-11.
- *Bolivina vaughani* Natland, 1938; p. 146, lám.5, fig. 11.
- *Bolivina seminuda* Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1053, lám.1, fig. 10^a-14B
- *Bulimina marginata* d' Orbingy, 1826; p. 269, lám.112, fig. 10-12.
- *Buliminella bassendorffensis* Cushman y Parker, 1937; p. 40, lám.4, fig. 13.
- *Buliminella curta* Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1053, lám.1, fig 2-3.
- *Buliminella elegantissima* d' Orbingy, 1839; p. 51, lám.7, fig, 13-14.
- *Buliminella tenuata* (*Buliminella subfusiformis* Cushman var. *tenuata* Cushman, 1926) Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1053, lám.1, fig. 4a-5.
- *Cancris auriculus* Loeblich y Tappan, 1988; p. 545. lám.591, fig. 1-3.
- *Cancris panamensis* Natland, 1938; p. 148, lám.6, fig, 1.
- *Cassidulina corbyi* Cushman y Huges, 1925; p. 14, lám.2, fig, 3a-b.
- *Cassidulina modeloensis* Rankin, 1934; p. 23, lám.3, fig. 12.
- *Cassidulina tortuosa* Cushman y Huges, 1925; p. 25, lám.2, fig. 4a – c.
- *Epistominella pacifica* Cushman, 1927; p. 165, lám.5, fig. 14-15
- *Evolvocassidulina braziliensis* Cushman, 1922; p. 130, lám.25, fig, 4-5
- *Fisuarina marginata* Montagu, 1803; p. 524, lám.1, fig. 7.
- *Globocassidulina subglobosa* Brady, 1881; p. 60, lám.54, fig, 17.
- *Gyroidina soldanii nitidula* (*Gyroidina soldanii* d' Orbingy var. *nitidula* Schwager, 1866). p.40, lám.8. fig. 9a-c.
- *Hansenica soldanii* (*Gyroidina soldanii* d' Orbingy, 1826) p. 278, lám.7, fig. 5.
- *Lenticula* sp. A *Lenticulina* Lamark, 1804; p.186
- *Lenticulina limbosa* Reuss, 1863; p. 85 lám.14, fig, 6.
- *Loxostomum bradyi* Asano, 1938; p. 603, lám.16, fig, 2.
- *Loxostomum pseudobeyrichi* Cushman, 1926; p. 35, pl 3, fig. 7-9.
- *Nonionella basiloba* Cushman y McCulloch, 1940; p. 162, lám.18, fig. 3.
- *Nonionella basispinata* Cushman y Moyer, 1930; p. 61, lám.4, fig. 13-14.
- *Nonionoides grateloupi* (*Nonionina grateloupi* d' Orbingy, 1826) p. 294, lám.6, fig. 6-7.
- *Pseudoparrella bradyana* (*Pulvinulinella bradyana* Cushman, 1927) Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1055, lám.3 fig. 2a-C. / (*Epistominella bradyana* Cushman) Bandy, O., 1961 *Micropaleontology* 7(1), lám.3. Fig 16.
- *Pseudoparrella obesa* Bandy y Arnal, 1957; p. 56, lám.7, fig. 8.
- *Pullenia malkinae* Coryell y Mossman, 1942; p. 234, lám.36. fig, 3-4.
- *Suggrunda eckisi* Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1055, lám.3, fig. 10a-b.
- *Uvigerina excellens* Matoba y Yamaguchi, 1982; p. 1054, lám.2, fig. 9.
- sp B (juveniles).

La mayoría de las especies de ambos núcleos han sido previamente identificadas en la región de estudio y en áreas cercanas como el Golfo de California, la Cuenca de Santa Bárbara y a lo largo de la costa Este del Pacífico, por Bandy (1961), Harman (1964),

Phleger y Soutar (1973), Ingle *et al.* (1980), Pérez-Cruz (1989) Pérez-Cruz y Machain-Castillo (1990) Páez *et al.* (2001), Rangel (2004) y Vásquez-Bedoya *et al.* (2008).

Las diferencias en composición taxonómica encontradas entre ambos núcleos corresponden a 13 especies: *C. tumida*, *C. waltoni*, *F. marginata*, *G. pacifica*, *L. limbosa*, *N. stella*, *P. sp.A*, *P. sandiegoensis*, *U. curtiosa*, *U. incilis*, *U. sp.A*, *T. delicada* y *T. occidentalis* (Ver listados anteriores).

- Comportamiento a nivel genérico

El género de mayor presencia en el núcleo Pacmex I-7T fue *Bolivina*, que presentó 8 especies que constituyeron el 37.41%, es decir, más de una tercera parte del total de organismos en el núcleo. *Pseudoparrella* registró la mitad de las especies que el género anterior, es decir, solo 4, representó el 22.41% del total de especies. También se encontró *Uvigerina* con 4 especies, pero con menor número de organismos, ya que constituyó un 10.14%. *Cassidulina* se presentó con 5 especies obteniendo el 7.31%. Y se registraron 2 géneros (*Cancris* y *Loxostomum*) con 2 especies cada uno y porcentajes entre 6.1 y 5.1%. Asimismo, se reconoció a *Bulliminella* con 4 especies obteniendo 2.61%, a *Nonionella* con 3 especies, el 0.36% y por último, 14 géneros con solo una especie, cuyo valor máximo se ubicó en 2.85% y el mínimo en 0.01%, sumando entre todas, el 8.34% del total de organismos.

En el núcleo Tehua II-18, el género *Bolivina* con 8 especies representó el 38.33% del total de organismos, seguido del género *Pseudoparrella* con 2 especies y el 24.94%. *Gyroidina* se encontró con una especie, la cual representó el 7.87% y *Cassidulina* con 3 especies, el 6.12%. Asimismo, se presentaron 5 géneros con 2 y 4 especies y con porcentajes menores a 3.10%. Y además, se registraron 11 géneros más, con solo una especie y un porcentaje menor a 4.26% y mayor a 0.02%, que sumados representaron el 12.7% de las especies totales.

- Distribución estratigráfica y espacial de las especies

Con relación a las especies identificadas, se observó que en núcleo Pacmex I-7T, *B. interjuncta bicostata*, *B. plicata*, *B. seminuda*, *C. panamensis*, *P. bradyana* y *U. excellens* se encontraron en todos los horizontes; mientras *C. waltoni*, *U. curtiosa*, *U. sp. A* y *T. occidentalis*, solo en un nivel (Fig. 16a).

En el núcleo Tehua II-18, las especies que figuraron en todos los horizontes fueron *B. plicata*, *B. curta*, *C. panamensis*, *C. corbyi*, *E. pacifica*, *G. soldanii nitidula* y *P. bradyana*, y los de menor presencia, que aparecieron en un sólo nivel, fueron *B. marginata*, *F. marginata* y *N. basiloba* (Fig. 16b).

Resultado de lo anterior, fue la concordancia de únicamente tres especies entre ambos núcleos en todos los horizontes; estas especies fueron *B. plicata*, *C. panamensis* y *P. bradyana*, y cada una registró un grado de dominancia distinto en cada uno de ellos.

- Abundancia total y densidad (ing/g)

Con las fracciones revisadas se separaron un total de 20,638 organismos, correspondientes 12,066 de ellos al núcleo Pacmex I-7T y 8,572 al núcleo Tehua II-18, con las cuales se calculó la densidad en cada una de las muestras, es decir, el número de individuos por gramo de sedimento.

En el núcleo Pacmex I-7T se observó la existencia de 10 valores de densidad de un total de 34, por arriba de la media, que fue de 37,319 ind/gr; la mayoría de ellos, se localizaron en la parte superior (5, 10, 20, 30, 35, 40, 45, 50, 65 y 105 cm). La mayor densidad se ubicó en el horizonte 35 a 36 cm conteniendo 170,857 ind/gr, y la menor densidad se registró en el nivel 160 cm con 1,178 ind/gr (Fig. 17a).

En el caso del núcleo Tehua II-18, se presentaron ocho valores de densidad por arriba de la media que fue de 7,213 ind/gr, ubicados en los niveles 10.5, 130, 160, 170, 180, 210, 220 y 230 cm. El horizonte 130 cm registró la mayor densidad con 21,607 ind/gr; y el nivel 10 cm presentó la menor con 483 ind/gr (Fig. 17b).

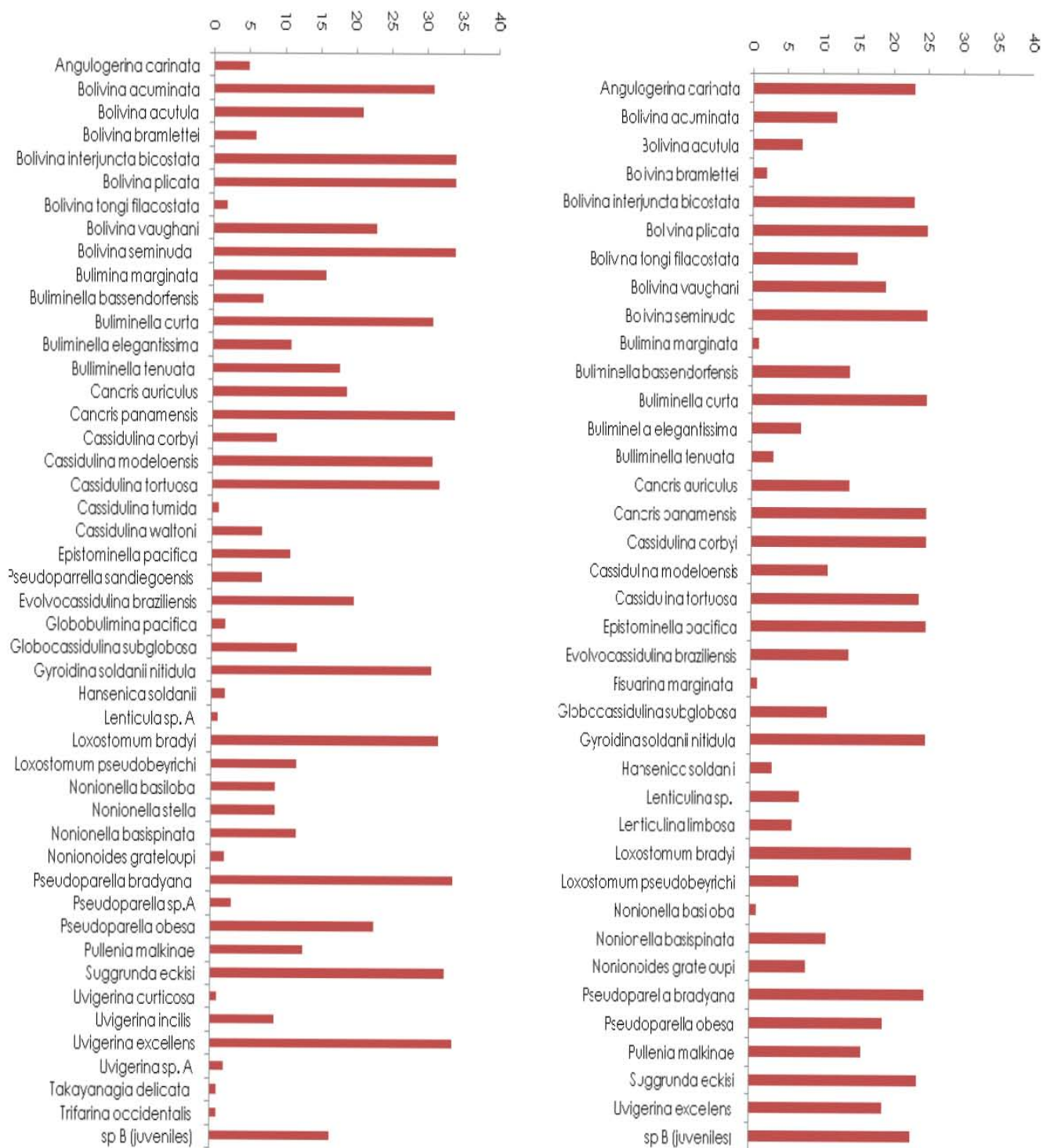


Figura 16. Distribución de especies en relación a la cantidad de muestras en las que se presentaron. a) Pacmex I-7T. b) Tehua II-18.

Núcleo Pacmex I-7T

Núcleo Tehua II-18

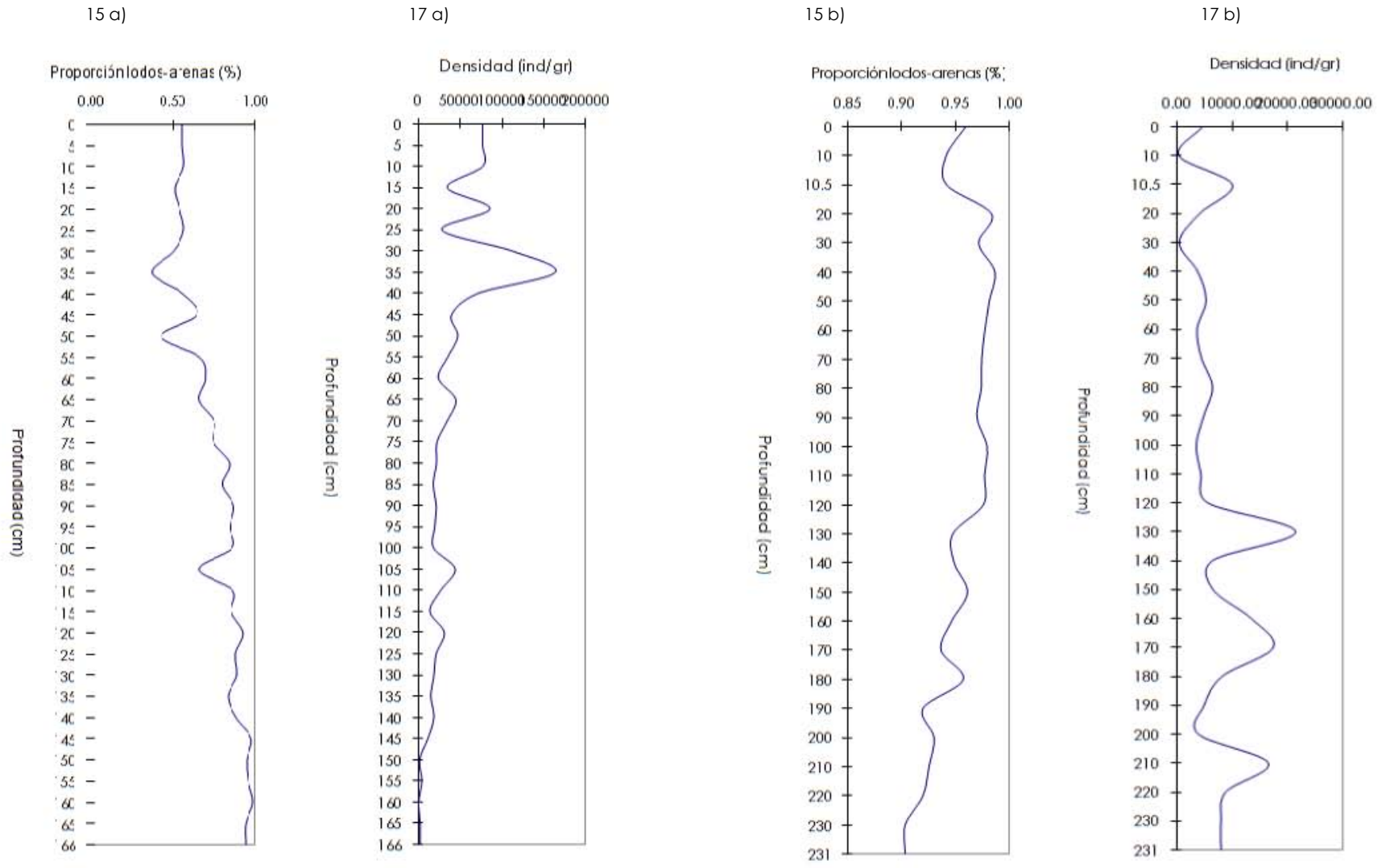


Figura 15. Proporción de la fracción lodosa respecto a la arenosa en las columnas sedimentarias. Figura 17. Densidad de foraminíferos bentónicos (individuos por gramo de sedimento) a lo largo de los núcleos. a) Pacmex I-7T b) Tehua II-18.

- Abundancia relativa

En el núcleo Pacmex I-7T sólo seis especies constituyeron más del 70% del total de organismos a lo largo de la columna sedimentaria; mismas que se encontraron en todas las muestras (Fig. 18a). De acuerdo con la contribución porcentual de sus abundancias relativas dentro del total de especies y en orden descendente, estas fueron: *P. bradyana* (21.09%), *B. interjuncta bicostata* (13.29%), *B. plicata* (12.46%), *U. excellens* (10.10%), *B. seminuda* (7.71%) y *C. panamensis* (5.73%). El comportamiento de dichas especies a lo largo del núcleo se muestra en las Figs. 18a-f.

En el caso del núcleo Tehua II-18, el 60% del total de foraminíferos bentónicos, se integró por tres especies: *B. seminuda* (30.04%), *P. bradyana* (22.45%) y *G. soldanii nitidula* (7.87%) (Fig. 19a-c). Las demás especies se encontraron con participaciones de entre 5 y 0.5%.

Analizando detalladamente las fluctuaciones de la abundancia relativa en ambos núcleos, se pone de manifiesto la aparición de comportamientos tanto paralelos como opuestos entre las diferentes especies que los componen. Por ejemplo, especies como *B. plicata* en el núcleo Pacmex I-7T, con porcentajes altos de entre 21.17 y 56.54, y bien representados desde los horizontes 125 al 160 cm, ven reducida su proporción hacia los niveles del 20 al 105 cm, con porcentajes menores a 10. En el caso del núcleo Tehua II-18, se observó lo mismo con *P. bradyana*, ya que registró porcentajes mayores a 20 del horizonte 90 al 230, y menores a 20 del horizonte 10 al 80 cm.

Por otro lado, en el núcleo Pacmex I-7T se detectó una sucesión de máximos porcentajes (>20%) en los horizontes 45 a 85 cm con *B. interjuncta bicostata*, y porcentajes mayores a 10 en los horizontes 15 a 70 con *U. excellens*. Y una sucesión de mínimos, es decir menos de 10% en los horizontes 115 a 160 cm y <5% en los niveles de 145 cm, respectivamente. Asimismo, *G. soldanii nitidula* en el núcleo Tehua II-18, presentó porcentajes mayores a 10 en los horizontes 0 a 100 y menores a 10 en los niveles 110 a 230 cm.

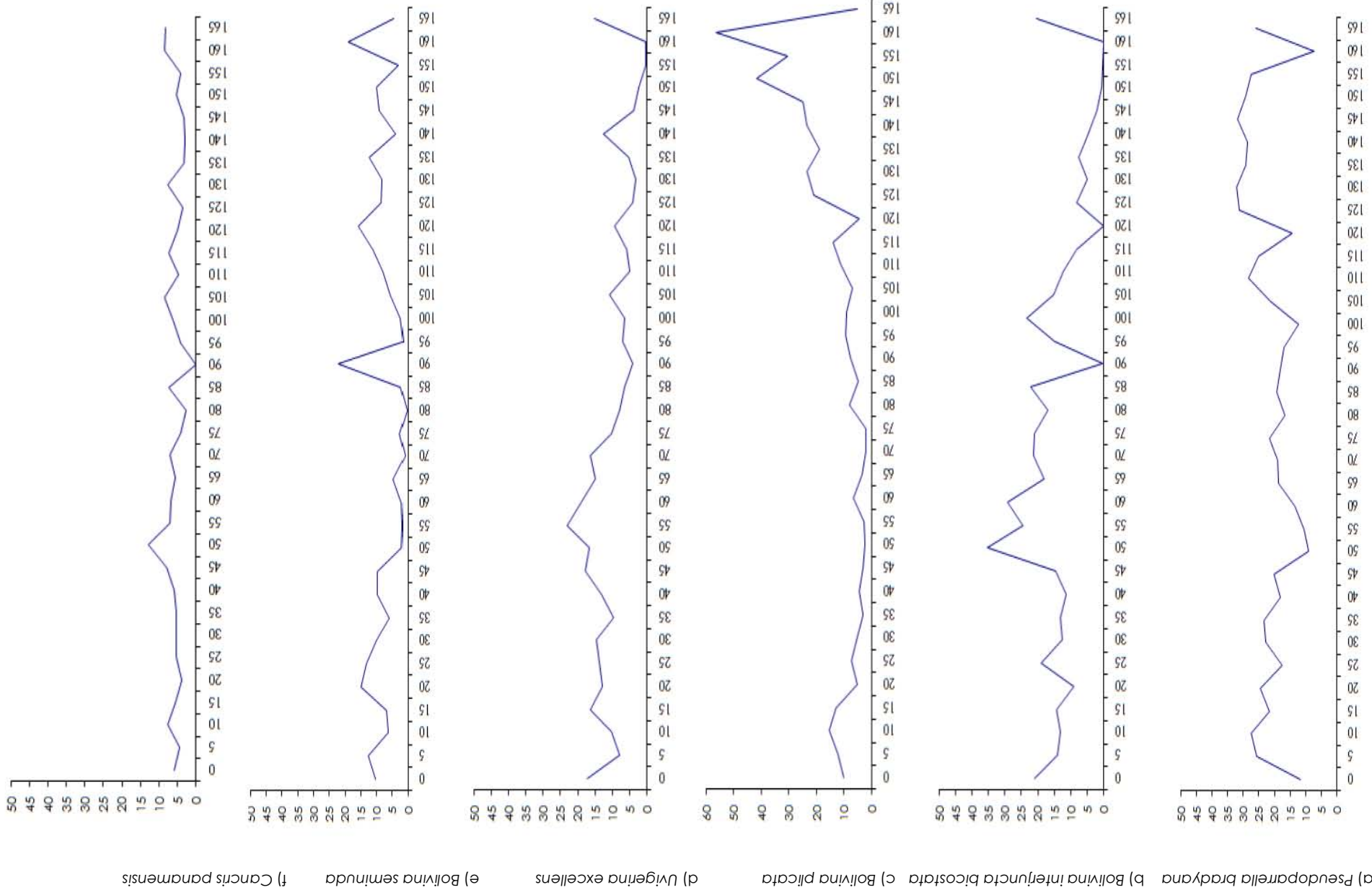
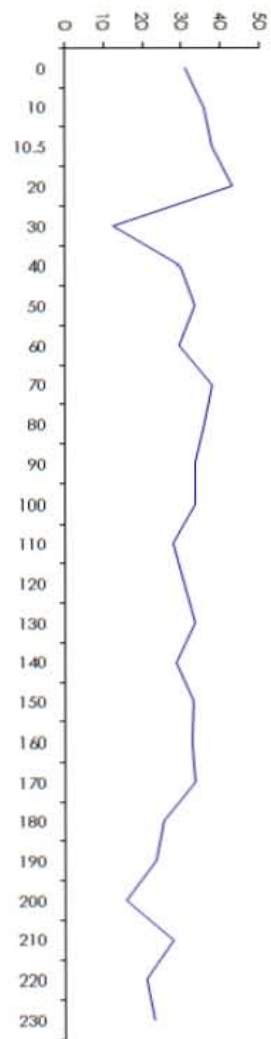
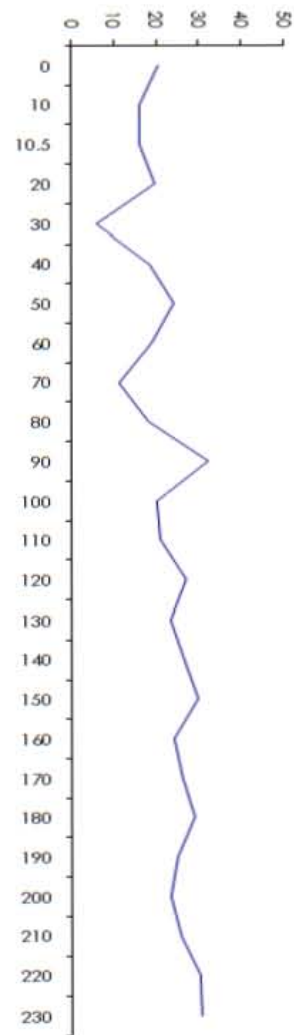


Figura 18 a-f. Abundancias relativas de las seis especies más abundantes de foraminíferos bentónicos del núcleo Pacmex I-71.

a) *Bolivina seminuda*



b) *Pseudoparrella bradyana*



c) *Gyroidina soldanii nitidula*

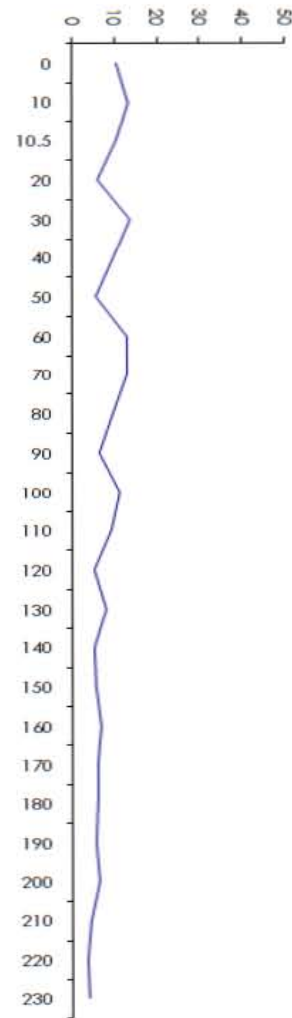


Figura 19 a-c. Abundancias relativas de las tres especies más abundantes de foraminíferos bentónicos del núcleo Tehua II-18.

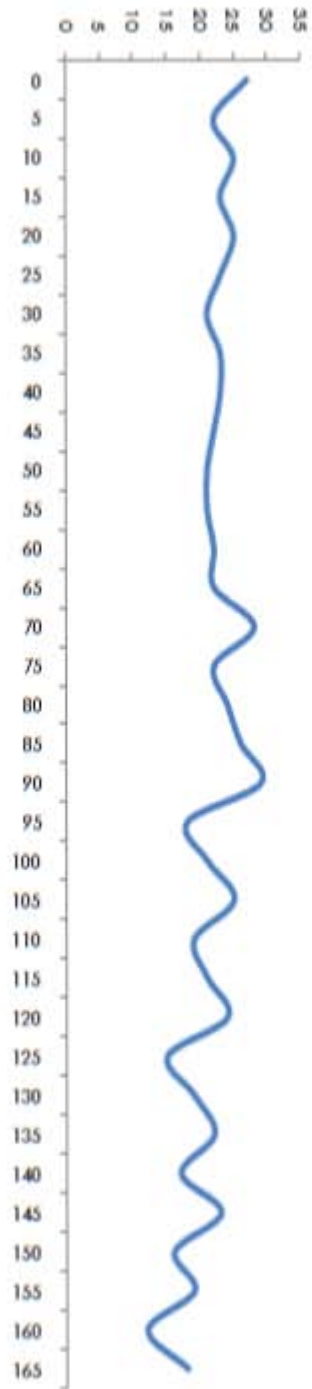
- Riqueza

De los análisis cualitativos y cuantitativos efectuados en las muestras del núcleo Pacmex I-7T, se desprendió que en la mayoría de los datos de 0 a 90 la riqueza es mayor que la media, que fue de 22, exceptuando las muestras 30, 50 y 55; y los datos correspondientes del horizonte 95 al 165 obtuvieron valores menores a la media, con excepción de los niveles 105 y 135.

La mayor riqueza que fue de 29, se registró solo en el horizonte 90 cm, presentando el 61.7% de la totalidad de los grupos observados a lo largo del núcleo, comparado con los demás niveles (total de 47 grupos que conformaron el 100%). Por otra parte, la menor riqueza que fue de 12, se localizó hacia la base del núcleo, en el horizonte 160 cm, correspondiéndole el 25.53% de la totalidad de los grupos distinguidos en el núcleo, es decir, menos de la tercera parte del total de grupos; y el 41.37% tomando en cuenta la mayor riqueza, es decir, menos de la mitad de esta (Fig. 20a).

A lo largo del núcleo Tehua II-18, se observó que la riqueza se mantuvo relativamente constante entre 20 y 25, registrándose una media de 23. En el horizonte 160 cm, se presentó la máxima riqueza que fue de 30, constituyendo el 78.94% del total de los grupos observados en el núcleo (total 38 grupos que constituyeron el 100%). Mismo que contrasta con el horizonte 70 cm, que mostró 18 especies correspondiéndole un 47.36% de la totalidad de los grupos presentes en el núcleo y consecuentemente la menor riqueza (Fig. 20b).

a)



b)

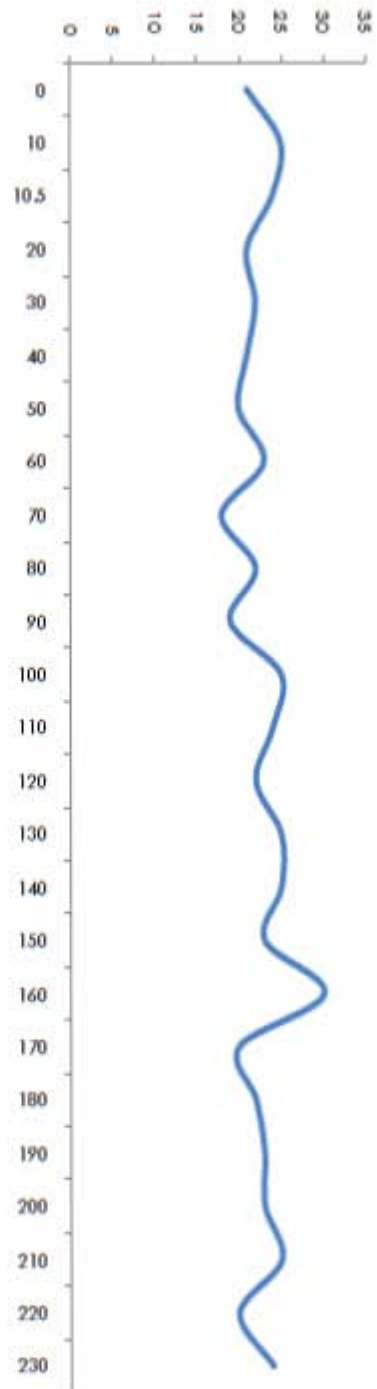


Figura 20. Gráfica sobre la riqueza de especies por muestra a lo largo de la columna sedimentaria. a) Pacmex I-7T. b) Tehua II-18.

- Índice de diversidad de Shannon y equidad de Pielou

El índice de diversidad de Shannon (H') y equidad (J') para los foraminíferos bentónicos registrados en los diferentes horizontes de cada uno de los núcleos, se muestra en las Tablas 3,4 y Figs. 21 y 22.

Para el núcleo Pacmex I-7T, el índice de diversidad fluctuó entre 0.605 y 1.174, siendo valores relativamente bajos de acuerdo con Magurran (2004), quien menciona que este índice adquiere valores entre 0 a 5.3. El primer valor (0.605), el mínimo, se ubicó en el horizonte 160 cm, donde también coincidió con la menor riqueza; el siguiente valor (1.174) el más alto, correspondió al horizonte 120 cm. En general, se obtuvo un promedio de diversidad de 1.007, esto como resultado de que más de la mitad de los horizontes (23 de 34), presentaron valores mayores a 1, sobre todo en la parte superior del núcleo. En relación a la equidad, que de acuerdo con Pielou presenta valores entre 0 y 1, se registró alta en este estudio, debido a que osciló entre valores de 0.560 y 0.851, localizándose en los niveles 160 y 120 cm respectivamente; siendo el promedio de 0.756.

En el núcleo Tehua II-18, el promedio de H' fue de 0.964, resultado de que 19 niveles obtuvieron valores menores a 1. El valor mínimo, que fue de 0.824, se presentó en el horizonte 90 y el valor máximo que fue de 1.106 en el horizonte 200 cm; para el nivel 160 cm que fue el de mayor riqueza, el valor de H' fue de 0.983 que se observó ligeramente por arriba del promedio, mientras que para la muestra 70 cm con riqueza baja el valor fue de 0.889. Asimismo, se advirtió que a partir del centímetro 190 se registraron más datos con valores mayores a 1, lo cual refiere que existe relativamente una mayor diversidad en los horizontes de la parte inferior. Los valores de equidad en este núcleo variaron de 0.645 en el nivel 90 cm, a 0.812 en el horizonte 200 cm con un promedio de 0.713, reportándose todos como altos, ya que la equidad máxima alcanzable es de 1.

Al comparar ambos núcleos se observó que la diversidad se mantuvo baja de acuerdo con Magurran (2004) y relativamente constante, pues no excedió valores de 1.2 indicando un ambiente inestable u hostil; mientras que la equidad acorde con Pielou fue alta, ya que presentó valores de entre 0.56 y 0.851.

Tabla 3. Valores del índice de diversidad y equidad en el núcleo Pacmex I-7T.

Muestra	Índice Shannon - Wiener (H')	Equidad (J')
0	1.113	0.778
5	1.024	0.763
10	1.027	0.735
15	1.039	0.763
20	1.072	0.767
25	1.056	0.776
30	1.076	0.814
35	1.124	0.826
40	1.133	0.832
45	1.041	0.775
50	0.931	0.704
55	0.996	0.754
60	1.000	0.745
65	1.061	0.791
70	1.042	0.720
75	1.054	0.785
80	1.085	0.786
85	1.072	0.757
90	1.118	0.764
95	1.051	0.837
100	1.045	0.790
105	1.071	0.766
110	0.979	0.765
115	1.056	0.798
120	1.174	0.851
125	0.939	0.798
130	0.911	0.712
135	1.000	0.745
140	0.938	0.762
145	0.956	0.702
150	0.716	0.594
155	0.774	0.605
160	0.605	0.560
165	0.968	0.771
Promedio	1.007	0.756

Figura 21. Gráfico de H' y J' en el núcleo Pacmex I-7T.

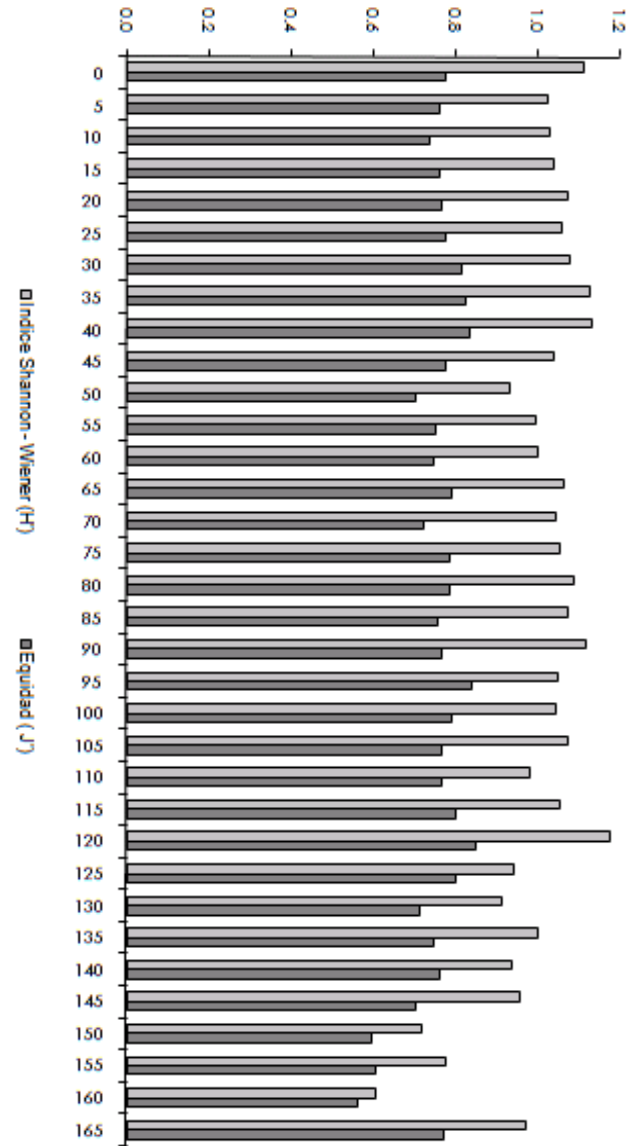
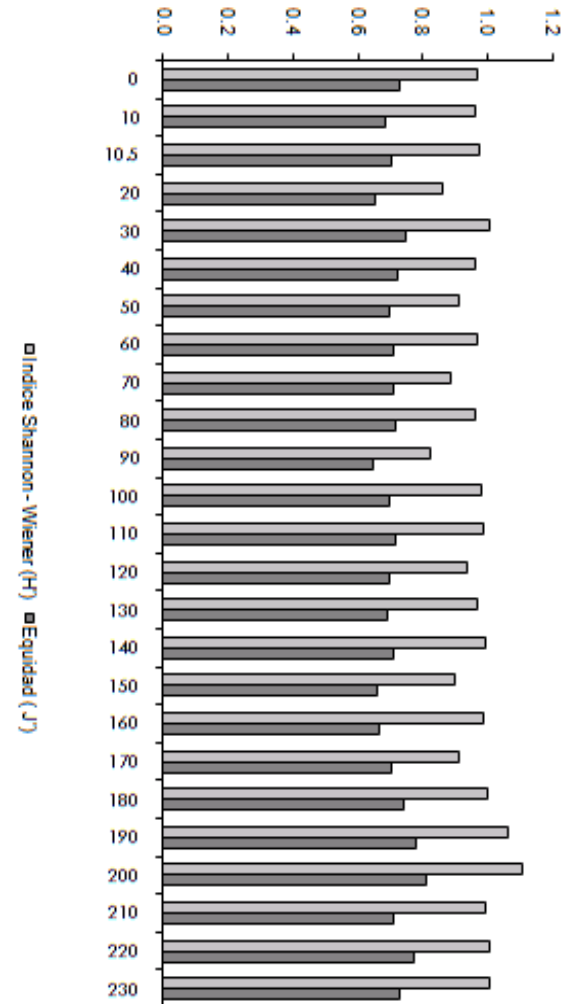


Tabla 4. Valores del índice de diversidad y equidad en el núcleo Tehua II-18. Figura 22. Gráfico de H' y J' en el núcleo Tehua II-18.

Muestra	Índice Shannon - Wiener (H')	Equidad (J')
0	0.968	0.732
10	0.959	0.686
10.5	0.971	0.704
20	0.863	0.653
30	1.003	0.747
40	0.959	0.726
50	0.908	0.698
60	0.965	0.709
70	0.889	0.708
80	0.963	0.718
90	0.824	0.645
100	0.979	0.700
110	0.986	0.714
120	0.935	0.697
130	0.968	0.692
140	0.992	0.709
150	0.901	0.662
160	0.983	0.666
170	0.913	0.702
180	0.998	0.743
190	1.062	0.780
200	1.106	0.812
210	0.993	0.710
220	1.004	0.771
230	1.008	0.730
Promedio	0.964	0.713



- Análisis de Factores

Para procesar el análisis de factores se utilizó una matriz de 34 variables y 25 casos para el núcleo Pacmex I-7T y 25 variables y 22 casos para el núcleo Tehua II-18.

Al examinar los resultados, se decidió utilizar dos factores para cada uno de los núcleos, ya que con este número de factores se explicaron las condiciones más representativas; además de que con ellos se describió un porcentaje significativo de la información contenida en las matrices, como es el caso del 85.57% en la matriz del Pacmex I-7T y el 94.31% en el caso de la matriz del Tehua II-18.

La razón fundamental por la cual se utilizaron dos factores y no más, es por el hecho de que este número de factores mostró las condiciones prevalecientes en cada uno de los núcleos; agregar más, aportaría la explicación de otra parte de la información que aunque es importante, no es representativa. En el caso del núcleo Pacmex I-7T, los factores adicionales contribuyen con menos del 4.95%, y en el núcleo Tehua II-18 explicarían menos de 2.60%; en ambos casos estos valores disminuyen conforme se aumenta el número de factores.

En el núcleo Pacmex I-7T el 85.57% de la información de la matriz explicada está definida por el factor 1 que supone el 70.22% de la variabilidad de los datos, mientras que el 15.35% restante perteneció al factor 2 (Tabla 5, Fig. 23.).

Tabla 5. Resultados de análisis de factores: *Eigenvalue* del núcleo Pacmex I-7T

"Eigenvalues"	%Total varianza	"Eigenvalue acumutivo"	% Acumulativo
23.87621	70.22414	23.87621	70.22414
5.21820	15.34765	29.09441	85.57180

Los valores de las comunalidades se encuentran entre 0.43 y 0.97 con un promedio de 0.85, lo que indica que el modelo de factores definido tuvo un buen ajuste (Fig.26).

El factor 1 comprendió del horizonte de 0 hasta el 110 cm, más el 165 cm, exceptuando los niveles 5, 10 y 90 cm en los que alternó con el factor 2. El factor 1 se caracterizó por la asociación de *B. interjuncta bicostata* con valor de FS de 3.28, siendo éste el más alto y por lo tanto considerando a esta especie como clave en la dominancia del factor; también se observó a *U. excellens* con FS de 1.87 y *P. bradyana* con FS de 1.84, registrándose esta última como una especie constante a lo largo del núcleo (Tabla 6a-b, Fig. 24 y 26).

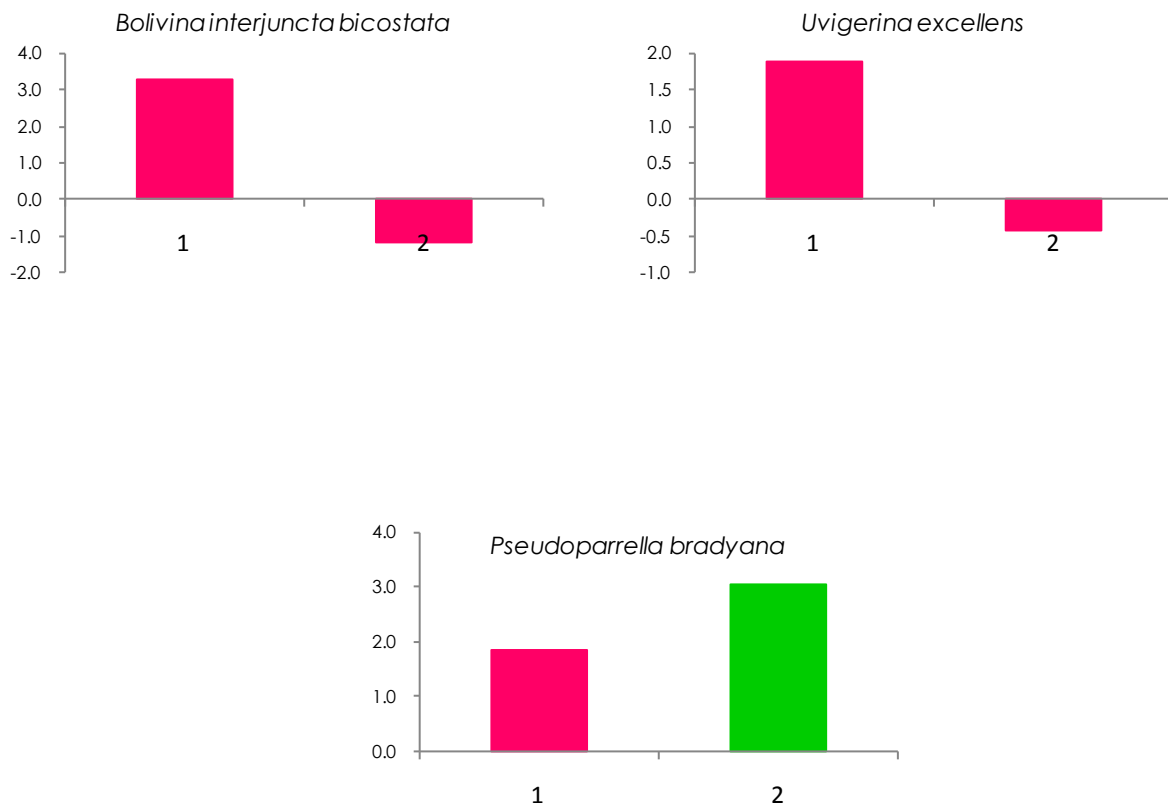


Figura 24. Factor Scores de las especies que caracterizan el factor 1.

A partir de la muestra de 115 hasta 160 cm predominó el factor 2. Las especies que lo definen fueron *P. bradyana* con FS de 3.06, *B. plicata* con 2.90 de FS, y *B. seminuda* con valor de FS de 1.48 (Tabla 6a-b, Fig. 25 y 26).

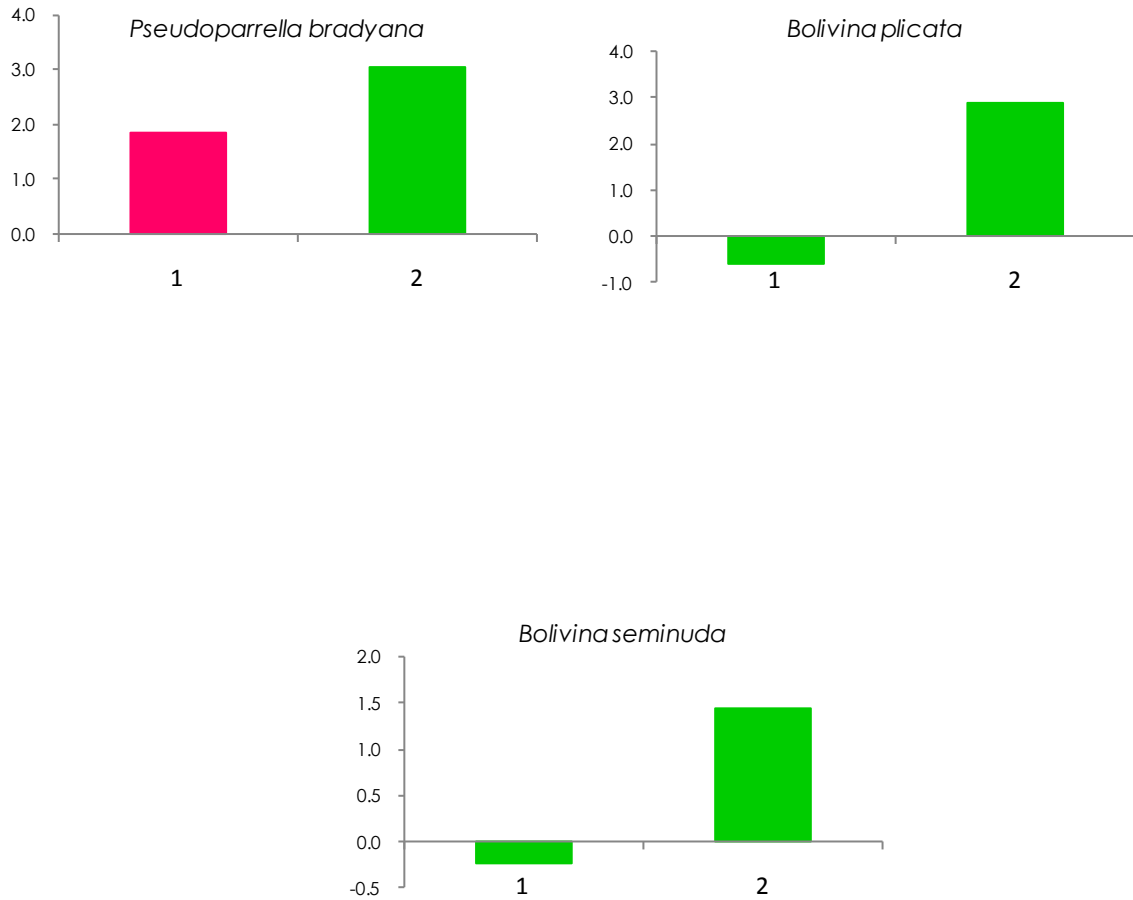


Figura 25. Factor Scores de las especies que caracterizan el factor 2.

Figura 23. Resultados de análisis de factores: gráfica de *Eigenvalues* del núcleo Pacmex I-7T.

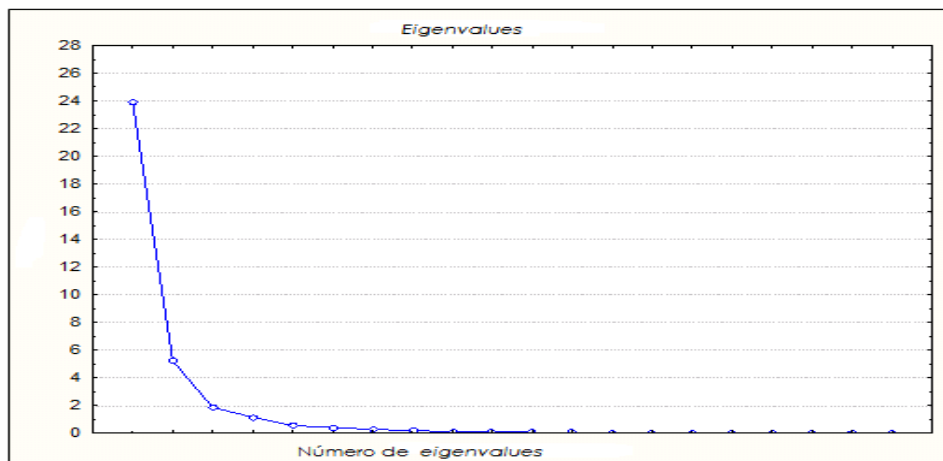


Tabla 6. b) *Factor Scores* (valores del factor) del núcleo Pacmex I-7T.

Especie	F1	F2
<i>Angulogerina carinata</i>	-0.8617	0.1410
<i>Bolivina acuminata</i>	0.1278	-0.3390
<i>Bolivina acutula</i>	-0.5192	-0.4213
<i>Bolivina interjuncta bicostata</i>	3.2829	-1.2077
<i>Bolivina plicata</i>	-0.6147	2.9002
<i>Bolivina vaughani</i>	-0.4807	-0.4294
<i>Bolivina seminuda</i>	-0.2315	1.4518
<i>Bulimina marginata</i>	-0.4454	-0.5057
<i>Buliminella curta</i>	-0.5292	0.0313
<i>Bulliminella tenuata</i>	-0.4895	-0.4510
<i>Cancris auriculus</i>	-0.4865	-0.4604
<i>Cancris panamensis</i>	0.4940	-0.0929
<i>Cassidulina corbyi</i>	-0.6872	-0.2057
<i>Cassidulina modeloensis</i>	0.5904	-0.4430
<i>Cassidulina tortuosa</i>	-0.0354	-0.4912
<i>Epistominella pacifica</i>	-0.6068	-0.3497
<i>Evolvocassidulina braziliensis</i>	-0.4370	-0.4427
<i>Globocassidulina subglobosa</i>	-0.6151	-0.2775
<i>Gyroidina soldanii nitidula</i>	-0.6415	0.0577
<i>Loxostomum bradyi</i>	0.7117	-0.4613
<i>Pseudoparella bradyana</i>	1.8411	3.0656
<i>Pseudoparella obesa</i>	-0.6071	-0.0862
<i>Pullenia malkinae</i>	-0.6037	-0.3516
<i>Suggrunda eckisi</i>	-0.0347	-0.2013
<i>Uvigerina excellens</i>	1.8791	-0.4300

Tabla 6. a) *Factor Loadings* (cargas del factor) del núcleo Pacmex I-7T.

Profundidad (cm)	F1	F2
0	0.8386	0.2926
5	0.6773	0.7061
10	0.6674	0.7116
15	0.7522	0.5801
20	0.6724	0.6141
25	0.8287	0.4219
30	0.8225	0.5041
35	0.8232	0.4387
40	0.8275	0.4334
45	0.8631	0.3622
50	0.9209	-0.1022
55	0.9366	-0.0557
60	0.9405	0.0683
65	0.9419	0.2524
70	0.9684	0.1299
75	0.9375	0.2373
80	0.8143	0.2519
85	0.9130	0.2267
90	0.0574	0.7572
95	0.7886	0.3261
100	0.8707	0.2052
105	0.8640	0.4548
110	0.6735	0.6589
115	0.5536	0.8088
120	0.1218	0.6494
125	0.4442	0.8700
130	0.3833	0.8958
135	0.4729	0.8676
140	0.4784	0.8143
145	0.2868	0.9314
150	0.1315	0.9322
155	0.0549	0.8411
160	-0.0840	0.7542
165	0.8832	0.3897
Expl. Var	17.4979	11.5965
Prp Tolt	0.5146	0.3411

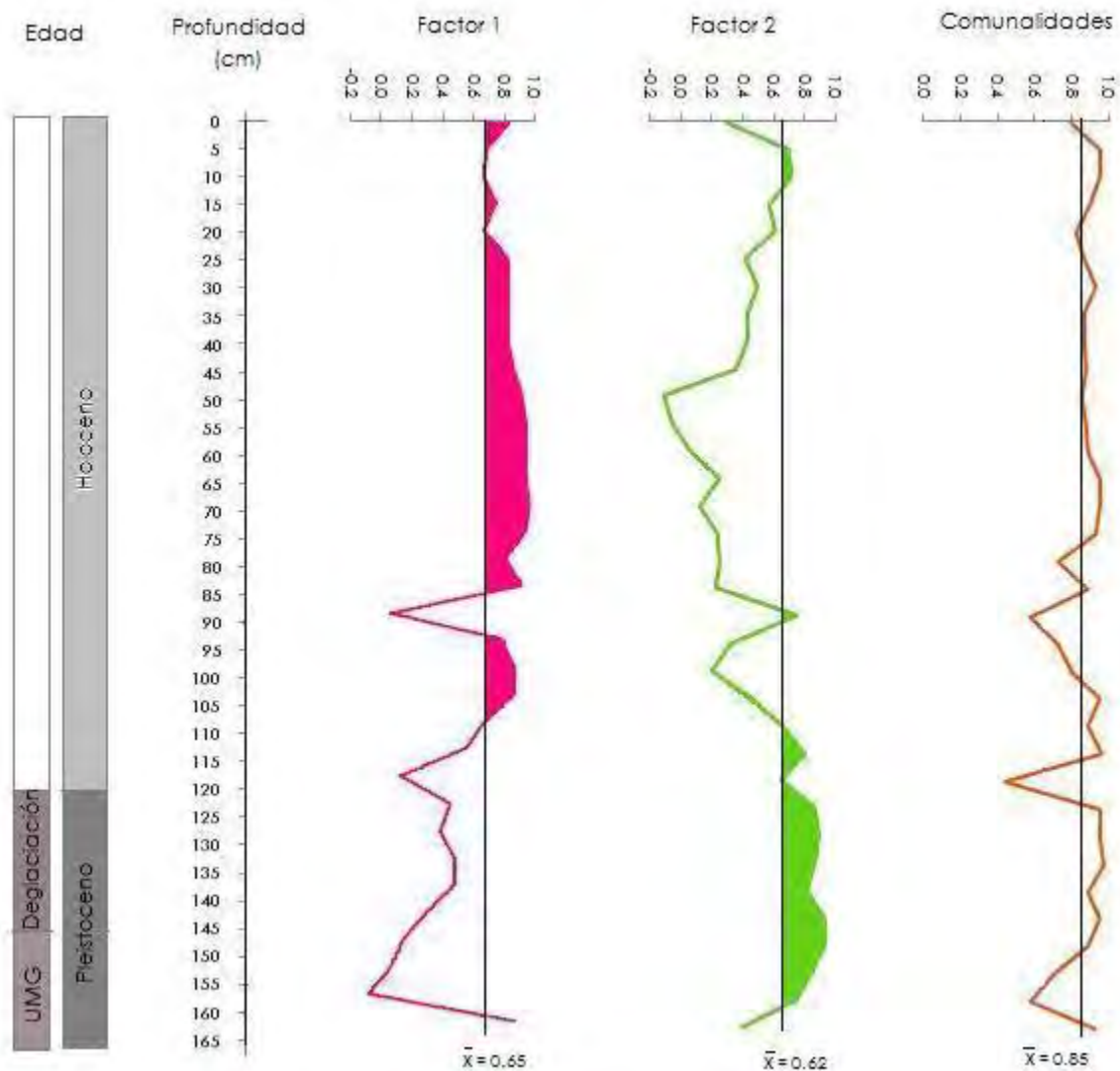


Figura 26. Distribución estratigráfica de las asociaciones de foraminíferos bentónicos en el núcleo Pacmex I-7T de acuerdo con los *factors loadings*. Factor 1: *B. interjuncta bicostata*, *U. excellens* y *P. bradyana*. Factor 2: *P. bradyana*, *B. plicata* y *B. seminuda*. Edad basada en estudio de Córdoba-Saldaña (2009).

Para el Tehua II-18, se seleccionó también una solución con 2 factores registrándose un porcentaje de varianza total de 94.31%, donde el factor 1 explicó el 89.21%, mientras que el factor 2, el 5.10% de la información (Tabla 7, Fig. 27).

Tabla 7. Resultados de análisis de factores: *Eigenvalues* del núcleo Tehua II-18.

<i>Eigenvalues</i>	% Total varianza	" <i>Eigenvalue</i> acumulativo"	% Acumulativo
22.30414	89.21656	22.30414	89.21656
1.27578	5.10313	23.57992	94.31969

Los valores de las comunalidades se encuentran entre 0.41 y 0.99 con un promedio de 0.94, lo que indica que el modelo de factores definido tuvo un muy buen ajuste (Fig. 30).

Las especies que caracterizaron al factor 1 perteneciente a la parte inferior del núcleo desde el nivel 90 hasta 230 cm, más los horizontes 0, 40, y 50 cm, fueron *P. bradyana* con FS de 3.71 dominando al factor, y *B. seminuda* con FS 1.74 (Tabla 8.a-b, Fig. 28 y 30).

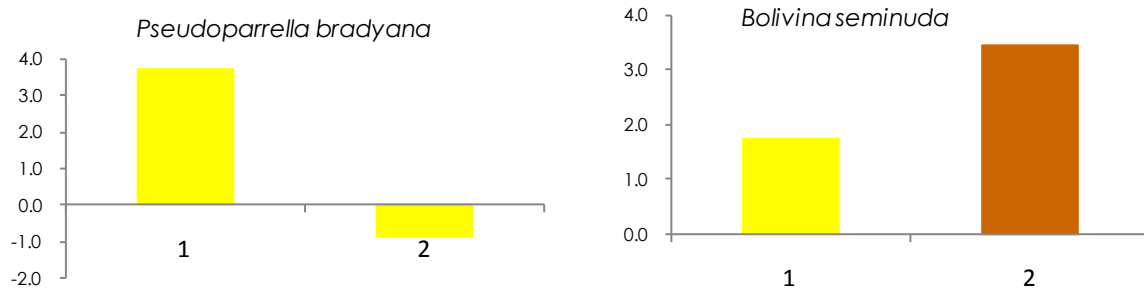


Figura 28. Factor Scores de las especies que caracterizan el factor 1.

Mientras que para el factor 2, ubicado en la parte superior del núcleo, que contempla desde el horizonte 10 hasta el 80 cm con la excepción de los horizontes 0, 40 y 50 cm mencionados anteriormente. Las especies características fueron *B. seminuda* con un FS de 3.44, *G. soldanii nitidula* con un FS de 1.63 y *C. corbyi* con FS de 1.07 (Tabla 8a-b, Fig. 29 y 30).

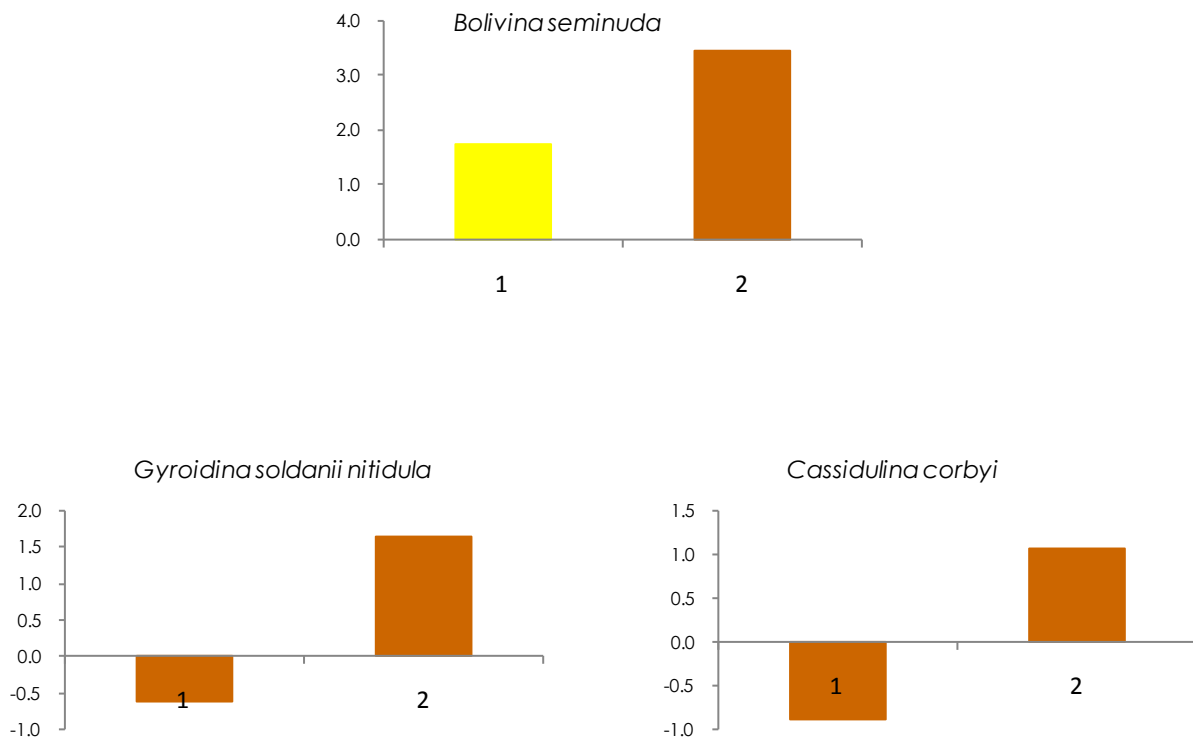


Figura 29. Factor Scores de las especies que caracterizan el factor 2.

Dentro este núcleo es importante considerar que aunque se definieron dos factores, la parte superior, es decir del horizonte 0 al 130 cm fue casi homogénea de acuerdo con los *factor loadings*, debido a que los valores resultantes fueron muy próximos (Tabla 8a) y por lo tanto al inferirse en el apartado de discusiones, las condiciones de oxigenación para cada factor estas serán igualmente afines.

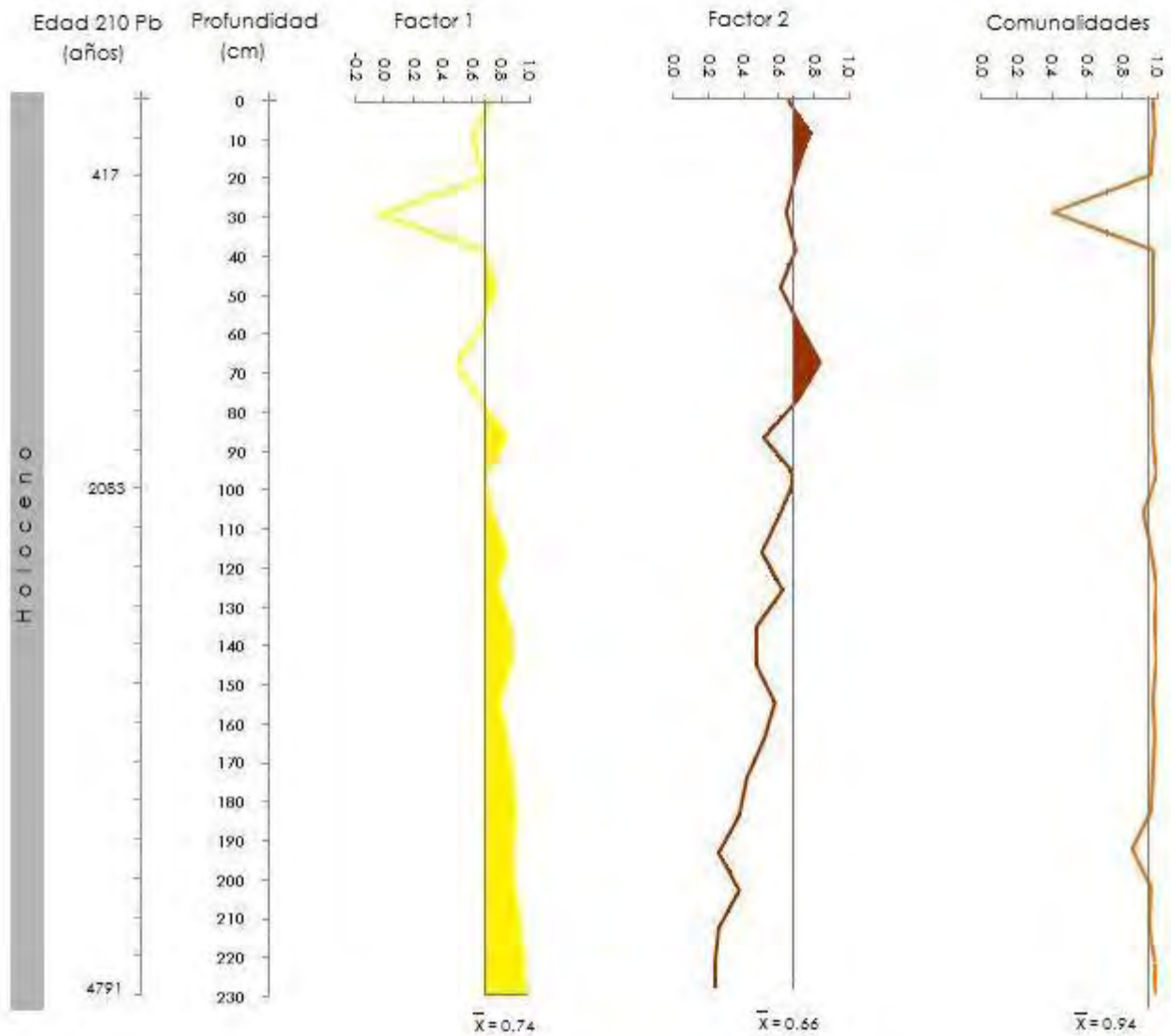


Figura 30. Distribución estratigráfica de las asociaciones de foraminíferos bentónicos en el núcleo Tehua II-18 de acuerdo con los *factors loadings*. Factor 1: *P. bradyana* y *B. seminuda*. Factor 2: *B. seminuda*, *G. soldanii nitidula* y *C. corbyi*. Edad establecida en estudio de Córdoba-Saldaña (2009).

Figura 27. Resultados de análisis de factores: gráfica de Eigenvalues del núcleo Tehua II-18.

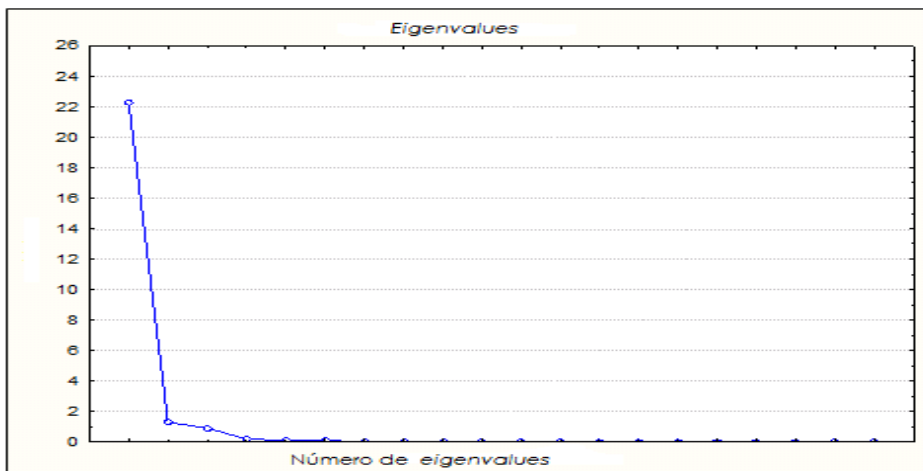


Tabla 8. b) Factor Scores (valores del factor) del núcleo Tehua II-18.

Especie	F1	F2
Angulogerina carinata	-0.545402	0.11290
Bolivina acuminata	-0.329614	-0.43123
Bolivina interjuncta bicostata	0.170596	-0.75311
Bolivina plicata	0.040676	0.06859
Bolivina tongi filacostata	-0.282989	-0.48894
Bolivina vaughani	-0.361813	-0.35966
Bolivina seminuda	1.743893	3.44128
Buliminella bassendorfensis	-0.469028	-0.25015
Buliminella curta	-0.372955	0.05533
Buliminella elegantissima	-0.463291	-0.28548
Cancris panamensis	-0.592138	0.26512
Cassidulina corbyi	-0.888802	1.07297
Cassidulina tortuosa	0.019863	-0.58844
Epistominella pacifica	-0.122827	0.17134
Evolvocassidulina braziliensis	0.277983	-1.00161
Globocassidulina subglobosa	-0.459070	-0.27554
Gyroidina soldanii nitidula	-0.630764	1.63617
Loxostomum bradyi	-0.292893	-0.37081
Pseudoparella bradyana	3.713538	-0.88017
Pseudoparella obesa	-0.594230	0.39539
Suggrunda eckisi	0.753279	-1.13650
Uvigerina excellens	-0.314013	-0.39745

Tabla 8. a) Factor Loadings (cargas del factor) del núcleo Tehua II-18.

Profundidad (cm)	F1	F2
0	0.73510	0.654423
10	0.60695	0.784216
10.5	0.62520	0.762934
20	0.68527	0.699216
30	-0.02507	0.641969
40	0.69799	0.694049
50	0.77202	0.609172
60	0.67860	0.715390
70	0.49792	0.837316
80	0.67655	0.713988
90	0.84108	0.515316
100	0.70680	0.698952
110	0.73604	0.611173
120	0.84040	0.509259
130	0.78048	0.619807
140	0.86931	0.478425
150	0.87912	0.469009
160	0.79839	0.581005
170	0.84777	0.518952
180	0.89072	0.418009
190	0.90510	0.372080
200	0.89001	0.255594
210	0.90409	0.380045
220	0.94239	0.257857
230	0.96281	0.237855
Expl. Var	15.00525	8.574677
Prp Tolt	0.60021	0.342987

Análisis de factores y concentración de O₂

A efecto de discutir los resultados de las asociaciones de cada uno de los factores, e inferir el ambiente que habitaron dichos organismos, fue necesario puntualizar los valores de oxígeno disuelto en que se han ubicado cada una de las especies y sus intervalos en el área del Pacífico Oriental con base en los antecedentes proporcionados; encontrándose que las especies mencionadas son capaces de habitar zonas con bajo contenido de oxígeno y que algunas de ellas son especies indicativas de una ZOM.

Así por ejemplo, *B. interjuncta bicostata* aun cuando presentó un intervalo de 0.01 a 2 ml/L de O₂, ésta, ha sido registrada como una de las principales especies indicadoras de la ZOM de acuerdo con Bandy (1961), Ingle *et al.* (1980) y Douglas y Staines-Urias (2007).

Asimismo, tanto *B. plicata* como *B. seminuda* prefieren vivir cerca o en la interfase de agua-sedimento en zonas de poca ventilación, como son las ZOM's, debido a que estas condiciones son desfavorables también para otros foraminíferos bentónicos o hasta depredadores macrobentónicos, lo que les representa cierta ventaja al tener baja depredación y mínima competencia (Phleger y Soutar, 1973; Ingle *et al.*, 1980).

Respecto a *B. seminuda*, Harman (1964) sugirió que es la especie más tolerante a condiciones adversas, debido a que parece adaptarse favorablemente a concentraciones disóxicas, micróxicas e incluso resistir a cortos periodos de anoxia.

En relación a *C. corbyi* a partir del registro a nivel de especie proporcionado por Pérez-Cruz (1989), más lo señalado sobre el género *Cassidulina*, se observó que son organismos epifaunales que caracterizan y dominan las faunas de ZOM junto con otros géneros ya mencionados como son *Bolivina*, *Epistominella*, *Pseudoparrella*, *Uvigerina* y *Suggrunda* (Sen Gupta y Machain Castillo, 1993).

Aunque de las preferencias ecológicas de *G. soldanii nitidula*, existe muy poca literatura, se conoce que Bandy (1961) la encontró en concentraciones óxicas; no obstante, Mullins *et al.* (1985) junto con Kaiho (1994) refieren al género de *Gyroidina* como epifaunal tolerante a condiciones disóxicas pero que habita principalmente condiciones óxicas.

P. bradyana es una especie epifaunal que ha sido reportada por Bandy (1961), Smith (1964), Resig (1981), Pérez-Cruz y Machain-Castillo (1990) y Rangel Balmaceda (2004) como una especie asociada a la ZOM en áreas del Pacífico Oriental.

Respecto a *U. excellens*, aunque es una especie asociada también a la ZOM, diversos trabajos como los de Loubere (1991,1996) Bernhard *et al.* (1997) Cannariato *et al.* (1999) y Vásquez-Bedoya *et al.* (2008), la definen primordialmente como una especie indicadora de alto contenido de materia orgánica. El género *Uvigerina*, en general, ha sido descrito como un indicador de ambientes eutróficos bajo condiciones disóxicas no severas (Cannariato *et al.*, 1999). Más aún, Mullins *et al.* (1985) mencionan que los uvigerinidos tienen un comportamiento bimodal y que su abundancia máxima se registra en los límites superior e inferior de la ZOM con concentraciones entre 0.3 y 0.5 ml/L de O₂.

Cabe mencionar que aunque las siete especies dominantes se encuentran reportadas en la literatura del Pacífico Oriental en zonas con bajas concentraciones de O₂, en otras regiones se les puede encontrar habitando zonas distintas, incluso las óxicas.

c) *Bolivina seminuda*

Autor	Profundidad	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.5	1.8	2	3
Bandy (1961)	///	[Shaded area from 0 to 0.85]																							
Harman (1964)	550 - 590	[Shaded area from 0 to 0.1]																							
Phleger y Soutar (1973)	500 - 600	[Shaded area from 0 to 0.1]																							
Ingle et al. (1980)	150 - 400	[Shaded area from 0 to 1.1]																							
Oberhansli et al. (1990)	252	[Shaded area from 0 to 0.1]																							
Pérez-Cruz y Machain-Castillo (1990)	150 - 200	[Shaded area from 0 to 0.35]																							
Kaiho (1994)	///	[Shaded area from 0.1 to 0.35]																							
Páez et al. (2001)	///	[Shaded area from 0.01 to 0.02]																							
Cuesta-Castillo et al. (2004)	202	[Shaded area from 0.5 to 0.55]																							
Rangel Balmaceda (2004)	150 - 187	[Shaded area from 0.3 to 0.45]																							
Machain-Castillo et al. (2006)	70 - 750	[Shaded area from 0 to 1.1]																							
Intervalo final para la especie		[Shaded area from 0 to 1.1]																							

d) *Cassidulina corbyi*

Autor	Profundidad	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.5	1.8	2	3
Pérez-Cruz (1989)	<200	[Shaded area from 0 to 0.35]																							
Mullins et al., (1985) = <i>Cassidulina</i> spp	<500	[Shaded area from 0 to 2.5]																							
Kaiho (1994) = <i>Cassidulina</i> spp.	///	[Shaded area from 0 to 1.8]																							
Cannariato et al. (1999) = <i>Cassidulina</i> spp	///	[Shaded area from 0 to 1.8]																							
Intervalo final para la especie		[Shaded area from 0 to 2.5]																							

e) *Gyroidina soldanii nitidula*

Autor	Profundidad	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.5	1.8	2	3
Bandy (1961)	///																								
Mullins <i>et al.</i> (1985) = <i>Gyroidina</i> spp.	900 - 1150																								
Kaiho (1994) = <i>Gyroidina</i> spp.	///																								
Intervalo final para la especie																									

f) *Pseudoparrella bradyana*

Autor	Profundidad	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.5	1.8	2	3
Bandy (1961)	///																								
Smith (1964)	130 - 400																								
Resig (1981)	150 - 500																								
Pérez-Cruz y Machain-Castillo (1990)	150 - 200																								
Rangel Balmaceda (2004)	150 - 187																								
Rangel Balmaceda (2004)	500 - 640																								
Machain-Castillo <i>et al.</i> (2006)	860 - 1200																								
Intervalo final para la especie																									

g) *Uvigerina excellens*

Autor	Profundidad	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.5	1.8	2	3
Bandy (1961)	///																								
Smith (1964)	400 - 1600																								
Golik y Phleger (1977)	800 - 1600																								
Douglas y Heitman (1979)	85 - 450																								
Rangel Balmaceda (2004)	1281 - 1795																								
Intervalo final para la especie																									

Discusión

- **Descripción de la secuencia sedimentaria y granulometría**

La mayoría de los sedimentos en ambos núcleos, consistieron en arcillas limosas y limos arcillosos respectivamente. Los perfiles son homogéneos (no bioturbados) a lo largo de las secuencias sedimentarias.

Por otra parte, al efectuar un comparativo entre el tamaño del sedimento y la densidad de organismos, es decir, el número de individuos por gramo, se observa un patrón definido a lo largo de ambos núcleos, en donde, a menor proporción de lodos y mayor proporción de arenas, se advierte una mayor cantidad de organismos; dicha situación encuentra sustento en lo mencionado por Carranza-Edwards (1987) y Morales de la Garza y Carranza-Edwards (1995), en donde mencionan que la fracción gruesa o arenosa está constituida fundamentalmente por componentes biogénicos, entre los que destacan por su abundancia, los foraminíferos.

- **Foraminíferos bentónicos y Concentración de O₂**

Al considerar los resultados de comportamiento a nivel genérico y específico, y sumarle a éstos, la distribución estratigráfica y superficial de las especies, más la abundancia relativa a lo largo de las columnas sedimentarias, se observa la dominancia de las especies *B. interjuncta bicostata*, *B. plicata*, *B. seminuda*, *P. bradyana* y *U. excellens* en el núcleo Pacmex I-7T y de *B. seminuda*, *C. corbyi*, *G. soldanii nitidula* y *P. bradyana* en el núcleo Tehua II-18.

Lo anterior indica que el número de especies dominantes en ambos núcleos es reducido, ya que sólo 5 especies de 3 géneros constituyeron más del 70% de la totalidad de organismos en el núcleo Pacmex I-7T. Más marcado es el caso del núcleo Tehua II-18, en el que más del 60 % del total de las especies dominantes, está integrado por sólo 4 especies pertenecientes a 4 géneros.

De acuerdo con lo mencionado por Sen Gupta y Machain-Castillo (1993), Gooday (1996), Von Rad *et al.* (1995) Bernhard y Sen Gupta (1999), Helly y Levin (2004), Wilson, (2007), se

plantea que probablemente ésta alta dominancia y reducida diversidad en ambas columnas sedimentarias, puede estar relacionada con la presencia de condiciones adversas, mismas que solo un pequeño número de especies puede tolerar, como lo son las bajas concentraciones de O₂ o las ZOM's.

Al incorporar el análisis de factores, en la observación de las diferentes asociaciones de foraminíferos bentónicos en ambos núcleos, así como el conocimiento de que la concentración de oxígeno disuelto constituye uno de los principales parámetros que influye mayormente en los cambios poblacionales y la distribución de dichos organismos (Kaiho, 1994-1999; Diaz y Rosenberg, 1995; Jorissen, 1995; Van der Zwaan *et al.*, 1999), se propone que:

Para el núcleo Pacmex I-7T, el factor 2 (115 a 160 cm) localizado en el Pleistoceno (UMG) definido por la asociación *P. bradyana*, *B. plicata* y *B. seminuda*, representa un ambiente anóxico a disóxico con un intervalo de 0 a 1 ml/L de O₂, basado en las afinidades ecológicas de estas tres especies y su coexistencia (Tabla 10).

Tabla 10. Intervalo de O₂ en los que se encuentra la asociación del factor 2 del núcleo Pacmex I-7T.

Pacmex I-7T Factor 2	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.5	1.8	2	3
<i>Pseudoparella bradyana</i> (FS:3.06)																								
<i>Bolivina plicata</i> (FS:2.90)																								
<i>Bolivina seminuda</i> (FS:1.48)																								
Intervalo para la asociación																								

Las concentraciones de 0 a 1 ml/L de O₂ en el agua de fondo referidas anteriormente para esta asociación, son similares a las registradas en la actualidad, ya que los valores obtenidos *in situ* en junio del 2003 de 0.29 ml/L de O₂ y el interpolado de 0.90 ml/L de O₂ en mayo de 1999, se encuentran incluidos en el mismo intervalo, lo cual indicaría la existencia de una reducida variación en este parámetro desde el Pleistoceno (UMG) hasta la actualidad.

Sin embargo, estudios como el de Arellano-Torres (2003) indicaron que durante el Pleistoceno, no se presentaron surgencias en el área de estudio, lo que implicó una baja

productividad en el área y un posible aumento en la concentración de oxígeno disuelto en el agua de fondo, lo cual parecería contradictorio.

Por otro lado, los horizontes correspondientes a esta asociación mostraron una menor cantidad de arenas y componentes biogénicos en relación a todo el núcleo y una densidad de foraminíferos por debajo de la media que fue de 37,319 ind/g, lo que sugiere que durante la época del Pleistoceno se presentó una menor productividad, posiblemente relacionada con la ausencia de surgencias concordando con lo mencionado por Arellano-Torres (2003) y Córdoba-Saldaña (2009).

A su vez, este debilitamiento o ausencia de vientos se explica como la consecuencia de la bifurcación de la corriente de chorro generada por la amplia dimensión de los casquetes polares, y por la diferente posición de las celdas atmosféricas durante el UMG y parte de la Deglaciación, tal como lo indican la COHMAP Members (1988), y Crowley y North (1991).

El factor 1 (0 a 110 cm), caracterizado por las especies *B. interjuncta bicostata*, *U. excellens* y *P. bradyana*, sugiere un ambiente micróxico a óxico con concentraciones entre 0.01 a 2 ml/L (Tabla 11).

Tabla 11. Intervalo de O₂ en los que se encuentra la asociación del factor 1 del núcleo Pacmex I-7T.

Pacmex I-7T Factor 1	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.5	1.8	2	3	
<i>Bolivina interjuncta bicostata</i> (FS:3.28)																									
<i>Uvigerina excellens</i> (FS:1.87)																									
<i>Pseudoparella bradyana</i> (FS:1.84)																									
Intervalo para la asociación																									

Las concentraciones de O₂ de esta asociación (0.01 a 2ml/L) parecerían mayores que las actuales (0.29 y 0.9 ml/L); sin embargo, aunque las especies dominantes de esta asociación habitan ambientes óxicos (hasta 2 ml/L en esta revisión), estas se reportan como características de la ZOM (<1 ml/L).

Aunado a lo anterior, el mayor contenido de arenas y componentes biogénicos respecto a toda la columna sedimentaria, la mayor densidad de organismos por arriba de la media (37,319 a 170,857 ind/g) y la presencia de *U. excellens*, indican una alta productividad relacionada con la presencia de surgencias durante el Holoceno, lo que concuerda con lo sugerido por Arellano-Torres (2003) y Córdoba-Saldaña (2009).

Cabe señalar, que los índices de riqueza, diversidad y equidad son similares para ambos períodos tanto el Pleistoceno como el Holoceno, por lo que no proporcionan información significativa.

En el núcleo Tehua II-18, a partir de las asociaciones resultantes (casi homogéneas de acuerdo con los *factor loadings*) pertenecientes al Holoceno, se observa que las condiciones de O₂ fueron muy similares, debido a que el factor 1 (90 a 230cm) representado por *P. bradyana* y *B. seminuda* sugiere un ambiente anóxico a disódico con concentraciones entre 0 a 1 ml/L de O₂ (Tabla 12).

Tabla 12. Intervalos de O₂ en los que se encuentra la asociación del factor 1 del núcleo Tehua II-18.

Tehua II-18	Factor 1	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.5	1.8	2	3
<i>Pseudoparella bradyana</i>	(FS:3.71)																								
<i>Bolivina seminuda</i>	(FS:1.74)																								
Intervalo para la asociación																									

Mientras que el factor 2 (10 – 80cm) determinado por *B. seminuda*, *G. soldanii nitidula* y *C. corbyi* indica un ambiente disódico con concentraciones de entre 0.3 a 1 ml/L de O₂ (Tabla 13).

Tabla 13. Intervalos de O₂ en los que se encuentra la asociación del factor 2 del núcleo Tehua II-18.

Tehua II-18	Factor 2	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.5	1.8	2	3
<i>Bolivina seminuda</i>	(FS:3.44)																								
<i>Gyroidina soldanii nitidula</i>	(FS:1.63)																								
<i>Cassidulina corbyi</i>	(FS:1.07)																								
Intervalo para la asociación																									

En general, ambas asociaciones registraron concentraciones menores a 1 ml/L, lo que sugiere que este parámetro en el agua de fondo y la productividad biológica no han variado significativamente en los 4791 años propuestos para el núcleo (Córdoba-Saldaña, 2009).

Sin embargo, las pequeñas diferencias en la cantidad de arenas, la densidad de organismos y los índices de riqueza, diversidad y equidad entre ambas asociaciones indicaron posiblemente una variación en la productividad del área, lo que a su vez estaría relacionado con diversos grados de intensidad en las surgencias, tal como lo menciona Córdoba-Saldaña (2009).

Conclusiones

Derivado del estudio de las evidencias sedimentológicas y micropaleontológicas presentes en las columnas sedimentarias Pacmex I-7T y Tehua II-18, se observa que:

- El contenido de O₂ en el agua de fondo no parece variar significativamente a lo largo del tiempo registrado en los núcleos. Esto puede deberse a la inexistencia del conocimiento preciso en relación a la tolerancia de O₂ de las especies dominantes en este estudio,
- Los índices de riqueza, diversidad y equidad son similares para ambos núcleos, por lo que no proporcionan información significativa.
- En contraste, los análisis granulométricos y la densidad de foraminíferos bentónicos proporcionan información sobre los cambios en la productividad biológica del área posiblemente asociados con las surgencias, resultando que en el núcleo Pacmex-7T:
 - a) La asociación del factor 2 ubicada dentro del Pleistoceno, sugiere un ambiente con una menor productividad relacionada probablemente con el debilitamiento o la falta de las surgencias y de los vientos "Tehuano" originado esto último por la bifurcación de la corriente de chorro por la dimensión de los casquetes polares.
 - b) La asociación del factor 1 ubicada dentro del Holoceno, indica una mayor productividad generada posiblemente por las intensas surgencias, y estas a su vez por la presencia de vientos "Tehuano", producidos por el cambio de la circulación atmosférica a una sola corriente de chorro.

En el núcleo Tehua II-18 ubicado dentro del Holoceno también se registraron dos asociaciones. Ambas sugieren como en la asociación del factor 1 del núcleo Pacmex-7T, una mayor productividad biológica relacionada probablemente a las surgencias; sin embargo, dicha productividad no ha variado significativamente en los 4791 años propuestos para el núcleo.

Anexo

Resultados

Tabla 14. Resumen de resultados del análisis estadísticos y multivariables en los núcleos Pacmex I-7T y Tehua II-18.

Datos generales	Tehua II-18	Pacmex I-7T
Área dentro del Golfo	oeste	este
Profundidad del núcleo (m)	283	190
Porcentaje máximo de lodos	99% en 40cm	99% en 160 cm
Porcentaje mínimo de lodos	90% en 230 cm	37% en 35 cm
Total de muestras	25	34
Total de organismos	8,572	12,066
Promedio de densidad	7,213	37,319
Número de picos de densidad por arriba de la media	8	10
Localización de picos con mayor abundancia	parte inferior	parte superior
Densidad máxima (ind/g)	21,607 en 130 a 131cm	170,857 en 35 a 36 cm
Densidad mínima (ind/g)	483 en 10 a 10.5 cm	1,178 en 160 a 161 cm
Total de grupos	38	47
Total de especies	36	43
Total de géneros	20 : 1 sin especie	22 : 3 sin especie
Grupo sin identificar	1	1
Diferencia de especies entre núcleos	13	13
Géneros de mayor presencia	<i>Bolivina</i> = 38.33% = 8 especies <i>Pseudoparella</i> = 24.94% = 2 especies <i>Gyroidina</i> = 7.87% = 1 especie <i>Cassidulina</i> = 6.12% = 3 especies	<i>Bolivina</i> = 37.41% = 8 especies <i>Pseudoparella</i> = 22.41% = 4 especies <i>Uvigerina</i> = 10.14% = 4 especies <i>Cassidulina</i> = 7.31% = 5 especies
Especies presentes en todos los horizontes	<i>Bolivina plicata</i> <i>Bulliminella curta</i> <i>Cancris panamesis</i> <i>Cassidulina corbyi</i> <i>Epistominella pacifica</i> <i>Gyroidina soldanii nitidula</i> <i>Pseudoparella bradyana</i>	<i>Bolivina interjuncta bicostata</i> <i>Bolivina plicata</i> <i>Bolivina seminuda</i> <i>Cancris panamesis</i> <i>Pseudoparella bradyana</i> <i>Uvigerina excellens</i>

Especies presentes en solo un horizonte	<i>Bulimina marginata</i> <i>Fisuarina marginata</i> <i>Nonionella basiloba</i>	<i>Cassidulina waltoni</i> <i>Uvigerina curticosa</i> <i>Uvigerina sp. A</i> <i>Trifarina occidentalis</i>
Número de especies concordantes en todos los horizontes	3	3
Especies concordantes en todos los horizontes	<i>Bolivina plicata</i> <i>Cancris panamensis</i> <i>Pseudoparella bradyana</i>	<i>Bolivina plicata</i> <i>Cancris panamensis</i> <i>Pseudoparella bradyana</i>
Número de especies dominantes	3 = 60% de la población total	6 = 70% de la población total
Especies dominantes	<i>Bolivina seminuda</i> = 30.04% <i>Pseudoparella bradyana</i> = 22.45% <i>Gyroidina soldanii nitidula</i> = 7.87%	<i>Pseudoparella bradyana</i> = 21.09% <i>Bolivina interjuncta bicostata</i> = 13.29% <i>Bolivina plicata</i> = 12.46% <i>Uvigerina excellens</i> = 10.10% <i>Bolivina seminuda</i> = 7.71% <i>Cancris panamensis</i> = 5.73%
Riqueza máxima	30 = 78.94% en 160 cm	29 = 61.7% en 90 cm
Riqueza mínima	18 = 47.36% en 70 cm	12 = 25.53% en 160 cm
Índice de diversidad máxima	1.106 en 200 cm	1.174 en 120 cm
Índice de diversidad mínima	0.824 en 90 cm	0.605 en 160 cm
Promedio de diversidad	0.964	1.007
Índice de equidad máxima	0.812 en 200 cm	0.851 en 120 cm
Índice de equidad mínima	0.645 en 90 cm	0.560 en 160 cm
Promedio de equidad	0.713	0.756
Número de factores	2	2
Información explicada	94.31%	85.57%
Localización del factor 1	parte inferior	parte superior
Horizontes pertenecientes al factor 1 (cm)	90 a 230 + 0, 40 y 50 cm	0 a 110 + 165 cm
Información explicada por el factor 1	89.21%	70.22%
Asociación de FB del factor 1	<i>Pseudoparella bradyana</i> = 3.71	<i>Bolivina interjuncta bicostata</i> = 3.28 <i>Uvigerina excellens</i> = 1.87
Localización del factor 2	parte superior	parte inferior
Horizontes pertenecientes al factor 2 (cm)	10 a 80 cm	115 a 160 + 5, 10 y 90 cm
Información explicada por el factor 2	5.10%	15.35%
Asociación de FB del factor 2	<i>Bolivina seminuda</i> = 3.44 <i>Gyroidina soldanii nitidula</i> = 1.63	<i>Pseudoparella bradyana</i> = 3.06 <i>Bolivina plicata</i> = 2.90 <i>Bolivina seminuda</i> = 1.45

Literatura citada

- Alley, R. B. 2000. The Younger Dryas cold interval as viewed from central Greenland. *Quaternary Science Reviews*. 19:213-226.
- Aranda da Silva, A. 2005. Benthic protozoan community attributes in relation to environmental gradients in the Arabian Sea. Tesis de Doctorado. Facultad de Ingeniería, Ciencias y Matemáticas. Universidad de Southampton. 74pp.
- Arellano-Torres, E. 2001. Reconstrucción paleoceanográfica del Cuaternario tardío del Golfo de Tehuantepec a través de su registro paleontológico. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. 52pp.
- Arellano-Torres, E. 2003. Variación del patrón de circulación superficial del Golfo de Tehuantepec determinado por el registro sedimentario de foraminíferos planctónicos durante el Cuaternario tardío. Tesis de Maestría. Geología Marina. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. 68pp.
- Arellano-Torres, E., Machain-Castillo, Thunell R., Keple B., Mix A., Lyle M. y Pistas N. 2003. Glacial-Holocene changes in the upwelling regime of the Gulf of Tehuantepec, México. *Geophysical Research Abstracts*. 5.
- Arenillas, I. 2002. Foraminíferos: biología, organización de la concha y clasificación. En: Molina, E. (editor). *Micropaleontología*. Prensas Universitarias Zaragoza. España. 634pp.
- Armstrong, H. A. y Brasier, M. D. 2005. *Microfossils*. Blackwell Publishing. Australia. 295pp.
- Bandy, O. L. 1953. Ecology and paleoecology of some California foraminifera. The frequency distribution of recent foraminifera off California. *Journal of Paleontology* 27:161-182.
- Bandy, O. L. 1961. Distribution of foraminifera, radiolarian and diatoms in sediments of the Gulf of California. *Micropaleontology*. 7(1):1-26.
- Barrier, E., Velasquillo, L., Chavez, M. y Gaulton, R. 1998. Neotectonic evolution of the Isthmus of Tehuantepec (southeastern Mexico). *Tectonophysics*. 287:77-96.
- Bé, A. W. H. 1959. Ecology of recent planktonic foraminifera: Part I- Areal distribution in the western North Atlantic. *Micropaleontology*. 5(1):77-100.
- Bernhard, J. M. 1986. Characteristic assemblages and morphologies of benthic foraminifera from anoxic, organic-rich deposits: Jurassic through Holocene. *Journal of Foraminiferal Research* 16(3):207-215.
- Bernhard, J. M. 1989. The distribution of benthic Foraminifera with respect to oxygen concentration and organic carbon levels in shallow-water Antarctic sediments. *Limnology and Oceanography* 34(6):1131-1141.
- Bernhard, J. M., Sen Gupta, B. K. y Borne, P. F., 1997. Benthic foraminiferal proxy to estimate dysoxic bottom-water oxygen concentrations: Santa Barbara Basin, U.S. Pacific continental margin. *Journal of Foraminiferal Research*. 27(4):301-310.
- Bernhard, J. M. y Sen Gupta, B. K. 1999. Foraminiferal of oxygen-depleted environments. En: Sen Gupta, B.K. *Modern foraminifera*. Kluwer Academic. Dordrecht. 201-216p.
- Betancurt, M. J. y Martínez, I. 2003. Foraminíferos bentónicos recientes en sedimentos de fondo de la cuenca de Panama (Pacífico colombiano), como indicadores de productividad y oxigenación. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. 32:93-123.
- Bjorck, S., Rundgren, M., Ingolfsson, O., y Funder, S. 1997. The Preboreal oscillation around the Nordic Seas: Terrestrial and lacustrine responses. *Journal of Quaternary Science*. 12:455-466.
- Blackburn, M., Griffiths, R. C., Holmes, R. W. y Thomas W. H. 1962. Physical, chemical and biological observations in the eastern tropical Pacific Ocean: Three cruises to the Gulf of Tehuantepec 1958-1959. *Spec. Scient. Rep. U. S. Fish. Wild. Serv. Fish* 420:170.
- Blake, G. H. 1976. The distribution of benthic foraminifera in the outer borderland and its relationship to Pleistocene facies. Tesis de Maestría. Universidad de California del Sur, Los Angeles. 135pp.
- Boltovskoy, E. 1965. Los foraminíferos recientes, biología, métodos de estudio, aplicación oceanográfica. EUDEBA. Buenos Aires. 510pp.

- Boltovskoy, E. y Wrigh, R. 1976. Recent Foraminifera . W. Junk. Publishers, The Hague, 515 pp.
- Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., deMenocal, P., Priore, P., Cullen, H., Hajdas, I. y Bonani, G. 1997. A perspective millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *Science*. 278:1257-1266.
- Boumaggard, E. H., Gayet, J., Bobier C., Machain-Castillo, M. L. y Aguayo-Camargo, E. 1998. Distribution des sédiments sur la marge du golfe de Tehuantepec (Pacifique Oriental). Exemple d' interaction tectonique-eustatisme. *Oceanologica Acta*. 20(1) :21-31.
- Bradley, R. S. 1985. Quaternary paleoclimatology. Methods of Paeloclimatic Reconstruction. Chapman y may. London 450pp.
- Bradley, R. S. 1999. Recent developments in Quaternary paleoclimatology. En Berguer, Schneider S. y Duplessy C. L. Climate and Geo-Science. (eds). Series C: Mathematical and Physical Sciences. Kluwer Academic Publishers. London. 285:165-171.
- Bradshaw, J. S. 1959. Laboratory experiments on the ecology of foraminifera. *Cushman Found. Foraminiferal Research Contribution*. 12:87-106p.
- Buzas , M. A. y Culver, S. J. 1990. Recent benthic Foraminifera Provinces on the Pacific continental margin of North America. *Journal of Foraminiferal Research*. 20(4):326-335.
- Broecker, W. S., Andree, M., Wolfli, W., Oeschger, H., Bonani, G., Kennett, J., Peteet, D. 1988. The chronology of the last deglaciation: Implication to the cause of Younger Dryas event. *Paleoceanography*. 3:1-19.
- Calvert S. E. y Pedersen T. F. 2007. Elemental proxies for paleoclimatic and paleoceanographic variability in marine sediments: interpretation and application. En Hillarie-Marcel C. y Vernal de A. (eds.) Developments in marine geology. Proxies in late Cenozoic paleoceanography. Elviesiers. 843pp.
- Cannariato, K. G., Kennett, J. P. y Behl, R. J. 1999. Biotic response to late Quaternary rapid climate switches in Santa Barbara Basin: Ecological and evolutionary implications. *Geology*. 27(1):63-66.
- Carranza-Edwards, A. 1987. Informe técnico de la Campaña Oceanográfica MIMAR III. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. México. Informe inédito.
- Carranza-Edwards A. Morales de la Garza y Rosales L. 1998. Tectónica, sedimentología y geoquímica. Cap. 1:1-12. En Tapia G. M. El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos. (ed) 240pp. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México.
- Carranza-Edwards A., Rosales, L., Ruiz Ramirez, E. y Santiago, S. P. 1989. Investigations of phosphorite deposits in the Gulf of Tehuantepec, México. *Marine Mining* 8:317-323.
- Carrit D. E. y Carpenter J. H. 1966. Comparison and evaluation of currently employed modification of the Winkler method for determining dissolved oxygen in sea-water. *Report. J. Mar. Res.* 24(3):286-318p.
- Clark, P. Y., Marshall, S. J., Clarke, G. K. C., Hostetler, S. W., Licciardi, J. M. y Teller J. T. 2001. Freshwater forcing of abrupt climate change during the Last Glaciation. *Science*. 293:283-286.
- CLIMAP Projects Members. 1976. The surface of Ice-Age Earth. *Science* 191(4232):1131-1138.
- CLIMAP Projects Members. 1981, 1984. Seasonal reconstruction of the Earth's surface at the Last Glacial Maximum. *Geological Society of America Map and Chart Series*. MC-36.
- Cline, J. D. y Richards, F. A. 1972. Oxygen Deficient conditions and nitrate reduction in the Eastern Tropical North Pacific Ocean. *Limnology and Oceanography*. 17(6):883-891.
- COHMAP Members. 1988. Climatic changes of the last 18,000 years: observations and model simulations. *Science*. 241:1043-1052.
- Córdoba-Saldaña, L. P. 2009. Variación en el patrón de circulación superficial del Golfo de Tehuantepec durante el UMG por medio de las asociaciones de foraminíferos planctónicos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. 67pp.
- Corliss, B. H. 1991. Morphology and microhabitat preferences of benthic foraminifera from the northwest Atlantic Ocean. *Marine Micropaleontology*. 17(3-4):195-236
- Cronin, M. T. 1999. Principles of Paleoclimatology. Columbia University Press. EUA. 560pp.

- Crowley, T.H. y North, G. R. 1991. *Paleoclimatology*. Oxford University Press. 339pp.
- Crowley, T. H. y Lowery, T. S. 2000. How warm was the Medieval Warm Period?. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 29(1):41-54.
- Cuesta-Castillo, L. B., Machain-Castillo, M. L. y Arellano-Torres, E. 2004. Reconstrucción de la Zona de Oxígeno Mínimo del Golfo de Tehuantepec durante los últimos 44,000 años a.p. a través de las asociaciones de foraminíferos bentónicos. Simposium del Cuaternario. IV Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra. Juriquilla, Queretaro México.
- De la Lanza E. G. (compiladora). 1991. *Oceanografía de Mares Mexicanos*. ARG editor, S. A. México. 117-207p.
- Deckker, de P., Tapper, N. J. y Kaars, van der S. 2002. The status of the Indo-Pacific Warm Pool and adjacent land at the Last Glacial Maximum. *Global and Planetary Change*. 35:24-35.
- Denton, G. H. y Karlen, W. 1973. Holocene climatic variations. Their pattern and posible cause. *Quaternary Research*. 3:155-205.
- Diaz, J. R. y Rosenberg, R. 1995. Marine benthic hypoxia: A review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*. 33:245-303.
- Douglas, R. G y Heitman, H. L. 1979. Slope and basin benthic foraminifera of the California borderland. En: Doyle, L. J. y Pilkey O. H. (eds) *Geology of Continental Slopes*. SEPM Spec. Publ. 231-246p.
- Douglas, R. y Staines-Urias, F. 2007. Dimorphism, shell Mg/Ca ratios and stable isotope content in species of Bolivina (benthic foraminifera) in the Gulf of California, Mexico. *Journal of Foraminiferal Research*. 37(3):189-203.
- Feldberg, M. J. y Mix, A. C. 2002. Sea-surface temperature estimates in the Southeast Pacific based on planktonic foraminiferal species; modern calibration and Last Glacial Maximum. *Marine Micropaleontology*. 44:1-29.
- Felzer, B. 1998. Climate impacts of an ice sheet in East Siberia during the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*. 20:437-447.
- Fisher, D.A. y Koerner, R.M. 2003. Holocene ice core climate history, a multi-variable approach. En: Mackay, A., Battarbee, R., Birks J. y Oldfield F. (eds) *Global Change in the Holocene*. London, in press.
- Folk, R. L. 1969. Petrología de las rocas sedimentarias. En : Schaefer, C. y Scmitter, P. M. Instituto de Geología, UNAM. 42-121p.
- Fontanier, C., Jorissen, F. J., Licari, L., Alexandre, A., Anschutz, P. y Carbonel, P. 2002. Live benthic foraminiferal faunas from the Bay of Biscay : faunal density, composition, and microhabitats. *Deep-Sea Research I*. 49:751-758.
- Fuenzalida, R., Schneider, W., Garces-Vargas, J., Bravo, L. y Lange C. 2009. Vertical and horizontal extension of the oxygen minimum zone in the eastern South Pacific Ocean. *Deep-Sea Research II*. 56: 992-1003.
- Ganeshram, R. S. y Pedersen, T. F. 1998. Glacial-interglacial variability in upwelling and bioproductivity off NW Mexico: Implications for Quaternary paleoclimate. *Paleoceanography*. 13(6):634-645.
- Geslin, E., Heinz, P., Jorissen F. y Hemleben Ch. 2004. Migratory responses of deep-sea benthic foraminifera to variable oxygen conditions: laboratory investigations. *Marine Micropaleontology* 53:227- 243.
- Goldstein, S. T. 1999. Foraminiferal: A biological overview. En: Sen Gupta, B.K. *Modern foraminifera*. Kluwer Academic. Dordrecht. 37-56p.
- Goldstein S. T. y Corliss B. H. 1994. Deposit feeding in selected deep-sea and shallow-water benthic foraminifera. *Deep-Sea Research I*. 41(2):229-241.
- Golik, A. y Phleger, F. B. 1977. Benthonic foraminifera from the Gulf of Panama. *Journal of Foraminiferal Research*. 7:88-100.
- Gooday, A. J. 2003. Benthic foraminifera (protista) as tools in deep-water paleoceanography: environmental influences on faunal characteristics. *Advanced Marine Biology*. 46:1-90.
- Gooday, A. J, Bowser, S. S. y Bernhard, J.M. 1996. Benthic foraminiferal assemblages in Explorer C- Antarctica: a shallow-water site with deep-sea characteristics. *Progress in Oceanography* 37:117-166.

- Gooday, A. J. y Rathburn, A. E. 1999. Temporal variability in living deep-sea benthic foraminifera: a review. *Earth-Science Reviews*. 46:187-212.
- Granados Barba, *et al.* 2000. Métodos de muestreo en la investigación oceanográfica. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México 448pp.
- Grove, J. M. 1988. The little ice age. Methuen, Londres y Nueva York. 489pp.
- Grove, J. M. 2004. Little ice ages. Ancient and Modern. Volume II. 2ed. Londres y Nueva York . 406-718p.
- Hair, F. J. 2005. Análisis multivariante. Prentice Hall. México. 799pp.
- Haq ,U.B. y Boersma, A. 1998. Introduction to marine micropaleontology. Elsevier Science. Singapore. 1-77p.
- Harman, H. H. 1976. Modern Factor Analysis. The University of Chicago Press. E.U.A. 487pp.
- Harman, R. A. 1964. Distribution of foraminifera in Santa Barbara Basin, California. *Micropaleontology*. 10:81-96.
- Hastenrath, S. y Lamb, P. J. 1977. Climatic atlas of the tropical Atlantic and eastern Pacific Oceans. University of Wisconsin Press Madison, Wis. 15pp.
- Hayward, B. H., Neil, R., Carter, R., Grenfell, H.R. y Hayward, J.J. 2002. Factors influencing the distribution patterns of recent deep-sea benthic foraminifera, east of New Zealand, southwest Pacific Ocean. *Marine Micropaleontology*. 46: 139-176.
- Helly, J. J. y Levin, A. L. 2004. Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins. *Deep-Sea Research I*. 51:1159-1168.
- Hernández-Becerril, D. U. 1993. Fitoplancton marino en México. En: Salazar Vallejo, S.I. y Gonzalez, E. e. (eds). Biodiversidad Marina y Costera de México. Comisión Nacional de Biodiversidad y CIQRO, México. 39-53p.
- Hillarie-Marcel C. y Vernal de A. 2007. Developments in marine geology. Proxies in late Cenozoic paleoceanography. Elseviers. 843pp.
- Hughes, M. K. y Díaz, H. F. 1994. Was there a Medieval Warm Period, and if so where and when?. *Climatic Change*. 26:109-142.
- Ingle, J. C., Keller, G. y Kolpack, R. L. 1980. Benthic foraminiferal biofacies, sediments and water masses of the southern Perú-Chile Trench area, southeastern Pacific ocean. *Micropaleontology*. 26:113-150.
- Jorissen F., De Stigter H. C. y Widmark J. G. V. 1995. A conceptual model explaining benthic foraminiferal microhabitats. *Marine Micropaleontology*. 26:3-15.
- Jorissen, F. 1999. Benthic foraminiferal microhabitats below the sediment-water interface. En: Sen Gupta, B.K. Modern foraminifera. Kluwer Academic. Dordrecht. 161-180p.
- Jorissen F., Fontanier, C. y Thomas E. 2007. Paleooceanographical proxies based on deep-sea benthic foraminiferal assemblage characteristic. En Hillarie-Marcel C. y Vernal de A. (eds.) Developments in marine geology. Proxies in late Cenozoic paleoceanography. Elseviers. 843pp.
- Kaiho, K. 1994. Benthic foraminiferal dissolved-oxygen index and dissolved-oxygen levels in the modern ocean. *Geology*. 22:719-722.
- Kaiho, K. 1999. Effect of organic carbon flux and dissolved oxygen on the benthic foraminiferal oxygen index (BFOI). *Marine Microplaeontology*. 37:67-76.
- Kamykowski, D. y Zentara, S. J. 1990. Hypoxia in the world ocean as recorded in the historical data set. *Deep Sea Research* 37(12):1861-1874.
- Keigwin, L. D. y Jones, G. A. 1990. Deglacial climatic oscillations in the Gulf of California. *Paleoceanography*. 5(6):1009-1023.
- Keigwin, L. D. y Boyle E. A. 2000. Detecting Holocene changes in thermohaline circulation. *Proceedings of the National Academy of Science*. 97(4):1343-1346.
- Kennett J. P. 1982. Marine Geology. Prentice Hall, Englenwood Cliffs. 830pp.

- Kennett, J. P. e Imgram, B. L. 1995. A 20,000-year record of ocean circulation and climate change from the Santa Barbara basin. *Nature*. 37:510-516.
- Kim, J. O. y Muller, C. W. 1978. Factor analysis. Statistical methods and practical issues. Sage Publications. EUA. 88pp.
- Krishnamurthy, K. V. 2003. Textbook of biodiversity. Enfield, New Hampshire: Science. 260pp.
- Kucera, M., Rosell-Melé, A., Schneider, R., Waelbroeck, C., Weinelt M. 2005. Multiproxy approach for the reconstruction of the glacial ocean surface (MARGO). *Quaternary Science Reviews*. 24:813-819.
- Kutzbach, J. E. y Web III, T. 1993. Conceptual basis for understanding Late-Quaternary climates. En: Wright, H. E., Kutzbach, J. E., Web III, T., Ruddiman, W. F., Street-Perrott, F. A. y Bartlein P. J. (eds). *Global climates since the Last Glacial Maximum*. 569pp.
- Labeyrie, L., Cole J., Alverson, K. y Stocker, T. 2003. The history of climate dynamics in the Late Quaternary. *Paleoclimate, Global Change and the Future*. LGBP Series.
- Langezaal, A. M., Jorissen F. J. Brauna, B., Chailoud, G., Fontanier C., Anschutzd, P. y Van der Zwaann, G. J. 2006. The influence of seasonal processes on geochemical profiles and foraminiferal assemblages on the outer shelf of the Bay of Biscay. *Continental Shelf Research* 26:1730-1755
- Lavin, M. F., Robles, J. M., Argote, M. L., Barton, E. D., Smith, R., Brown, J., Kosro, M., Travisña, A., Velez-Muñoz, H. S. y García, J. 1997. Física del Golfo de Tehuantepec. *Ciencia y Desarrollo*. XVIII. 103:97-108.
- Levin L. A. 2004. Oxygen minimum zone benthos: adaptation and community response to hipoxia. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*. 41:1-15.
- Lipps, H. J. 1990. Origin and early evolution of foraminifera. *Studies in benthic foraminifera*. Proceedings of the fourth international symposium on benthic foraminifera. Sendai, Japan. 3-9p.
- Lluch-Cota, S. E., Álvarez-Borrego S., Santamaría del Angel E. M. Muller-Karger, E. y Hernández-Vásquez, S. 1997. El Golfo de Tehuantepec y areas adyacentes: Variación espacio temporal de pigmentos fotosintéticos derivados de satélite. *Ciencias Marinas*. 23(3):329-340.
- Loubere, P. 1991. Deep-sea benthic foraminiferal assemblage response to a ocean productivity gradient: A test. *Paleoceanography* 6:193-204.
- Loubere, P. 1996. The surface ocean productivity and bottom water oxygen signals in deep water benthic foraminiferal assemblages. *Marine Micropaleontology*. 28:247-261.
- Loubere, P.I y Qian, Hui. 1997. Reconstructing paleoecology and paleoenvironmental variables using factor analysis and regression: some limitations. *Marine Micropaleontology*. 31:205-217.
- Lugo, J. H. 1986. Morfoestructuras del fondo oceánico mexicano. *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 15:9-40.
- McCave, I. N., Carter, L. y Hall, I. R. 2008. Glacial-interglacial changes in water mass structure and flow in the SW Pacific Ocean. *Quaternary Science Reviews*. 27:1886-1908.
- Machain-Castillo, M.L. y Arellano-Torres, E. 2002. Variaciones de la zona de oxígeno mínimo del Golfo de Tehuantepec durante el Cuaternario Tardío: evidencias micropaleontológicas. III RNCY, Puerto Vallarta, Jalisco, México. 4-8 nov.
- Machain-Castillo, M. L., Diego-Casimiro, G., Ruiz-Fernández, A. C. y Cuesta-Castillo, L. B. 2006. Living (rose bengal stained) benthic foraminifera from the oxygen minimum zone in the Gulf of Tehuantepec, Mexican Pacific. European Geosciences Union General Assembly. Viena, Austria, 2-7 abril.
- Machain-Castillo, M. L., Monreal-Gómez, A., Arellano-Torres, E., Merino-Ibarra, M. y Gonzalez-Chavez G. 2008. Recent planktonic foraminiferal distribution patterns and their relation to hydrographic conditions of the Gulf of Tehuantepec, Mexican Pacific. *Marine Micropaleontology*. 66:103-109.
- Magurran, A. E. 2004. Measuring biological diversity. Blackwell.Maldan, Massachusetts, EUA. 256pp.
- Malmgrem, B. A. y Haq, B. U. 1982. Assessment of quantitative techniques in paleobiogeography. *Marine Micropaleontology*. 7:213-236.
- Margalef, R. 1989. Ecología. Ed Omega. Barcelona. 951pp.

- Mayewski, P. A., Denton, G. H. y Hughes T. J. 1981. Late Wisconsin ice sheets in North America. En: Denton, G. H. y Hughes T. J. (eds) *The last great ice sheets*. Nueva York. 67-178p.
- Mayewski, P. A., Rohling, E. E., Stager, C., Karlén, W., Maasch, K. A., Meeker, L. D., Meyerson, E. A., Gasse, F., Kreveld, van S., Holmgren, K., Lee-Thorp, J., Rosqvist, G., Rack, F., Staubwasser, M., Schneider, R. R. y Steig, E. J. 2004. Holocene climatic variability. *Quaternary Research*. 62:243-255.
- Meave del Castillo, M. E. y Hernández-Becerril, D. U. Fitoplancton. En: Tapia G. M. (Ed.) *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos*. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. 240p.
- Molina-Cruz, A. y Martínez-López, M. 1994. Oceanography of the Gulf of Tehuantepec, Mexico, indicated by Radiolaria remains. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 110:179-195.
- Monreal, G. M. A. y Salas, D. A. 1998. Dinámica y estructura termohalina. En: Tapia G. M. (Ed.) *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos*. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. 240p.
- Moodley L., Van der Zwaan, G. J., Rutten G. .M. W., Boom R. C. E. y Kempers A. J. 1998. Subsurface activity of benthic foraminifera in relation to porewater oxygen content: laboratory experiments. *Marine Micropaleontology*. 34:91-106.
- Morales de la Garza y Carranza, E. 1995. Sedimentos fosfatados en el Golfo de Tehuantepec. *Hidrobiológica*. 5(1-2):25-36.
- Morrison J. M., Codispoti L. A., Smith S. L., Wishner K., Flagg C. Gardner W. D., Gaurin S. Naqvi S. W. A., Manghnani V., Prosperie L. y Gundersen J. S. 1999. The oxygen minimum zone in the Arabian Sea during 1995. *Deep Sea Research II*. 46:1903-1931.
- Mullins, H. T., Thompson, J. B., McDougall, K. y Vercoutere, T. L. 1985. Oxygen-minimum zone edge effects: evidence from central California coastal upwelling system. *Geology*. 13:491-494.
- Murray, J. W. 1991. Ecology and paleoecology of benthic foraminifera. Longman Scientific y Technical. New York. EJA. 397pp.
- Murray, J. W. 2001, 2006. The niche of benthic foraminifera, critical thresholds and proxies. *Marine Micropaleontology*. 41:1-7.
- Oberhansli, H., Heinze, P., Diester-Hass, L. y Wefer G. 1990. Upwelling off Peru during the last 430,000 yr and its relationship to the bottom-water environment, as deduced from coarse grain-size distributions and analyses of benthic foraminifera at holes 679d, 680b, and 681b, leg 1121. En: Suess, E., Von Huene, R., et al., 1990. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 112:369-390.
- O'Brien, S. R., Mayewski, P. A., Meeker, L. D., Meese, D. A., Twickler, M. S. y Whitlow, S. I. 1995. Complexity of Holocene climate as reconstructed from a Greenland ice core. *Science*. 270:1962-1964.
- Ortega García, S., Trigueros Salieron, J. A., Rodríguez Sánchez, R., Lluch Cota, S. y Villalobos Ortiz, H. 2000. El golfo de Tehuantepec como un centro de actividad biológica y su importancia en las pesquerías. En: Lluch Belda, Elorduy Garay, Lluch Cota, S. E. y Ponce Díaz, G. (eds.) *Bac: Centros de actividad biológica del pacífico mexicano*. Cibnor-cicimar-conacyt. 335-356pp.
- Quintero, P. J. y Gardner, J. V. 1987. Benthic foraminifera on the continental shelf and upper slope, Russian Rivera, northern California. *Journal of Foraminiferal Research*. 17:132-152.
- Paez, M., Zuñiga, O., Valdes J. y Ortlieb L. 2001. Foraminíferos bentónicos recientes en sedimentos micróxicos de la bahía Mejillones del Sur (23°S), Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 36(2):129-139.
- Parker, L. F. 1962. Planktonic foraminiferal species in Pacific sediments. *Micropaleontology*. 8(2):219-254.
- Parker, W. C. y Arnold, J. A. 1999. Quantitative methods of data análisis in foraminiferal ecology. En: Sen Gupta B.K. *Modern foraminifera*. Kluwer Academic. Dordrecht 71-92p.
- Pedrazzani, C., Holguín, N. y Moreno, R. 1982. Evaluación geológico-geoquímica de la parte noroccidental del Golfo de Tehuantepec. *Revista del Instituto Mexicano del Petroleo*. XVI(4):6-26.
- Pérez-Cruz, L. L. 1989. Foraminíferos bentónicos como indicadores de la zona de oxígeno mínimo en el Golfo de Tehuantepec. Tesis de Maestría. ICMYL. UNAM. 136pp.

- Pérez-Cruz, L. L. 2006. Climate and ocean variability during the middle and late Holocene recorded in laminated sediments from Alfonso Basin, Gulf of California, Mexico. *Quaternary Research*. 65:401-410.
- Pérez-Cruz, L. L., y Machain-Castillo, M. L. 1990. Benthic foraminifera of the oxygen minimum zone, continental shelf of the Gulf of Tehuantepec, México. *Journal of Foraminiferal Research*. 20(4):312-325.
- Phleger, F. B. 1964. Patterns of living benthonic foraminifera, Gulf of California. En: Van Andel, T. H. y Shor, G. G. (eds) Marine Geology of the Gulf of California. *American Association Petrology y Geology Memories* 3. 400pp.
- Phleger, F. B. y Soutar, A. 1973. Production of benthic foraminifera in three east Pacific oxygen minima. *Micropaleontology* 19(1):110-115.
- Pisias, N. G. 1978. Paleoceanography of the Santa Barbara Basin during the last 8000 years. *Quaternary Research*. 11:366-384.
- Pisias, N. G. 1979. Model for paleoceanographic reconstructions of the California Current during the last 8000 years. *Quaternary Research*. 11:373-386.
- Rangel Balmaceda, R. 2004. Ecología de los foraminíferos bentónicos recientes de la plataforma y talud continental del sur del Estado de Sinaloa, (entre los paralelos 22°30' y 24°N). Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. 65pp.
- Resig, J.M. 1981. Biogeography of benthic foraminifera of the northern Nazca Plate and adjacent continental margin. *Geological Society of American. Memories*. 154:619-665.
- Resig, J. M. 1990. Benthic foraminiferal stratigraphy and paleoenvironments off Peru, leg 112. En: Suess, E., von Huene, R., *et al.*, 1990. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, Vol. 112
- Rind, D. 1987. Components of Ice Age circulation. *Journal of Geophysical Research*. 92:4241-4281.
- Rind, D. y Peteet D. 1985. Terrestrial conditions at the Last Glacial Maximum and CLIMAP Sea-Surface temperature estimates: are they consistent?. *Quaternary Research*. 24(1):1-22.
- Robles-Jarero, E. G. 1991. Productividad y biomasa del fitoplancton en el Golfo de Tehuantepec, bajo el forzamiento invernal de los vientos. Tesis de Maestría en Ciencias. CICESE, Ensenada, B.C. 81pp.
- Robles-Jarero, E. y Lara-Lara J.R. 1993. Phytoplankton productivity in the Gulf of Tehuantepec. *Journal of Planktonic Research*. 15:1341-1358.
- Roger, J. 1980. Paleoeología. Ed. Paraninfo. Madrid. 203pp.
- Rogers, A. D. 1999. The role of the oceanic oxygen minima in generating biodiversity in the deep sea. *Deep-Sea Research II*. 47:119-148.
- Ruddiman, W. F. 2001. Earth's Climate past and future. W. H. Freeman Compañy. Nueva York. 465pp.
- Secretaría de Marina. 1978. Estudio oceanográfico del Golfo de Tehuantepec. Inv. Ocean/Tehua-04-78. Dirección General de Oceanografía México. Tomo I-III.
- Sen Gupta, B. K. y Machain-Castillo, M. L. 1993. Benthic foraminifera in oxygen-poor habitats. *Marine Micropaleontology* 20:183-201.
- Siegert, M. J. 2001. Ice sheets and late quaternary environmental change. Chichester. 231pp.
- Smart, C. W. 2003. Environmental applications of deep-sea benthic foraminifera. En: Haslett, S. K. (ed). *Quaternary environmental micropaleontology*. Hidder Headline Group, Londres. 14-58p.
- Smith, P. B. 1964. Ecology of benthic species: Recent foraminifera off Central America. US. Geol. Srv. Prof. Pap. 429-B. 51pp.
- Smith, R. L. 2001. Ecología. Addison-Wesley. Madrid. 629pp.
- Staines-Urias, F. 2006. High resolution paleoceanography of the Southern Gulf of California: a 400 year record
- Streeter, S. S. 1972. Living benthonic foraminifera of the Gulf of California, a factor analysis of Pheleger's (1964) data. *Micropaleontology*. 18:64-73.
- Tait, R. V. 1970. Elementos de ecología marina: Curso preparatorio. Zaragoza, España. Acribia. 446pp.

- Thunell, R. C. y Kepple, A. B. 2004. Glacial-Holocene $\delta^{15}\text{N}$ record from the Gulf of Tehuantepec, Mexico: Implications for denitrification in the eastern equatorial Pacific and changes in atmospheric N_2O . *Global Biogeochemical Cycles*. 18.
- Trasviña, C. A. 1991. Offshore wind forcing in a coastal ocean: observations and modeling of Gulf of Tehuantepec. Ph. Thesis. University of North Wales, Bagor, UR. 91pp.
- Trasviña, C. A., Barton, E., Velez, H. S. y Brown, J. 2002. Frontal subduction of a cool surface water mass in the Gula of Tehuantepec (eddies within eddies). *Geofísica Internacional*, en prensa.
- Vásquez-Bedoya, L. F. 2006. Geocronología reciente (210P) de la evolución de la contaminación en la zona Costera del Golfo de Tehuantepec. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. 131pp.
- Vásquez-Bedoya, L. F., Radi, T., Ruiz-Fernández, A. C., Vernal, de A., Machain-Castillo, M. L., Kieft, J. F. y Hillarie-Marcel, C. 2008. Organic-walled dinoflagellated cysts and benthic foraminifera in coastal sediments of the last century from the Gulf of Tehuantepec, South Pacific Coast of Mexico. *Marine Micropaleontology*. doi:10.1016/j.marmicro.2008.03.02.
- Vázquez, Gutiérrez . F., Salvador L. G., Ramírez A. A., Turner, G. M., Frausto, C. A. y Alexander, V. H. 1998. La química del agua. En: Tapia G. M. El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos. (ed) 240pp. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México.
- Van der Zwaan G. J., Deuijnste I. A. P., Den Dulk M., Ernst S. R., Jannink N. T. y Kouwenhoven T. J. 1999. Benthic foraminifers: proxies or problems? A review of paleoecological concepts. *Earth Science Reviews*. 46:213-236p.
- Von Rad, U., Schultz, H. y SONNE 90 Scientific Party. 1995. Sampling the oxygen minimum zone off Pakistan : glacial-interglacial variations of anoxia and productivity (preliminar results, SONNE 90 cruise). *Marine Geology*. 125:7-19.
- Wefer, G., Berger, W. H., Bijma, J. y Fischer G. 1999. Clues to ocean history: a brief overview of proxies. En: Fischer, G. y Wefer, G. (eds). Use of proxies in paleoceanography: Examples from the South Atlantic. Springer-Verlag Berlin. 735pp.
- Wilson, B. 2007. Benthonic foraminiferal paleoecology of the Brasso Formation (*Globorotalia fohsi lobata* and *Globorotalia fohsi robusta* [N11-N12] zones), Trinidad, West Indies: A transect through an oxygen minimum zone. *Journal of South American Earth Sciences*. 23:91-98.
- Wu, P. y Peltier, W. R.1983. Pleistocene deglaciation and the Earth's rotation: a new analysis. *Geophysical Journal International* 76(3):753-791.
- Wyrki, K. 1962. The oxygen minima in relation to ocean circulation. *Deep Sea Research*. 9(11):11-23.
- Wyrki, K. 1966. Oceanography of the eastern equatorial Pacific Ocean. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*. 4:33-68.
- Zheng, Y., Geen van A., Anderson, R. F., Gardner, J. V., Dean, W. E. 2000. Intensification of the northeast Pacific oxygen minimum zone during the Bölling-Alleröd warm period. *Paleoceanography*. 15(5):528-536.