

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**Isótopos Estables de Oxígeno y Carbono en
Foraminíferos del Margen Continental de
Magdalena, B.C.S. México**

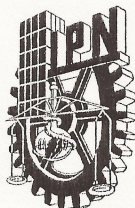
TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN
MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

Presenta

Lilia Inés Sánchez Vargas

La Paz, B.C.S., Noviembre de 2011.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 05 del mes de Octubre del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

**“ISÓTOPOS ESTABLES DE OXÍGENO Y CARBONO EN FORAMINÍFEROS
DEL MARGEN CONTINENTAL DE MAGDALENA, B.C.S., MÉXICO”**

Presentada por el alumno:

SÁNCHEZ	VARGAS	LILIA INÉS
Apellido paterno	materno	nombre(s)

Con registro:

B	0	9	1	3	9	4
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Director(a) de Tesis

DR. ALBERTO SÁNCHEZ GONZÁLEZ

DR. DAVID ALFARO SIQUEIROS BELTRONES

DR. SERGIO AGUÍÑIGA GARCÍA

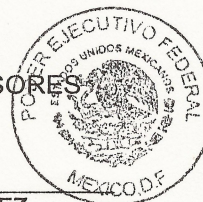
DR. ENRIQUE HIPARCO NAVA SÁNCHEZ

Elsa Arellano T.

DRA. ELSA ARELLANO TORRES

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ



**IPN
CICIMAR
DIRECCION**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 08 del mes Noviembre del año 2011
el (la) que suscribe ING. GEÓL. LILIA INÉS SÁNCHEZ VARGAS alumno(a) del
Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS
con número de registro B091394 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DR. ALBERTO SÁNCHEZ GONZÁLEZ

y cede los derechos del trabajo titulado:

"ISÓTOPOS ESTABLES DE OXÍGENO Y CARBONO EN FORAMINÍFEROS
DEL MÁRGEN CONTINENTAL DE MAGDALENA, B. C. S., MÉXICO"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: alsanchezg@ipn.mx - liliavolcan@hotmail.com

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

ING. GEÓL. LILIA INÉS SÁNCHEZ VARGAS

nombre y firma

En memoria de:

José Luis Sánchez Vargas

David Sánchez Cebada

Esperanza Díaz Jaen

Marilupe Aja Incera

“La muerte no es más que un cambio de misión”

- Gandhi

Agradecimientos

A CONACYT por medio del programa de Becas de Posgrado Nacionales por las facilidades económicas otorgadas para la realización de la maestría.

Al proyecto SIP no. 20110143 titulado “Distribución y Composición de la Materia Orgánica en Sedimentos del Complejo Lagunar de Bahía Magdalena-Almejas, Baja California Sur, México por las facilidades económicas otorgadas.

A Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas del IPN (COOFA) por todo el apoyo económico otorgado para mi formación académica.

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas CICIMAR por todo la formación, enseñanza y vivencias otorgadas durante mi formación.

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, a través del Dr. Raúl Gío Argáez y de la Dra. María Luisa Machaín por las facilidades otorgadas para la realización de la estancia académica así como de las fotografías de microscopía electrónica presentadas en esta tesis. Por todo su tiempo, dedicación y enseñanzas, mil gracias.

Al Dr. Alberto Sánchez González por la oportunidad que me otorgo de conocer y vivir esta hermosa experiencia, por enseñarme más allá de lo que conocía, por su amistad, apoyo y diversas enseñanzas. Por enseñarnos lo que la amistad puede hacer con dos personas. Por ser una influencia verdaderamente increíble para nosotros, por aconsejarnos siempre y en todo momento y más que nada por esa confianza que siempre tuvo en nosotros con los ojos cerrados. Beto mil gracias.

Al Dr. Sergio Aguíñiga García por su comprensión, por sus consejos y tiempo otorgado, gracias por darme un valor invaluable que es la confianza.

Al Dr. David Alfaro Siqueiros Beltrones por su confianza, amabilidad y por todo el tiempo otorgado, por la enseñanza que me dio para mi aprendizaje de la ciencia con miras filosóficas, por las increíbles y extensas pláticas y por enseñarme a ver la vida y la ciencia desde otro punto de vista.

Al Dr. Enrique Nava Sánchez y la Dra. Janette Murillo Jiménez por todas las enseñanzas geológicas, pero más que nada por las enseñanzas de la vida y de nuestra persona, por enseñarme la sencillez, la inteligencia, la paciencia, pero más que nada el valor de la amistad. Por servirme de ejemplo de lo invaluable que es una persona pero más que nada del verdadero significado de éxito, mil gracias por todo lo que nos dieron y que tengan por seguro que en nosotros siempre tendrán una amistad de por vida.

A la Dra. Elsa Arellano Torres por sus enseñanzas, el tiempo y la dedicación que le otorgó a mi aprendizaje de mi tesis, por corregirme, escucharme, por su paciencia y darme siempre su tiempo, mil gracias.

Al Dr. Bernardo Shirasago por toda la confianza, amistad y apoyo, por sus consejos y su confianza en mí, por sus palabras de aliento y más que nada por su sonrisa que siempre nos otorgó y cambió días malos en buenos.

Al Dr. Víctor Manuel Malpica Cruz por enseñarnos desde que estábamos en la licenciatura el valor de un ser humano, por apoyarnos y aconsejarnos siempre como si fuera un padre, por su tiempo, su confianza infinita que nos ha otorgado pero más que nada por haberme hecho sentir una increíble y plena amistad. Gracias Doctor.

Al Dr. Sergio Troyo por todos sus consejos, enseñanzas y el tiempo que siempre sin ninguna excusa me daba, por esas pláticas tan increíbles que siempre me otorgó, por su sonrisa y su amistad que siempre fue un apoyo para mí.

A la Maestra Indra Álvarez por escucharme siempre en todas mis inquietudes, por su apoyo que siempre me otorgó, por su tiempo, por esa increíble vibra y amistad tan bonita que me otorgó siempre a pesar de su agenda tan apretada, por enseñarme lo increíble que puede ser una persona, ¡mil gracias maestra!

A la Maestra María del Rocío Pacheco por darnos su apoyo incondicional en todo momento, por sus consejos y aprendizaje otorgados, por la confianza que nos

otorgó para realizar diversas tareas y a nivel personal, por su sonrisa y calidez, ¡¡mil gracias!!!.

Al Maestro René Magallanes, la Dra. Ana Judith Marmolejo y a la Maestra Sonia Futema por su apoyo incondicional, por su sonrisa, consejos y confianza.

Al M. en C. Xinantécatl Antonio Nava por su tiempo, apoyo y paciencia en la enseñanza de la taxonomía de los foras, mil gracias toño.

A la M. en C. Bárbara Cuesta Castillo por su increíble compañerismo, enseñanzas, paciencia y su amistad que hicieron de la estancia en la UNAM un tiempo muy educativo pero también muy agradable.

A la M. en C. Dayenari Caballero por su tiempo, paciencia y amistad para la enseñanza de la hermosa paleoceanografía.

Agradecimientos Personales

A mi hermosa mamá María Inéz Vargas por ser una mamá ejemplar, por no tener reparo en enseñarme todos los días algo nuevo, por trabajar sin cesar y sin descanso por mis hermanos y por mí, por el amor tan increíble que emana siempre, por escucharme cuando tengo algo que decir, por abrazarme en todo momento, por aconsejarme, por cuidarme siempre, por protegerme, por darme la vida y por todo los sacrificios que siempre hizo para que yo pudiera desarrollarme, por desvelarse, por cuidarme y por miles y miles de cosas que hizo que no alcanzaría todo una tesis para describirte. Gracias hermosa mami.

A mi papito precioso Manuel Sánchez por todo su amor otorgado, por los consejos y conducción que siempre me da aunque sea para algo muy mínimo, por transmitirme sus experiencias y sus vivencias, por luchar y trabajar sin descanso para que pudiera seguir adelante en mis estudios, por su sonrisa tan grande, por sus abrazos, por el inmenso amor que emana en todo momento, por todo y todo y todas las miles de cosas que no me alcanzaría tampoco la vida para agradecerles. Gracias papá querido.

Se dice que antes de que nazcamos, nosotros escogemos a nuestros padres, pero ahora sé porque los escogí a ustedes, y si tuvieran que pasar miles de vidas mas los seguiría escogiendo a ustedes dos. Gracias por darme tanto amor, tantas enseñanzas, tanta felicidad, gracias por darme lo más valioso de la vida que es su alma y corazón y que tengan por seguro que aquí las llevo guardadas para toda la eternidad. ¡¡LOS ADORO PAPAS!!

Dicen que los hermanos mayores enseñan a los hermanos menores, en mi caso fue así y aun mas. Gracias a mi hermano Manuel Sánchez Vargas por todo tu apoyo y tú ánimo para que hiciera la maestría aquí, gracias por darme las herramientas tanto físicas como morales, gracias por contarme todas tus experiencias tanto buenas como malas y que me permitieron aprender y experimentar en cabeza ajena, gracias por tus consejos y por ser una de mis mayores influencias, sin ti y sin que hubieras llevado ese libro de geología cuando tenía 13 años, seguramente yo no estaría aquí. Por esta y miles de cosas más, te dedico esta tesis porque sin ti este caldo no estaría cosido. Te quiero mucho hermanito de mi alma.

Durante mi estancia aquí entendí que muchos procesos de la vida son fundamentales para la formación de una persona, muchos de estos procesos duelen mucho y entre ellos fue el que mi hermanito se haya ido a otra dimensión. Agradezco infinitamente a mi hermanito José Luis Sánchez Vargas porque a pesar de que no estás ya como materia, sé que estas muchas veces junto a mí, gracias por ser mi hermano, por enseñarme miles de cosas, por quererme, por enseñarme miles y millones de cosas, por darme tanto y tanto amor, por toda la confianza que me otorgaste para contarme lo que sentías y lo que vivías, por hacerme tu confidente, gracias y mil gracias por permitirme hacer lo que hice. Gracias por darme la fuerza para estar lejos de ustedes. Te extraño mucho podría decir demasiado y a donde quiera que estés, esta tesis te la dedico a ti, a mi guerrero a mi José Luis. Gracias hermanito a donde quiera que estés te envío todo mi amor.

A mis increíbles hermanitos Manuel y José Luis que sin ustedes mi vida nunca hubiera sido tan hermosa como lo es.

Hay un dicho que menciona que el amor es el sentimiento más completo que un ser humano puede sentir, es un nivel que supera barreras físicas, se dice que el amor es el motor del alma, es el inicio de todo, por amor nacemos, con amor nos cuidan, después nos enamoramos y después amamos. Cuando un ser humano llega a amar a otro, la vida te cambia por completo, las cosas se ven mejor, la vida te sonrío, llegas a un grado más cerca de la plenitud. El amor son más cosas indescriptibles, sin embargo no todos los experimentan, pero afortunadamente yo ya sé que es eso, y el amor tiene nombre para mí y se llama Armando, porque eres el sinónimo de amor, felicidad, apoyo, fortaleza y cuando digo tu nombre eso y más cosas indescriptibles se juntan en mi ser. Gracias vida mía por apoyarme para seguir adelante, por nunca dejarme, por ser mi vida por enseñarme tanto, por compartir todo conmigo, en fin no me alcanzan las páginas para agradecerte y ofrecerte todo lo que te mereces. Y después de estos dos años no salgo corriendo lejos de ti, al contrario creo que me has atado para el resto de mi existencia. Te Amo Armando.

A mis abuelitos Esperanza Díaz y David Sánchez por darme tanto amor, enseñanzas, apoyo, confianza, por enseñarme y hacerme sentir amada y querida, por permitirme entrar a sus vidas y hacerlo con el amor más infinito, por sus ánimos para seguir adelante y que a pesar de que ya no están como materia seguiré continuando sus enseñanzas para siempre. LOS QUIERO Y EXTRAÑO MUCHO.

A mi familia por su apoyo y ánimo para que fuera menos dolorosa la separación de estar tan lejos, por los momentos bonitos que me hicieron pasar mientras estaba lejos, a mis tías Beatriz, Gloria, Lupita, Vicky, las quiero mucho mucho.

A mi amiguita Marilupe porque a pesar de que tiene unos años que ya no estás conmigo, sigo llevando a cabo las miles de enseñanzas que me diste, gracias por todas esas enseñanzas que vivimos en momentos buenos y malos, por estar siempre conmigo y que a pesar de que ya te fuiste en materia siempre estás conmigo a donde quiera que vaya. Te quiero chica.

A mis amigos: Ivonne, Malú, Estela, Laura, Diego, Konstantine, Diego Briceño, Paty, Gris, Viridiana Vázquez, Gisela, Ethel, Fernando, Myriam Juárez, Mamm, Anhel, Rebeca Sánchez, pienso que sin ustedes no hubiera podido ser posible muchas vivencias y enseñanzas tan bonitas que vivimos y es por eso que también en esta parte de la tesis van ustedes, porque sin ustedes tampoco hubiera sido posible el éxito de haber estado aquí, gracias a todos ustedes amigos míos que de alguna forma me permitieron compartir una parte de nuestras vidas.

A todo el equipo de Tochito Águilas Marinas de CICIMAR, porque me permitieron entender miles de cosas que antes no me había percatado, gracias por compartir conmigo esta experiencia pero más que nada por compartir el gusto por este increíble deporte: A Paty, Gris, Shelley, Stephy, Priscila, Gisela, Malú, Mariana, Ariadna, Isabel, Ada, July, Elvira, Eliasib, Jessica y Jimena.

Índice

	Página
Resumen	1
Abstract	3
I.Introducción	5
II.Antecedentes	
II.1.Foraminíferos	10
II.2. Isótopos Estables de Oxígeno y de Carbono	11
II.3. Paleoceanografía y la variabilidad climática	17
III.Justificación	20
IV.Hipótesis	21
V.Objetivos	
V.1. Objetivo General	22
V.2. Objetivo Particulares	22
VI.Área de Estudio	
VI.1. Localización	23
VI.2. Marco Oceanográfico	23
VII.Materiales y Métodos	
VII.1. Procesamiento de muestras en el laboratorio	29
Sedimentos Superficiales	29
VII.2. Análisis de isótopos de oxígeno	30
VII.3. Cálculo de los Perfiles de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$	30
VII.4. Cálculo de la Temperatura de la Capa de Mezcla a partir del $\delta^{18}\text{O}$ en foraminíferos.	31
VII.5. Descripción Faunística	32
a. <i>Uvigerina peregrina</i> (D'Orbigny, 1826)	32
b. <i>Planulina</i> (D'Orbigny, 1826)	33
c. <i>Cibicides</i> (D'Orbigny, 1826)	34
VII.6. Curva de calibración de la calcita en el agua de mar.	34

VIII.Resultados	
VIII.1. Isótopos de Oxígeno en Foraminíferos Bentónicos Recientes	36
VIII.2. Isótopos de Carbono en Foraminíferos Bentónicos Recientes	38
IX.Discusión	41
IX.1. Isótopos de Oxígeno	41
IX.2. Isótopos de Carbono	45
IX.3. $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en Foraminíferos Bentónicos: Implicación paleoceanográfica	48
X.Conclusiones	53
XI.Literatura Citada	55
XII.Apéndice	69

Listado de Figuras

Figura	Página
Figura 1. Periodos Glaciares donde la evaporación es menor generando un empobrecimiento en el ^{18}O en el océano y en los glaciares.	13
Figura 2. Periodos Interglaciares donde la evaporación es mayor, por lo tanto el océano se enriquece en ^{18}O y el glaciar en el ^{16}O .	13
Figura 3. Ciclo del carbono en el océano. El fitoplancton secuestra ^{12}C generando un decremento en el ^{13}C , lo que posteriormente al caer la materia orgánica se libera el ^{12}C reflejándose en la composición isotópica de los foraminíferos bentónicos.	14
Figura 4. Localización del área de estudio (línea punteada) en el margen de Magdalena.	23
Figura 5. Flujos y advección de masas principales en la región de la Península de Baja California. A la izquierda se presenta un año normal en el periodo de noviembre de 1969 (Roden, 1971) y a la derecha se presenta El Niño 1997-98. En la parte superior del esquema se presenta la distribución horizontal y en los esquemas inferiores se muestra la distribución vertical (Modificado de Zaytsev <i>et al.</i> 2007)	24
Figura 6. Corrientes geostróficas estacionales calculadas a partir del modelo Occam. Las flechas indican los flujos principales. Modificado de Zaytzev <i>et al.</i> 2007.	25
Figura 7. Distribución vertical de temperatura del 22 de febrero de 2001 a lo largo de la sección transversal a la boca de Bahía Magdalena. Modificado de Zaytev <i>et al.</i> 2003).	26
Figura 9. Distribución de las muestras superficiales, las estaciones con círculos blancos indican la presencia de <i>Uvigerina peregrina</i> sin embargo, no se encontraron foraminíferos epibentónicos, en los círculos grises se indican las estaciones en donde se encontraron algunas especies epibentónicas. Los círculos rojos representan los núcleos de sedimento de Sánchez (2006) y Herguera <i>et al.</i> (2010).	29
Figura 10. Relación directamente proporcional entre <i>Uvigerina peregrina</i> spp. y <i>Cibicides</i> spp.	36
Figura 11. Perfil calculado en base a la ecuación 2 a partir de los datos de salinidad y temperatura (Levitus <i>et al.</i> , 1994). Los puntos verdes están representados por el foraminífero bentónico <i>Planulina</i> spp, Los puntos rojos (Herguera <i>et al.</i> , 2010). El foraminífero bentónico <i>U. peregrina</i> spp. está representado por los puntos azules el cual presenta una desviación de $\delta^{18}\text{O}_{\text{CID}} = +0.62 \pm 0.07\text{‰}$	37
Figura 12. Correlación directamente proporcional entre <i>Cibicides</i> spp. y <i>Uvigerina peregrina</i> spp. que nos permite la homologación entre las señales isotópicas de las dos especies de foraminíferos bentónicos.	38
Figura 13. Perfil calculado del $\delta^{13}\text{C}$ del Carbono Inorgánico Disuelto (CID) para los perfiles del CID de GEOSEC: A201 (amarillo), A347 (verde) y A343 (azul). En puntos azules se muestran los valores de este	39

estudio para *Uvigerina peregrina* spp., *Planulina* spp. (verdes) y en puntos rojos se muestran los valores de *Planulina* spp. Herguera *et al.*, 2010.

Figura 14. Promedio del $\delta^{18}\text{O}$ de *Cibicides* y *Planulina* (puntos verdes) y *Uvigerina peregrina* (puntos azules) de diferentes regiones del mundo. Las barras de errores indican la desviación estándar de los valores isotópicos. **44**

Figura 15. Promedio del $\Delta\delta^{13}\text{C}$ de *Cibicides* y *Planulina* (puntos verdes) y *Uvigerina peregrina* (puntos azules) de diferentes regiones del mundo. Las barras de errores indican la desviación estándar de los valores isotópicos. **46**

Figura 16. Comparación de anomalías de Temperatura de la Capa de Mezcla para el Margen de Magdalena (este estudio), Cuenca sin Nombre y Cortés Este (Stott *et al.*, 1999); Cuenca Santa Bárbara (Hill *et al.*, 2006) y margen de Magdalena (Sánchez, 2006). En la parte inferior se muestran los valores del $\delta^{18}\text{O}$ en foraminíferos bentónicos y planctónicos en el Margen de Magdalena. **50**

GLOSARIO, ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

Anomalía de Temperatura: Diferencia entre el promedio de los datos de temperatura y el dato original.

Bioturbaciones: Características de un registro sedimentario en el cual se presenta un horizonte con perturbaciones sedimentarias generadas por la actividad de los organismos.

B.P.: Before Present (Antes del Presente)

Cámaras: Cavidades generadas por el foraminífero durante su ciclo de vida. Estas cámaras se forman dependiendo de la especie con diferentes formas y de carbonato de calcio extraído del carbono inorgánico disuelto en el agua de mar.

Carbono Orgánico: Cantidad de carbono unido a un compuesto orgánico. Constituyente más importante de la materia orgánica.

Ciclos D/O: Significan ciclos de Dansgaard Oeschger refiriéndose a las fluctuaciones climáticas observadas durante el estudio isotópico de oxígeno del núcleo de hielo GISP2 en Groenlandia, dentro de estos ciclos se observan periodos de calentamiento (interestadiales) y enfriamiento (estadiales) durante el último periodo glacial.

Circulación Termohalina: Movimiento del agua profunda el cual está regido por el gradiente de densidad que está en función de la temperatura y salinidad.

CID: Carbono Inorgánico Disuelto.

Isótopo: Variaciones de un elemento químico que se caracterizan por tener un mismo número atómico pero diferente número de electrones lo que genera que sus masas atómicas sean distintas. Estos isótopos tienen el mismo lugar en la tabla periódica asimismo, poseen propiedades físicas y químicas idénticas.

$\delta^{18}\text{O}_{\text{CID}}$: Proporción isotópica de Oxígeno 18 del carbono inorgánico disuelto.

$\delta^{13}\text{C}_{\text{CID}}$: Proporción isotópica de Carbono 13 del carbono inorgánico disuelto.

Relación Mg/Ca: Proporción del Mg precipitado con respecto al Ca de la calcita de las testas de los foraminíferos.

Estadiales: Periodos del tiempo geológico caracterizados por temperaturas bajas.

Estratificación: Condición del fluido que implica la existencia de dos o más capas horizontales arregladas según su densidad, de tal manera que las capas menos densas se encuentran sobre aquellas más densas.

Foraminíferos planctónicos: Grupo de foraminíferos pertenecientes al zooplancton, caracterizados por desarrollan su ciclo de vida en la columna de agua.

Foraminíferos bentónicos: Grupo de foraminíferos caracterizados por desarrollar su ciclo de vida en el sedimento marino ya sea dentro (endobentónico) o por encima (epibentónico).

Interstadiales: Periodos del tiempo geológico caracterizados por tener temperaturas cálidas

Laminaciones: Estructura de ordenamiento interno de los estratos. Es la disposición sucesiva de capas dentro de un estrato.

Mezcla: Proceso oceanográfico con características homogéneas, provocado por el efecto de la energía cinética turbulento en la superficie del mar.

Offset: También nombrado como offset isotópico, es la desviación o diferencia que hay entre el valor isotópico del carbono u oxígeno de la concha de los foraminíferos con respecto al valor isotópico de carbono u oxígeno disuelto en el agua. Éste es empleado para determinar las proporciones relativas entre el carbono marino y terrígeno.

Surgencias: Proceso oceanográfico caracterizado por el ascenso de aguas de mayor densidad y menor temperatura. Se denomina surgencia cuando estas masas de agua van de una profundidad de 200 a 300 m a razón de unos 10 a 80 m por mes. Este proceso permite el transporte de las sales nutrientes hacia capas

superficiales en donde alimentan a organismos como el fitoplancton para desarrollarse de donde es abundante el zooplancton.

TAM: Tasa de Acumulación de Masa.

TCM: Temperatura de la Capa de Mezcla.

Testas: Sinónimo de concha del foraminífero.

Último Glaciar Máximo: Evento de glaciación que se llevó a cabo durante el Pleistoceno hace 18 ka.

Zona de Mínimo Oxígeno: Regiones oceánicas en las cuales se observan concentraciones bajas de oxígeno disuelto menores a 22 μM a profundidades intermedias en la columna de agua (50-1000 m) producidas por el efecto de combinación de una circulación restringida o una alta tasa de respiración de la materia orgánica que sedimenta desde las capas superficiales.

RESUMEN

El conocimiento de las condiciones atmosféricas y oceanográficas del pasado es posible por medio del análisis de los sedimentos del fondo marino y de los restos de foraminíferos planctónicos y bentónicos, de los cuales es posible extraer esta información (*i.e.*, temperatura, salinidad, flujos de materia orgánica) de sus “conchas” y de su composición isotópica de oxígeno y carbono. El uso de foraminíferos bentónicos para la investigación paleoceanográfica ha sido cuestionado debido a la cantidad de procesos químicos, biológicos y geológicos que afectan a la composición isotópica de oxígeno y carbono, sin embargo, se han propuesto factores de corrección que permiten homologar las señales isotópicas de tal forma que foraminíferos endobentónicos tales como *Uvigerina peregrina* sean utilizados para la interpretación paleoceanográfica. El objetivo general de este trabajo de tesis fue determinar la composición isotópica de oxígeno y carbono, así como el factor de corrección isotópica entre *Cibicides* spp. / *Planulina* spp. y *Uvigerina peregrina* .y con ello reconstruir las condiciones de la columna de agua a lo largo del margen occidental de la Península de Baja California, sector sur del sistema de la Corriente de California en sedimentos recientes. En el presente estudio se utilizaron 37 estaciones de sedimentos superficiales recolectados a lo largo del margen sur-occidental de la Península de Baja California y un núcleo de sedimento con 15 m de longitud, clave PC08 tomado a 700m de profundidad. La precisión del análisis isotópico de oxígeno fue $<0.1\text{‰}$ (NBS19 = -2.20‰). Entre *Cibicides/Planulina* (eje de las ordenadas) y *Uvigerina peregrina* (eje de las abscisas), se observó una relación directamente proporcional que arroja un valor de r^2 de 0.90 para el caso del $\delta^{13}\text{C}$ y de 0.93 para el caso del $\delta^{18}\text{O}$. Asimismo, se observó que el factor de corrección isotópica para el caso del carbono es de $-0.91\pm 0.1\text{‰}$ y para el oxígeno de $0.69\pm 0.1\text{‰}$. Los resultados del $\delta^{18}\text{O}$ y del $\delta^{13}\text{C}$ de *Uvigerina peregrina* sugieren que esta especie secreta su concha en equilibrio isotópico con el $\delta^{18}\text{O}$ y el $\delta^{13}\text{C}$ del CID. Las especies de *Cibicides/Planulina* y *Uvigerina peregrina* forman su concha muy cerca del equilibrio isotópico del $\delta^{18}\text{O}$ del agua de fondo, según lo determinado por Bemis *et al* 1998. Los resultados previos indicaron un factor de corrección el cual denota

una respuesta isotópica ideal para fines paleoceanográficos. Determinar esta corrección isotópica, permite en gran medida eliminar la incertidumbre isotópica en la reconstrucción paleoceanográfica en el registro sedimentario. El perfil isotópico de los valores $\delta^{18}\text{O}$ de *Uvigerina peregrina* mostró una tendencia hacia valores isotópicos positivos conforme aumenta la profundidad de la columna de agua y disminuye la temperatura y viceversa (los valores isotópicos se muestran negativos conforme disminuye la profundidad y aumenta la temperatura). Asimismo, el perfil isotópico de carbono presenta para el foraminífero endobentónico *Uvigerina peregrina*, una desviación de hasta 1‰ vs PDB. Los valores de *Cibicides* y *Planulina* en el Pacífico Noroeste concuerda con el valor del $\delta^{18}\text{O}$ de la calcita estimado a 500 m y muestra un gradiente isotópico de 2.97‰, lo cual refleja un gradiente de temperatura de 13°C, considerando una constante de 0.23 ‰/1°C entre los 45 y 500 m. La termoclina permanente o capa superficial más cálida del océano se ve reflejada por las especies *Cibicides* y *Planulina*. Los valores del $\delta^{18}\text{O}$ de estos géneros y $^{18}\text{O}_{\text{CID}}$ fueron muy similares. Las comparaciones a estas predicciones ($\delta^{18}\text{O}_{\text{CID}}$) con los valores de $\delta^{18}\text{O}$ medidos en *Cibicides*, *Planulina* y *U. peregrina* (con una desviación de $\delta^{18}\text{O}_{\text{CID}} = 0.67 \pm 0.07\text{‰}$) sugieren que estas especies son una buena aproximación de las condiciones de la columna de agua. En base a esto es posible utilizar la señal isotópica tanto de carbono como de oxígeno de tal forma que se utilice *Uvigerina peregrina* como indicador de las condiciones de la columna de agua en la superficie del bentos cuando la población de las especies epibentónicas disminuya dramáticamente. De esta forma, el perfil de carbono de *Planulina* describe con precisión las condiciones de la columna de agua en el intervalo de 70 a 1800 m de profundidad para esta región del Océano Pacífico.

ABSTRACT

The knowledge of the atmospheric and oceanographic past conditions is possible through sediments seabed analyses and remains of benthic and planktonic foraminifera which it is possible extract this information (i.e. temperature, salinity, organic matter flux) of their shells and their carbon and oxygen isotopic composition. The use of benthic foraminifera for paleoceanographic research has been disputed because a lot of biological, chemistry and geological process that affected oxygen and carbon isotopic composition, however there are a lot of correction factors proposed that allow us to homologated benthic foraminifera isotopic signals such as *Uvigerina peregrina* for paleoceanographic interpretation. The general objective of this thesis was determine oxygen and carbon isotopic composition, as well as the isotopic correction factor between *Cibicides* spp./*Planulina* spp. and *Uvigerina peregrina* and thus reconstruct water column conditions along the western Baja California Margin, current system California southern sector in recent sediments. For this, we determined oxygen and carbon stable isotopes composition in two epibenthic foraminifera species: (a) *Cibicides* spp., (b) *Planulina* spp., (c) *Uvigerina peregrina* respectively to which were used for a isotope correction. In the present study were collected 37 stations of surface sediments along the southwestern margin of Baja California peninsula and 15 m length sediment core PC08 taken 700 m deep. The oxygen isotope analysis accuracy was $<0.1\text{‰}$ (NBS19 = -2.20‰). *Cibicides/Planulina* (vertical axis) and *Uvigerina peregrina* (horizontal axis) showed a directly proportional relationship resulting in a $\delta^{13}\text{C}$ r^2 value of 0.90 and $\delta^{18}\text{O}$ r^2 value of 0.93. The carbon isotopic correction factor was $0.91\pm 0.1\text{‰}$ and oxygen was $0.69\pm 0.1\text{‰}$. The $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ *Uvigerina peregrina* suggest that this species make its shells in isotopic equilibrium with DIC of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$. *Cibicides/Planulina* and *Uvigerina peregrina* shells are very close to isotope equilibrium $\delta^{18}\text{O}$ bottom water, as determined by Bemis et al 1998. These results suggested an ideal correction factor in sedimentary record for paleoceanographic reconstruction. Determine this isotopic correction factor eliminate isotope uncertainty paleoceanographic reconstruction in sedimentary record. *Uvigerina peregrina* $\delta^{18}\text{O}$ values show positive trend isotopic values with

increasing depth of the water column and temperature decreases and viceversa (isotopic values are negative with decreasing depth and increasing temperature). Also, the carbon isotopic profile for *Uvigerina peregrina* shows 1‰ deviation vs PDB. *Cibicides* and *Planulina* values in the Northwest Pacific agrees with calcite $\delta^{18}\text{O}$ estimated at 500 m and shows a 2.97‰ isotope gradient, reflecting 13°C temperature gradient with a 0.23‰/1°C between 45 and 500m. The permanent thermocline and warmer surface layer of the ocean is represented by *Cibicides* and *Planulina*. Genre oxygen isotope values and CID oxygen isotope values were similar. Comparison between this two predictions with oxygen isotopes values in *Cibicides*, *Planulina* and *Uvigerina peregrina* (with a deviation of $\delta^{18}\text{O}_{\text{CID}}=0.67\pm 0.07\text{‰}$) suggest a good approximation in water column conditions. On this basis, it is possible used oxygen and carbon isotopic signal for using as a condition column water indicator *Uvigerina peregrina* in benthos surface when epibenthic species were restricted. *Planulina* carbon profile describes water column conditions from 70 m to 1800 m depth in this Pacific Ocean zone.

I. Introducción

Los foraminíferos han sido utilizados como indicadores de las condiciones oceanográficas dado que generan conocimiento tanto actual como antiguo de las condiciones oceanográficas y climáticas que se llevaron a cabo durante la vida de estos organismos. Por otra parte, el estudio de la ecología de estas especies es importante para minimizar errores de interpretación generados por diversos factores ecológicos, químicos y físicos que afectan el registro de los foraminíferos (Berger *et al.*, 1978; Schmiedl *et al.*, 2004; Brückner & Mackensen, 2007). Asimismo, el estudio de los isótopos estables en la concha de carbonato de calcio de estos organismos, así como el conocimiento de la ecología de cada especie permite explorar y conocer las condiciones de la columna de agua y del sedimento en la cual vivieron durante su ciclo de vida. (Pettersen *et al.*, 1991; Sautter & Thunell, 1991a, 1991b; Field & Baumgartner, 2000; Holsten *et al.*, 2004; Schmiedl *et al.*, 2004; Field, 2004; Friedrich *et al.*, 2004; Fontainer *et al.*, 2006; Wejnert *et al.*, 2010).

Los isótopos estables de oxígeno y carbono son utilizados para reconstruir cambios en la salinidad, temperatura, densidad del océano además de que nos proveen de información acerca del ciclo del carbono (Grossmann, 1984; Zahn *et al.*, 1986; McCorkle *et al.*, 1988; Curry *et al.*, 1988, Mackensen, 2008). También, los isótopos de carbono son utilizados para las reconstrucciones de la circulación oceánica y flujos de materia orgánica (Shackleton, 1977; Curry *et al.*, 1988; Duplessy *et al.*, 1988; Mackensen *et al.*, 2000; Bickert & Mackensen, 2004; Curry & Oppo, 2005).

Diversos estudios relacionados con el uso de los isótopos estables de oxígeno y carbono han mostrado que algunas de las especies de foraminíferos, más utilizadas como trazadores de las condiciones oceanográficas, tienen una desviación en la señal isotópica entre la concha del foraminífero y la composición teórica de la calcita formada en equilibrio con el CID del agua de mar (Rohling & Cooke, 1999). Estas correcciones isotópicas se presentan tanto en el $\delta^{18}\text{O}$ como en el $\delta^{13}\text{C}$ y pueden deberse a cambios en la concentración de carbonato en las

especies o al metabolismo de los foraminíferos durante su ciclo de vida (efecto ontogénico), entre otros (Brückner & Mackensen, 2007; Costa et al. 2006).

Los foraminíferos bentónicos habitan a diferentes profundidades dentro del sedimento. Por ejemplo, especies del género *Cibicides* spp., *Planulina* spp., prefiere vivir en la interface agua-sedimento; mientras que otras especies, como *Uvigerina peregrina*, tienen preferencia por habitar estratos más profundos (~1 cm) (Mackensen & Licari, 2006; Shackleton, 1977; Schumacher et al., 2010). Su preferencia de hábitat se debe esencialmente a la disponibilidad de oxígeno y de alimento (Corliss, 1985; Mackensen & Douglas, 1989; Jorissen et al., 1995; Fontanier et al., 2002). La diferencia isotópica en el $\delta^{13}\text{C}$ de especies epibentónicas (e.g., *Cibicides* spp. y *Planulina* spp.) y endobentónicas (e.g., *U. peregrina*) ha sido utilizada para reconstrucciones paleoceanográficas de flujos de materia orgánica que se encuentran en la columna de agua y caen al sedimento (Zhan et al., 1986). La complejidad de las necesidades ecológicas de cada foraminífero así como otros procesos físico/químicos que se llevan a cabo en el sedimento, genera cambios en la composición isotópica lo que hace todavía más difícil su interpretación. Este tipo de estudios demuestran la necesidad de conocer mejor la ecología de los foraminíferos y su relación con el hábitat para una correcta interpretación paleoceanográfica.

La aplicación de un factor de corrección isotópico para determinar los valores de los isótopos de oxígeno y carbono en registros sedimentarios del pasado ha sido cuestionado, sobre todo en regiones del océano donde los flujos de materia orgánica varían significativamente con el tiempo (e.g., Fontanier et al., 2006). Shackleton (1977) propone un factor de corrección isotópico de -0.64‰ para el $\delta^{18}\text{O}$ y de +0.91‰ para el $\delta^{13}\text{C}$ en el Pacífico. El factor de corrección isotópica para el oxígeno varía muy poco (~-0.1‰ a -0.6‰) en muchas regiones del océano; mientras que el factor de corrección para el carbono varía de -0.70 a -1.2‰ (Shackleton et al., 1997; Keigwin, 1998; Keigwin, 2002). Hagen y Keigwin (2002) y Vautravers et al. (2004) han postulado que aplicar una corrección de 1.5 a 1.6‰ de *U. peregrina* a *C. wuellerstorfi* en el Pacífico, fue más apropiado que

una corrección de 0.9‰ (como sugiere Shackleton, 1974), porque el factor de corrección isotópica entre estas dos especies aumenta durante periodos de alta productividad primaria y flujos de carbono orgánico particulado hacia el fondo marino.

Recientemente, McCave *et al.* (2008) propusieron que, ajustar los valores del $\delta^{13}\text{C}$ de *U. peregrina* a *C. wuellerstorfi* provee una verdadera aproximación de los valores isotópicos de las masas de agua. Esta observación es particularmente válida para registros sedimentarios superficiales o del pasado en los cuales sea posible medir simultáneamente el $\delta^{13}\text{C}$ de *Uvigerina*, *Cibicides* y *Planulina*. Estos autores encuentran que el factor de corrección isotópica es 0.90‰ sugiriendo que estas especies pueden ser un buen referente geoquímico con una buena aproximación al valor del CID de la columna de agua.

Varias especies de foraminíferos calcifican su concha dentro del sedimento, debajo de la interface agua-sedimento. El flujo exportado de la materia orgánica parcialmente degradada en la columna sedimentaria parece ser el principal parámetro que controla la composición y distribución vertical de las faunas de foraminíferos bentónicos debajo de la interface agua-sedimento (Fontanier *et al.*, 2002). Este efecto puede ser también reflejado como un incremento en el gradiente del $\delta^{13}\text{C}$ entre foraminíferos epi y endobentónicos, el llamado “efecto de microhabitat” (Fontanier *et al.*, 2006). Alternativamente, algunas especies endobentónicas como *U. peregrina* pueden migrar hacia un hábitat más favorable, especialmente cuando las características fisicoquímicas en el sedimento comienzan a ser extremas (*i.e.*, altos flujos de materia orgánica; Mackensen *et al.*, 2000).

El Margen de Magdalena presenta características muy propicias para realizar estudios paleoceanográficos. Trabajos como los de Ortiz *et al.*, (2004) reportaron que el contenido de carbono orgánico y la abundancia de foraminíferos bentónicos tuvieron una variabilidad de escala milenial similar a la encontrada en el núcleo de hielo en Groenlandia y en la Cuenca de Santa Bárbara. Asimismo infieren que esta variación climática fue análoga a las condiciones oceanográficas que ocurren

durante los eventos de La Niña y El Niño. Una columna de agua mezclada permite un mayor flujo de materia orgánica debido a las condiciones de alta productividad, características propias de un evento de La Niña. En contraste, los eventos del Niño se caracterizan por tener una columna de agua estratificada con periodos de oxigenación y flujos de materia orgánica escasos. Herguera *et al.* (2010) realizaron un estudio isotópico con el foraminífero bentónico *Planulina* spp. extraída en núcleos de sedimento del Margen de Magdalena. Dentro de este trabajo se presentaron nuevos resultados acerca de la ventilación y circulación de las aguas someras e intermedias del Pacífico Norte así como la reconstrucción de porciones del Último Glaciar Máximo (18-21 ka BP) y el Holoceno Tardío (últimos 3 ka BP). Los resultados isotópicos indicaron que los cambios en los gradientes isotópicos de carbono entre las aguas intermedias y profundas muestran aguas ricas en nutrientes y carbono las cuales se fueron a partes más profundas durante el Último Glaciar Máximo. Estas observaciones indican cambios en la fuente y naturaleza de las aguas intermedias del Pacífico que alimentan y mejoran los procesos de ventilación en el Pacífico norte, afectando intrínsecamente la paleoproductividad en este Margen.

Diversas variables existentes en el bentos y la columna de agua son determinantes para la ecología de cada especie, entre las que destacan la migración de especies endobentónicas hacia zonas más superficiales del bentos lo cual se refleja en su señal isotópica de carbono. Debido a las condiciones químicas del margen suroccidental de la Península de Baja California, diversas especies como *Cibicides* o *Planulina* disminuyen su población dejando otras especies endobentónicas como *U. peregrina* para la interpretación paleoceanográfica. El empleo de *U. peregrina* aunado a un factor de corrección isotópica, permite conocer la señal isotópica de la región superficial del bentos y profunda de la columna de agua.

El presente trabajo pretende generar un factor de corrección isotópica agregado al valor isotópico de *U. peregrina* el cual pueda ser utilizado para la reconstrucción de la región superficial del bentos en ausencia de especies epibentónicas

(*Cibicides/Planulina*), así como demostrar que estas especies se encuentran en equilibrio isotópico con el CID del agua de mar. Los factores de corrección generados pueden ser una aportación valiosa para la investigación paleoceanográfica del Pacífico Mexicano.

II. Antecedentes

En 1930 se iniciaron los trabajos de investigación paleoceanográficos con la finalidad de reconstruir la historia del océano sobre la base del estudio de núcleos de sedimento, que hasta ahora son utilizados en la construcción del paleoclima global.

La paleoceanografía hace uso de los foraminíferos y su composición química (*i.e.* isótopos de carbono y oxígeno) para la conformación de los fenómenos oceanográficos y climáticos del presente y pasado.

II.1. Foraminíferos.

Los foraminíferos son uno de los grupos más abundantes en el océano del pasado y presente con más de 40 000 especies descritas fósiles y vivas. Se estima que el 30% del fondo marino está formado de conchas de este grupo de organismos. Los foraminíferos hicieron su aparición en el Cámbrico cerca de 620 millones de años, con diversos morfotipos a lo largo de los últimos 500 mil años de eución hacia el presente. Loeblich y Tappan (1964) estiman que hay cerca de 100 familias, 1200 géneros y 27 000 especies de foraminíferos descritos en la literatura. Para organizar y categorizar estas especies se han planteado alrededor de 35 esquemas de categorización (Boersma, 1998).

Para el estudio de estos organismos es importante conocer la taxonomía de los mismos entre los parámetros más estudiados para determinar su ecología se encuentran el tipo de testa, enrollamiento y ornamentación de las cámaras, número de cámaras, ubicación y forma de apertura, presencia de estructuras como labios o dientes y hábitat. La variedad de formas que tienen estos organismos, responden a una necesidad ecológica. Un ejemplo de estos son los foraminíferos bentónicos, específicamente la familia de las Bolivinas, los cuales adquieren una forma alargada debido a que viven en el interior de los sedimentos, que permite que tengan un acceso más sencillo a su hábitat (Ver Apéndice).

Las testas de los foraminíferos pueden tener de una o más cámaras. La cámara inicial es más esférica y posee una abertura a la cual se le llama foramen. Las cámaras tardías, varían en una gama de tubulares, esféricas, ovaladas entre otras formas más diversas (Bé *et al.*1977). La formación de las paredes se lleva a cabo por medio de la unión de varios agregados minerales de calcita, los cuales poco a poco forman las paredes de las cámaras originando tres grupos primarios de foraminíferos con paredes aglutinadas, calcáreas y microgranulares (Ver Apéndice). La ornamentación de las cámaras, puede tener formas de espinas, costillas, crestas, surcos, entre otras. Algunos foraminíferos pueden utilizar en mayor proporción las espinas o arrugas por el contrario, los foraminíferos aglutinados presentan poca ornamentación visible (Boersma, 1998).

Los foraminíferos varían de tamaño (62 μm y 1 cm), para la investigación paleoceanográfica se utilizan en el intervalo de tamaño de 62 μm y 250 μm (Ver Apéndice). Los foraminíferos tienen una amplia variedad de especies, todas ellas muy diferentes entre sí y por lo tanto habitando diferentes ambientes. Los foraminíferos son paleo indicadores de ambientes, tanto los ambientes así como la ecología de los mismos, se conocen por medio de la analogía con el presente. Cuando estos mueren caen al fondo marino y poco a poco con el paso del tiempo se van enterrando guardando consigo esa valiosa información que registraron durante su corta vida, que va de días a meses (Bé, 1977; Boersma, 1998).

II.2. Isótopos Estables de Oxígeno y Carbono

Los isótopos estables de oxígeno han jugado un papel muy importante en la paleoclimatología. Ya que los dos isótopos de oxígeno (^{16}O y ^{18}O) componen el agua del océano, las nubes y los glaciares. El ^{18}O es más pesado que el ^{16}O , y es por esta razón que el ^{18}O tiende a evaporarse con mayor dificultad del océano, a diferencia del ^{16}O , puede evaporarse con mayor facilidad. Así el agua del mar esta enriquecida en ^{18}O mientras que las nubes, la lluvia y los glaciares están enriquecidos en ^{16}O .

Durante una época glaciaria, el hielo sobre los continentes retiene el ^{16}O haciendo aún más rico el agua del océano en ^{18}O , de esta forma, las conchas de los foraminíferos registran un aumento en la relación $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ (Figura 1). Cuando existe un periodo más cálido o interglaciario, el agua de los continentes (glaciares y lluvia) rica en ^{16}O se va al océano haciendo que el ^{18}O no sea tan abundante como en la época glaciaria, propiciando que la relación de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ disminuya (Figura 2). El incremento significativo del $\delta^{18}\text{O}$ (es decir la proporción entre ^{18}O con respecto al ^{16}O aumenta) en los foraminíferos bentónicos aumenta conforme la profundidad a la cual es un resultado directo del descenso de la temperatura en la columna de agua (Fontainer *et al.*, 2006).

Por otro lado, la composición isotópica de carbono de las conchas de foraminíferos bentónicos provee de información acerca del ciclo del carbono la cual es utilizada para reconstruir cambios en la circulación global y regional (Duplessy *et al.*, 1988) así como de las variaciones en los flujos de la materia orgánica del pasado (Zhan *et al.*, 1986). La distribución del $\delta^{13}\text{C}$ (es decir la proporción entre ^{13}C con respecto al ^{12}C aumenta) del Carbono Inorgánico Disuelto (CID) en los océanos depende de la asimilación biológica y la interacción atmósfera-océano, aunado a la degradación de la materia orgánica. Los foraminíferos bentónicos como el caso de *Cibicides wuellerstorfi*, normalmente calcifica en una relación directamente proporcional con el agua del fondo, sin embargo en áreas donde los aportes de materia orgánica son intermitentes o intensos tienden a disminuir el valor de $\delta^{13}\text{C}$ en esta especie (Eberwein & Mackensen, 2006).

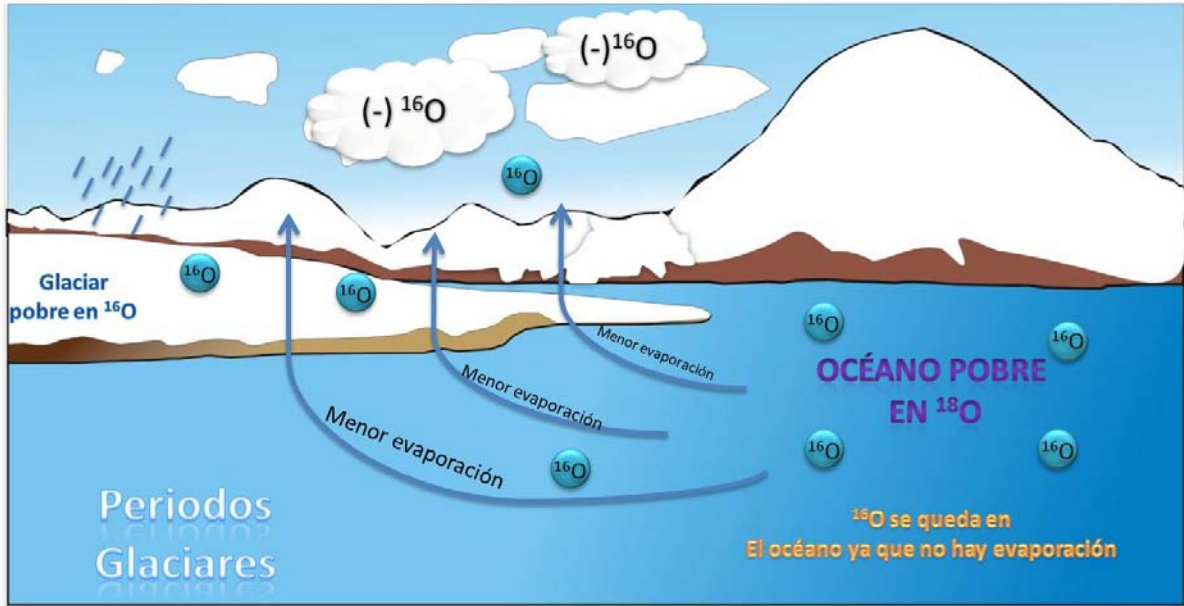


Figura 1. Periodos Glaciares donde la evaporación es menor, generando un empobrecimiento en el ^{18}O en el océano y en los glaciares.

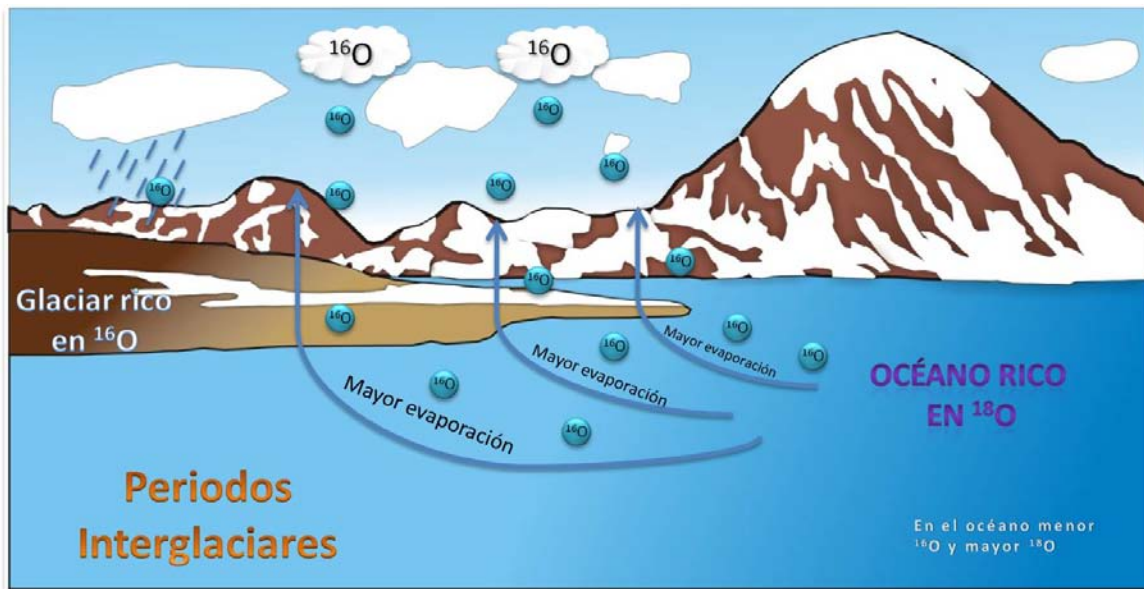


Figura 2. Periodos Interglaciares donde la evaporación es mayor, por lo tanto el océano se enriquece en ^{18}O y el glaciar en el ^{16}O .

La fuente del carbono proviene principalmente de los volcanes. Aproximadamente éstos han incorporado 60×10^{15} toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera y se sigue añadiendo a una tasa de 0.04×10^9 toneladas al año. Este carbono se ve secuestrado por organismos planctónicos, en los sedimentos y en la columna de

agua. Lo anterior, favorece la formación de rocas sedimentarias marinas así como los esqueletos de algunos organismos como corales, foraminíferos, entre otros (Alvarez-Borrego, 2004). Los dos isótopos de carbono, ^{12}C y ^{13}C , se incorporan a los organismos primarios, el isótopo más ligero se incorpora a su tejido haciendo que haya más disponibilidad de ^{13}C en la columna de agua (Figura 3). Asimismo, la variación en la producción primaria es la responsable de la cantidad y calidad de la materia orgánica que cae al fondo la cual lleva consigo la firma isotópica ligera hacia el sedimento donde parte de esta materia orgánica es utilizada por los foraminíferos bentónicos para alimento y de donde registran la información isotópica (Berger y Herguera, 1992; Shmiedl *et al.*, 2000) (Figura 3).

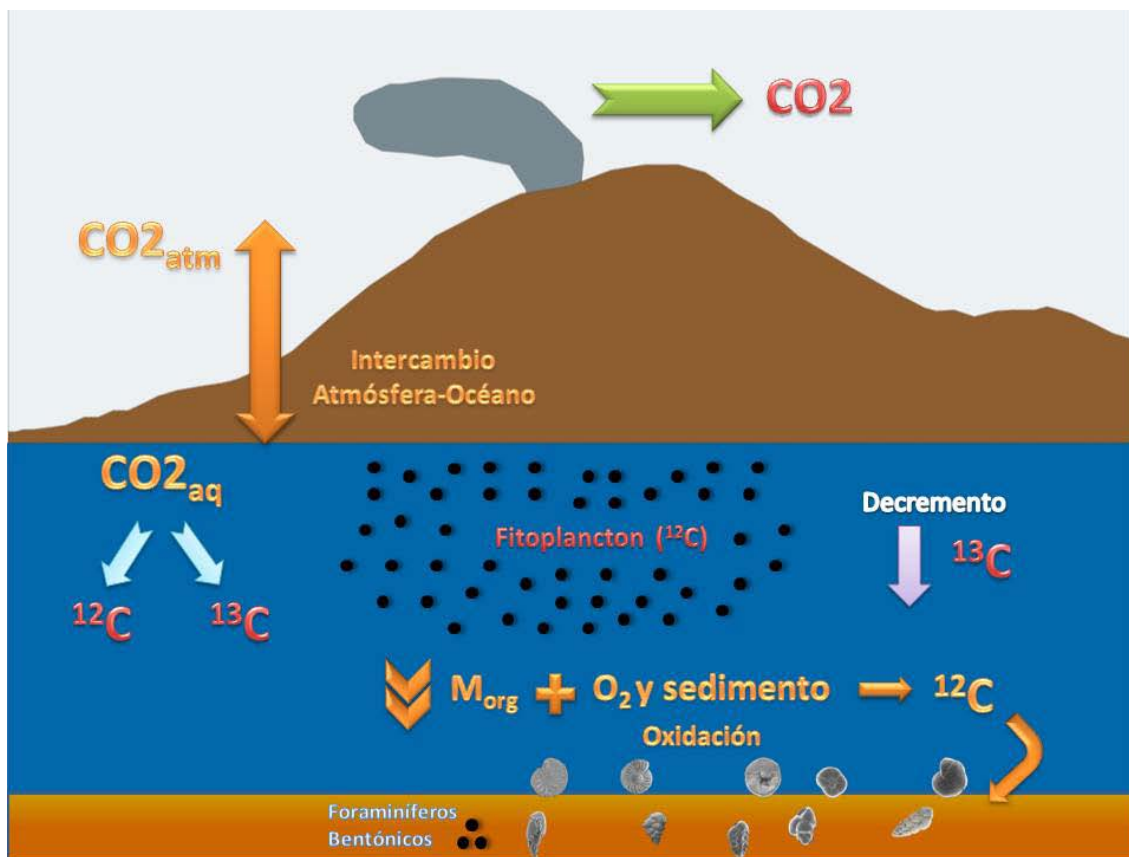


Figura 3. Ciclo del carbono en el océano. El fitoplancton secuestra ^{12}C generando un decremento en el ^{13}C , lo que posteriormente al caer la materia orgánica se libera el ^{12}C reflejándose en la composición isotópica de los foraminíferos bentónicos.

La distribución vertical de los foraminíferos bentónicos en el sedimento está controlada principalmente por la combinación de los flujos de materia orgánica y la

concentración de oxígeno existente en la columna de agua de la interface agua-sedimento y en los intersticios (Corliss & Emerson, 1990)

Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en foraminíferos bentónicos reflejan el $^{13}\text{C}_{\text{CID}}$ (es decir la proporción entre ^{13}C con respecto al ^{12}C en el carbono inorgánico disuelto de la columna de agua aumenta) de la columna de agua e intersticial, sobre la base del hábitat de cada especie (McCorkle *et al.*, 1997; Schmiedl *et al.*, 2004; Fontainer *et al.*, 2006). Dependiendo de la degradación de la materia orgánica, los valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{CID}}$ decrecen en los primeros centímetros del sedimento (McCorkle & Emerson, 1988). El gradiente de penetración del oxígeno se determina principalmente por la disponibilidad de oxígeno y materia orgánica en los sedimentos. Este gradiente consta de la diferencia entre el valor isotópico de carbono de foraminíferos epibentónicos con respecto al valor isotópico de los foraminíferos endobentónicos ($\Delta\delta^{13}\text{C}$), el cual aumenta en 1‰ bajo condición de oxigenación bajas, y de 4‰ bajo condiciones de oxigenación favorables (McCorkle & Emerson, 1988). Por otro lado, se menciona que existen amplias diferencias del $\delta^{13}\text{C}$ entre las especies endobentónicas y las epibentónicas, producto de las altas tasas de remineralización de la materia orgánica en los sedimentos. Una remineralización alta es el resultado de mayor concentración de oxígeno en la interface agua-sedimento (McCorkle & Emerson, 1988).

El valor isotópico de oxígeno de los foraminíferos se ve afectado por la disponibilidad de oxígeno y por cambios en las tasas de remineralización de la materia orgánica. Asimismo las variaciones específicas en el fraccionamiento isotópico durante la biomineralización son frecuentemente adscritas, como efectos vitales. El fraccionamiento cinético ha sido reportado como un factor importante en el empobrecimiento de la señal de ^{18}O en muchos carbonatos biogénicos. Este proceso es reconocido por una variación significativa en la señal del $\delta^{18}\text{O}$ y es particularmente intensa con una alta tasa de precipitación (*e.g.*, McConnaughey *et al.*, 1997). Muchos estudios sostienen que los efectos vitales en foraminíferos son predominantemente causados por la incorporación de CO_2 metabólico isotópicamente ligero en las conchas de carbonato (Weber & Berger, 1991). Erez (1978) sugiere que la magnitud de este efecto vital es proporcional a la cantidad

de CO₂ metabólico en el reservorio de CO₂ interno en el organismo. El grado de desequilibrio es generalmente pequeño para $\delta^{18}\text{O}$, ya que el reservorio de oxígeno es ilimitado en el ambiente marino donde interactúa con el CO₂ metabólico durante la formación de la concha (Weber & Berger, 1991).

Los trabajos descritos por McCorkle & Keiwin (1990) y Rathburn *et al* (1996) encontraron que el incremento del $\delta^{13}\text{C}$ muestra valores concordantes entre especies y géneros, independientemente de la profundidad del hábitat del foraminífero en el sedimento. Aunque por otro lado, el $\delta^{13}\text{C}$ puede verse influenciado según el tamaño de la concha de los foraminíferos bentónicos (Schmiedl *et al.*, 2004).

Algunas especies de foraminíferos no calcifican en equilibrio, esto implica que su valor isotópico presenta una diferencia con respecto al $\delta^{13}\text{C}_{\text{CID}}$. Las correcciones isotópicas o como algunos otros autores lo llaman, “*efecto vital*”, se puede ver afectado por un bajo metabolismo del CO₂ en las conchas de carbonato de calcio (Berger *et al.*, 1978). Las correcciones isotópicas permiten la correlación isotópica entre especies endobentónicas y epibentónicas independientemente de sus hábitos ecológicos, lo cual permite reconstrucciones paleoceanográficas en la interface agua sedimento así como nos permite ampliar el uso de otras especies como paleoindicadores (Fontainer *et al.* 2006).

Algunos autores mencionan el cuidado en el uso de estas correcciones isotópicas, ya que en algunas regiones como el Pacífico Noroeste, los géneros epibentónicos como *Cibicidoides* no precipitaban sus conchas en equilibrio con el agua de mar (Costa *et al.*, 2003). De la misma forma, *U. peregrina* se creía precipitaba su concha en equilibrio con la composición isotópica de oxígeno del agua de mar, pero no se encuentra en equilibrio lo cual generó dudas en torno a su empleo (Bemis *et al.*, 1998). Por otra parte, Keigwing *et al.* (2002) encuentran que *Cibicides* y *Planulina* se encuentran en equilibrio isotópico, con una desviación de solo $0.01 \pm 0.2\text{‰}$. Asimismo, diversos estudios hacen uso del factor de corrección isotópica generado para la correlación isotópica entre especies epibentónicas (*Cibicides* y *Planulina*) y de especies endobentónicas (*U. peregrina*)

con el cual se han encontrado factores de corrección que permiten corregir la desviación generada por factores propios del bentos como por ejemplo la degradación de la materia orgánica y la señal isotópica del agua en los intersticios del sedimento (Rathburn *et al.*, 1996; Matsumoto *et al.*, 1999, 2002; Fontainer *et al.*, 2006).

II.3. Paleoceanografía y la variabilidad climática.

Uno de los primeros estudios sedimentarios sobre variabilidad climática a escala milenaria en el Pacífico fue el realizado por Behl & Kennett (1996) en la cuenca Santa Bárbara, California. En este registro se documentó la variabilidad ocurrida a partir de la secuencia de sedimentos laminados (la actividad de los microorganismos es escasa) y bioturbados (la actividad de los microorganismos es alta lo que genera movimiento en el sedimento el cual se observa en el registro sedimentario) (Behl & Kennett, 1996). Estos autores sugieren que la secuencia de sedimentos laminados/bioturbados fue producto de cambios en la ventilación (oxigenación) de la columna de agua, sin embargo en el estudio realizado por Stott *et al.* (2000) en sedimentos recientes, encontró un decremento en la tasa de oxidación del carbono orgánico (C_{org}) basándose en $\delta^{13}C$ de foraminíferos bentónicos, lo cual fue interpretado como un incremento en el contenido de oxígeno disuelto de 15-20 $\mu\text{m}/\text{kg}$. Esto coincide con un cambio en la climatología del Océano Pacífico ocurrido durante 1976-1977, que implicó una reducción en el número de eventos de surgencia e incremento en la temperatura superficial del océano en 1.5-3.0°C. De esta forma, no fue necesario sugerir un cambio en la circulación y ventilación oceánica para explicar el patrón de sedimentación (bioturbación/laminación) observado en núcleos del Pacífico Nororiental (Holsten *et al.*, 2004) gracias a la analogía que se pudo realizar de eventos recientes en el trabajo de Stott *et al.*, 2000 y en eventos antiguos propuestos por Behl & Kennett, 1996. De esta forma, la interpretación paleoceanográfica puede encontrar más explicaciones ante un evento determinado.

Hendy *et al.* (2002) observaron en los núcleos de sedimento en la Cuenca de Santa Bárbara una sincronía entre Groenlandia y el margen de California durante

el Último Glaciar Máximo. En este trabajo encuentran un comportamiento muy similar entre temperatura y el valor isotópico de oxígeno de los foraminíferos, lo cual estaría indicando una respuesta del océano ante cambios atmosféricos para el periodo de 10 ka y 30 ka entre el Océano Pacífico y Groenlandia. Las abundancias en foraminíferos planctónicos tienen una respuesta ante cambios climáticos globales pudiendo identificar mayor abundancia para periodos cálidos como el Bolling Allerod (15 ka - 13 ka) y el Pre Bolling (14,620 ka – 15 ka) (Van Geen *et al.*, 2003; Alley *et al.*, 1993); mientras que, para los periodos fríos se encuentra una menor abundancia, lo cual corresponde a eventos como el Younger Dryas (12,860 ka – 11,690 ka) y eventos menores como el Oldest Dryas (17,500 ka – 14,720 ka) y Older Dryas (12,000 ka - 11,700 ka) (Van Geen *et al.*, 2003). En el caso de la especie *N. pachyderma* (enrollamiento izquierdo) incrementa hasta un 20% su valor isotópico de oxígeno durante el Younger Dryas (12,860 ka – 11,690 ka), mientras que *G. bulloides*, una especie de la zona de mezcla, decrece su valor isotópico de oxígeno sustancialmente. Esto importante ya que estas dos especies nos indican que el océano nos está dando una respuesta esperada ante las variaciones atmosféricas para esta zona del Pacífico.

Ortiz *et al.* (2004) reportaron para el margen de Magdalena, B.C.S., 1500 km al sur de cuenca Santa Bárbara, que el contenido de C_{org} y la abundancia de foraminíferos bentónicos tuvieron una variabilidad de escala milenarial similar a la encontrada en el núcleo de hielo de Groenlandia y de sedimento en Cuenca Santa Bárbara. Estos autores infieren que esta variación climática fue análoga a las condiciones oceanográficas que ocurren durante los eventos de La Niña (periodos interestadiales de alta productividad, columna de agua mezclada y nutriclina somera) y El Niño (periodos estadiales con baja productividad con una columna de agua estratificada y nutriclina profunda). No obstante, Crusius *et al.* (2004) indicaron que el aumento en la productividad cerca de los sitios de formación de agua intermedia del Pacífico Norte condujo en un decremento en la concentración de oxígeno en la ZOM, en contraste cuando había un decremento en la productividad, se mostraba un incremento en el Oxígeno. Lo que contrasta con el modelo de Hendy & Kenneth (2003) sobre una expansión e intensificación del

agua intermedia del Pacífico Norte (alta concentración de oxígeno y pobre en nutrientes) durante intervalos fríos del último glaciario (Keigwin, 1998) y la presencia de una masa de agua compuesta proveniente del sur (baja concentración de oxígeno y rica en nutrientes) las cuales presentan una respuesta ante las oscilaciones de escala milenaria. El aumento del flujo de foraminíferos bentónicos así como del carbono orgánico denota condiciones de alta productividad similares a las de La Niña. En contraste, para los periodos fríos, el carbono orgánico así como el flujo de foraminíferos bentónicos es menor lo que denota condiciones de baja productividad, similares a El Niño con una columna de agua estratificada.

Herguera *et al.* (2010) reportaron valores del $\delta^{18}\text{O}$ y del $\delta^{13}\text{C}$ para el foraminífero epibentónico *Planulina* en el Pacífico Nororiental Mexicano. Los isótopos de carbono presentaron un aumento del $\delta^{13}\text{C}$ en las aguas intermedias del Pacífico y un decremento en aguas profundas, durante el Último Glaciario Máximo (18 ka). Los autores sugieren que estos cambios se pueden explicar por cambios de la temperatura superficial del mar en donde el intercambio océano-atmósfera pudo generar el aumento del valor de $\delta^{13}\text{C}$. Los autores sugieren que un cambio en la concentración de nutrientes o un cambio en la productividad también pudieron ser factores importantes para este aumento en el $\delta^{13}\text{C}$ durante el Último Glaciario Máximo.

Los registros sedimentarios de la margen de Magdalena sustentan evidencias en la variabilidad climática milenaria a través de las mediciones en el carbono orgánico (Ortíz *et al.*, 2004) y en foraminíferos bentónicos (Herguera, *et al.*, 2010), sin embargo, los mecanismos oceanográficos de la columna de agua y su interrelación con la productividad marina no están del todo entendidos y explicados. La importancia de estudiar las variaciones climáticas del sistema terrestre y oceánico en el pasado radica en la información que pueden proveer y de esta forma, entender los cambios climáticos que pudiesen ocurrir en un futuro. Sobre todo en aquellos sitios donde la productividad oceánica es de importancia económica, como es el caso del centro de actividad biológica del margen de Magdalena.

III. Justificación

Debido a que el margen suroccidental de la Península de Baja California es una región de alta productividad marina (i.e., altos flujos de materia orgánica de la columna de agua hacia el sedimento) y la presencia de una amplia zona de mínimo oxígeno, que promueve la preservación de la materia orgánica, se desconoce si el factor de corrección isotópico de oxígeno y carbono propuesto por Shackleton (1974) puede ser usado bajo estas condiciones de la columna de agua y del sedimento o bien, es necesario establecer un factor de corrección isotópico para esta región del Pacífico Mexicano. El presente trabajo pretende generar un factor de corrección isotópica agregado al valor isotópico de *U. peregrina* el cual pueda ser utilizado para la reconstrucción de la región superficial del bentos en ausencia de especies epibentónicas (*Cibicides/Planulina*), así como demostrar que estas especies se encuentran en equilibrio isotópico con el CID del agua de mar. Los factores de corrección generados pueden ser una aportación valiosa para la investigación paleoceanográfica del Pacífico Mexicano.

IV. Hipótesis

El equilibrio isotópico de la calcita y del $\delta^{18}\text{O}$ de los foraminíferos responden inversamente a la temperatura de la columna de agua, mientras que el flujo exportado de la materia orgánica, parcialmente degradada en la columna y que llega al sedimento, parece ser el principal factor que controla la composición isotópica de carbono de los foraminíferos bentónicos (e.g., Fontainer *et al.*, 2002). Este efecto es reflejado como un incremento/decremento en el gradiente del $\delta^{13}\text{C}$ entre foraminíferos epi/endobentónicos. Bajo este escenario, el gradiente isotópico de oxígeno de *Cibicides/Planulina* vs *U. peregrina* se mantendrá constante con el $\delta^{18}\text{O}$ de la calcita en “equilibrio isotópico” y el gradiente isotópico de carbono no se verá influenciado por efectos vitales, por lo cual se mantendrá constante con el $\delta^{13}\text{C}$ del CID en el margen suroccidental de la Península de Baja California. El gradiente isotópico entre especies endobentónicas y epibentónicas de foraminíferos en sedimentos recientes, permitirá realizar reconstrucciones precisas de las condiciones oceanográficas de la columna de agua utilizando *Uvigerina peregrina* en donde estén ausentes *Cibicides* o *Planulina* en intervalos del registro sedimentario.

V. Objetivos

V.1. Objetivo General

Determinar la composición isotópica de oxígeno y carbono, así como el factor de corrección isotópica entre *Cibicides* spp. / *Planulina* spp. y *Uvigerina peregrina* .y con ello reconstruir las condiciones de la columna de agua (temperatura de la capa de mezcla) a lo largo del margen occidental de la Península de Baja California, sector sur del sistema de la Corriente de California.

V.2. Objetivos Particulares

1. Calcular la composición isotópica de oxígeno y carbono de los foraminíferos bentónicos (*Cibicides* spp./*Planulina* spp. y *U. peregrina*) en diferentes condiciones ambientales.
2. Determinar si los perfiles isotópicos de oxígeno y carbono de *Cibicides* spp. *Planulina* spp. y *U. peregrina* se encuentran cercanos respecto al valor isotópico del CID del agua de mar.
3. Proponer un factor de corrección isotópico de oxígeno y carbono para *Cibicides* spp., *Planulina* spp. y *U. peregrina* el cual permita obtener un factor de corrección isotópica que se pueda emplear para la reconstrucción paleoceanográfica utilizando *U. peregrina* en ausencia de *Cibicides* spp. y *Planulina* spp.
4. Reconstruir la temperatura de la capa de mezcla a lo largo del sector sur de la Corriente de California durante los últimos 52 ka.

VI. Área de Estudio

VI.1. Localización

El área de estudio se localiza al sureste del estado de Baja California Sur en el Margen de Magdalena, el cual se localiza entre los 22° 59' N, 110° 50' O y 25° 42' N, 114° 18' O (Figura 4). En la región oceánica frente a Bahía Magdalena se presenta una plataforma continental con un escarpe que va de 40 a 110m de profundidad.



Figura 4. Localización del área de estudio (línea punteada) en el margen de Magdalena.

VI.2. Marco Oceanográfico

El Margen de Magdalena (Van Geen *et al.*, 2003) se ve afectado directamente por la porción sur de la Corriente de California, la cual tiene su origen en la Corriente del Pacífico Norte, ésta se origina por los vientos hacia el oeste de esta región. En las costas de Alaska y Canadá, se origina la corriente de Alaska y la Corriente de California. Esta última es una corriente superficial la cual en algunas porciones alcanza un espesor de 300 m. En dirección contraria se encuentra con una

corriente que se dirige hacia el polo mucho más intensa en los meses de Julio a Diciembre (Zaytsev *et al.*, 2007). Durazo y Baumgartner (2002) reportan que la porción sur de la Corriente de California está caracterizada por cuatro masas de agua. La primera corresponde a la masa de agua Subártica caracterizada por aguas frías entre 8°C y 21°C con baja salinidad entre 33 y 34, la cual es transportada entre 0 y 200 m de profundidades; la segunda masa de agua corresponde a la Sub-tropical Superficial la cual está caracterizada por temperaturas que van entre 20° y 28°C y salinidad de 34.4 a 35; la tercera masa de agua es la que se denomina Tropical Superficial, la cual está caracterizada por temperatura de 25 a 30°C y salinidad entre 33 a 34. La cuarta masa de agua es denominada la masa de Agua Ecuatorial Subsuperficial la cual tiene una temperatura que oscila entre los 8 y 15°C y una salinidad de entre 34.5 y 35. Es importante mencionar que en esta porción existe un fenómeno de mezcla entre las masas de agua Sub Ártica y la Sub Tropical Superficial (Figura 5) (Zaytsev *et al.*, 2007).

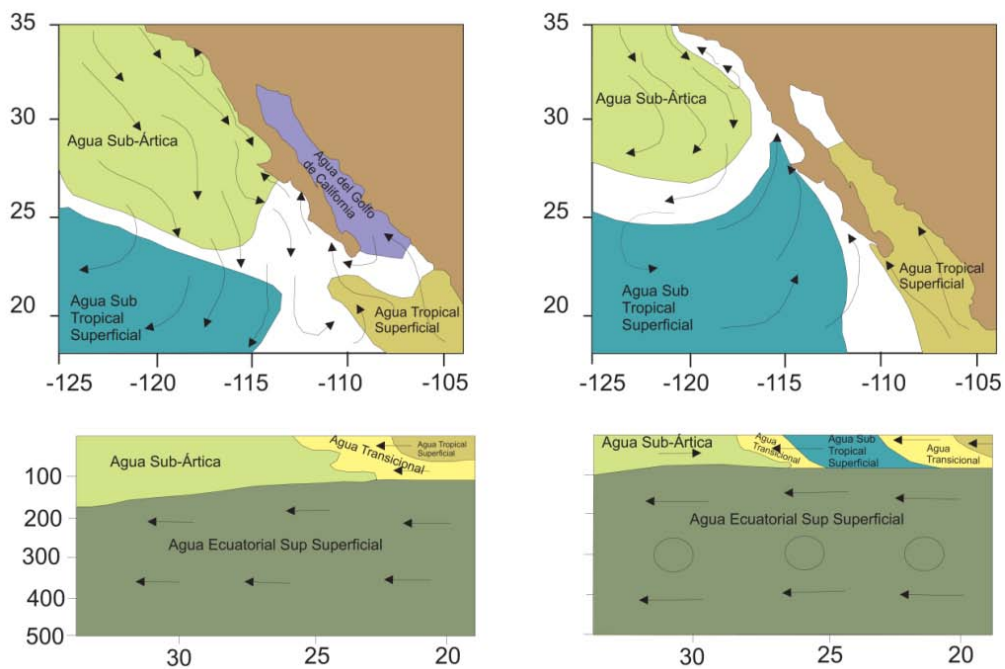


Figura 5. Flujos y advección de masas principales en la región de la Península de Baja California. A la izquierda se presenta un año normal en el periodo de noviembre de 1969 (Roden, 1971) y a la derecha se presenta El Niño 1997-98. En la parte superior del esquema se presenta la distribución

horizontal y en los esquemas inferiores se muestra la distribución vertical (Modificado de Zaytsev *et al.* 2007)

En esta región, durante El Niño de 1997 a 1998, se registraron temperaturas anormalmente altas y una disminución en la producción biológica de la zona costera de la Península de Baja California (Lavaniegos *et al.*, 2002; Hernández de la Torre *et al.*, 2004 en Zaytsev *et al.*, 2007). Durante El Niño, las masas de Agua Tropical Superficial y Sub Tropical superficial viajan a lo largo de la costa hasta llegar a la parte norte de la península. Cuando este evento finaliza, hay un cambio abrupto por la presencia de aguas frías generando un aumento en la productividad primaria, aunado a eventos de surgencias de intensidad anómala a lo largo del Pacífico Oriental que se denomina el evento de La Niña (Durazo & Baumgartner, 2002). Es importante resaltar que no siempre ocurre una Niña después de un Niño y viceversa.

Con respecto al patrón de corrientes estacionales en el periodo de invierno y primavera, las corrientes tienden a separarse de la costa cuando estas se dirigen hacia el SE; por el contrario, en verano y otoño se presenta un flujo que va al NW a lo largo de la línea de costa (Figura 6). El agua superficial que se desplaza lejos de la costa es reemplazada por aguas frías y salinas a 100 m de profundidad, llevando nutrientes a las capas superficiales (Zaytsev *et al.*, 2003; Zaytsev *et al.*, 2007).

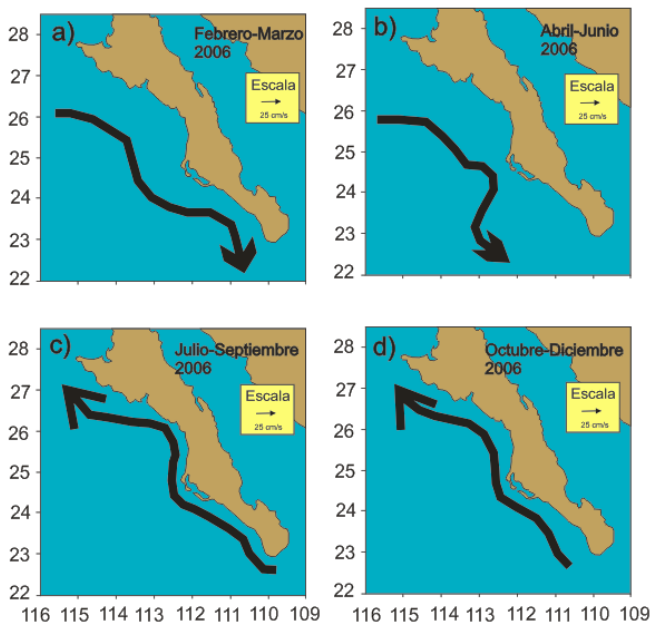


Figura 6. Corrientes geostroficas estacionales calculadas a partir del modelo Occam. Las flechas indican los flujos principales. Modificado de Zaytsev *et al.* (2007).

De abril a Junio se desarrollan una serie de giros que se desplazan de norte a suroeste. Durante los meses de Abril, Junio y Agosto, las anomalías de la temperatura superficial del mar se presentan negativas, lo que indica la presencia de masas de agua de menor temperatura que el agua superficial transportada desde la región Subártica: Este fenómeno denominado surgencia, se presenta más intensamente de Abril a Mayo y presenta un segundo incremento de menor intensidad en Otoño (Figura 7). La estratificación de la columna de agua afecta la aparición y extensión de las anomalías térmicas negativas. Esta estratificación regula parcialmente el proceso de transporte de aguas frías y ricas de nutrientes al interior del Sistema Lagunar Magdalena-Almejas (Zaytsev *et al.*, 2003; Zaytsev *et al.*, 2007).

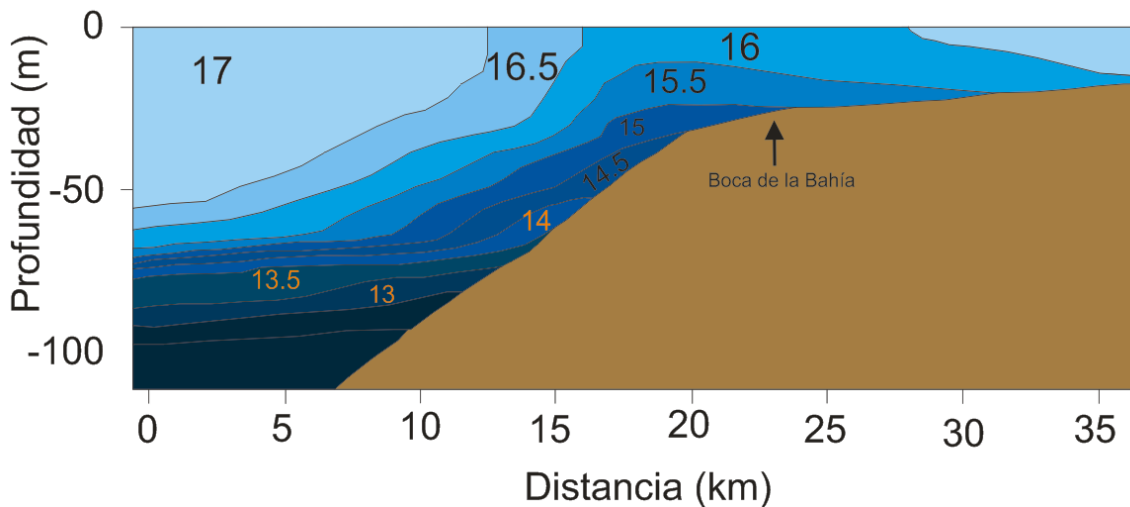


Figura 7. Distribución vertical de temperatura del 22 de febrero de 2001 a lo largo de la sección transversal a la boca de Bahía Magdalena. Modificado de Zaytsev *et al.* (2003).

En base a diagramas de temperatura y salinidad de marzo de 2003, se muestra la presencia de la masa de aguas Ecuatorial Subsuperficial, la cual se caracteriza por tener temperatura entre 12 y 15°C y salinidades entre 34.3 y 34.7 para los 80 y 200m de profundidad sobre la plataforma continental del Sistema Lagunar Magdalena-Almejas (Sánchez-Montante *et al.*, 2007; Zaytsev *et al.*, 2007). Durante

diciembre de 2003 se registraron masas de agua con características similares a la masa de agua Ecuatorial Subsuperficial a 100m de profundidad, sin embargo la capa superficial presentó un incremento en la temperatura la cual pertenece a la masa de agua Sub Tropical Superficial (Figura 8) (Sánchez-Montante *et al.*, 2007; Zaytsev *et al.*, 2007). De Enero a Junio se observa un flujo hacia el sureste de agua Subártica y transicional con menor temperatura y salinidad (Roden, 1971 en Zaytsev *et al.*, 2007) y de julio a diciembre se observa una masa de agua con características de aguas subtropicales y en menor proporción por agua tropical (Zaytsev *et al.*, 2003; Zaytsev *et al.*, 2007).

El origen de las surgencias costeras en el área de estudio se debe a procesos de intensificación de los vientos del noroeste, el cual genera un movimiento de flujos que tienen dirección al sur desde Enero a Junio.

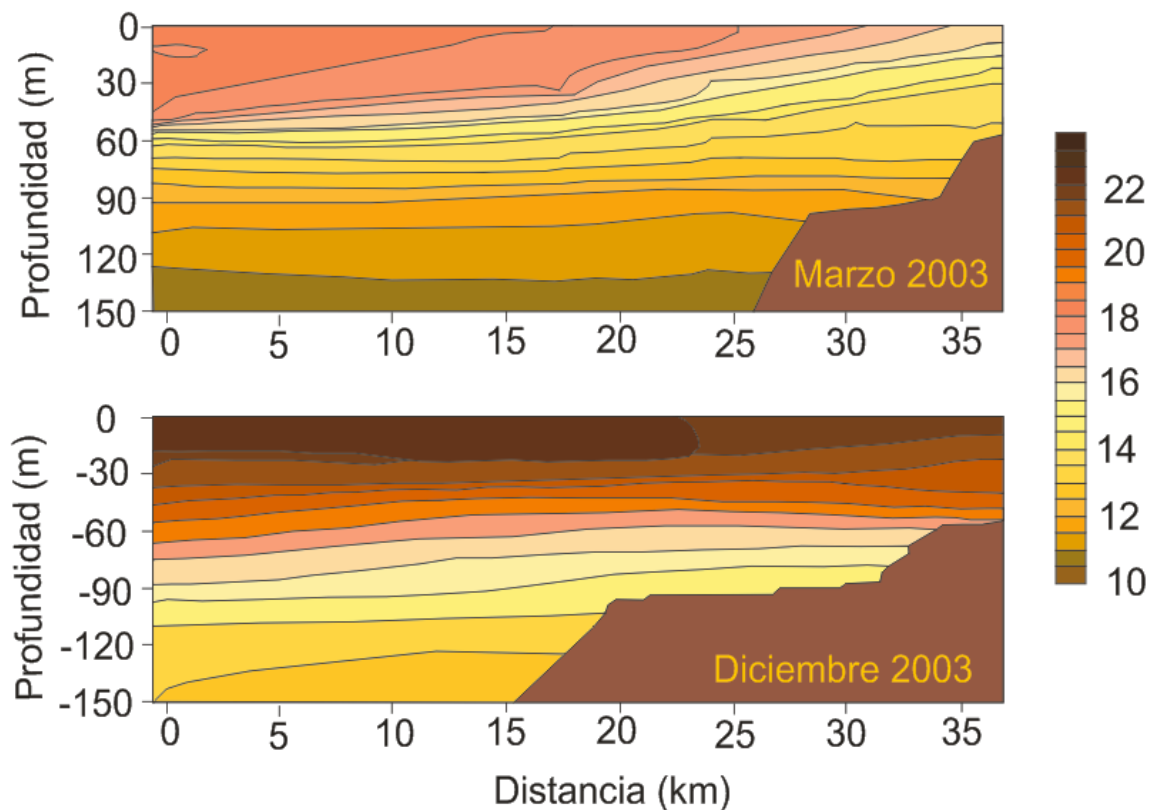


Figura 8. Distribución vertical de la temperatura para Marzo de 2003 y Diciembre de 2003 en el Margen de Magdalena B.C.S. Marzo está caracterizado por el ascenso a la superficie de las isothermas 17-18.5°C y Diciembre por una columna de agua estratificada por lo que no hay surgencias. Modificado de Zaytsev *et al.* (2007).

Para el periodo de agosto a noviembre se observa el predominio del flujo de aguas Subtropicales hacia el norte, lo cual se origina por el debilitamiento y cambio de dirección de los vientos y de la Corriente de California. En este fenómeno el transporte de Ekman genera condiciones favorables para la productividad (Zaiztev *et al.*, 2003; Sánchez-Montante *et al.*, 2007; Zaytsev *et al.*, 2007). Las condiciones favorables de formación de surgencias, se forman en Mayo y en menor medida en Noviembre. Para el mes de Febrero, los patrones de viento no permiten las condiciones de surgencia. En Agosto, el viento sopla en dirección hacia mar adentro generando un decremento en el proceso de surgencia. El patrón de temperatura muestra una columna de agua bien mezclada con una termoclina a los 70m (Sánchez-Montante *et al.*, 2007; Zaytsev *et al.*, 2007).

VII. Materiales y Métodos

VII.1. Procesamiento de Muestras en el laboratorio

Sedimentos Superficiales

Se hicieron muestreos en 37 estaciones de los primeros 2 cm de profundidad del sedimento. Dentro de la zona de muestreo (Figura 9) se colectaron 18 muestras en estaciones que se encuentran dentro de la ZOM y 19 por encima de ésta.

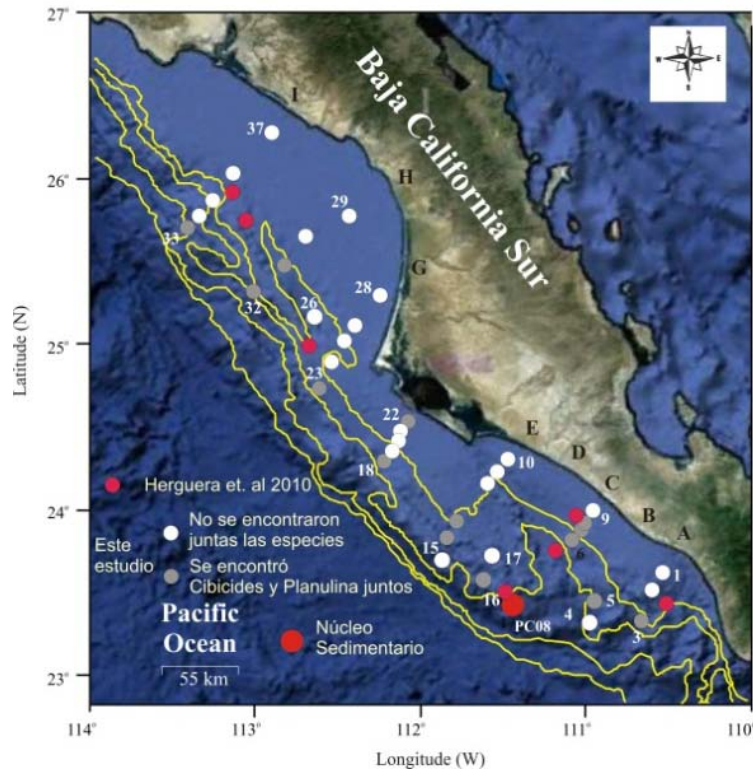


Figura 9. Distribución de las muestras superficiales, las estaciones con círculos blancos indican la presencia de *Uvigerina peregrina* sin embargo, no se encontraron foraminíferos epibentónicos, en los círculos grises se indican las estaciones en donde se encontraron algunas especies epibentónicas. Los círculos rojos representan los núcleos de sedimento de Sánchez (2006) y Herguera *et al.* (2010).

Las muestras de sedimentos fueron lavadas en húmedo con un juego de tamices entre 63 μm , 150 μm y 250 μm . Posteriormente se colocaron en cajas de Petri y se secaron en un horno de madera a una temperatura entre 40-50°C. Las especies de foraminíferos fueron separadas bajo un microscopio estereoscópico. Se

separaron para cada especie entre 20 y 30 especímenes, para los bentónicos se separaron *U. peregrina* (D'Orbigny, 1826), *Cibicides* spp. y *Planulina* spp. (D'Orbigny, 1826). Posteriormente se pesaron entre 50 y 100 µg de testas en una microbalanza. Ya pesados los foraminíferos, se colocaron en la mufla a una temperatura de 350°C para la eliminación de la materia orgánica.

VII.2. Análisis de isótopos de oxígeno y carbono.

Para el análisis isotópico de oxígeno y carbono, los tubos de reacción se llenaron con Helio para desplazar el aire a la atmósfera y evitar errores en la medición isotópica. Posteriormente se le adicionó ácido fosfórico a la muestra para la disolución de los carbonatos y liberación del CO₂ de la concha del foraminífero. Las muestras de carbonato se analizaron en un espectrómetro de masas Delta V Plus de Thermo Scientific automatizado para carbonatos (Gas Bench), en el Laboratorio de Espectrometría de masas del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR). Para el análisis isotópico se utilizó el NBS-19, el cual es un estándar aceptado por el National Bureau of Standards con un valor de $\delta^{18}\text{O}$ de -2.2 ‰ y $\delta^{13}\text{C}$ de +1.95 ‰ (vs PDB). La precisión analítica de ambos estándares fue <0.1‰.

VII.3. Cálculo de los Perfiles de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$.

El $\delta^{18}\text{O}$ en la concha de los foraminíferos nos muestran las condiciones a las cuales determinada especie de foraminífero vivió. Es por esta razón que los valores isotópicos deben estar en equilibrio con el carbono inorgánico disuelto del agua de mar. Para tal fin, los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de la calcita en equilibrio isotópico con el agua superficial a diferentes latitudes fue calculada utilizando la temperatura de los datos de Levitus y Boyer (1994) y la ecuación de Bemis et al. (1998). La ecuación (1) se encuentra en función de la temperatura y la composición isotópica del agua de mar (en SMOW) (Epstein et al., 1953), convertido a la escala de PDB por medio de la corrección de 0.27 ‰ (Bemis et al., 1998):

$$T(^{\circ}\text{C}) = 16.5 - 4.8(\delta^{18}\text{O}_c - \delta^{18}\text{O}_{sw}) \dots\dots\dots (1)$$

$\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ fue calculado a partir de los datos de salinidad (Levitus et al., 1994) y de la relación de $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ vs salinidad (s) en el Pacífico Norte (Keigwin, 1998).

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}} = 0.364 \cdot S - 12.646 \dots \dots \dots (2)$$

La ecuación 2 fue utilizada para calcular los valores del $\delta^{18}\text{O}$ de la calcita en equilibrio con la profundidad graficada en la Figura 13.

Los valores de *Cibicides* y *Planulina* en el Pacífico Noroeste concuerda con el valor del $\delta^{18}\text{O}$ de la calcita estimado a 500 m y muestra un gradiente isotópico entre muestras tomadas a diferentes profundidades de 2.97‰ (Figura 11), lo cual refleja un gradiente de temperatura de 13°C, considerando una constante de 0.23 ‰/1°C entre los 45 y 500 m. La termoclina permanente o capa superficial más cálida del océano se ve reflejada por las especies *Cibicides* y *Planulina*. Los valores del $\delta^{18}\text{O}$ de estos géneros y $\delta^{18}\text{O}_{\text{CID}}$ calculado (Figura 11, líneas azules y rojas continuas) fueron muy similares a lo largo de todo el perfil, sin embargo, a los 400 m, *Cibicides* spp. muestra una desviación. La columna de agua se observa homogénea en lo que respecta a la temperatura y salinidad por debajo de los 500 m de profundidad en donde se puede ver una disminución gradual de la temperatura conforme la profundidad, lo cual se ve reflejado en el valor de la constante de $\delta^{18}\text{O}$ para los foraminíferos bentónicos y el predicho para los valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{CID}}$.

VII.4. Cálculo de la Temperatura de Capa de Mezcla a partir del $\delta^{18}\text{O}$ en foraminíferos.

Para reconstruir la estructura de térmica de la columna de agua, Oba y Marayama (2004) proponen reconstruir temperatura de la capa de mezcla (TCM) a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{TCM} = 0.331 \times \Delta(\delta_{\text{fb}} - \delta_{\text{fp}})^2 + 3.643 \times \Delta(\delta_{\text{fb}} - \delta_{\text{fp}}) - 0.14 \dots \dots \dots (3)$$

donde, el $\Delta\delta$ es la diferencia isotópica entre el δ_{fb} ($\delta^{18}\text{O}$ del foraminífero bentónico) y δ_{fp} ($\delta^{18}\text{O}$ del foraminífero plantónico). La ecuación (3) se fundamenta en: (a) la

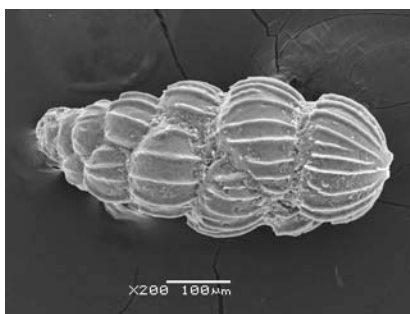
composición isotópica de ambos foraminíferos está en equilibrio con la calcita en el agua de mar y (b) la temperatura del agua de mar, donde habita el foraminífero bentónico se mantuvo relativamente constante y no varió significativamente en el tiempo.

La anomalía de la TCM fue reconstruida para cuatro sitios del sistema de la corriente de California (Fig. 16) que incluyen Cuenca Sin Nombre y Cortes Este (Stott *et al.*, 1999); Cuenca Santa Bárbara (Hill *et al.*, 2006) y margen de Magdalena (Sánchez, 2006). Estos cuatro sitios son los únicos que presentaron datos isotópicos de oxígeno de foraminíferos planctónicos y bentónicos medidos simultáneamente en ambos intervalos del registro sedimentario, sin embargo, algunas de las especies analizadas no están presentes en alguno de los ciclos DO. Los ciclos DO 1 (Bolling/Allerod), 2, 3 y 4 estuvieron presentes en todos los sitios bajo comparación. Adicionalmente, los ciclos DO 6 y 7 estuvieron en cuenca Santa Bárbara y los ciclos 8 al 12 en el margen de Magdalena (Fig. 16).

El fechado de ^{14}C , fue tomado de Van Geen et al. 2003, el cual realizó el fechado del núcleo que se utilizó para la discusión de esta tesis.

VII.5. Descripción faunística.

a. *Uvigerina peregrina* (Cushman, 1923)



Foraminífero endobentónico o infaunal, en ocasiones epifaunal, cuando las condiciones fisicoquímicas como oxigenación, luz y alimento son escasos. Es alargada con una ornamentación dada por costillas, lo cual le permite enterrarse entre los sedimentos con mayor facilidad. Alcanza una longitud de 0.85 mm a 1.25

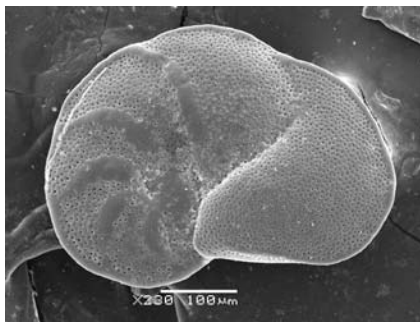
mm y un diámetro de 0.35 mm a 0.50 mm. Es endobentónico somero, que tiene su hábitat a 1 cm de profundidad en el bentos, sin embargo puede estar a más profundidad desapareciendo cerca de los 2 cm (Fontainer *et al.* 2006). Vive a temperaturas bajas (5°C a 15°C) y normalmente se sitúa a profundidades desde los 100 m hasta menos de 4500 m, es decir, puede vivir en ambientes profundos o de plataforma. Es una especie muy utilizada para estudios paleoceanográficos. Su alimentación es esencialmente de detritos o de materia orgánica en descomposición, tiene preferencia por los hábitats lodosos. (Murray, 1991) (Ver Apéndice).

b. *Planulina* spp. (D'Orbigny, 1826)



Especies de foraminífero bentónico epibentónico de forma comprimida, discoidal, trocoespiral muy bajo y biconvexo desigual. En el lado espiral se encuentra casi plana o ligeramente convexo. De lado umbilical se observa más convexo. Las cámaras se presentan curvas ligeramente aumentando de tamaño ligeramente conforme finaliza el enrollamiento. Las paredes de las cámaras son calcáreas, gruesas y con perforaciones. La apertura principal es una hendidura con un labio pequeño. Es epibentónico, normalmente se aferra a la superficie del bentos, tiene afinidad por sustratos duros. Es herbívoro pasivo. Tiene preferencias por aguas tanto frías como cálidas, se desarrolla en ambientes de plataforma y de mar profundo (Murray, 1991) (Ver Apéndice).

c. *Cibicides* spp. (D'Orbigny, 1826)



Foraminífero epibentónico; normalmente se adhiere fuertemente a substratos duros. Se alimenta de materia en suspensión de manera pasiva. Vive tanto en aguas cálidas como frías. Puede vivir en zonas donde la columna de agua va de 0 hasta 200 m de profundidad. Suele vivir en ambientes lagunares, de plataforma y en algunas ocasiones en mar profundo. Especie de forma comprimida, discoidal, su trocoespiral se presenta biconvexo desigual. En el lado espiral se encuentra plana y en algunas ocasiones ligeramente convexo. De lado umbilical se observa más convexo. Las cámaras se presentan curvas ligeramente aumentando de tamaño conforme finaliza el enrollamiento. Las paredes de las cámaras son calcáreas, gruesas y con perforaciones (Murray, 1991) (Ver Apéndice).

VII.6. Curva de calibración de la calcita en el agua de mar

El empleo de los foraminíferos como indicadores para determinar condiciones marinas en el pasado es un recurso muy utilizado por la capacidad de estas especies para guardar información de variables oceanográficas en su concha, sin embargo, la curva de calibración de la calcita es un modelo matemático que permite definir si la composición isotópica de los foraminíferos bajo estudio refleja las condiciones de la columna de agua en la cual habitan.

Para la construcción de la curva de calibración de la calcita en equilibrio con el agua de mar se utilizaron datos de temperatura y salinidad tomados de la base de datos de NOAA (Levitus y Boyer, 1994) e IMECOCAL, 1995 (Herguera *et al.*, 2010); esos datos se sustituyen en las ecuaciones:

$$\delta^{18}\text{O}_w = C_3 (\text{salinidad}) - C_4$$

$$T^\circ\text{C} = C_1 - C_2 (\delta^{18}\text{O}_w)$$

en donde:

$T^\circ\text{C}$ = temperatura en grados centígrados.

C_1 , C_2 , C_3 y C_4 = constante

$\delta^{18}\text{O}_c$ = valor isotópico del oxígeno de la calcita,

$\delta^{18}\text{O}_w$ = Valor isotópico del oxígeno del agua de mar.

Mientras, el $\delta^{13}\text{C}$ de los foraminíferos bentónicos fue comparado con mediciones directas de la composición isotópica de carbono del CID del agua de mar para las estaciones más cercanas al área de estudio del proyecto GEOSECS (estaciones 201, 343 y 347) y WOCE (P18) (Lamb, et al., 1997) de donde son los perfiles calculados mostrados en las Figuras 11 y 13.

VIII.Resultados

VIII.1. Isótopos de Oxígeno en Foraminíferos Bentónicos Recientes

Se determinó la composición isotópica de oxígeno para *U. peregrina*, *Cibicides* y *Planulina*. La correlación de $\delta^{18}\text{O}$ de *Planulina* spp. vs *U. peregrina* fue significativa con coeficiente de determinación de 0.93 (Figura 10). La ordenada al origen de la ecuación de correlación sugiere que el factor de corrección isotópico entre estas dos especies es 0.69‰, este valor es muy similar al factor de corrección isotópico calculado de la diferencia isotópica entre nuestras muestras medidas de 0.67 ± 0.07 ‰ (Figura 10).

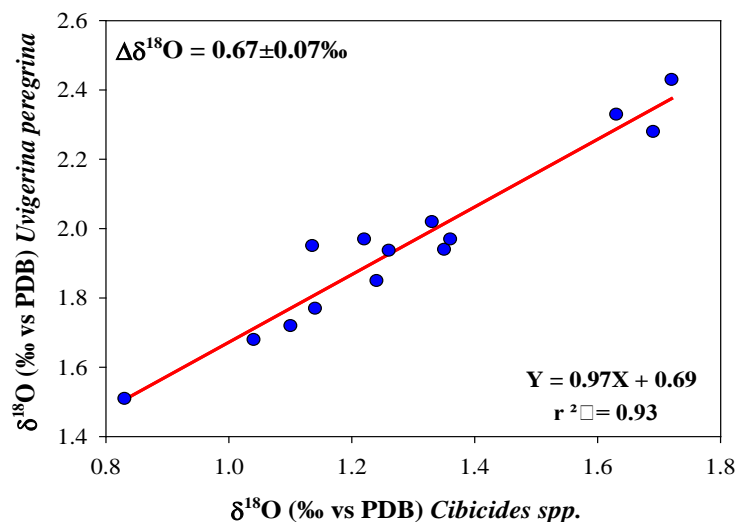


Figura 10. Relación directamente proporcional entre *U. peregrina* spp. y *Cibicides* spp.

U. peregrina presentó valores isotópicos entre 1.2 a 2.4‰ para los primeros 500 m. Con respecto a *Planulina* spp. presentó valores entre -1.5 a 1.2‰ (Figura 11).

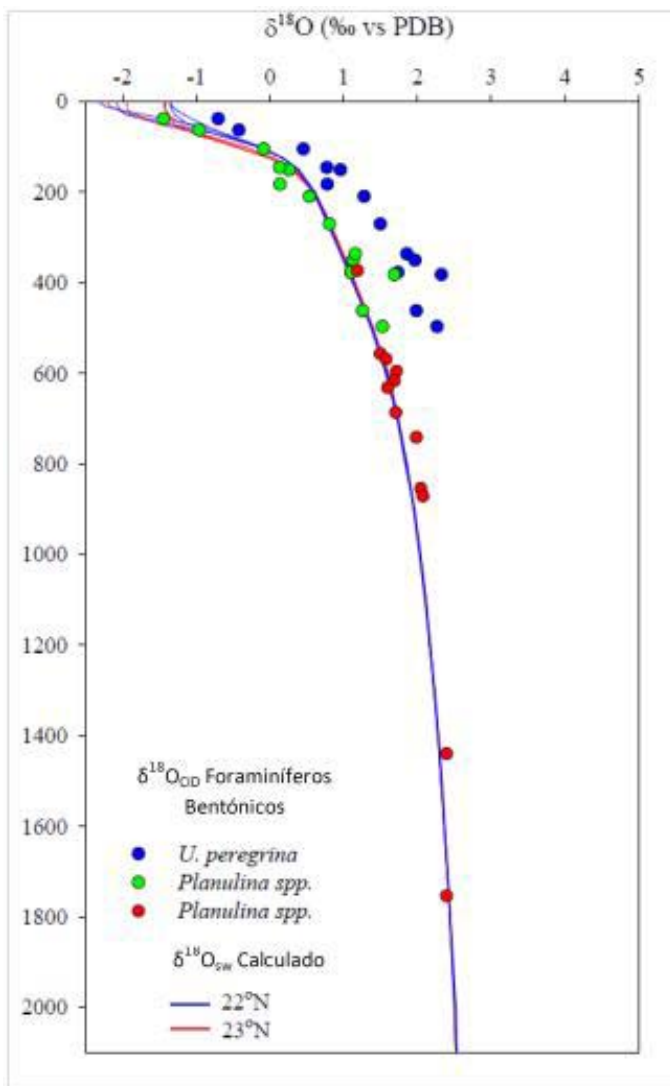


Figura 11. Perfil calculado en base a la ecuación 2 a partir de los datos de salinidad y temperatura (Levitus *et al.*, 1994). Los puntos verdes (este estudio) y rojos (Herguera *et al.*, 2010) están representados por el foraminífero bentónico *Planulina spp.* El foraminífero bentónico *U. peregrina* está representado por los puntos azules el cual presenta una desviación de $\delta^{18}\text{O}_{\text{CID}} = 0.67 \pm 0.07\text{‰}$

Los valores del $\delta^{18}\text{O}$ más pesados fueron de *U. peregrina* (Figura 11) con respecto al valor de $\delta^{18}\text{O}_c$ para *Cibicides* y *Planulina* por $0.67 \pm 0.07\text{‰}$ y $0.68 \pm 0.08\text{‰}$ respectivamente. Las comparaciones a estas predicciones ($\delta^{18}\text{O}_{\text{CID}}$) con los valores de $\delta^{18}\text{O}$ medidos en *Cibicides*, *Planulina* y *U. peregrina* (con una desviación de $\delta^{18}\text{O}_{\text{CID}} = 0.67 \pm 0.07\text{‰}$) sugieren que estas especies son una buena aproximación de las condiciones de la columna de agua.

VIII.2. Isótopos de Carbono en Foraminíferos Bentónicos Recientes

De la misma forma que los isótopos de oxígeno, se determinó la composición de los isótopos de carbono para los foraminíferos *Planulina* spp, *Cibicides* spp, y *U. peregrina*.

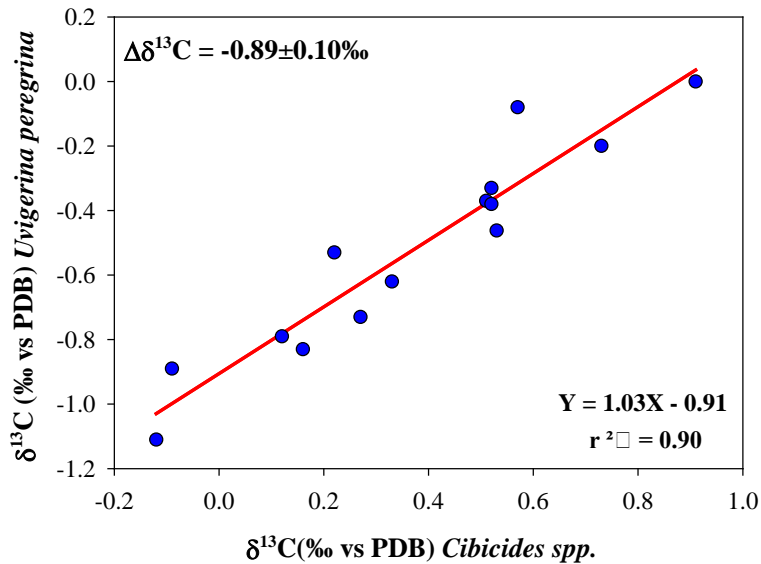


Figura 12. Correlación directamente proporcional entre *Cibicides* spp. y *Uvigerina peregrina* spp. que nos permite la homologación entre las señales isotópicas de las dos especies de foraminíferos bentónicos.

La correlación entre *Cibicides/Planulina* (eje de las ordenadas) y *U. peregrina* (eje de las abscisas) se puede observar una relación directamente proporcional que nos arroja un valor de r^2 de 0.90. Asimismo se puede observar que el factor de corrección isotópica determinado por la ordenada al origen del modelo matemático es de -0.91‰ (Figura 12).

Es importante mencionar que el “corrección isotópica” generado para esta zona permite la homologación de las señales isotópicas de carbono entre *Cibicides/Planulina* con *U. peregrina* a pesar de que estas especies viven en diferentes hábitats, epibentónico y endobentónico respectivamente. Asimismo, las especies epibentónicas tienden a disminuir su población cuando el oxígeno se presenta en bajas concentraciones ($\sim 30\mu\text{mol kg}^{-1}$) en el Margen de Magdalena.

Con base en esto se sugiere utilizar la señal isotópica de carbono y de oxígeno, de *U. peregrina* como indicador de las condiciones de la superficie del bentos cuando

especies de *Cibicides* spp. y *Planulina* spp. estén ausentes o sean muy escasos en el registro sedimentario.

Para las especies *Cibicides* y *Planulina* los valores concuerdan con el perfil calculado del $\delta^{13}\text{C}$ donde varían entre -1.3 a 1 ‰. Asimismo la columna de agua se observa uniforme para carbono orgánico a partir de los 500m (Figura 13). Sin embargo, a los 300 m, los valores de los perfiles calculado del CID (A201, A347), se observa un cambio de 0.2‰. A los 500 m se observa este cambio de 0.3‰ pero para los perfiles A343 y P18.

El valor del $\delta^{13}\text{C}$ de *Cibicides/Planulina* (puntos verdes) muestran valores similares al perfil del $\delta^{13}\text{C}$ del CID. En los primeros 300m, se muestra un comportamiento igual a P18 (Frente a los Cabos). Sin embargo, a partir de los 300m, los valores de *Cibicides* y *Planulina* están más relacionados con el perfil A347 (Figura 13). Sus valores oscilan entre 1‰ para la superficie y 0‰ para los 750 m. A los 350 m, se observa un valor de 0.6‰ que se encuentra ligeramente desviado del perfil calculado correspondiente al inicio de la Zona de Oxígeno Mínimo que se encuentra a 250 m en esta región (Figura 13).

Por otra parte el foraminífero endobentónico *U. peregrina*, presenta una desviación de hasta 1‰ respecto a los perfiles calculados de $\delta^{13}\text{C}$ (Figura 13). Esta especie muestra un valor de 0‰ en la superficie, pero conforme la profundidad aumenta, los valores se hacen más negativos. El valor más negativo se reporta de -1.2‰ a 580 m. El siguiente punto más bajo se reporta a los 700 m con un valor de -0.7‰. En general los valores de esta especie se van haciendo más negativos de manera gradual con respecto a la profundidad (Figura 13).

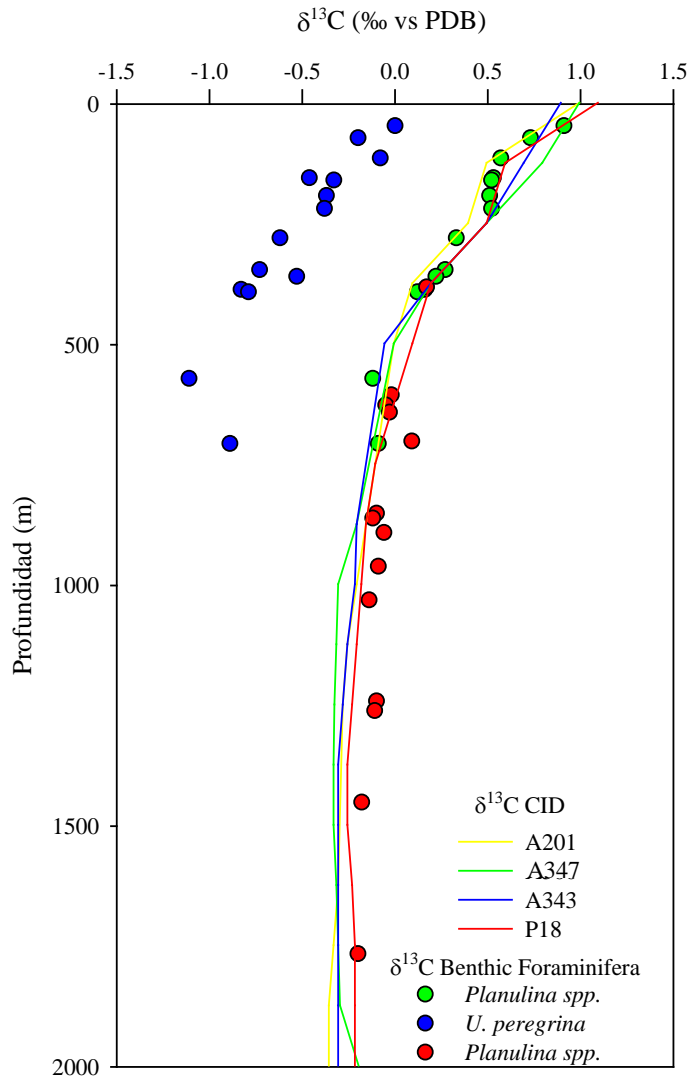


Figura 13. Perfil calculado del $\delta^{13}\text{C}$ del Carbono Inorgánico Disuelto (CID) para los perfiles del CID de GEOSEC: A201 (amarillo), A347 (verde) y A343 (azul). En puntos azules se muestran los valores de este estudio para *U. peregrina*, *Planulina* spp. (verdes) y en puntos rojos se muestran los valores de *Planulina* spp. Herguera *et al.*, 2010.

IX. Discusión

IX.1. Isótopos de Oxígeno

La composición isotópica de oxígeno ha sido ampliamente utilizada en estudios recientes y paleoceanográficos debido a la relación inversamente proporcional entre el equilibrio isotópico de la calcita y la temperatura de la columna de agua (e.g., Bemis *et al.*, 1998). Los géneros de *Cibicides*, *Planulina* y *Uvigerina*, y recientemente *Melonis*, han sido frecuentemente usados para determinar las condiciones de temperatura y salinidad de la columna de agua (McCorkle *et al.*, 1990, 1997; Rathburn *et al.*, 1996; Keigwin, 1998, 2002; Costa *et al.*, 2006; Herguera *et al.*, 2010).

El equilibrio isotópico de la calcita difiere isotópicamente entre géneros y para distintas regiones del océano (e.g. McCorkle *et al.*, 1990, 1997; Rathburn *et al.*, 1996; Keigwin, 1998, 2002; Matsumoto *et al.*, 1999, 2002; Schmiedl *et al.*, 2004; Fontanier *et al.*, 2006; Costa *et al.*, 2006; Lynch-Stielglitz *et al.*, 2009; Herguera *et al.*, 2010). Adicionalmente, la composición isotópica del agua de mar de épocas pasada puede ocasionar desviaciones al valor absoluto del $\delta^{18}\text{O}$ de la calcita en equilibrio isotópico, producto del secuestro del ^{16}O por acreción de los casquetes polares y glaciares de montaña (Brueckener, 1980).

De acuerdo con la ecuación de Bemis *et al.*, (1998), los foraminíferos bentónicos analizados en este estudio, *i.e.*, *Cibicides* y *Planulina* y *U. peregrina*, biomineralizan su concha cerca o con una corrección isotópica constante al valor de equilibrio isotópico de la calcita (Ver ecuación (1) en la pág. 36). Esta condición se observa de manera clara cuando se compara el $\delta^{18}\text{O}$ de *Cibicides* y *Planulina* con el $\delta^{18}\text{O}$ de la calcita en equilibrio isotópico (Figura 13). Sin embargo, la desviación isotópica existente (0.2‰ para 100m, 200m; 0.4‰ para 300m; 1.2‰ para 400m; 1‰ para 500m) es evidente entre el valor del $\delta^{18}\text{O}$ de *U. peregrina* respecto a los otros géneros y la calcita en equilibrio, lo cual puede ser explicado por el efecto vital de esta especie con hábitat endobentónico.

Los perfiles de $\delta^{18}\text{O}$ de *Cibicides/Planulina* y *U. peregrina* (con una desviación isotópica constante) vs $\delta^{18}\text{O}$ (puntos azules, verdes y amarillos; Figura 11) de la calcita en equilibrio isotópico denotaron un patrón similar a la termoclina principal o permanente del océano (Figura 11). En el presente trabajo asumimos que los factores influyentes de esta relación (la relación entre la temperatura, salinidad y $\delta^{18}\text{O}$ del agua de mar en la termoclina principal) son relativamente constantes sobre el periodo de tiempo que integran los sedimentos relativamente recientes del presente muestreo (ca. 70 años). La relación entre el $\delta^{18}\text{O}$ del agua de mar y la salinidad de aguas superficiales e intermedias en latitudes medias (y así también en la termoclina principal) es también constante, y sugiere un equilibrio en el balance de la evaporación y precipitación (Craig y Gordon, 1965). Bajo estas consideraciones, el $\delta^{18}\text{O}$ de los géneros estudiados en el presente trabajo permite la posibilidad de determinar cambios en la termoclina principal del océano en épocas pasadas en la región del Pacífico Mexicano a través del estudio de foraminíferos bentónicos que se encuentren a las mismas profundidades de la termoclina principal, lo cual pudo haber tenido implicaciones importantes en los flujos de calor y nutrientes a profundidad intermedia en el océano (Herguera *et al.*, 2010) o en eventos con condiciones oceanográficas similares a la que ocurren durante El Niño o La Niña que han sido documentados por Ortíz *et al.* (2004) y Marchitto *et al.* (2010).

La composición isotópica de oxígeno de los géneros analizados en el presente estudio fue comparada con datos de McCorkle *et al.* (1990, 1997), Rathburn *et al.* (1996), Keigwin (1998, 2002), Matsumoto *et al.* (1999, 2002), Schmiedl *et al.* (2004), Fontanier *et al.* (2006), Costa *et al.* (2006), Lynch-Stieglitz *et al.* (2009) y Herguera *et al.* (2010) (Figura 14). El $\Delta\delta^{18}\text{O}$ representa la diferencia promedio entre el $\delta^{18}\text{O}$ de la calcita en equilibrio isotópico y el $\delta^{18}\text{O}$ del género de foraminífero (Figura 14), *Cibicides* y *Planulina* tuvieron una desviación isotópica de $0.01 \pm 0.2\text{‰}$ del $\delta^{18}\text{O}_c$. Esta desviación isotópica es muy similar a la que se determinó $0.01 \pm 0.1\text{‰}$ de los datos de Herguera *et al.* (2010) en el Pacífico Mexicano y $0.02 \pm 0.2\text{‰}$ de Keigwin (2002) en el Golfo de California. Mientras que, el valor del $\Delta\delta^{18}\text{O}$ osciló entre $0.01 \pm 0.3\text{‰}$ y $0.05 \pm 0.1\text{‰}$ (Rathburn *et al.*, 1996;

Matsumoto *et al.*, 2002) con valores máximo promedio de $0.12 \pm 0.1\text{‰}$ y $0.11 \pm 0.1\text{‰}$ (Keigwin, 1998; Matsumoto *et al.*, 1999) en otras regiones del Pacífico. Para el Océano Atlántico, estos resultados concuerdan con los datos reportados de $0.04 \pm 0.1\text{‰}$ por Costa *et al.* (2006) y de $0.05 \pm 0.1\text{‰}$ por Lynch-Stielglitz *et al.* (2009). Sin embargo, el valor del $\Delta\delta^{18}\text{O}$ de los géneros de *Cibicides* mostraron un cambio significativo entre $-0.6 \pm 0.4\text{‰}$ y -0.8‰ determinado por McCorkle *et al.* (1990, 1997), Schmiedl *et al.* (2004) y Fontanier *et al.* (2006). Esto representa una desviación de $-0.73 \pm 0.12\text{‰}$ con respecto al $\delta^{18}\text{O}$ de la calcita en equilibrio isotópico para el Océano Atlántico. En el Atlántico la oxidación de la materia orgánica es mayor debido a que no hay una ZOM lo que ayuda en gran medida a la liberación del ^{12}C de la materia orgánica, generando valores negativos en el ^{13}C .

Pocos estudios analizan en los mismos horizontes, los isótopos de oxígeno de los géneros de *Cibicides/Planulina* y *U. peregrina* en sedimentos (*e.g.*, McCorkle *et al.*, 1990, 1997; Rathburn *et al.*, 1996; Keigwin, 1998; Schmiedl *et al.*, 2004; Fontanier *et al.*, 2006; Costa *et al.*, 2006; este estudio). En este estudio, *U. peregrina* tiene una desviación de $0.67 \pm 0.2\text{‰}$ con respecto a la calcita en equilibrio isotópico (Figura 14). Esta desviación isotópica es mayor a la determinada por McCorkle *et al.* (1990, 1997), Rathburn *et al.* (1996) y Fontanier *et al.* (2006) pero en intervalo de los valores determinados por Keigwin (1998), Schmiedl *et al.* (2004) y Costa *et al.* (2006). El intervalo total de la diferencia isotópica observado para *U. peregrina* es 0.67‰ respecto del $\delta^{18}\text{O}$ de la calcita en equilibrio y *Cibicides/Planulina* se mantienen en equilibrio isotópico.

En este estudio, el patrón de $\delta^{18}\text{O}$ es concordante con observaciones previas que sugieren un fraccionamiento específico entre especies (*e.g.*, McCorkle *et al.*, 1990; Rathburn *et al.*, 1996). *U. peregrina* comúnmente precipita en equilibrio isotópico con el $\delta^{18}\text{O}$ de la calcita (Shackleton, 1977; Woodruff *et al.*, 1980; McCorkle *et al.*, 1990) pero se ha encontrado un desequilibrio isotópico en el intervalo de -0.4‰ a $>0.5\text{‰}$, también ha sido reportado (Graham *et al.*, 1981; Bemis *et al.*, 1998; este estudio). Kim & O'neil (1997) sugieren que estos resultados conflictivos son principalmente causados por la aplicación de factores

de fraccionamiento diferentes para la estimación δ del ^{18}O de la calcita en equilibrio. Además de esta tendencia, las diferencias interespecíficas parecen ser coherentes cuando se comparan los resultados de diferentes estudios, incluyendo los nuestros (Figura 14).

Las clases de tamaño de *U. mediterránea* revelan un enriquecimiento ontogénico significativo con isotopos más pesados (incremento en 0.3-0.4 ‰ en el $\delta^{18}\text{O}$) sobre el intervalo de 175 a 1250 μm . Este enriquecimiento es particularmente importante en la etapa preadulta y muy débil en las etapas finales de crecimiento. Sorpresivamente, muchos estudios en foraminíferos bentónicos sugieren un débil incremento en la composición isotópica en tamaños menores de 300 μm (Corliss *et al.*, 2002). La relación entre el tamaño de la concha y la composición isotópica está más establecida en foraminíferos planctónicos. Spero & Lea (1996) demostraron que los cambios ontogénicos en foraminíferos planctónicos son más consistentes y al menos del doble que los reportados en foraminíferos bentónicos. Esta diferencia puede ser atribuida a un ciclo de vida más largo y de lento crecimiento de foraminíferos bentónicos cuando son comparados con foraminíferos planctónicos.

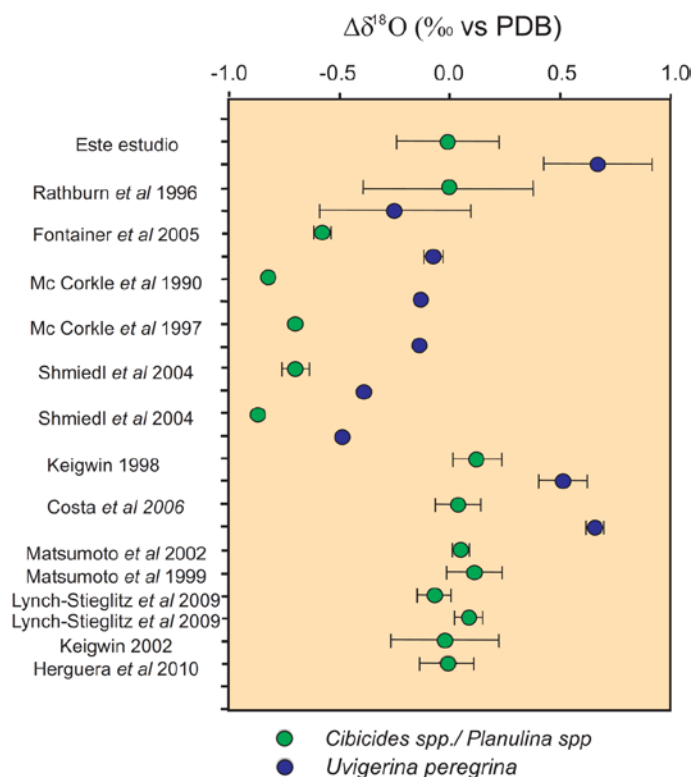


Figura 14. Compilación de datos promedio del $\Delta\delta^{18}\text{O}$ de *Cibicides* y *Planulina* (puntos verdes) y *Uvigerina peregrina* (puntos azules) de diferentes regiones del mundo. Las barras de errores indican la desviación estándar de los valores isotópicos.

Debido a las condiciones oceanográficas del medio, el factor de corrección isotópico es muy variable entre los sitios y especies. Es importante remarcar que para minimizar errores, se deben usar los factores de corrección a nivel local para la construcción e interpretación de registros sedimentarios sobre la base de los foraminíferos bentónicos (Hoogakker *et al.*, 2010).

IX.2. Isótopos de Carbono.

Los isótopos de carbono han sido utilizados frecuentemente como trazadores de la circulación oceánica, origen y la distribución de las masas de agua (Berger *et al.*, 1978; Schmiedl *et al.*, 2004; Brückner & Mackensen, 2007), así como indicadores de la distribución de nutrientes en la columna de agua (Pettersen *et al.*, 1991; Sautter & Thunell, 1991b; Field & Baumgartner, 2000; Holsten *et al.*, 2004; Schmiedl *et al.*, 2004; Field, 2004; Friedrich *et al.*, 2004; Fontainer *et al.*, 2006; Wejnert *et al.*, 2010) y en la tasa de oxidación de la materia orgánica en el sedimento (Brückner & Mackensen, 2007).

El uso de los isótopos estables de carbono como trazadores de la columna de agua y circulación oceánica estuvo limitado a especies epibentónicas debido a que en estudios previos se había encontrado que foraminíferos endobentónicos como *U. peregrina* no calcificaban en equilibrio isotópico y que su empleo era arriesgado. El conocimiento de la ecología de estas especies no eran del todo conocidas, sin embargo, la ausencia de especies epibentónicas en el registro sedimentario así como la demostración de que es factible el uso del género *U. peregrina* (endobentónico) en diversos estudios, han permitido su uso aplicando el factor de corrección isotópico de 0.91 ‰ propuesto por Shackleton (1974, 1977; Curry *et al.*, 1988; Duplessy *et al.*, 1988; Mackensen *et al.*, 2000; Bickert & Mackensen, 2004; Curry & Oppo, 2005).

Los análisis de los isótopos de carbono en las testas de foraminíferos bentónicos en el margen suroccidental de la Península de Baja California sugieren un patrón

similar al de los perfiles del $\delta^{13}\text{C}$ del CID con el cambio de profundidad. Lo que sugiere que estas especies tienen el potencial de ser utilizadas como indicadores de cambios en la estructura de la columna de agua en épocas pasadas. Esto ha demostrado a través de diversos estudios realizados en todo el mundo como es el caso de Cuenca San Pedro (Bemis *et al.* 1998); Margen del Río Eel, Noreste de California (Rathburn *et al.* 1999); Sur del Océano Atlántico (Mackensen *et al.* 2003); Mar Mediterráneo (Schmiedl *et al.*, 2003); Pacífico Este (Woodruff *et al.*, 1979); entre otros. Adicionalmente, *U. peregrina* mantiene una corrección isotópica de carbono de $0.89 \pm 0.10\text{‰}$ con respecto de *Cibicides/Planulina* y muy cercano a la corrección propuesta por Shackleton (1974) y de $0.93 \pm 0.10\text{‰}$ respecto del $\delta^{13}\text{C}$ del CID.

Los estudios de $\delta^{13}\text{C}$ que han tratado de determinar si el valor isotópico de especies de foraminíferos epi y endobentónicas corresponde al $^{13}\text{C}_{\text{CID}}$ son escasos y raros en todo el mundo. En la Figura 15 se muestran los pocos estudios que han medido simultáneamente en las mismas especies que se analizaron en este estudio. De manera general, las condiciones de la interface agua-sedimento (o bien dentro del sedimento) son muy parecidas al CID del agua, debido a que es el hábitat de los foraminíferos bentónicos, la información isotópica medida en sus testas es muy similar, esta condición permite su utilización y lo hace un buen indicador de las condiciones de la columna de agua y la circulación oceánica (McCorkle *et al.*, 1997; Keigwin, 1998, 2001; Matsumoto *et al.*, 1999, 2002; Schmiedl *et al.*, 2004; Fontanier *et al.*, 2006; Lynch Stielglitz *et al.*, 2009; Herguera *et al.*, 2010). *U. peregrina* tiene una diferencia isotópica que va de -0.60 a -2.00‰ respecto del $\delta^{13}\text{C}$ del CID. Keigwin (1998, 2002); Kwiek y Ravelo (1999); Shackleton *et al.* (2000); Anderson *et al.* (2001) y este estudio mostraron un valor muy similar al propuesto por Shackleton (1974) para considerar el valor de *U. peregrina*, agregando el factor de corrección isotópica, como indicador del $\delta^{13}\text{C}$ del CID.

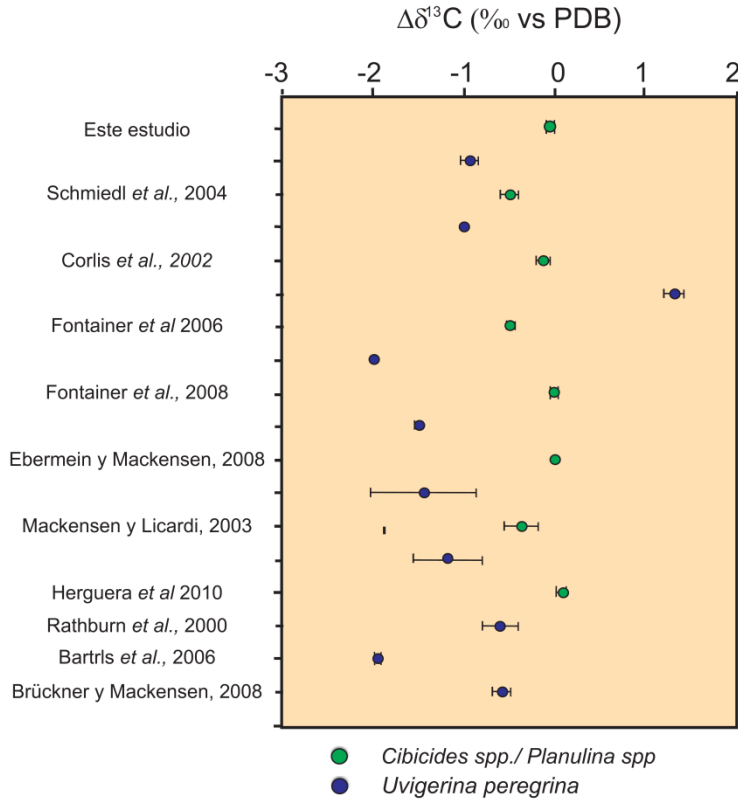


Figura 15. Promedio del $\Delta\delta^{13}\text{C}$ de *Cibicides* y *Planulina* (puntos verdes) y *Uvigerina peregrina* (puntos azules) de diferentes regiones del mundo. Las barras de errores indican la desviación estándar de los valores isotópicos.

Herguera *et al.* (2010) indicaron que el $\delta^{13}\text{C}$ de *Planulina* se encuentra muy cerca del valor del $\delta^{13}\text{C}$ del CID en el intervalo de 600 a 1800m de profundidad en el margen suroccidental de la Península de Baja California. De esta forma, el perfil de carbono de *Planulina* asemeja con precisión las condiciones de la columna de agua en el intervalo de 70 a 1800 m de profundidad para esta región del Océano Pacífico. En los primeros 400 m de profundidad se muestra relación entre los perfiles del $\delta^{13}\text{C}$ de *Planulina* y CID que describe el enriquecimiento en ^{12}C producto de la oxidación de la materia orgánica conforme se degrada a lo largo de la columna de agua hasta alcanzar un máximo en la zona de mínimo oxígeno (e.g., van Geen *et al.*, 2003).

Sánchez (2006) presentó registros sedimentarios de cuatro núcleos recolectados en el intervalo de 400 a 1200 m profundidad en el margen suroccidental de la Península de Baja California, donde el foraminífero *U. peregrina* estuvo presente a lo largo de todo el registro sedimentario de los núcleos y *Planulina/Cibicides* estuvo restringida a ciertos intervalos. De esta forma, las correcciones isotópicas

de oxígeno y carbono determinados en el presente trabajo pueden ser muy útiles para estimar las condiciones de la columna de agua en aquellos intervalos donde esté ausente *Planulina/Cibicides* y se tenga la presencia de *U. peregrina*.

El uso de la corrección isotópica de carbono para *U. peregrina* ha sido cuestionado por el efecto del flujo de materia orgánica de la columna de agua que no se degrada totalmente y es preservada en el sedimento, cuya señal es incorporada al valor isotópico de las testas de organismos epibentónicos (e.g. McCorkle *et al.*, 1997; Fontanier *et al.*, 2002). No obstante, McCave *et al.* (2008) han propuesto aplicar una corrección isotópica de carbono a *U. peregrina* y determinar la estructura de la columna de agua en épocas pasadas y recientes. El coeficiente de determinación del ^{13}C de *Planulina* y *U. peregrina* vs la concentración de carbono orgánico total fue 0.19 y 0.15, respectivamente, lo que sugiere que no hay un efecto evidente de la señal del carbono orgánico sobre la composición isotópica de las testas de los foraminíferos.

IX.3. $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en Foraminíferos Bentónicos: Implicación Paleocceanográfica

El estado fisicoquímico (temperatura, salinidad, pH, etc.) de los océanos modula el clima global. Si bien en las latitudes polares norte y sur, las regiones oceánicas son escenario para la formación de aguas profundas y por lo tanto, de la disipación del calor, los océanos tropicales contribuyen a la ganancia de calor.

A fin de predecir los cambios climáticos inminentes es esencial comprender la relación entre el estado del océano y el clima global. Una comparación de las propiedades del océano, especialmente de la temperatura, reconstruida a partir de sedimentos marinos, con variables climáticas inferidas a partir de registros terrestres (sedimentos, anillos de los árboles, hielo, entre otras), ayuda a evaluar el papel de los océanos en los cambios climáticos globales (e.g., Marchitto *et al.*, 2007).

El período Cuaternario incluye varios intervalos de tiempo glaciares, en el que el hielo incrementado enormemente, seguido por una fase de calentamiento relativamente rápida que llevo al colapso a gran escala del derretimiento de los casquetes polares (i.e., desglaciación). Inmersos en estos cambios se encuentran una serie de eventos de calentamiento y enfriamiento de escala milenaria que son conocidos como ciclos D/O (e.g., Ortiz *et al.*, 2004) encontrados también en el Pacífico nororiental mexicano (Ortiz *et al.*, 2004; Dean *et al.* 2006; Marchitto *et al.*, 2007; 2010). La respuesta del océano a estos cambios de escala milenaria pueden servir para predecir cambios climáticos. Por ejemplo, el último ciclo D/O, llamado Bolling/Allerod y Younger Dryas, mostraron un calentamiento y enfriamiento en el planeta que puede utilizarse como análogo de los cambios climáticos abrupto sin influencia antropogénica.

Los registros sedimentarios recuperados del Pacífico nororiental y que han registrado la variabilidad climática de escala milenial sugieren que los periodos cálidos de los ciclos D/O están caracterizados por una alta productividad marina derivado de la somerización de la nutriclina y la termoclina que permiten el surgimiento de agua frías ricas en nutrientes. Bajo estas condiciones oceanográficas, el gradiente de temperatura entre el agua superficial, subsuperficial e intermedia deberá de ser relativamente menor en periodos cálidos con respecto a los periodos fríos de los ciclos DO's. Ortiz *et al.* (2004) estimaron el contenido de carbono orgánico y la abundancia de foraminíferos bentónicos en el margen de Magdalena encontrando que ambas variables incrementaron significativamente en los periodos cálidos de los ciclos DO, lo que sugirió condiciones oceanográficas similares a las que ocurren durante La Niña (la estructura de la columna agua someriza las isotermas hacia la superficie surgiendo agua subsuperficial rica en nutrimentos); mientras que los periodos fríos fueron catalogados de baja productividad marina (i.e., similares a El Niño).

Con las limitantes de la resolución de los registros sedimentarios del Pacífico nororiental y la pobre preservación de foraminíferos plantónicos y bentónicos en la

región de estudio, en algunos sitios del Pacífico nororiental es posible reconstruir la estructura térmica de la columna de agua para algunos ciclos D/O.

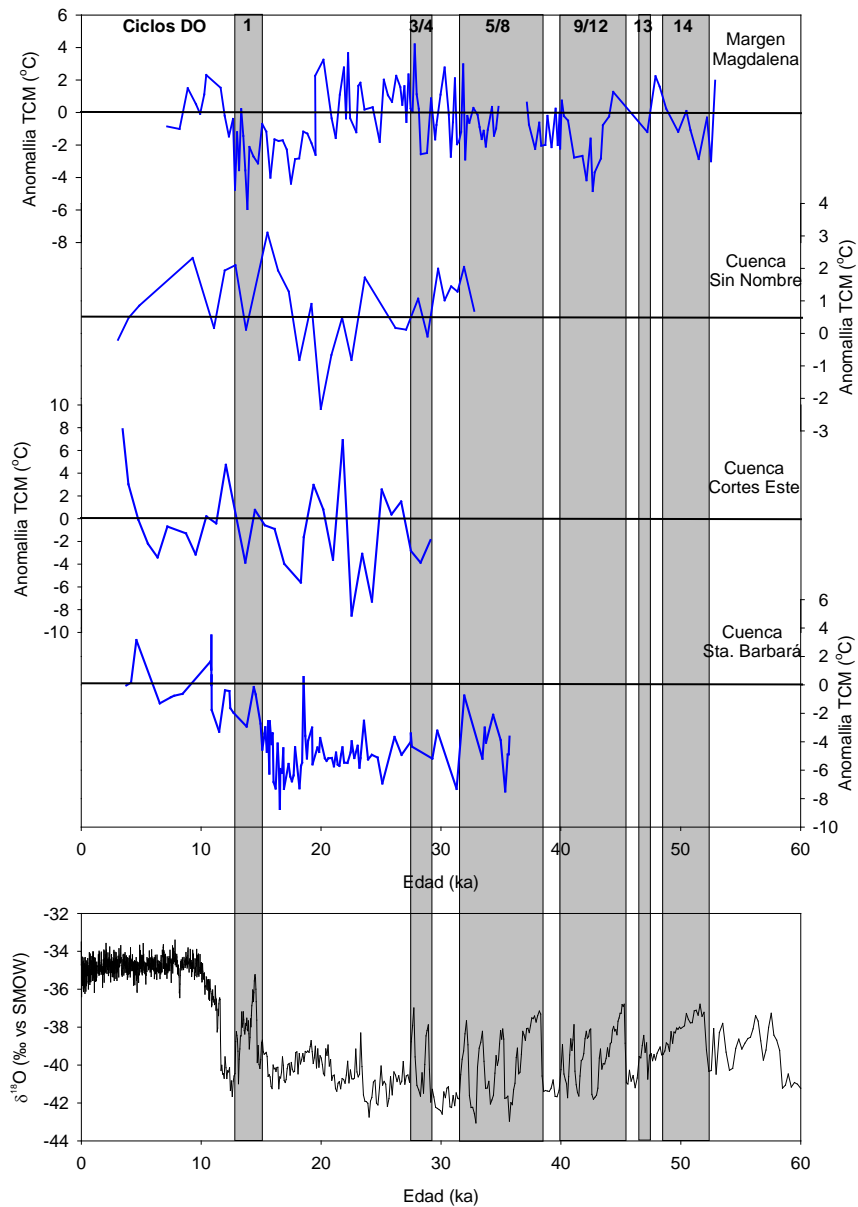


Figura 16. Comparación de anomalías de la Temperatura de la Capa de Mezcla para el Margen de Magdalena (este estudio), Cuenca Sin Nombre y Cortes Este (Stott *et al.*, 1999); Cuenca Santa Bárbara (Hill *et al.*, 2006) y margen de Magdalena (Sánchez, 2006). En la parte inferior se muestran los valores del $\delta^{18}\text{O}$ en foraminíferos bentónicos y planctónicos en el Margen de Magdalena.

La figura 16 es una comparación de las anomalías de la TCM calculadas a través de la ecuación (3) (Materiales y Métodos) de los datos isotópicos de *Uvigerina*

peregrina medidas en diversos estudios (Stott *et al.*, 1999; Hill *et al.*, 2006; Sánchez *et al.*, 2006 y este estudio). La anomalía de la TCM denota cambios significativos para los ciclos D/O con las reservas de cada registro en cuanto a la resolución del análisis isotópico. Durante el último ciclo D/O 1, conocido como Bolling/Allerod, el cambio en la anomalía de la TCM vario entre -4°C y -2°C, excepto para Cuenca Sin Nombre, indicando el surgimiento agua fría (agua intermedia y subsuperficial) hacia la superficie. Aunque en Cuenca Sin Nombre, la TCM experimentó un descenso de ca. 3°C durante ese periodo. Bajo estas condiciones oceanográficas, el sistema de la Corriente de California debió experimentar una alta productividad marina durante los ciclos D/O como se explica a continuación (*e.g.*, Hendy *et al.*, 2004; Ortiz *et al.*, 2004; Hendy & Pedersen, 2005; Dean *et al.*, 2006; Sanchez, 2006). La aplicación de una aproximación de varias variables geoquímicas de alta resolución fuera de Punta Concepción, California provee evidencia de cambios en la productividad del océano superficial en escala de tiempo submilenario durante los últimos 60 ka. Los resultados colectivos de elementos mayores y menores, carbono orgánico, carbonato de calcio, $\delta^{15}\text{N}$ de la materia orgánica y la asociación de especies de foraminíferos planctónicos demuestran que durante las oscilaciones de escala milenaria de la etapa isotópica marina 3, las surgencias estuvieron activas resultando en una alta productividad marina durante los eventos cálidos de los D/O y surgencias inactivas en los periodos fríos de estos eventos. En el Bolling/Allerod, la productividad incremento drásticamente (Hendy *et al.*, 2004). De hecho, la productividad exportada en esta misma región de la Corriente de California fue tan intensa en los eventos cálidos de los DO, que la reducción de sulfatos (*i.e.*, menos oxígeno) fue más intensa durante estos eventos cálidos (Hendy & Pedersen, 2005). De esta forma, la productividad exportada y la ventilación del agua intermedia juegan un papel importante en los procesos biogeoquímicos de la zona de oxígeno mínimo en el margen de California.

Para el extremo sur de la Corriente de California, Ortiz *et al.* (2004) proponen que los cambios observados en la oxigenación de las agua de fondo están dominados por la productividad marina más que cambios en la ventilación del Pacífico Norte,

como originalmente fue propuesto por Behl y Kennett (1996). Una posible explicación es el balance moderno de las condiciones oceanográficas de El Niño y La Niña que favorecen una nutriclina somera y alta productividad actualmente y durante intervalos cálidos en los pasados 52 ka, los cuales fueron alterados hacia una nutriclina profunda, baja productividad en intervalos fríos, referenciado como condiciones oceanográficas similares a El Niño. De hecho, el porcentaje de ópalo biogénico incrementó en 10% (Sánchez y Carriquiry, 2007) sugiriendo un florecimiento de diatomeas debido a la surgencia de aguas de fondo ricas en nutrientes.

Dean *et al.*, 2006 calcularon la tasa de acumulación de masa (TAM) del carbono orgánico, Cd y Mo en el margen de Magdalena. La TAM de carbono orgánico permaneció esencialmente constante entre periodos cálidos y fríos en los últimos 52 ka, mientras que la TAM de Cd y Mo no fue mayor a un factor 2 durante los periodos cálidos que en los periodos fríos. Comparaciones de la razón Cd/Mo y TAM de Cd y Mo con otros sitios de la Corriente de California sugiere que la productividad cambió poco en los últimos 52 ka, con un debilitamiento de la zona de oxígeno mínimo durante periodos fríos relativo a periodos cálidos. Esta condición se ve reflejada a través de la Figura 16 en la cual los valores para *Uvigerina peregrina* muestran la entrada de masas de aguas frías suponiendo surgencias y probablemente alta productividad.

X. Conclusiones

Los foraminíferos epibentónicos *Cibicides/Planulina* forman su concha muy cerca del equilibrio isotópico del $\delta^{18}\text{O}$ del agua de mar y muy cerca del valor del $\delta^{13}\text{C}$ del CID a diferencia de la especie *U. peregrina* que habitan en el margen suroccidental de la Península de Baja California.

El foraminífero endobentónico *U. peregrina* tuvo una desviación isotópica de oxígeno de $0.67\pm 0.07\text{‰}$ del $\delta^{18}\text{O}_{\text{CID}}$, corrección isotópica muy similar a la propuesta por Shackleton (1974) de 0.64‰ , lo que denota una respuesta isotópica confiable para realizar reconstrucciones paleoceanográficas en la región del Pacífico Nororiental, sin embargo, el valor medido da pie a mejorar más este factor de corrección.

El perfil isotópico de los valores $\delta^{13}\text{C}$ de *U. peregrina* mantiene una desviación isotópica de carbono de $0.89\pm 0.10\text{‰}$ con respecto de *Cibicides/Planulina* y muy cercano a la corrección propuesta por Shackleton (1974) y de $0.93\pm 0.10\text{‰}$ respecto del $\delta^{13}\text{C}$ del CID.

Los perfiles del $\delta^{13}\text{C}$ de *Planulina/Cibicides* y CID sugieren el enriquecimiento en ^{12}C producto de la oxidación de la materia orgánica conforme viaja a lo largo de la columna de agua hasta alcanzar un máximo en la zona de mínimo oxígeno donde se mantiene relativamente constante

Las anomalías de la TCM corresponden cambios significativos para los ciclos D/O. Durante el último ciclo D/O 1 (Bolling/Allerod), la anomalía de la TCM varió entre -4°C y -2°C , sugiriendo el surgimiento de agua fría (de origen intermedio y subsuperficial) hacia las capas someras del océano.

Durante los periodos cálidos se observa una anomalía negativa en la TCM, en contraste a los periodos fríos, lo que sugiere un surgimiento de aguas frías y nutrientes incrementando la productividad marina, lo que contrasta en periodos fríos. Estos eventos pueden ser considerados análogos a las condiciones oceanográficas que ocurren actualmente con La Niña y El Niño.

El sistema de la Corriente de California debió experimentar una alta productividad marina durante los ciclos D/O, como ha sido reportado por Hendy *et al.* (2004), Ortiz *et al.* (2004), Hendy y Pedersen (2005), Dean *et al.* (2006) y Sánchez (2006) debido a que el estudio de diversas variables geoquímicas (e.g. elementos mayores y menores, carbono orgánico, carbonato de calcio, ^{15}N de la materia orgánica y la asociación de especies de foraminíferos planctónicos) de alta resolución fuera de Punta Concepción, California, provee evidencia de cambios en la productividad del océano superficial en escala de tiempo submilenial durante los últimos 60 ka. Las anomalías de la TCM obtenidas por medio de los valores isotópicos de foraminíferos realizados durante este estudio, ha permitido observar variaciones de escala milenaria que se observan análogas a otras variaciones presentadas en diversas cuencas en el mismo periodo de tiempo.

Literatura Citada

- Alley, R.B., Clark P.U., L.D. Keigwin & R.S. Webb, 1999. Making sense of millennial-scale climate change. pp In: Mechanisms of global climate change at millennial time scales, eds. Clark, P.U., Webb, R.S., Keigwin, L.D. Washington, D.C.: *American Geophysical Union*, 394, Geophysical Monograph no. 112.
- Alley, R.B., D.A. Meese, C.A. Shuman, A.J. Gow, K.C. Taylor, P.M. Grootes, J.W.C. White, M. Ram, E.D. Waddington, P.A. Mayewski & G.A. Zielinski. 1993. Abrupt increase in Greenland snow accumulation at the end of the Younger Dryas event. *Nature*. 362, 527-529.
- Alvarez-Borrego S. 2004. Dinámica de nutrientes y fitoplancton en una laguna costera fuertemente afectada por surgencias costeras. *Ciencias Marinas*. 30, 17-59.
- Bé, A.W.H., FORAMINIFERA, Families: Globigerinidae and Globorotaliidae. *Conseil Permanent International poru L' exploration de la mer*, E.U.A, 1967.
- Bé, A.W.H., (1977). An ecological zoogeographica and taxonomic review of Recent planktonic foraminifera, in *Oceanic Micropaleontology*, 1, edited by A.T.S. Ramsay, 1-100, Academic Press, San Diego, California.
- Behl, R. J., & Kennett, J. P., (1996), Brief interestadial events in the Santa Barbara Basin, NE Pacific, during the past 60 kyr: *Nature*. 379, 243–246.
- Bemis, B.E., Spero, H.J., Bijma, J., Lea, D.W., 1998. Reevaluation of the oxygen isotopic composition of planktonic foraminifera: Experimental results and revised paleotemperature equations. *Paleoceanography*. 13, 150-160.
- Bender, M., Sowers, T., Dickson, M.L., Orchardo, J., Grootes, P., Mayewski, P.A & D.A. Meese, 1994. Climate correlations between Greenland and Antarctica during the past 100 000 years. *Nature*. 372, 663-666.
- Bergami C., Capotondi L., Langone L., Giglio F., Ravaioli M., 2009. Distribution of living planktonic foraminifera in the Ross Sea and the Pacific sector of the Southern Ocean (Antartica), *Marine Micropaleontology*. 73, 37-48.

- Berger, W.H., Killingley, J.S., Vincent, E., 1978. Stable isotopes in deep-sea carbonates: Box Core ERDC-92, West Equatorial Pacific. *Oceanologica Acta*. 1, 203-216.
- Berger, W. & Herguera. 1992. Reading the sedimentary record of the oceans's productivity. *Primary Productivity and Biogeochemical Cycles in the Sea*. (PA: CEECA9212-E).
- Bickert, T., Mackensen, A., 2004. Last Glacial to Holocene changes in South Atlantic deep water circulation. 671-693. In: Wefer, G., Mulitza, S., Rathmeyer, V. (Eds.), *The South Atlantic in the Late Quaternary-Reconstruction of Material Budget and Current Systems*. Springer-Verlag, Berlin.
- Blake, M.C.; Jayko, A.S.; Y Moore, T.E., 1984, Tectonostratigraphic terranes of Magdalena Island, Baja California Sur: in Frizzell, V.A., Jr., ed., 1984, Geology of the Baja California Peninsula: *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Pacific Section*, 39, 183–191
- Blunier, T., Brook, E., 2001. Timing of millennial-scale climate change in Antarctica and Greenland during the last glacial period. *Science*, 291, 109-112.
- Blunier, T., Chappellaz, J., Schwander, J., Dällenbach, A., Stauffer, B., Stocker, T., Raynaud, D., Jouzel, J., Clausen, H.B., Hammer, C.U., Johnsen, S.J., 1998. Asynchrony of Antarctica and Greenland climate during the last glacial. *Nature*, 394, 739-743.
- Boersma A. 1998. Foraminifera en Introduction to Marine Micropaleontology. Haq, B.U. & A. Boersma (eds). *Elsevier*, New York, 18-77
- Bond, G., W. Broecker, S. Johnsen, J. McManus, L. Labeyrie, J. Jouzel, G. Bonani, 1993. Correlations between climate records from North Atlantic sediments and Greenland ice. *Nature*, 365, 143-147
- Brasier M.D., MICROFOSSILS, George Allen & Unwin LTD, Inglaterra, 1980.

- Brückner, S., Mackensen, A., 2007. Organic matter rain rates, oxygen availability, and vital effects from benthic foraminiferal $\delta^{13}\text{C}$ in the historic Skagerrak, North Sea, *Marine Micropaleontology*, 10.
- Broecker, W. 2010. The Great Ocean Conveyor: Discovering the Trigger for Abrupt Climate Change, Princeton University Press, 172.
- Campa, M.F., Y Coney, P.J., 1983, Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico: *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20, 1040–1050.
- Cohen Andrew S., 2003. The history and evolution of lake Systems. Oxford University Press, *Paleolimnology*, 352-368.
- Consejo de Recursos Minerales, 1999. Monografía Geológico-Minera del Estado de Baja California Sur, primera edición.
- Corliss, B.H., 1985. Microhabitats of benthic foraminifera within deep-sea sediments. *Nature*, 314, 435-438.
- Corliss, B.H., Emerson, S., 1990. Distribution of Rose Bengal stained deep-sea benthic foraminifera from the Nova Scotian continental margin and Gulf of Maine. *Deep-Sea Research*, 37 (3), 381-400.
- Costa, K.B., Toledo, F.A.L., Chemale Jr., F., Moura, C.A.V., (2003). Oxygen isotopic composition of benthic foraminifera: core-top calibration. *Short Papers of the IV South American Symposium on Isotope Geology*, 334-336.
- Craig H. y Gordon L. 1965. The measurement of oxygen isotope paleotemperatures. In: Proceedings of the Spoleto Conference on Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures, 3, 1-24.
- Crusius, J., Pedersen, T.F., Kienast, S., Keigwin, L., Labeyrie, L., 2004. Influence of northwest Pacific productivity on North Pacific Intermediate Water oxygen concentrations during the Bølling-Ållerød interval (14.7–12.9 ka). *Geology*, 32, 633–636.

- Curry, W.B., Duplessy, J.C., Labeyrie, L.D., Shackleton, N.J., 1988. Changes in distribution of $\delta^{13}\text{C}$ of deep water ΣCO_2 between the last glaciations and Holocene, *Paleoceanography*, 3, 317-341
- Curry, W.B., Oppo, D.W., 2005. Glacial water mass geometry and the distribution of $\delta^{13}\text{C}$ of ΣCO_2 between the last glaciations and the Holocene. *Paleoceanography*, 3, 317-341.
- Dansgaard, W., J.W.C. White, and S.J. Johnsen, 1989: The abrupt termination of the Younger Dryas climate event. *Nature*, 339, 532-533.
- Dean, W. E., Zheng, J. D. Ortiz, y Van Geen A. 2006. Sediment Cd and Mo accumulation in the oxygen-minimum zone off western Baja California linked to global climate over the past 52 kyr, *Paleoceanography*, 21, PA4209, doi:10.1029/2005PA001239.
- Duplessy, J.C., Lalou, C., Vinot, A.C., 1970. Differential isotopic fractionation in benthic foraminifera and paleotemperature reassessed. *Science*, 168, 250-578.
- Duplessy, J.-C., Labeyrie, L., Blanc, P.L., 1988. Norwegian Sea deep water variations over the last climatic cycle: paleo-oceanographical implications, In: Wanner, H., Siegenthaler, U. (Eds), Long and Short Term Variability of Climate. Springer, Heidelberg, 83-116.
- Durazo R, Baumgartner TR (2002) Eutiation of oceanographic conditions off Baja California: 1997–1999. *Prog Oceanogr*, 54, 7–31.
- Eberwein A., Mackensen A., 2006. Regional primary productivity differences off Morocco (NW-Africa) record by modern benthic foraminifera and their stable carbon isotopic composition. *Deep-Sea Research*, 53, 1379-1405.
- Epstein, S., Buchsbaum R., Lowenstam, H.A., Urey, H.C., (1953). Revised carbonate-water isotopic temperature scale. *Geological Society American Bulletin*, 64, 1315-1325.
- Erez J., 1978. Vital effect on stable-isotope composition seen in foraminifera and coral skeletons, *Nature*, 199-2002.

- Field D.B., Baumgartner T.R., 2000. A 900 year stable isotope of interdecadal and centennial change from the California Current. *Paleoceanography*, 15, 6, 695-708.
- Field D.B. 2004. Variability in vertical distributions of planktonic foraminifera in the California Current: Relationships to vertical ocean structure. *Paleoceanography*, 19, PA204.
- Fontainer, C., Jorissen, F.J., Licari, L., Alexandre, A., Anschutz, P., Carbonel, P., 2002. Live benthic foraminiferal faunas from the Bay of Biscay; faunal density, composition, and microhabitats. Deep-Sea Research., Part I, *Oceanographic Research*, 49, 751-785.
- Fontanier, C., Mackensen, A., Jorissen, F.J., Anschutz, P., Licari, L., Griveaud, C., 2006. Stable oxygen and carbon isotopes of live benthic foraminifera from the Bay of Biscay: microhabitat impact and seasonal variability. *Marine Micropaleontology*, 58, 159-183.
- Friedman, I., O'Neil, J.R., (1977). Compilation of stable isotope fractionations factors of geochemical interest (Geological Survey Professional Paper 440-KK). In: M. Fleischer, (ed.), *Data of Geochemistry*. U.S. Government Printing Office, Washington, DC: 1-12.
- Friedrich O., Schmiedl G., Helmut E. 2004. Stable Isotope Composition of Late Cretaceous benthic foraminifera from the southern South Atlantic: Biological and environmental effects, *Marine Micropaleontology*, 58, 135-157.
- Graham D.W., Corlis B.H., Bender M.L., Kwigwin L.D. 1981. Carbon and oxygen isotopic disequilibria of recent deep-sea benthic foraminifera. *Marine Micropaleontology*, 6, 483-497.
- Grigg, L.D., Whitlock. 1998. Late-glacial vegetation and climate change in western Oregon. *Journal of Quaternary Research*, 49, 287-298.

- Grootes, P.M., M. Stuiver, J.W.C. White, S. Johnsen, y J. Jouzel. 1993. Comparison of oxygen isotope records from the GISP2 and GRIP Greenland ice cores, *Nature*, 366, 552-554.
- Grossmann, E.L., 1984. Carbon isotopic fractionation in live benthic foraminifera-comparison with inorganic precipitate studies. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 105-1512.
- Hagen S., Keigwin L., 2002. Sea surface temperatura variability and deep water reorganization in the subtropical North Atlantic during Isotope stage 2-4, *Marine Geology*, 189, 145-162
- Haq B.A. y A. Boersma. 1998. Introduction to Marine Micropaleontology, 2a edición, *Elsevier*, E.U.A.
- Hendy I.L., Kennett J.P., Roark E.B., Ingram B.L. 2002. Apparent synchronicity of submillennial scale climate events between Greenland and Santa Barbara Basin, California from 30-10 ka. *Quaternary Science Reviews*, 21, 1167-1184.
- Hendy I.L, Kennett, J.P, 2003. Tropical forcing of North Pacific Intermediate Water distribution during Late Quaternary rapid climate change?. *Quaternary Science Reviews*, 22, 673-689.
- Hendy, I. L., T. F. Pedersen, J. P. Kennett, y R. Tada. 2004. Intermittent existence of a southern Californian upwelling cell during submillennial climate change of the last 60 kyr, *Paleoceanography*, 19, PA3007, doi:10.1029/2003PA000965.
- Hendy, I. L., y T. F. Pedersen. 2005. Is pore water oxygen content decoupled from productivity on the California Margin? Trace element results from Ocean Drilling Program Hole 1017E, San Lucia slope, California, *Paleoceanography*, 20, PA4026, doi:10.1029/2004PA001123.
- Herguera J.C., Herbert T., Kashgarian M., Charles C. 2010. Intermediate and deep water mass distribution in the Pacific during the Last Glacial Maximum inferred from oxygen and carbon stable isotopes. *Quaternary Science Reviews*, 29, 1128-1245.

- Hill, T.M., Kennett, J.P., Pak, D.K. Behl, Robert C., Beaufort L., 2006. Pre-Bolling warming in Santa Barbara Basin, California: Surface and intermediate water records of early deglacial warmth. *Quaternary Science Reviews*, 25, 2835-2845.
- Holsten J., Stott L., Berelson W., 2004. Reconstructing benthic carbon oxidation rates using $\delta^{13}\text{C}$ benthic foraminifers. *Marine Micropaleontology*, 53, 117-132.
- Hoogakker, B., Elderfield, H., Oliver, K., Crowhurst, S., (2010). Benthic foraminiferal oxygen isotope offsets over the last glacial-interglacial cycle. *Paleoceanography*, 25, PA4229, doi:10.1029/2009PA001870.
- Hut, G. 1987. Consultant's group meeting on stable isotope reference samples for geochemical and hydrological investigations. *International Atomic Energy Agency*, 42
- Johnsen, S. J., H. B, Clausen, W. Dansgaard, K. Fuhrer, N. Gundestrup, C. U. Hammer, P. Iversen, J. Jouzel, B. Stauffer, J. P. Steffensen, (1992). Irregular glacial interstadials recorded in a new Greenland ice core. *Nature*, 359, 311-313.
- Jorissen, F.J., de Stichter, H.C., Widmark, J.G.V., 1995. A conceptual model explaining benthic foraminiferal microhabitats. *Marine Micropaleontology*, 26, 3-15.
- Keigwin, L.D., 1998. Glacial-age hydrography of the far northwest Pacific Ocean, *Paleoceanography*, 13, 323-339.
- Keigwin, L.D., 2002. Late Pleistocene^Holocene paleoceanography and ventilation of the Gulf of California. *Journal of Oceanography*, 58, 421-432.
- Kwiek, P.B., Ravelo A.C. 1999. Pacific Ocean intermediate and deep water circulation during the Pliocene, *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 154, 191-217.
- Levitus S., Boyer, Y., (1994). World Ocean Atlas 1994, ume 4: Temperature, National Oceanographic Data Center.

- Levitus, S., Boyer, Y., Burgett, R., Conkright, M., (1994). World Ocean Atlas 1994, ume 4: Salinity, National Oceanographic Data Center.
- Loeblich R., Tappan Helen, (1964). Treatise on Invertebrate Paleontology, Sarcodina Chiefly "Thecamoebians" and Foraminiferida, *The Geological Society of America and The University of Kansas Press*, umen 1, E.U.A , 1964.
- López-Ortíz Blanca Estela. 2010. Distribución de Componentes Biogénicos en el Margen Suroccidental de la Península de Baja California. Tesis Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN.
- Lynch-Stieglitz, J., Curry, W.B., Slowey, N., (1999). A geostrophic transport estimate for the Florida Current from the oxygen isotope composition of benthic foraminifera. *Paleoceanography*, 14: 360-373.
- Lynch-Stieglitz, J., Curry, W. B., Oppo, D. W., Ninneman, U. S., Charles, C. D., Munson, J., (2006). Meridional overturning circulation in the South Atlantic at the last glacial maximum. *Geochemistry Geophysical Geosystems*, 7, Q10N03, doi:10.1029/2005GC001226.
- Lynch-Stieglitz, J., Curry, W.B., Lund, D.C., (2009). Florida Straits density structure and transport over the last 8,000 years. *Paleoceanography*, 24, PA3209, doi:10.1029/2008PA001717, 2009
- Mangerud, J. & Berglund, B.E. 1978. The subdivision of the Quaternary of Norden: a discussion. *Boreas*, 7, 179-181.
- Matsumoto K, Lynch-Stieglitz J., (1999). Similar glacial and Holocene deep water circulation inferred from southeast Pacific benthic foraminiferal carbon isotope composition. *Paleoceanography*, 14, 146-163.
- Matsumoto, K., Oba, T., Lynch-Stieglitz, J., Yamamoto, H., (2002). Interior hydrography and circulation on the glacial Pacific Ocean. *Quaternary Research*, 21, 1693-1704.

- Mackensen, A., Douglas, R.G., 1989. Down-core distribution of live and dead deep-water benthic foraminifera in box cores from the Weddell Sea and the California continental borderland. *Deep-Sea Res.* 36, 879-900.
- Mackensen A., Schumacher, S., Radke, J., Schmidt, D.N., (2000). Microhabitat preferences and stable carbon isotopes of endobenthic foraminifera: clue to quantitative reconstruction of oceanic new production. *Marine Micropaleontology*, 40, 233-258.
- Mackensen A., 2008. On the use of benthic foraminiferal ^{13}C in paleoceanography: constraints from primary proxy relationships. In: Austin, W.E.N., James, R.H. (Eds), *Biogeochemical Controls on Paleoceanographic Environmental Proxies: Geological Society, London, Special Publications*, 303, 121-133.
- Marchitto T.M., Muscheler R., Ortíz J.D., Carriquiry J.D., Van Geen A. 2010. Dynamical Response of the Tropical Pacific Ocean to Solar Forcing During the Early Holocene. *Science*. 330, 1370-1381.
- McCave, I.N., Carter, L., Hall, I.R., 2008. Glacial-interglacial changes in water mass structure and flow in the SW Pacific Ocean. *Quaternary Science Reviews*, 27, 1886-1908.
- McConnaughey T.A., Burdett J., Whelan J.F., Paull C.K. 1997. Carbon isotopes in biological carbonates: Respiration and photosynthesis. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61, 611-622.
- McCorkle, D.C., Emerson, S. 1988. The relationship between pore water carbon isotopic composition and bottom water oxygen concentration. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 1169-1178.
- McCorkle, C.D., Keigwin, L.D., Corliss, B.H., Emerson, S.R. 1990. The influence of microhabitats on the carbon isotopic composition of deep-sea benthic foraminifera. *Paleoceanography*, 5, 161-185.

- McCorkle, D.C., Corliss, B.H., Farnham, C.A. 1997. Vertical distributions and stable isotopic compositions of live (stained) benthic foraminifera from the North Carolina and California continental margins. *Deep-Sea Research. Part 1. Oceanographic Research Papers*, 44, 983-1024.
- Mix, A.C., Pisias N.G., Rugh W., Wilson J., Morey A., Hagelberg T. 1995. Benthic foraminiferal stable isotope record from site 849, 0-50 Ma: Local and global climate changes. *Ocean Drilling Project*, 371-412.
- Murray J.W. 1991. *Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera*. Longman Scientific & Technical, 1era ed.
- Oba, T., M. Maruyama. 2004. Sea-surface temperature and salinity changes in the northwestern Pacific since the last Glacial Maximum, *Journal of Quaternary Science*, 19, 335-346.
- Ortiz, J. D., O'Connell, S. B., DelViscio, J., Dean, W., Carriquiry, J. D., Marchitto, T. M., Zheng, Y., van Geen, A., 2004. Enhanced marine productivity off western North America during warm climate intervals of the past 52 k.y. *Geology*, 32, 521-524.
- Panzarini R.N. 1967. Compendio de Oceanografía Física, *Instituto de Publicaciones Navales*, Argentina, 137, 165.
- Petterson L.C., Overpeck J.T., Kipp N.G. and Imbrie J. 1991. A high resolution late quaternary upwelling record from the anoxic Cariaco basin, Venezuela, *Paleoceanography*, 6, 99-119.
- Rathburn, A.E., Corliss, B.H., Tappa, K.D., Lohmann, K.C. 1996. Comparisons of the ecology and stable isotopic compositions of living (stained) benthic foraminifera from the Sulu and South China Seas. *Deep-Sea Research. Part 1. Oceanographic Research Papers*, 43, 1617-1646.
- Rohling, E.J., Cooke, S., 1999. Stable oxygen and carbon isotopes in foraminiferal carbonate shells. In: Sen Gupta, B.K. (Ed), *Modern Foraminifera*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 239-258.

- Sánchez A., 2006. Paleoproductividad y ventilación del Pacífico Nororiental Mexicano. Tesis de Doctorado, IIO-UABC, 90.
- Sánchez-Montante O, Zaytzev O, Saldivar-Reyes M. 2007. Condiciones hidrofísicas en el sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, 1-28.
- Sang-Tae K., O'Neil J., 1997. Equilibrium and nonequilibrium oxygen isotopes effects in synthetic carbonates. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61, 3461-3475.
- Sautter, L.R., and R.C. Thunell, 1991a. Seasonal variability in the oxygen and carbon isotopic composition of planktonic foraminifera from an upwelling environment: sediment trap results from the San Pedro Basin, Southern California Bight, *Paleoceanography*, 6, 307-334.
- Sautter, L.R., and R.C. Thunell, 1991b. Planktonic foraminiferal response to upwelling and seasonally variable hydrographic conditions: Sediment trap results from the San Pedro Basin, Southern California Bight, *Journal of Foraminiferal Research*, 21, 347-363.
- Sedlock, R.L., 1991. Mesozoic geology and tectonics of the Cedros-Vizcaino-San Benito and Margarita-Magdalena Regions, Baja California, México: Universidad Autónoma de Baja California Sur, Reunión internacional sobre geología en la península de Baja California, 1ª, Resúmenes, 55-62.
- Sedlock, R.L.; Ortega-Gutiérrez Fernando; Y Speed, R.C., 1993. Tectono-stratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico: *Geological Society of America Special Paper*, 278, 153.
- Schmiedl, G., de Bovée, F., Buscail, R., Charrière, B., Hemleben, C., Medernach, L., Picon, P., (2000). Trophic control of benthic foraminiferal abundance and microhabitat in the bathyal Gulf of Lions, western Mediterranean Sea. *Marine Micropaleontology*, 40, 167-188.

- Schmiedl, G., Pfeilsticker, M., Hemleben, C., Mackensen, A., 2004. Environmental and biological effects on the stable isotope composition of recent deep-sea benthic foraminifera from the western Mediterranean Sea. *Marine Micropaleontology*, 51, 129-152.
- Shackleton, N.J., 1997. ^{13}C in *Uvigerina*: tropical rainforest history and the equatorial Pacific carbonate dissolution cycles. In: Anderson, N., Mahlahof, A. (Eds.), Fate of Fossil Fuel CO_2 in the Oceans. Plenum, New York, 401-427.
- Schultz, H., v. R. Ulrich, E. Helmeut, 1998. Correlation between Arabian Sea and Greenland climate oscillations of the past 110,000 years, *Nature*, 393, 54-58.
- Schumacher, S., Jorissen F.J., Mackensen A., Gooday A.J., Pays O. 2010. Ontogenic effects on stable carbon and oxygen isotopes in tests of live (Rose Bengal stained) benthic foraminifera from the Pakistan continental margin. *Marine Micropaleontology*, 76, 92-103.
- Siccha M., Trommer G., Schulz H., Hemleben C., Kucera M. 2009. Factors controlling the distribution of planktonic foraminifera in the Red Sea and implications for the development of transfer functions. *Marine Micropaleontology*, 72, 146-156.
- Spero, H. J., y D.W. Lea. 1996. Experimental determination of stable isotope variability in *Globigerina bulloides*: Implications for paleoceanographic reconstructions, *Marine Micropaleontology*, 28, 231-246.
- Steph S., Regenber M., Tiedemann R., Mulitza S., Nürnberg D. 2009. Stable isotopes of planktonic foraminifera from tropical Atlantic/Caribbean core-tops: Implications for reconstructing upper ocean stratification. *Marine Micropaleontology*, 71, 1-19.
- Stott, L.D. Berelson, W., Gorsline, D., Douglas, R., 2000. Increased dissolved oxygen in Pacific Intermediate waters due to lower rates of carbon oxidation in sediments. *Nature*, 407, 367-370.
- Stott, L.D., Poulsen, C., Lund, S., Thunell, R., 2002. Super ENSO and Global Climate Oscillations at Millennial Time Scales. *Science*, 297, 222-226.

- Van Geen, A., Zheng, Y., Bernhard, J. M., Cannariato, K. G., Carriquiry, J., Dean, W. E., Eakins, B. W., Ortiz, J. D., Pike, J., 2003. On the preservation of laminated sediments along the western margin of North America, *Paleoceanography*.
- Van Geen, A., Smethie, Jr. W.M., Horneman, A., Lee, H., 2006. Sensitivity of the North Pacific oxygen minimum zone to changes in ocean circulation: A simple model calibrated by chlorofluorocarbons, *Journal Geophysical Research*, 111.
- Vautravers M., Shackelton N.J., López-Martínez C., Grimalt J.O., 2004. Gulf Stream variability during marine isotope stage 3. *Paleoceanography*, 12.
- Warner, B.G. 1990. Methods in Quaternary Ecology. *Geoscience Canada*, 170.
- Wefer G., Berger W.H. 1991. Isotope paleontology: growth and composition of extant calcareous species. *Marine Geology*, 100, pp. 207-248.
- Wejnert K.E., Pride C.J., Thunell R.C. 2010. The oxygen isotope composition of planktonic foraminifera from the Gulf of California: Seasonal, annual, and interspecies variability. *Marine Micropaleontology*, 74, 29-37.
- Woodruff F., Savin S.M., Douglas R.G. 1980. Biological fractionation of oxygen and carbon isotopes by recent benthic foraminifera, *Marine Micropaleontology*, 5, 3-11
- Zhan, R., Winn, K., Sarnthein, M., 1986. Benthic foraminiferal $\delta^{13}\text{C}$ and accumulation rates of organic carbon: *Uvigerina peregrine* group and *Cibicidoides wuellerstorfi*. *Paleoceanography*, 1, 27-42.
- Zaytsev O., Cervantes-Duarte R., Montante O., Gallegos-García A., 2003. Coastal Upwelling Activity on the Pacific Shelf of the Baja California Peninsula, *Journal of Oceanography*, 59, 489 a 502.
- Zaytsev O, Sánchez-Montante O, Robinson CJ. 2007. Características del ambiente hidrofísico de la plataforma continental y zona oceánica adyacente al sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, 29-43

Referencias de Internet (Última revisión: 26 Septiembre 2011)

http://www.geologia.co.uk/www/apuntes_practicas.php?area=mp&page=microp_tema3.php%23intro#intro.

Enclopedy of Life

<http://eol.org/pages/62240/overview>

West Antarctic Ice Sheet Divide Ice Core (University of New Hampshire).

<http://www.waisdivide.unh.edu/about/index.shtml>

Science Direct : www.sciencedirect.com

Paleobiology Database

<http://www.paleodb.org/cgi-bin/bridge.pl>

Foraminifera Gallery-illustrated catalog (The foraminifera.eu-Project)

<http://www.foraminifera.eu/>

Palaeontologia Electrónica, . 14 issue 2

http://palaeo-electronica.org/2001_2/

Índice de trabajos paleoceanográficos

ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/paleocean/by_contributor/

World Ocean Atlas 1994.

<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.LEVITUS94/>

NOAA NODC WOA98, World Ocean Atlas 1998.

<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NODC/.WOA98/>

NOAA NODC WOA09, World Ocean Atlas 2009.

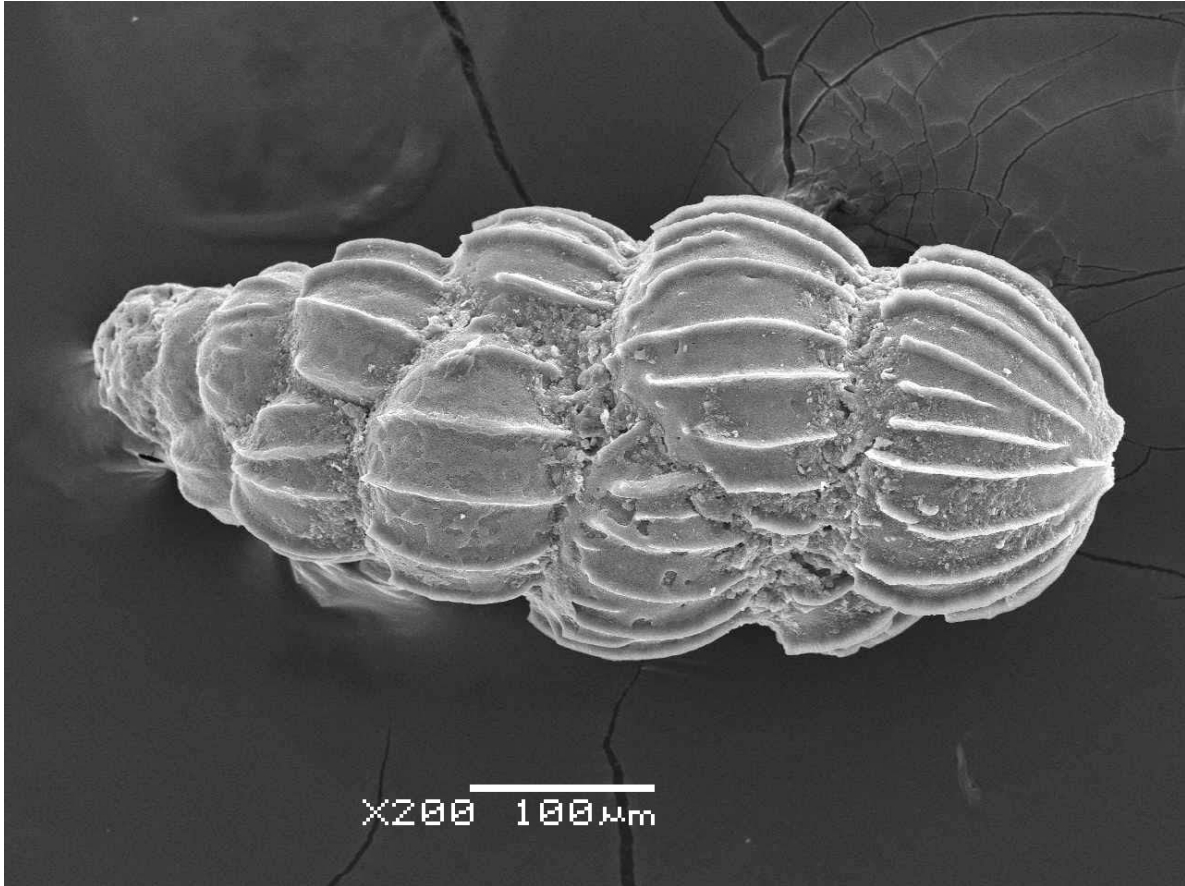
<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NODC/.WOA09/>

APÉNDICE

Fotografías de Microscopía Electrónica

Buliminidae

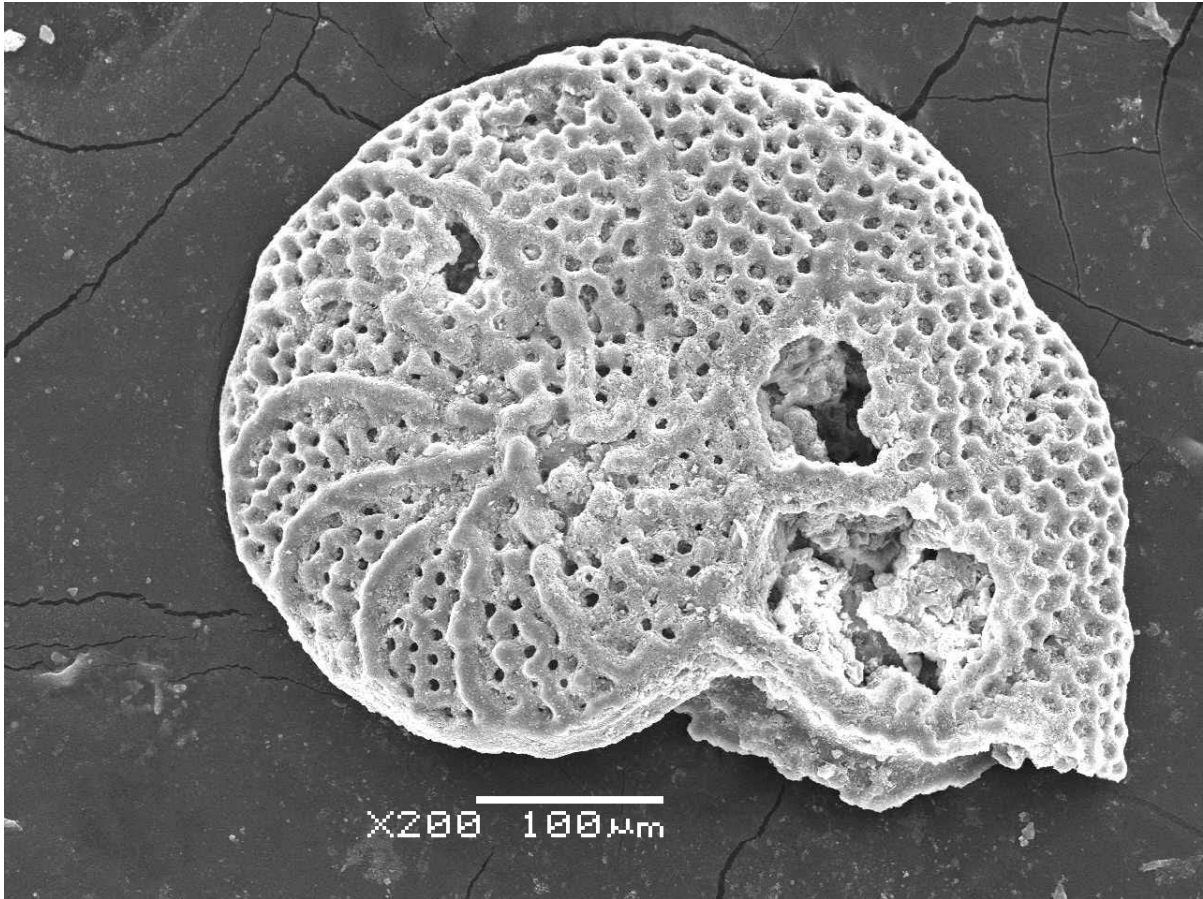
***Uvigerina peregrina* (d' Orbigny, 1826)**



Cibicidae (Cushman, 1927)

Planulininae (Bermúdez, 1952)

Planulina



***Cibicides* (Cushman, 1927)**

