

**Universidad Autónoma de Baja California
Facultad de Ciencias Marinas**



**Ciclos en la productividad en sedimentos durante el
Holoceno en el sur del Golfo de California.**

Tesis para obtener el título de Oceanólogo

P r e s e n t a

Alejandro Aldama Cervantes

Ensenada, Baja California, Febrero 2012.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

**CICLOS EN LA PRODUCTIVIDAD EN SEDIMENTOS DURANTE EL HOLOCENO EN
EL SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE OCEANÓLOGO

P R E S E N T A

ALEJANDRO ALDAMA CERVANTES

APROBADA POR:



Dr. Oscar E. González Yajimovich
Director de Tesis



Dr. Luis Walter Daesslé Heuser
Sinodal



Dr. Miguel A. Téllez Duarte
Sinodal

A mis padres por su apoyo incondicional...

***Un científico es quien hace de algo simple algo muy confuso
y te hace creer que la confusión es tuya***

Agradecimientos

Primero quiero agradecer a mis padres y hermano, sin ellos no sería lo que soy ahora. ¡Gracias por todo!

A mi director de tesis, Dr. Oscar E. González Yajimovich, por su apoyo y amistad pero mas que nada por su paciencia conmigo...

A mis sinodales Dr. Miguel Agustín Téllez Duarte y Dr. Luis Walter Daesslé Heuser por sus consejos, comentarios y apoyo en la elaboración de esta tesis.

A mis amigos, Isajav, Erika, David y Fabiola que han estado allí cuando los he necesitado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) el cual me otorgó beca para la realización del presente trabajo como parte del proyecto "Variabilidad oceanográfica y climática durante el Holoceno en el Golfo de California" (convenio CB-2007-01-80348).

¡GRACIAS!

Resumen

La cuenca Pescadero nos provee de un excelente lugar para estudiar la variabilidad oceanográfica y climática de la región sur del Golfo de California debido a que subyace una zona de alta productividad primaria y presenta una geomorfología y condiciones ambientales que propician una buena preservación de sedimento.

Durante el crucero CALMEX NH01 a bordo del B/O New Horizon fueron recuperados dos núcleos, uno de gravedad y otro múltiple (NH01-25-GC3 y NH01-25-MC1), sobre la pendiente este de la cuenca Pescadero, con los cuales se construyó un registro sedimentario de ~6600 años.

Con el objetivo de documentar los cambios en la productividad primaria ocurridos en la mencionada región durante el Holoceno, se llevaron a cabo análisis para obtener la tasa de acumulación de masas de dos trazadores: Carbono inorgánico y Carbono orgánico.

A ambas series se les aplicó un análisis espectral tipo multiventana (MTM o *multitaper*), para identificar ciclos de variabilidad milenarios, centenarios y decadales, siendo los más notorios los de 6670, 2050, 299 ± 14 , 202 ± 7 y 79 ± 1 años. Se infiere que la principal causa de variabilidad son forzamientos solares causados por oscilaciones en la actividad solar.

Índice

Índice	2
Índice de figuras y tablas	3
Introducción	5
Antecedentes	7
Hipótesis	10
Objetivos	10
Objetivo general	
Objetivos particulares	
Área de Estudio	11
Generalidades del Golfo de California	
Generalidades de la cuenca Pescadero	
Climatología	
Masas de agua	
Trazadores	20
Calcita	
Carbono orgánico	
Metodología	23
Modelo de edades	
Perfiles de densidad GRAPE	
Tasa de acumulación de masa	
Componentes sedimentarios	
<i>Carbono total</i>	
<i>Carbono inorgánico</i>	
Resultados	32
Tasas de acumulación de masa	
Ciclos en la productividad	
Discusiones	36
Conclusiones	39
Referencias	40
Apéndices	44

Índice de figuras y tablas

Figuras

Figura 1. Golfo de California mostrando la localización de los núcleos de gravedad y múltiple en una batimetría simplificada de la Cuenca Pescadero. (Modificado de González-Yajimovich <i>et al</i> , 2005).....	12
Figura 2. Corrientes de superficie del Pacífico Tropical Oriental y cómo se modifican de acuerdo a la deriva de la Zona de Convergencia Intertropical. En la primera parte se muestran en los meses de Marzo y Abril y en la segunda parte se muestran en los meses de Septiembre y Octubre. CC = Corriente de California, CNE = Corriente Norecuatorial, NECC = Contracorriente Norecuatorial, CSE = Corriente Surecuatorial. (Modificada de Lavin y Marinone, 2003)	13
Figura 3. Medias de las direcciones del viento a 10 metros de altura sobre el Golfo de California Basadas en QuikSAT, acopladas a una media de precipitación anual. (Bordoni <i>et al</i> . 2004)	14
Figura 4. Modelo de edades para el núcleo NH01-25, modificada de Mejía-Piña (2009)	25
Figura 5. Densidad del sedimento en seco y porosidad, para el núcleo compuesto NH01-25 recuperado de la cuenca Pescadero del sur del Golfo de California, modificada de Mejía-Piña, (2009)	28
Figura 6. Tasa de Acumulación de Masa total, para el núcleo compuesto NH01-25 modificada de Mejía-Piña (2009).....	29
Figura 7. Tasa de acumulación de masa de carbono orgánico en miligramos por centímetro cuadrado por año para el registro sedimentario NH01-25..	32
Figura 8. Tasa de acumulación de masa de carbono inorgánico en miligramos por centímetro cuadrado por año para el registro sedimentario NH01-25.....	33
Figura 9. Análisis espectral de la TAM para el carbono inorgánico donde se muestran cuatro diferentes niveles de confianza y los picos más relevantes en años para el registro sedimentario NH01-25 recuperado en la cuenca Pescadero.	35
Figura 10. Análisis espectral de la TAM para el carbono orgánico donde se muestran cuatro diferentes niveles de confianza y los picos más relevantes en años para el registro sedimentario NH01-25 recuperado en la cuenca Pescadero.	35

Tablas

Tabla 1. Masas de agua descritas para la boca del Golfo de California, tomada de Lavín et al. (2009).	16
Tabla 2.- Edades de los eventos correlacionados más importantes en el contenido de ópalo biogénico y su profundidad en el núcleo (cm) para los núcleos NH01- 25 y 26 Tomada de Mejía-Piña, (2009).	25
Tabla 3. Ciclos encontrados mediante del análisis espectral con una confianza mayor a 95% para las tasas de acumulación de masa de carbono orgánico e inorgánico para el núcleo compuesto NH01-25	34
Tabla 4. Edad, densidad gama, porosidad, densidad volumen en seco, y tasa de acumulación de masa para el núcleo compuesto NH01-25. Calculado por Mejía-Piña, (2009).	44
Tabla 5. Porcentajes de Carbón Inorgánico así como su Tasa de Acumulación de Masa	50
Tabla 6. Porcentajes de Carbón Orgánico así como su Tasa de Acumulación de Masa.	54

Introducción

Los registros paleoclimáticos son de suma importancia, para determinar el clima del pasado y predecir cómo podría cambiar en un futuro a corto, mediano y largo plazo. Estos registros se encuentran en: núcleos de hielo, anillos de crecimiento en árboles, núcleos de sedimento del fondo marino, líneas de crecimiento en corales entre los mas importantes.

Para poder modelar esta variabilidad climática es necesario contar con registros lo suficientemente largos, de modo que se puedan identificar ritmos o ciclos, pero, debido a que los registros instrumentales de bases de datos globales son relativamente cortos, es necesario recurrir a los registros paleoclimáticos.

Los lugares óptimos para conservar un registro de la variabilidad climática basado en productividad marina en sedimentos son aquellos en los que existe una alta productividad biológica superficial, una topografía que favorezca la acumulación de sedimentos, un bajo contenido de oxígeno que limite las poblaciones de organismos bénticos bioturbadores, un aporte importante de terrígenos, y en el fondo condiciones de saturación de los constituyentes químicos más importantes de las partículas biogénicas superficiales (Anderson, 1996; Sancetta, 1996).

Gran parte de la investigación paleoclimática y paleoceanográfica de las últimas décadas se ha enfocado en trabajos que tratan con restos esqueléticos de producción orgánica preservados en sedimentos y detritos generados por procesos físicos (González-Yajimovich, 2004). Estos restos generan dos componentes biogénicos en los sedimentos: calcita (principalmente cocolitofóridos y foraminíferos), y ópalo biogénico (principalmente diatomeas y radiolarios), que se exportan de las aguas superficiales. El carbono orgánico también presenta su contribución en los sedimentos, no siendo, sin embargo, un componente esquelético.

La región sur del Golfo de California presenta características de interés para realizar reconstrucciones paleoclimáticas: Su posición y profundidad permiten un libre intercambio de masas de agua con el Pacífico (Castro *et al.*, 2000). Existe en ella una zona de mínimo oxígeno (ZMO) que intercepta sus pendientes creando un ambiente propicio para la preservación de la materia orgánica. Debido a su localización esta región es sensible a las variaciones estacionales tipo monzón y a mayor escala, a la circulación del Pacífico Subtropical (González-Yajimovich *et al.*, 2005), convirtiéndola en un lugar apropiado para la acumulación de estos detritos y así generar registros de los cambios oceanográficos a través del tiempo.

En el Golfo de California, existen dos zonas que presentan muy alta productividad: la zona de surgencia inducida por viento a lo largo del margen continental oriental del centro y sur del golfo, y la región de las islas centrales inducida por mezcla de mareas y turbulencia (Santamaria-Del-Angel *et al.*, 1994; Thunell 1998).

Entre los procesos que dominan el flujo de nutrientes hacia la capa fótica favoreciendo la productividad primaria, el de mayor relevancia en la margen continental de la región sur del Golfo de California es la surgencia estacional inducida por viento (Douglas *et al.*, 2007), favorecida por la fase de invierno del monzón y disminuida en la fase de verano. Esto ocurre cuando los vientos de invierno enfrían el agua, elevando la termoclina e induciendo la surgencia (Douglas *et al.*, 2007). Al contrario, los vientos de verano propician apilado de agua caliente en el margen continental provocando una termoclina profunda e inhibiendo la surgencia.

Antecedentes

Con el objetivo de encontrar zonas en las que la productividad primaria es persistente en el Golfo de California, Santamaria-Del-Angel *et al.*, (1994) realizaron promedios mensuales de concentración de pigmentos a través de imágenes de satélite por varios años, dividiendo éstos estacionalmente en periodos que comprenden los fenómenos de la Niña y el Niño, así como años normales.

Encontraron que las zonas persistentes de mayor productividad primaria se encuentran en el área de surgencias inducidas por vientos del margen continental oriental del centro y sur del golfo, y la zona de las islas donde la surgencia es inducida por la turbulencia causada por las ondas internas y mareas.

Santamaria-Del-Angel *et al.*, (1998) relacionan altas tasas de productividad primaria en el Golfo de California con la actividad de las surgencias y la intensidad de estas con forzamientos climáticos y variaciones en la insolación.

Douglas *et al.* (1993) propusieron un modelo meteorológico para la zona del Golfo de California utilizando mapas de precipitación media mensual, histogramas de precipitación y análisis de medias de las capas de aire superiores. Encontraron un máximo pronunciado que abarca de julio a septiembre (verano), llegando a la conclusión de que existe un clima tipo monzón el cual tiene mayor influencia en las laderas de la sierra Madre Occidental.

Bordoni *et al.* (2004) estudiaron la circulación atmosférica de niveles bajos utilizando QuikSCAT, encontrando que la inversión de los vientos juega un rol importante en el desarrollo de la condición monzónica, siendo un componente integral de este sistema. Reportaron que a niveles de superficie (10m) existe una inversión de los vientos que acarrearán humedad de los trópicos en ráfagas de viento que preceden las lluvias en la fase de verano y el calentamiento de la superficie del Golfo de California.

Kutzbach (1981) introdujo la idea del monzón orbital basándose para ello en el monzón estacional, debido a que ambos son el producto de los cambios en la insolación: el primero tiene escala milenaria y el segundo escala anual. El monzón orbital genera periodos en los que una de las fases del monzón estacional es intensificada mientras que la otra es disminuida. En periodos de alta insolación la fase de verano se intensifica en duración e intensidad, y viceversa, en periodos fríos la fase de invierno se intensifica.

Douglas *et al.* (2007) discuten la idea de que el monzón es un sistema complejo y dinámico que varía en intensidad como resultado de un intercambio dinámico entre dos sistemas climatológicos entre las latitudes medias y tropicales, inducidos por procesos océano-atmósfera variando en intensidad y duración en respuesta a forzamientos solares de diferentes escalas de tiempo. En ese mismo estudio, relacionan altas tasas de depositación de ópalo biogénico con bajas tasas de carbono orgánico y altas tasas de carbonatos con altas tasas de carbono orgánico.

Lavín y Marinone (2003), propusieron un modelo tridimensional para la circulación estacional del Golfo de California, encontrando que existe un giro ciclónico en los meses de febrero y agosto al sur de las grandes Islas que se invierte en los meses de mayo y noviembre. Además observaron que la circulación y estructura termohalina de las capas superiores son fuertemente estacionales como respuesta a la estacionalidad de los factores que la forzan (océano Pacífico, sistema de vientos & flujos de calor).

Un estudio paleoceanográfico de alta resolución de un registro sedimentario de los últimos 15000 años de la cuenca de Guaymas, (Barron *et al.*, 2004) sugiere que existe una relación inversa entre la sedimentación de sílice y carbonato de calcio. Relacionan la alta productividad reflejada con el contenido de sílice con eventos de enfriamiento de la tierra, en los cuales se intensifica la surgencia llevando aguas ricas en

nutrientes hacia la superficie. A su vez, relaciona la abundancia de carbonato de calcio con eventos de calentamiento de la tierra.

Staines-Urias *et al.* (2009) estudiaron a partir de análisis isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ en foraminíferos las condiciones de temperatura del mar en un registro de las últimas cuatro décadas. Encontraron un incremento gradual de la temperatura y un decremento en la actividad de surgencia, atribuyéndolo a una deriva general hacia el norte de la Zona de Convergencia Intertropical.

González-Yajimovich (2004) estudió registros paleoclimáticos del Holoceno y con base en las características geoquímicas de los sedimentos. Determinó los procesos oceanográficos/climáticos que controlan la sedimentación en dos cuencas al sur del Golfo de California (Alfonso y Pescadero). La pendiente Este de la cuenca Pescadero es interceptada por la Z.M.O., y la cuenca Alfonso tiene circulación restringida por un umbral tectónico con la consecuencia de bajos niveles de oxígeno, lo cual permite la preservación de sedimentos laminados. Encontró que los mayores cambios en la sedimentación empezaron aproximadamente 7,200 años antes del presente, ocurriendo los más notorios a 4,200 y 3,000 años antes del presente. Identificó también ciclos de variabilidad a través de análisis espectral por el método *multitaper*.

Para reconstruir la productividad primaria en la región del sur del Golfo de California, se utilizaron dos trazadores biológicos en el presente estudio que se consideran reflejo de la productividad primaria en la superficie del mar: el contenido de calcita y el contenido de carbono orgánico. La calcita es asociada con aguas oligotróficas y cálidas, mientras que el carbono orgánico se asocia a aguas ricas en carbono orgánico disuelto y particulado, que generalmente se encuentran en áreas de surgencias como el Océano Índico, algunas áreas del Atlántico Oriental, en el Pacífico Oriental, y en el Golfo de California, (Zonneveld *et al.*, 2010).

El presente estudio complementa los resultados de González-Yajimovich (2004) y pretende contribuir al conocimiento de la variabilidad de la región, por medio de el análisis e interpretación de un registro sedimentario en una localidad diferente y probar la idea de que dicha variabilidad es válida para toda la región del sur del Golfo de California.

Hipótesis

Existen ciclos de variabilidad de escala centenaria y milenaria en la productividad primaria superficial de la región del sur del Golfo de California a lo largo de los últimos 6k años, mismos que se ven reflejados en el registro sedimentario de la pendiente Este de la cuenca Pescadero.

Objetivos

Objetivo General

Analizar los cambios en la productividad primaria ocurridos en la región del sur del Golfo de California durante el Holoceno, a través de un registro sedimentario de la cuenca Pescadero.

Objetivos particulares

- Evaluar la paleoproductividad en la zona a través de la utilización de dos trazadores biológicos en sedimentos.
- Identificar y documentar ciclos en la productividad primaria.
- Identificar el mecanismo por el cual ocurren las variaciones en la productividad primaria.

Área de estudio

Generalidades del Golfo de California

El Golfo de California es un mar marginal del Océano Pacífico (Roden y Groves, 1959) que se localiza en la costa Oeste de México, entre la península de Baja California y los estados de Sonora y Sinaloa. Tiene una extensión promedio de 1,100 Km de longitud y 150 Km de ancho. Su formación inició aproximadamente hace cuatro millones de años, por medio de fallamiento lateral y dispersión del piso oceánico, a lo largo del límite entre las placas del Pacífico y Norteamérica (Atwater, 1989; Urrutia-Fucugauchi *et al.*, 1997; Fletcher y Munguía-Orozco, 2000)

Generalidades de la cuenca Pescadero

La Cuenca Pescadero se encuentra localizada en la parte Sur-centro del golfo, entre los 24° 15' Norte y 109° 00' Oeste (Figura 1). Es de forma alargada, con una longitud de 200 km y una profundidad máxima de aproximadamente 2500 m. Su geomorfología le permite tener un libre intercambio entre las aguas de Pacífico y del golfo, por lo tanto, se registran variaciones estacionales y las condiciones climáticas de escala mayor del Pacífico Subtropical (González-Yajimovich, 2004).

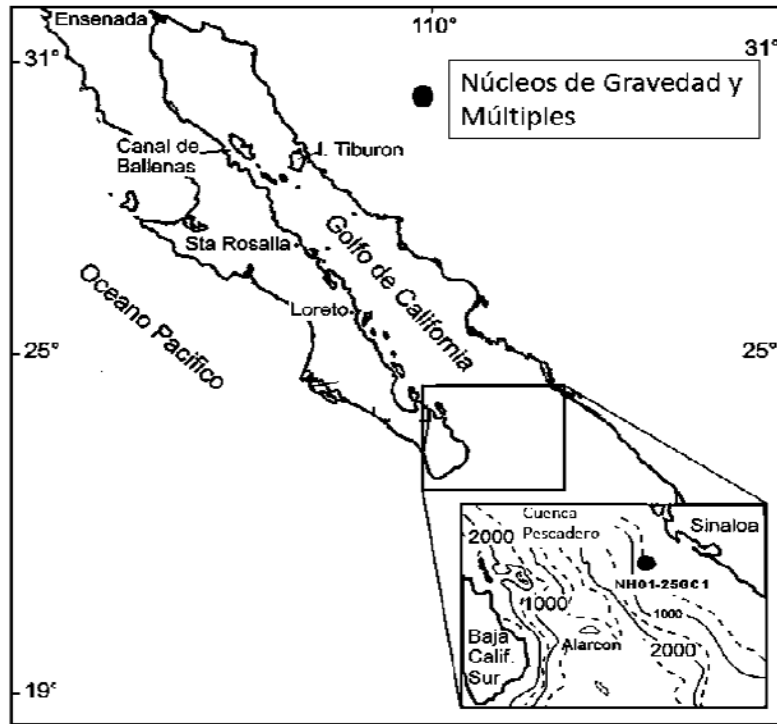


Figura 1. Golfo de California mostrando la localización de la Cuenca Pescadero y ubicación de los núcleos de gravedad y múltiple en una batimetría simplificada. (Modificado de González-Yajimovich *et al*, 2005)

Climatología

El estudio del monzón de Norteamérica (o monzón mexicano) empezó con base en observaciones hechas a partir de los 70s. Recientemente las imágenes satelitales han ayudado en gran medida a su descripción, siendo caracterizado como un patrón estacional de vientos que se revierten (Bordoni *et al*, 2004). El monzón de Norteamérica es una interacción dinámica entre los sistemas climatológicos de las latitudes medias y tropicales, resultado de procesos del océano y la atmósfera teniendo básicamente dos fases: la fase de invierno que es fría y seca, en la cual los vientos corren de norte a sur; y la fase de verano, cálida y húmeda, en donde los vientos corren de sur a norte (González-Yajimovich *et al.*, 2007). Lo anterior se explica mediante el reposicionamiento de los centros de presión, sin embargo, no es un proceso completamente simétrico, ya que varía en duración e intensidad en respuesta a

forzamientos solares en diferentes escalas de tiempo, siendo los más obvios las variaciones estacionales e interanuales. Sin embargo, variaciones a más largo plazo también se reflejan en la paleoceanografía del golfo. La fase de invierno (septiembre-mayo) es dominada por vientos que provienen del flujo anticiclónico del sistema subtropical de alta presión del Pacífico Oriental. La Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) se mueve hacia el ecuador (Figura 2), existiendo una gran variación estacional en la intensidad y dirección de los vientos, alcanzando sus más altas velocidades los del NO entre noviembre y marzo (Douglas *et al.*, 2007).

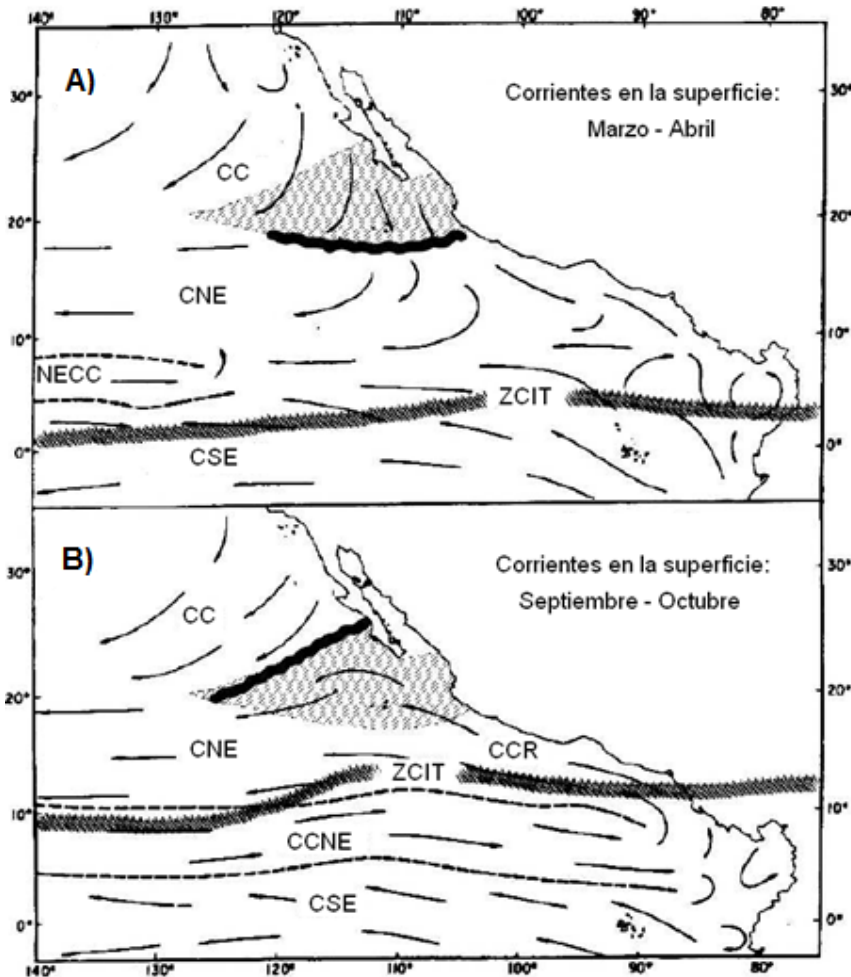


Figura 2. Corrientes de superficie del Pacífico Tropical Oriental y como se modifican de acuerdo a la deriva de la Zona de Convergencia Intertropical. Se muestra en sombreado la zona de influencia de la Corriente de California (A) y del la Corriente de Costa Rica (B). A) en los meses de Marzo y Abril; B) en los meses de Septiembre y Octubre. ZCIT = Zona de Convergencia Intertropical, CC = Corriente de California, CNE = Corriente Norecuatorial, CCNE = Contracorriente Norecuatorial, CSE = Corriente Surecuatorial. CCR = Corriente de Costa Rica. (Modificada de Lavin y Marinone, 2003)

El flujo del viento hacia el sur del golfo es canalizado por la alta topografía en ambos lados de la cuenca, especialmente por el escarpe de la península, siendo los vientos más fuertes a lo largo de esta que a lo largo del macizo continental (Bordoni *et al.*, 2004).

Los fuertes vientos de invierno son reemplazados al inicio de la fase de verano con el establecimiento de los vientos del sur, que genera un esquema de vientos de oeste a este que cruzan el golfo en las partes más sureñas y en dirección paralela al golfo en la región más al norte (Figura 3). En los meses de junio, julio y agosto (de aquí en adelante fase de verano) los vientos son modulados por pulsos que son originados en el Pacífico Oriental Centroamericano y se propagan hacia el norte entrando en el golfo (Bordoni *et al.*, 2004).

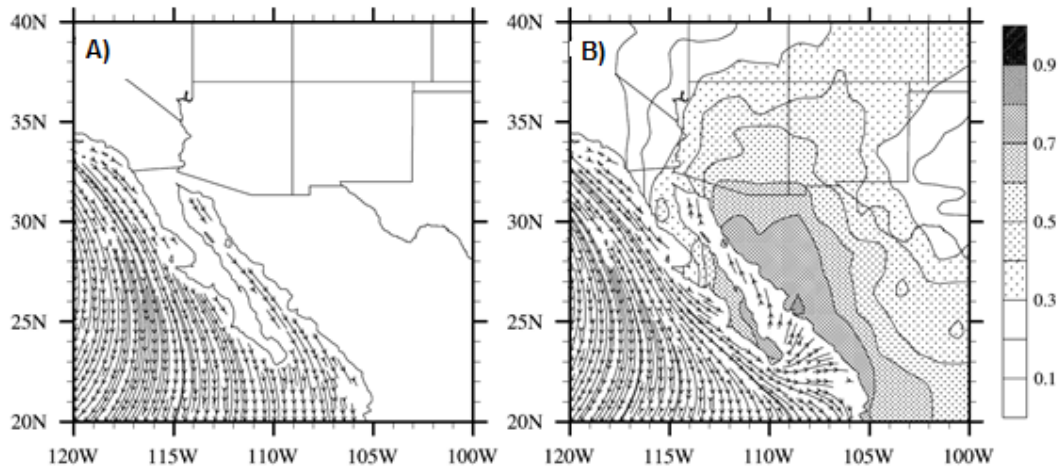


Figura 3. Medias de las direcciones del viento a 10 metros de altura sobre el Golfo de California Basadas en QuikSAT, acopladas a una media de precipitación anual. A) Dirección del viento en los meses de diciembre, enero y febrero, predominantemente de Noroeste a Sureste. B) Dirección del viento en los meses de junio, julio y agosto en la cual los vientos se invierten sobre el Golfo de California (modificado de Bordoni *et al.* 2004)

Durante los meses de septiembre a mayo (de aquí en adelante fase de invierno) los vientos disminuyen la temperatura superficial del mar, generando mezcla en la capa superior del océano y transporte de Ekman a lo largo de la parte continental del golfo.

Como consecuencia de esto, la termoclina se debilita y esencialmente desaparece en la región del centro y sur desde enero hasta marzo. (Robinson, 1973; Tunell *et al.*, 1996).

La surgencia inducida por viento es más fuerte a lo largo de la costa oriental del golfo, sin embargo la circulación superficial es muy variable y compleja (Castro *et al.*, 1994; Mascarenhas *et al.*, 2004). Debido a los vientos de invierno, el golfo es una cuenca evaporativa (evaporación neta $> 0.61\text{m} \pm 0.03\text{m} / \text{año}$) con su correspondiente flujo de calor latente a la atmósfera (Beron-Vera y Ripa, 2002).

El monzón en su fase de verano introduce temperaturas tropicales, alta humedad y lluvia. Los vientos del noroeste disminuyen a medida que el centro de alta presión del Pacífico Oriental y la Zona de Convergencia Intertropical derivan hacia el norte. Los vientos del sur son irregulares y la mayoría de ellos tiene una dirección de oeste a este en la parte sur del golfo (Bordoni *et al.*, 2004). Durante el verano y principios de otoño la temperatura superficial del mar excede los 29 grados centígrados debido a la insolación y la intrusión de agua tropical superficial de la contracorriente de Costa Rica (Douglas *et al.*, 2007). Para mediados del verano una gruesa capa de temperaturas mayores a 28 grados centígrados cubre el centro y el sur del golfo generando una termoclina profunda, retardando la inyección de nutrientes hacia la superficie y reduciendo la productividad primaria. Las surgencias inducidas por viento son débiles y limitadas al margen peninsular (Alvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991; Bray y Robles, 1991, Douglas *et al.*, 2007).

En el máximo de la fase de verano, vientos de alta elevación y tormentas convectivas propagados por sistemas ciclónicos en el pacífico oriental tropical producen entre el 60 y el 80% de la lluvia anual (Bordoni *et al.*, 2004; Douglas *et al.*, 2007). Debido a que la corriente de Costa Rica (o corriente de México), típicamente llega al golfo en Abril-Mayo (Castro *et al.*, 2000) y con ella la deriva hacia el norte de la

isoterma de los 29°C, tenemos la propagación hacia el norte de las tormentas convectivas. Las lluvias monzónicas se concentran a lo largo del flanco oeste de la sierra madre occidental en el macizo continental mexicano y son en gran medida responsables de la sedimentación fluvial en el golfo (Douglas *et al.* 2007).

El clima en el golfo es un constante ir y venir entre las dos fases del monzón y la duración y fuerza relativa de ellas varía en el tiempo

Masas de agua

Las masas de agua alrededor de la entrada del Golfo de California se mueven Con el sistema de corrientes del Pacífico Tropical Oriental que tiene un fuerte comportamiento estacional, reflejo de los cambios estacionales meteorológicos que se presentan a escala del Océano Pacífico. El movimiento hacia el sur de la Zona de convergencia intertropical determina que tan al sur llega la Corriente de California hacia la boca, llevando agua de la Corriente de California, y que tan al norte llega la Corriente de Costa Rica llevando agua Tropical Superficial (Figura 2).

Las masas de agua que se encuentran en la boca del Golfo de California fueron descritas por Wyrтки (1967) y Lavín *et al.*, (2009), y se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Masas de agua descritas para la boca del Golfo de California, tomada de Lavín et al. (2009).

Masas de Agua	Abreviación	Salinidad	Temperatura	Profundidad
			(°C)	(m)
Agua del Golfo de California	AGC	34.9 – 35.35	14 – 29.5	0 – 180
Agua Superficial Tropical Evaporada	AS _{Te}	34.9 – 35.1	28 – 30	0 – 40
Agua Superficial Tropical	AST	34.4 – 34.9	18 – 30	0 – 120
Agua del Mínimo de Salinidad Somero	AmSS	34.1 – 34.5	16 – 25	10 – 110
Agua Subsuperficial Subtropical	AS _{sSt}	34.5 – 34.9	9 – 18	50 – 480
Agua Intermedia del Pacífico	AIP	34.5 – 34.8	4 – 9	480 – 1200
Agua Profunda del Pacífico	APP	34.56 – 34.75	4	> 1200

Agua del Golfo de California (AGC). Esta masa de agua se forma por la convección de invierno en la región norte del golfo; presenta temperaturas entre 14 y 29.5°C y una salinidad ≥ 34.9 . Se ha observado como un flujo estrecho hacia el exterior del Golfo de California en la margen peninsular (Lavín *et al.*, 2009). La formación de esta masa de agua en la parte norte del golfo ocurre principalmente durante invierno, o durante eventos de vientos intensos del noroeste, los cuales acarrearán aire frío y seco (Reyes y Lavín, 1997; López, 1997), generando que el agua más salina se enfríe principalmente por evaporación y se hunda frente a las costas de Sonora hasta una profundidad de aproximadamente 75 m, fluyendo hacia el noroeste y hundiéndose de nuevo a una profundidad de cerca de 125 m, regresando hacia el sureste del lado de Baja California (López, 1997). Genera un flujo subsuperficial mayor del lado de la península hacia la parte central y sur del golfo. La evaporación anteriormente mencionada, es posible debido a que en invierno hay una pérdida neta de calor a través de la superficie del mar. Esta pérdida de calor junto con la evaporación que conlleva ocasiona la formación del AGC (Sverdrup, 1941).

Agua Superficial Tropical Evaporada (ASTe). Esta masa de agua proviene del AST que ha sido sujeta a la evaporación, sin embargo conserva su alta temperatura en la capa superficial (28 a 30°C) y salinidad mayor o igual a 34.9, presenta un flujo hacia el interior del golfo en el margen continental (Lavín *et al.*, 2009).

Agua Superficial Tropical (AST). Presenta una temperatura por arriba de 18°C y una salinidad de 34.5 a 34.9. La extensión del AST hacia el interior del golfo tiene una clara señal estacional con su máxima intrusión en verano y la máxima retracción en invierno, cuando se le encuentra solamente cerca de la boca del golfo (Lavín *et al.*, 2009).

Agua del Mínimo de Salinidad Somero (AmSS). Esta masa de agua se identifica como intrusiones de agua de baja salinidad (≤ 34.5) y temperaturas entre 12 y 18 °C, a las cuales se les asocia un máximo de O₂ y se encuentra entre los 10-110 m de profundidad. Es posible distinguir un núcleo cerca de la península (34.2 °C) y otro núcleo cerca de la costa del margen continental (34.4 °C). Estas intrusiones han sido identificadas por algunos autores como Agua de la Corriente de California (ACC) (Lavín *et al.*, 2009)

Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt). Esta masa de agua se encuentra entre los 9°C y 18°C y se caracteriza por contener un máximo de salinidad distintivo de 34.5-34.9. Presenta una variación estacional con una intrusión máxima hacia la parte norte del golfo en otoño-invierno, mientras que en primavera-verano se retrae hacia la parte sur (Lavín *et al.*, 2009).

Agua Intermedia del Pacífico (AIP). Se encuentra por debajo de la ASsSt desde los 480 m hasta los 1200 m, presenta salinidades de 34.5 – 34.8. La frontera inferior del AIP no muestra variaciones apreciables, pero se ha registrado que la superior se retrae hacia el sur en verano y avanza en invierno. Aunado a las características antes mencionadas, esta masa de agua presenta un bajo contenido de oxígeno (O₂ < 0.1 ml/L) (Lavín *et al.*, 1997; 2009). Es de importancia mencionar que debido a su bajo contenido de oxígeno aunado a la alta productividad biológica que caracteriza las aguas superficiales del golfo, se forma una Z. M. O. aproximadamente entre los 600 a 1200 m (Keigwin y Jones, 1990; Bray y Robles, 1991). En las áreas donde la ZMO intercepta la superficie del fondo, la bioturbación se inhibe casi por completo y existe una preservación de la microfábrica de los sedimentos que generalmente reflejan las condiciones de la superficiales y fondo oceánico.

Agua Profunda del Pacífico (APP). La cual está presente desde los 1200 m hasta el fondo y está delimitada por la isoterma de los 4°C. Se ha registrado que la salinidad aumenta a medida que aumenta la profundidad (de 34.56 a 34.75). Debido a que esta masa de agua está aislada de la influencia meteorológica, se le considera muy estable, ocupando aproximadamente un 41% del volumen en el golfo (Lavín *et al.*, 1997; 2009).

Trazadores

Calcita

El ópalo y la calcita generados por organismos vivos en el mar comprenden en promedio cerca del 50% de la acumulación de sedimentos en el piso oceánico. La abundancia de cualquiera de estas fases en cualquier punto del océano refleja dos cosas:

- Su tasa de producción en la columna de agua
- La tasa de disolución a la que están sujetas durante la sedimentación y una vez depositadas.

Los carbonatos pelágicos son depósitos que se componen principalmente de restos esqueléticos de organismos planctónicos como los cocolitofóridos y los foraminíferos. En regiones de surgencia, los cocolitofóridos representan parte de la productividad primaria de la columna de agua y llegan a dominar la fracción carbonatada de estas zonas (Tucker & Wright, 1990).

Para el océano abierto el contenido de calcio en el agua es casi constante, variando con la salinidad solo el 0.5% de su concentración (Broecker & Peng, 1982), por lo que su tasa de disolución está dada por tres factores: (1) un decremento en la temperatura, ya que a medida que el agua se torna más fría el carbonato se vuelve más soluble; (2) un incremento en la presión, debido a que a mayor presión mayor solubilidad; y (3), un aumento en el contenido de bióxido de carbono en el agua, que al reaccionar con ella forma moléculas de ácido carbónico, favoreciendo la disolución de los carbonatos.

Aunque el agua del océano se encuentra empobrecida de carbonato de calcio debajo de algunos cientos de metros, en algunos casos la disolución de las partículas de carbonato de calcio es inhibida por recubrimientos orgánicos en los granos e incremento

en la tasa de sedimentación por formarse agregados en pellets fecales (Tuker & Wright, 1990).

Carbono Orgánico

El carbono orgánico que se encuentra en los sedimentos proviene de dos fuentes: la productividad en la columna de agua y el transporte desde tierra. Los compuestos que se preservan en los sedimentos tienen ciertas características similares independientemente de donde provengan, y su gran mayoría se acumulan como kerógenos, poseen un alto peso molecular y no son solubles en agua ni en solventes orgánicos. Este tipo de compuestos son generalmente hidrocarburos alifáticos y aromáticos que se encuentran en la pared celular para proteger a los organismos como esporas, polen y quistes, y se preservan selectivamente comparados con las proteínas, lípidos y polisacáridos (Zonneveld *et al.*, 2010).

Para que se preserven sedimentos marinos ricos en carbono orgánico se requiere de condiciones particulares. Los tres factores más importantes son: alta productividad, bajo contenido de oxígeno, y que estos dos factores se presenten en una cuenca que los reciba.

Una de las variables más comúnmente relacionadas con la preservación de la materia orgánica es una alta tasa de sedimentación. Esto ocurre en zonas de alta productividad, ya que se generan grandes cantidades de materia orgánica y en general de sedimentos. La materia orgánica es preservada debido a que la alta tasa de sedimentación genera un gran volumen de sedimentos y esto aleja la materia orgánica de la “zona activa” que se encuentra en la superficie del fondo en donde puede ser consumida y degradada ya que la mayor parte de las actividades animales y bacterianas están casi siempre cerca de la superficie del sedimento (Hedge & Keil, 1995).

Otro factor que influye fuertemente la preservación de la materia orgánica es la cantidad de oxígeno disponible, ya que ésta determina los tipos de organismos bénticos presentes. Los organismos anaeróbicos resultan ser los menos eficientes en perturbar los depósitos y en consumir la materia orgánica (Simon *et al.*, 1994; Bastviken *et al.*, 2004).

Metodología

Para este estudio se analizaron 6 núcleos de gravedad y 6 núcleos múltiples recuperados de la cuenca Pescadero, al sur del Golfo de California en la zona de mínimo oxígeno durante el crucero CALMEX NH01 en el buque oceanográfico New Horizon el 1º de diciembre del 2001. Estos núcleos fueron llevados a la Universidad Estatal de Oregon en Corvallis para evaluar su porosidad mediante análisis GRAPE (evaluador de porosidad por atenuación de rayos gama, por sus siglas en inglés). El análisis GRAPE es un sistema diseñado para determinar la densidad del material del núcleo y estimar la porosidad del sedimento utilizando parámetros como la gravedad específica de los minerales y líquidos.

Posteriormente los núcleos fueron cortados longitudinalmente y separados en mitades para, después de radiografiarlos, ser segmentados cada centímetro y así obtener un registro de alta resolución. De cada radiografía se obtuvo una imagen en positivo para el conteo de varvas utilizando escala de grises como parte de la construcción del modelo de edades.

El sedimento ya muestreado fue liofilizado y macerado en un mortero de ágata para su análisis posterior.

En este trabajo se utilizó el registro sedimentario NH01-25, construido a partir de 2 núcleos; un núcleo de tipo múltiple (NH01-25 MC1) y otro de gravedad (NH01-25 GC3) con longitudes de 23.5 cm y 250 cm respectivamente, ambos recuperados en la misma localidad y durante el mismo crucero. Los núcleos fueron empatados para evitar el hiatus del registro por pérdida por impacto del núcleo de gravedad utilizando las series de datos de ópalo (Mejía Piña, 2009). La profundidad de correlación entre estos dos núcleos fue de 9 cm, obteniéndose un registro compuesto con una longitud total de

259 cm, de aquí en adelante referido como núcleo compuesto NH01-25 o como registro sedimentario NH01-25.

Modelo de edades

Un requerimiento para los estudios paleoclimáticos es un modelo de edades que nos indica cuando pasan los eventos que estamos registrando así como correlacionar los eventos con otras secuencias.

A partir del fechado realizado en el registro sedimentario NH01-26 por González-Yajimovich (2004), Mejía-Piña (2009) construyó una correlación con el núcleo compuesto NH01-25 en la cual identificó los picos y eventos relevantes de ambos registros de ópalo biogénico, relacionando las edades (Tabla 2), calculando una tasa de sedimentación de 25.65 años/cm con un coeficiente de correlación de $R=0.99638$ (Figura 4). Los datos generados se encuentran en la tabula 4, apéndice 1.

Una explicación detallada de cómo se realizó el modelo de edades se encuentra en el apéndice 2.

Usando este método se estableció un promedio de 25 varvas (par blanco-oscuro) por centímetro, para los 20 centímetros superiores, coincidiendo con la tasa de acumulación de exceso de ^{210}Pb .

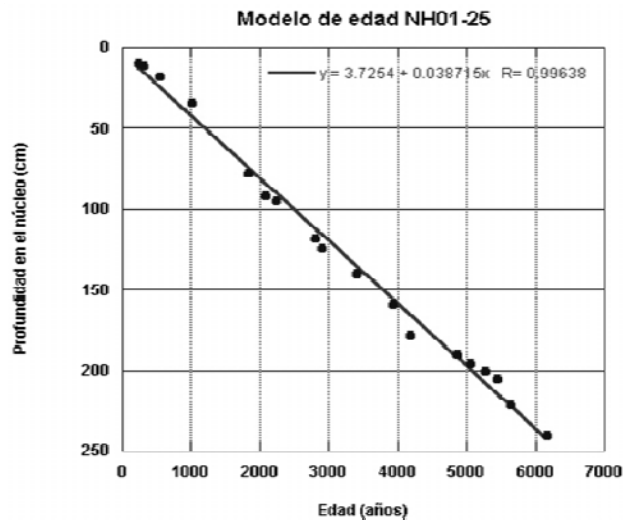


Figura 4. Modelo de edades para el núcleo NH01-25, modificada de Mejía-Piña (2009).

Tabla 2.- Edades de los eventos correlacionados más importantes en el contenido de ópalo biogénico y su profundidad en el núcleo (cm) para los núcleos NH01- 25 y 26 Tomada de Mejía-Piña (2009).

Profundidad (cm)		Edad (años)
NH01-25	NH01-26	
9	9	231
11	12	302
18	22	552
34	40	1014
78	73	1833
92	83	2081
95	89	2241
118	112	2793
124	116	2900
140	136	3398
159	157	3932
178	167	4181
190	194	4857
196	202	5053
200	210	5266
295	218	5444
221	225	5640
240	246	6156

Perfiles de densidad GRAPE

La compactación en un registro sedimentario es un factor importante que se debe tomar en cuenta a la hora de hacer las mediciones de fechado, esta la podemos medir calculando tasas de acumulación de masa, para las cuales se calculan la porosidad y la densidad de un núcleo a través de un análisis denominado *GRAPE*.

El sistema GRAPE está diseñado para determinar la densidad del material del núcleo y estimar la porosidad del sedimento utilizando varias suposiciones en lo que refiere a la gravedad específica de los líquidos y los materiales. La densidad volumétrica en seco (DBD) es el peso de los sólidos (sedimentos y sales) medidos después de evaporar el agua intersticial, dividido por el volumen inicial de la muestra. Densidad bruta en húmedo (WBD) incluye la contribución de la masa de los fluidos de poro y es una medida estimada por el sistema GRAPE. La densidad y la porosidad son útiles para calcular las tasas de acumulación de masas, el producto lineal de las tasas de sedimentación y DBD.

En el sistema GRAPE, un pequeño haz de rayos gamas es emitido y pasa a través del núcleo y es detectado en el extremo opuesto.

La densidad es determinada midiendo el número de fotones gama que pasan a través del núcleo sin ser atenuados ya que el contador solo detecta los fotones que tienen la misma energía con la que salen de la fuente y comparando el resultado con un núcleo estándar de densidades conocidas de aluminio y agua. Las ecuaciones para calcular la densidad bruta de la medición de la atenuación de los rayos gama es:

$$WBD = 1/md * \ln(I_0/I)$$

Donde:

WBD = Densidad volumétrica en húmedo del sedimento

m = Coeficiente de atenuación de Compton

d = Grosor del sedimento

I_0 = Intensidad de la fuente de rayos gama

I = Intensidad de los rayos gama de la muestra

La porosidad es calculada directamente de la densidad bruta del sedimento en húmedo y si los siguientes son conocidos puede ser estimada.

- a) Si el sedimento esta totalmente saturado
- b) La densidad del mineral componente
- c) La densidad del fluido

La porosidad fraccional es calculada de la siguiente manera:

$$FP = (\sigma_m - WBD) / (\sigma_m - \sigma_w)$$

Donde:

FP = Porosidad fraccional

σ_m = Densidad del mineral

WBD (o densidad gama) = Densidad volumétrica del sedimento en húmedo

σ_w = Densidad del fluido.

La densidad bruta en seco (DBD) se calcula:

$$DBD = (1-FP) * \sigma_m + FP * 0.025$$

Donde $FP * 0.025$ es un estimado de la contribución de las sales del mar a la masa.

El perfil de densidad GRAPE (Apéndice 1) fue calculado para el núcleo NH01-25 por Mejía-Piña (2009), y la gráfica de la porosidad y densidad volumétrica en seco se muestra en la figura 5.

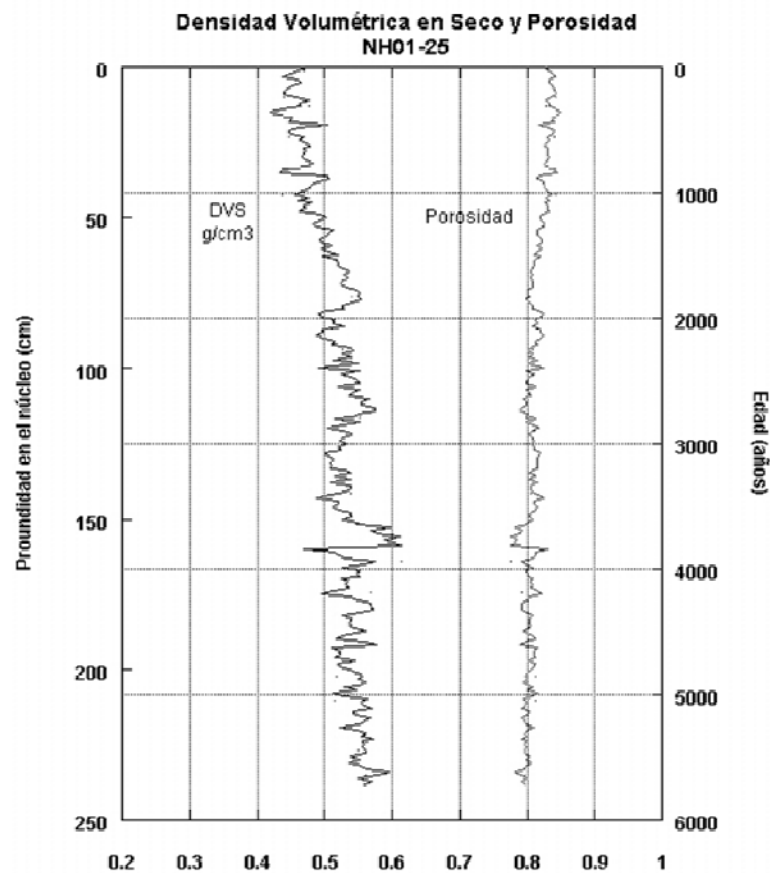


Figura 5. Densidad del sedimento en seco y porosidad, para el núcleo compuesto NH01-25 recuperado de la Cuenca Pescadero del sur del Golfo de California, modificada de Mejía-Piña (2009).

Tasa de acumulación de masa

Las tasas de acumulación linear (LSR) y la tasa de acumulación de masas (TAM) son mediciones temporales de acumulación de sedimento en el sustrato. La TAM es la medición del flujo de material a través de la interface sedimento/agua. La LSR no puede ser utilizada para determinar el flujo de masa, solo mide el grosor depositado a través de un periodo de tiempo.

La tasa de acumulación de masa fue calculada para el núcleo NH01-25 por Mejía-Piña (2009), (Apéndice 1), y los resultados se muestran en la Figura 6.

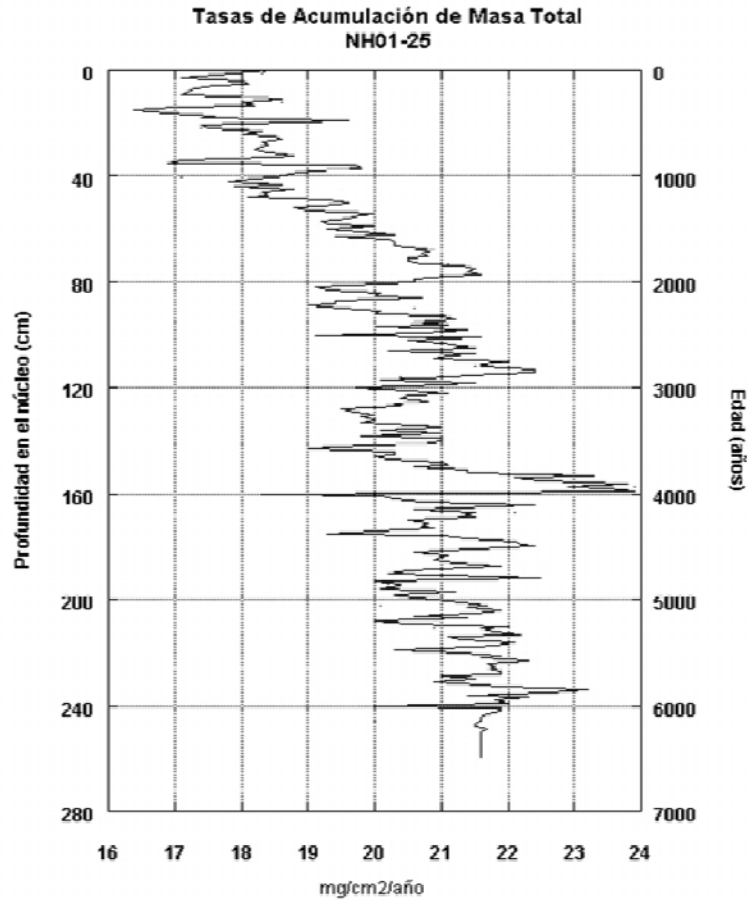


Figura. 6.- Tasa de Acumulación de Masa total, para el núcleo compuesto NH01-25 modificada de Mejía-Piña (2009).

Análisis Espectral

El análisis de densidad espectral del registro obtenido de carbono orgánico e inorgánico contenido en los sedimentos se realizó mediante un programa diseñado por Mann M. E. y Lees J. M. (1998), para obtener los ciclos centenarios y milenarios que representan la variabilidad en la producción primaria del golfo.

El análisis utiliza el método Multitaper descrito por (Thomson, 1982), el cual utiliza varias ventanas para determinar las diferentes señales que componen la serie de tiempo con un nivel de confianza de 50%, 90%, 95% y 99% (50%, 10%, 5% y 1% de significancia respectivamente) mediante un análisis de distribución F.

Componentes sedimentarios

Las muestras fueron analizadas para determinar carbono inorgánico, carbono total y por sustracción, carbono orgánico.

Carbono total

El carbono total fue determinado utilizando un analizador elemental LECO CHNS-932 en el Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la UABC. Este instrumento se basa en la combustión de todo el carbono, orgánico e inorgánico en una cámara de combustión que se encuentra acoplada a través de un flujo dinámico a una celda receptora tipo cromatográfico que mide el CO₂ y despliega el resultado como porcentaje del peso total de la muestra.

Para el análisis se pesan cuidadosamente ~2 mg de cada muestra en una navecilla de estaño, la cual se dobla y moldea a manera de esfera para ser depositada en el carrusel de donde pasa a la cámara de combustión. Para los blancos solo se utiliza una navecilla vacía. Para el estándar se utilizó una muestra de materia certificado de referencia con concentración de C=2.15% MAG-1 del MSGS.

Carbono inorgánico

El carbono inorgánico fue analizado utilizando un coulómetro UIC, Inc. Modelo CM5014 en el Laboratorio de Oceanografía Geológica de la Facultad de Ciencias Marinas de la UABC. Este instrumento se basa en la liberación de bióxido de carbono a partir de los carbonatos presentes en la muestra a través de una acidificación con ácido perclórico 2N. El bióxido de carbono es introducido a un coulómetro en una celda que contiene monoetanolamina y un indicador colorimétrico de pH. Aquí es cuantitativamente absorbido y reacciona con la monoetanolamina para formar un ácido

titulable. Este ácido hace que el indicador se decolore y este cambio de color es monitoreado por fotodetección y reportado como porcentaje de transmitancia (%T). A medida que el %T aumenta, una corriente de titulación que pasa a través de una membrana a una tasa proporcional al %T para generar una base electroquímicamente haciendo que la solución regrese a su color. Cuando la solución regresa a su color original, la corriente para. De acuerdo al principio de Faraday la cantidad de corriente que pasa es proporcional a la cantidad de carbono que se libera de la muestra. El resultado final se muestra en microgramos de carbono.

Para el análisis se pesan ~20 mg de muestra en una navecilla de porcelana que es introducida en un tubo de cristal acoplado al modulo de acidificación, al cual se le inyectan 5 mililitros de ácido perclórico 2N y se introduce en una plancha de calentamiento. Como material de referencia se utiliza bicarbonato de calcio anhidro que presenta una concentración de C=12%.

Resultados

Tasas de acumulación de masa

Carbono orgánico

La tasa de acumulación de masa para el carbono orgánico (figura 6) en el registro sedimentario NH01-25 tiene una tendencia a disminuir, acentuándose a partir de los tres mil años al presente. Alrededor de los 4000 años existe un mínimo muy marcado seguido de un máximo lo cual denota un evento importante. La gráfica presenta un valor mínimo de $0.57 \text{ mg/cm}^2/\text{año}$ a los 4100 años, un máximo de $0.94 \text{ mg/cm}^2/\text{año}$ a los 6460 y una desviación estándar de $0.065 \text{ mg/cm}^2/\text{año}$, con valores porcentuales de 3.94% y 3.01% respectivamente. Las tasas de acumulación de masas y porcentajes para el carbono orgánico se encuentran en la tabla 6, apéndice 1.

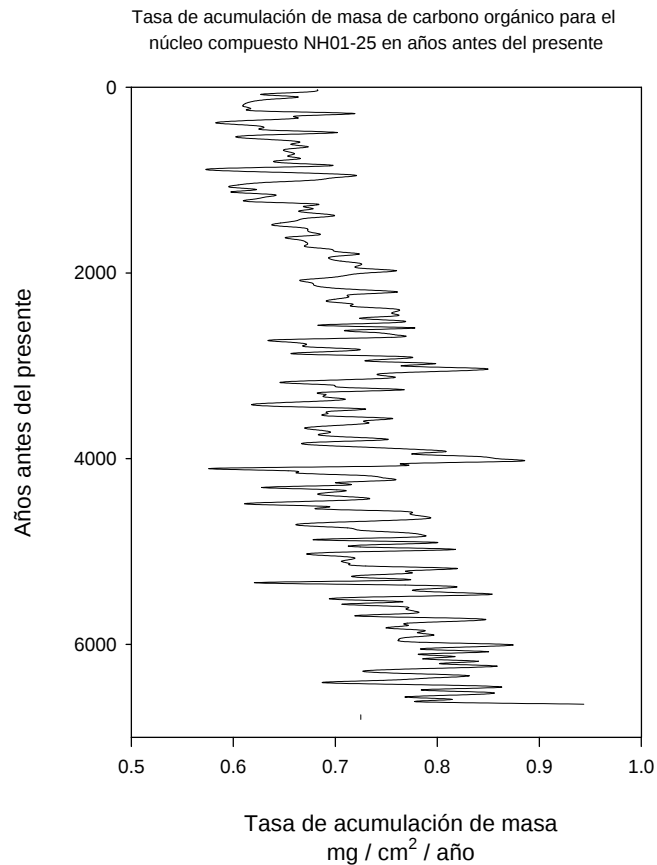


Figura 7. Tasa de acumulación de masa de carbono orgánico en miligramos por centímetro cuadrado por año para el registro sedimentario NH01-25.

Carbono Inorgánico

La tasa de acumulación de masa para el carbono inorgánico en el registro NH01 - 25 (Figura 7), al igual que el carbono orgánico tiene una tendencia a disminuir, sin embargo es notorio que alrededor de los 3000 años antes del presente existe un evento en el que la tasa de acumulación de masa presenta su punto más bajo, y que precisamente este evento separa un periodo de variabilidad relativamente alta con respecto a los últimos 3000 años. Presenta un valor mínimo de $0.0019 \text{ mg/cm}^2/\text{año}$ a los 3100 años y un valor máximo de $0.197 \text{ mg/cm}^2/\text{año}$ a los 4745 años con una desviación estándar de $0.037 \text{ mg/cm}^2/\text{año}$. Los porcentajes de carbonato de calcio se encuentran entre 7.83% y 0.08% con una media de 4.48% y una desviación estándar de 1.37. Las tasas de acumulación de masas y porcentajes de peso para el carbono inorgánico se encuentran en la tabla 5, apéndice 1.

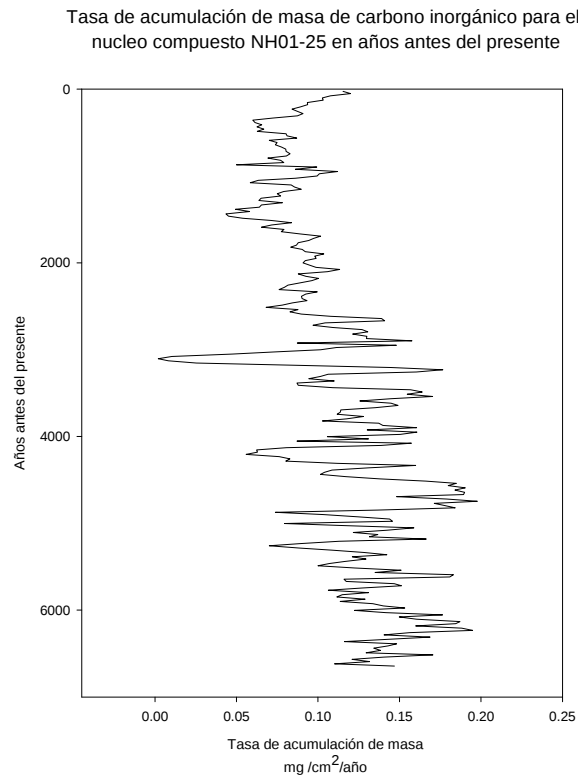


Figura 8. Tasa de acumulación de masa de carbono inorgánico en miligramos por centímetro cuadrado por año para el registro sedimentario NH01-25.

Ciclos en la productividad

El análisis espectral discriminó tres ciclos de carbono orgánico, tres de carbono inorgánico y siete de carbono orgánico e inorgánico con una confianza mayor a 95% (tabla 3).

Tabla 3. Ciclos encontrados a través del análisis espectral con una confianza mayor a 95% para las tasas de acumulación de masa de carbono orgánico e inorgánico para el núcleo compuesto NH01-25 en años. La primera columna muestra los ciclos encontrados solo en el registro de carbono orgánico, la segunda columna muestra los ciclos encontrados en ambos registros y la tercera columna muestra los registros encontrados solamente en carbono orgánico.

Carbono orgánico	Ambos registros	Carbono inorgánico
	6670	
	3300	
		2050
	299 ±14	
217		
	202±7	
143		
122		
	111±1	
	107	
		90±1
	79±1	
		70

El análisis espectral del registro sedimentario del núcleo compuesto NH01-25 mostró una serie de picos que rebasan el 95% de confianza (Figuras 8 y 9), de los cuales 5 de ellos se corresponden en ambas variables (Tabla 3).

Grafica de densidad espectral de carbono inorgánico

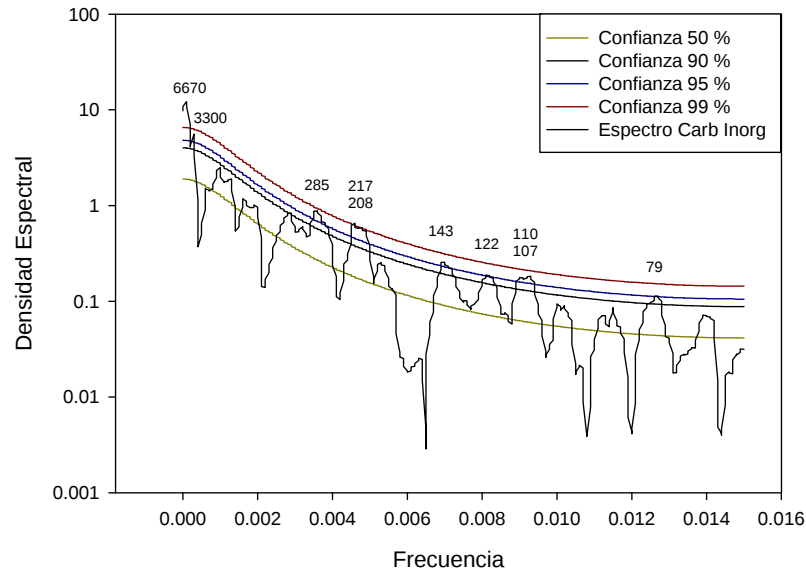


Figura 9. Análisis espectral de la TAM para el carbono inorgánico a cuatro niveles de confianza. Se destacan los picos más relevantes en ciclos de determinados años. Densidad espectral en escala logarítmica.

Gráfica de densidad espectral de carbono orgánico

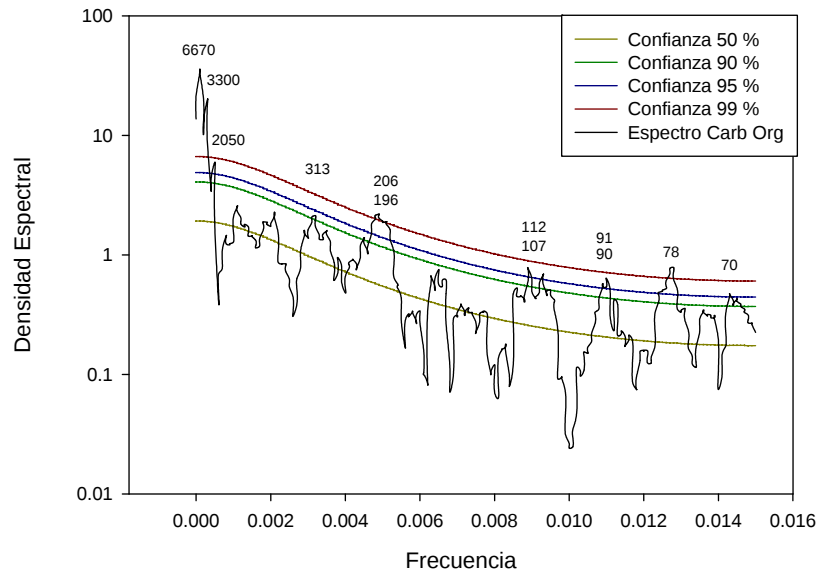


Figura 10. Análisis espectral de la TAM para el carbono orgánico a cuatro niveles de confianza. Densidad espectral en escala logarítmica.

Discusiones

El modelo de edades se construyó a partir de una correlación con el núcleo NH01-26 obtenido en la misma zona a 7.6 kilómetros de distancia, y fechado por González-Yajimovich (2004), del cual se asumen condiciones de sedimentación y oceanográficas similares. Mejía-Piña (2009) encontró tasas de sedimentación de 25.65 años por cada centímetro, que al comparar con González-Yajimovich 2004 de 24.4 años por centímetro para el núcleo NH01-26 llegó a la conclusión que la pendiente juega un papel importante en la diferencia de las tasas de sedimentación.

Para la tasa de acumulación de masa de carbono orgánico para el registro sedimentario compuesto NH01-26 tomado en la cuenca Pescadero González-Yajimovich (2004) encontró valores en un rango de 0.44 a 0.99 mg/cm²/año con una desviación estándar de 0.08, similares a las encontradas en el presente estudio, en el cual se encontraron valores en un rango de 0.57 a 0.94 mg/cm²/año y una desviación estándar de 0.06.

González-Yajimovich (2004) para el carbono inorgánico del registro sedimentario NH01-26 encuentra un máximo aislado de 23% cercano a los 8000 años antes del presente, con un mínimos de 0%, un promedio de 2.5% y una desviación estándar de 2.0. Sin embargo, hace mención que después de los 8000 años antes del presente los valores son muy bajos entre 0 y 5% un comportamiento similar a los valores de las tasas de acumulación de masa, que disminuyen después de los 8000 años, con valores de entre 0.00 y 5.93 mg/cm²/año y una desviación estándar de 0.47. Los valores encontrados en este estudio se encuentran en un rango de 0.00 a 0.19 mg/cm²/año y una desviación estándar de 0.03. A excepción del máximo aislado que reporta González-Yajimovich (2004) el cual hace que la desviación estándar crezca notablemente, los valores son muy similares en ambos estudios.

Por su parte Barron *et al.* (2004) encontraron en la cuenca de Guaymas valores de carbonato de calcio menores a 1% para los últimos 9 mil años. En caso de la Cuenca Alfonso se han encontrado valores más altos de carbonato de calcio que los reportados para las cuencas Pescadero y Guaymas. González-Yajimovich (2005) encontró valores entre 1 y 31% para 3 núcleos, BAP96-CP, BAP94-CB y CALMEX NH01-15

De los ciclos encontrados, concuerdan para ambos trazadores los de 6600 años, también reportado por Mejía-Piña utilizando ópalo biogénico para el mismo sitio.

Se encontró un ciclo de 2050 años, para el carbono orgánico, el cual parece coincidir con el ciclo de 1500 ± 500 años reportado por (Bond *et al.*, 2001) en estudios de núcleos de hielo, mismo que también es reportado por (González-Yajimovich, 2004) para productividad y precipitación, y por (Mejía-Piña, 2009) como proxie de productividad. Este ciclo ha sido identificado por diversos autores como (Bond *et al.*, 1997; Raymo *et al.*, 1998; Campbell *et al.*, 1998; McManus *et al.*, 1999; DeMenocal *et al.*, 2000; Vial, 2002 y Poore *et al.*, 2003). Respecto a esto González-Yajimovich (2004) discute la probabilidad de que este sea causado por un forzamiento local es muy baja por lo que un mecanismo como un forzamiento solar es necesario para que se den tales cambios a una escala global. Bond *et al.* (2001) señalan que los ciclos largos de escalas milenales se definen debido al agrupamiento de oscilaciones en escalas centenales .

El ciclo de 299 ± 14 es cercano al reportado por Bernal-Franco (2001) en su registro paleoceanográfico de la cuenca de la Paz con un periodo de 330 años, concordante con la periodicidad reportada por Bond (2001) en estudios de deriva de hielo con periodicidades de entre 200 y 500 años.

Para los ciclos de 208 años para el carbono orgánico y 206 para el carbono inorgánico tenemos que (Douglas *et al.*, 2002) y (González-Yajimovich, 2004) reportan

un ciclo de pulso de productividad de 198 años. Ambos ciclos son referidos por (Hodell *et al.*, 1995; 2001) para la península de Yucatán. El primero, de una periodicidad de 206 años concuerda con episodios de gran actividad solar y el segundo de 208 años coincide con periodos de sequía según estudios realizados a través de $\delta^{18}\text{O}$ por trazadores de evaporación/precipitación en yeso (Hodell *et al.*, 1995; 2001)

Para el ciclo de 143 años, Mejía-Piña (2009) reporta un ciclo similar de productividad de 145 años, mientras que (González-Yajimovich, 2004) identifica el mismo ciclo de productividad de 138 años y otro ciclo similar de 144 años (González-Yajimovich *et al.*, 2007).

Conclusiones

A través del análisis espectral se encontraron ciclos de variabilidad milenales, centenales y decadales, siendo los más importantes los de 6670, 2050, 299 ± 14 y 202 ± 7 , los cuales coinciden con los reportados en otros estudios.

La principal causa de variabilidad en la productividad primaria se atribuye a forzamientos solares, debido a oscilaciones y aumento en la actividad solar.

Referencias

- Alvarez-Borrego, S., & Lara-Lara, J. (1991). The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. In B. Simoneit, & J. Dauphin, *The Gulf and Peninsular Province of the Californias. American Association of Petroleum Geologists*. (Vol. Memoir 47., pp. 555–568.). American Association of Petroleum Geologists.
- Álvarez-Borrego, S., & Schwartzlose, R. A. (1979). Masas de agua del Golfo de California. *Rev. Inst. Mex. Pet.*, XIII (3), 5–19.
- Atwater, T. (1989). Plate tectonic history of the northeast Pacific and western North America. *Geological Society America, Decade of North American Geology*, 21-71.
- Anderson, R. Y. (1996). Seasonal sedimentation: a framework for reconstructing climatic and environmental change. Geological Society, London, Special Publications, 16:1-15.
- Bastviken, D., Persson, L., Odham, G., & Tranvik. (2004). Degradation of dissolved organic matter in oxic and anoxic lake water. *Limnology and Oceanography*, 49, 109-116.
- Baumgartner, T., Batrina, F., & Moreno-Hentz, P. (1991). Varve formation in the Central Gulf of California: a reconstruction of the origin of the dark laminae from the 20th century varve record. *Memoir*, 47, 617–636.
- Barron, A. J., Bukry, D., & Bischoff, J. L. (2004). High resolution paleoceanography of the Guaymas Basin, Gulf of California, during the past 15 000 years. *Marine Micropaleontology*, 50, 185-207.
- Beron-Vera, F. J., & Ripa, P. (2002). Seasonal salinity balance in the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*, 107 (C8), 3100.
- Bond, G., Showers, W. J., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., DeMenocal, P., et al. (1997). A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *Science*, 278, 1257-1266.
- Bond, G., Evans, M., Showers, W., Hoffmann, S., Lotti-Bond, R., I., H., et al. (2001). Persistent solar influence on north atlantic climate during the Holocene. 294, 2130-2136.
- Bordoni, S., Ciesielski, P. E., & Johnson, R. H. (2004). The low-level circulation of the North American Monsoon as revealed by QuikSCAT. *Geophysical Research Letters*, 31, L10109, doi:10.1029/2004GL020009, 4.
- Bray, N. (1988). Water mass formation in the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*, 93, 9233–9240.
- Bray, N., & Robles, J. (1991). Physical oceanography of the Gulf of California. In B. Simoneit, & J. Dauphin, *The Gulf and Peninsular Province of the Californias*. (Vol. Memoir 47, pp. 511–553). American Association of Petroleum Geologists.
- Broecker, W. S., & Peng, T. H. (1982). *Tracers in the Sea*. New York: Eldigio Press.
- Campbell, I. D., Apps, M. J., & A.B.G., B. (1998). Late Holocene ~1500 yr climatic periodicities and their implications. *Geology*, 26, 471-473.
- Castro, R., Lavin, M. F., & Ripa, P. (1994.). Seasonal heat balance in the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*, 99 (C2), 3249–3261.
- Castro, R., Mascarenhas, A. S., Durazo, R., & Collons, C. A. (2000). Seasonal Variation of temperatura and salinity at the entrance of the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 26, 561-583.
- DeMenocal, P., J., O., T., G., & M., S. (2000). Coherent high- and low latitude climate variability during the Holocene warm period. *Science*, 288.
- Douglas, M. W., Madox, R. A., Howard, K., & Reyes, S. (1993). The Mexican Monzon. *Journal of climate*, 1665-1677.

- Douglas, R. G., González-Yajimovich, O. E., Ledesma, J., & Staines-Urias, F. (2007). Climate forcing, primary production and the distribution of Holocene biogenic sediments in the Gulf of California. *Quaternary Science Reviews* , 26, 115–129.
- Douglas, R. G., Gorsline, D., A., G., Granados, I., & González-Yajimovich, O. E. (2002). Holocene Ocean-Climate Variations in Alfonso Basin, Gulf of California, Mexico. *Proceedings of the eighteenth annual PACLIM Workshop Asilomar Conference Grounds, California* , 7-20.
- Donegan, D., & Schrader. (1982). Biogenic and abiogenic components of laminated hemipelagic sediments in the Central Gulf of California. *Marine Geology* , 48, 213-237.
- Emeis, K. C., Anderson, D. M., Dooe, H., Kroon, D., Schulz-Bull, D., (1995). Sea-surface temperatures and the history of monsoon upwelling in the northwest Arabian Sea during the last 500,000 years. *Quaternary Research*, 43, 355-361.
- Fletcher, J. M., & Munguía-Orozco, L. (2000). Active continental rifting in southern Baja California, México: implications for plate motion partitioning and the transition to seafloor spreading in the Gulf of California. *Tectonics* , 19(6), 1107-1123.
- Frantz, B. R.; Kashgarian, M.; Coale, K.H.; Foster, M.S. 2000. Growth Rate and Potential Climate Record from a Rhodolith Using 14C Accelerator Mass Spectrometry, *Limnology and Oceanography* 45(1773-1777). <http://www.jstor.org/stable/3069107>
- Gaxiola-Castro, G., Alvarez-Borrego, S., Lavin, M. F., Zirino, A., & Najera-Martinez, S. (1999). Spatial variability of the photosynthetic parameters and biomass of the Gulf of California phytoplankton. *Journal of Plankton Research* , 2 (21), 231–245.
- González-Yajimovich, O. E. (2004). *Holocene Sedimentation in the Southern Gulf of California and its climatic implications*. Ph. D. Dissertation . University of Southern California, 211 pp.
- González-Yajimovich, O. E., Douglas, R. G. Gorslin, R. G., & Gorsline, D. S. (2005). The preserved carbonate record in Holocene sediments of the Alfonso and Pescadero Basins, Gulf of California, México. *Proceedings of the Geologists Association*. , 116, 315-330.
- González-Yajimovich, O. E., Douglas, R. G., & Gorsline, D. (2007). *Holocene record of Ocean-Climate Variation in the Gulf of California: rainfall and Productivity*. California.: Asilomar Conference Grounds.
- Hedges, J. I., & Keil, R. G. (1995). Sedimentary organic matter preservation: an assessment and speculative synthesis. *Marine Chemistry* 49 (2-3), 81-115.
- Hodell, D. A., Curtis, J. H., & M., B. (1995). Possible Role of Climate in the Collapse of Classic Maya Civilization. . *Nature* , 375, 391-394.
- Hodell, D., Curtis, J. H., Rosenmeier, M. H., & Guilderson, T. (2001). Holocene centennial climate variability in the Caribbean. *Geological Society of America, 2001 annual meeting* , 33, 159.
- Kutzbach, J. E. (1981). Monsoon Climate of the Early Holocene: Climate Experiment with Earth's Orbital Parameters for 9000 Years Ago. *Science* 214 (4516), 59-61.
- Keigwin, L. D., & A., J. G. (1990). Deglacial climatic oscillations in the Gulf of California. . *Paleoceanography* 5 (6), 1009–1023.
- Lavin, M. F., Castro, R., Beier, E., Godinez, V. M., Amador, A., & Guest, P. (2009). SST, thermohaline structure, and circulation in the southern Gulf of California in June 2004 during the North American Monsoon Experiment. *Journal of Geophysical Research* , 114 (C02025 doi:10.1029/2008JC004896), 22.
- Lavin, M. F., & Marinone, S. (2003). An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics* , 173-204.
- Lavín, M. F., Beier, E., & Badan, A. (1997). Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: escalas estacional e interanual. . In *Contribuciones a la oceanografía física en México. Monografía*. (pp. 141-171). Unión Geofísica Mexicana.

- López, M. (1997). A numerical simulation of water mass formation in the northern Gulf of California during winter. *Continental Shelf Research* , 17 (13), 1581-1607.
- Mascarenhas, A. S., Castro, R., Collins, C. A., & Durazo, R. (2004). Seasonal variation of geostrophic velocity and heat flux at the entrance to the Gulf of California, Mexico. *Journal of Geophysical Research* , 109 ((C07008)).
- Mann, M. E., & Lees, J. M. (1998). Robust estimation of background noise and signal detection in climatic time series. *Climatic Change* , 33, 409-445.
- Marinone, S. G., & Lavín, M. F. (2003). An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. (O. V. (eds.), Ed.) *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics* , 173-204.
- McManus, J. F., W., O. D., & L., C. J. (1999). A 0.5 million-year record of millennial-scale climate variability in the north Atlantic. *Science* , 283 (5404), 971-974.
- Mejía-Piña, K. G., 2009, Estudio de la variabilidad en la productividad primaria del Golfo de California durante el Holoceno, mediante ópalo biogénico en sedimentos. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada. 42pp.
- Poore, R., J., D. H., & Verardo, S. (2003). Millennial- to century-scale variability in the Gulf of Mexico Holocene climate records. *Paleoceanography* , 18, 1048.
- Raymo, M. E., Ganley, K., Carter, S., Oppo, D. W., & McManus, J. (1998). Millennial scale climate instability during the early Pleistocene epoch. *Nature* , 392, 699-702.
- Reyes, A. C., & Lavín, M. F. (1997). Effects of the autumn-winter meteorology upon the surface heat loss in the Northern Gulf of California. . *Atmosfera* , 10 , 101-123.
- Ripa, P., & Marinone, S. G. (1989). Seasonal variability of temperature, salinity, velocity, vorticity and sea level in the Central Gulf of California, as inferred from historical data. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*., 115, 887-913.
- Robinson, M. (1973). Atlas of Monthly Mean Sea Surface and Subsurface Temperatures in the Gulf of California, Mexico. San Diego Society of Natural History, *Memoir* , 5, 1-97.
- Roden, G., & W., G. G. (1958). Recent oceanographic in th Gulf of California. *J. Mar Res.* , 18, 10-35.
- Sancetta, C. (1996). Laminated Diatomaceous sediments: controls on formation and strategies for analysis. From: Kemps, A.E.S. (ed.). *Paleoclimatology and Paleoceanography from Laminated Sediments. Special publication* , 116, 17-21.
- Santamaria-Del-Angel, E., Alvarez-Borrego, S., & Müller-Karger, F. (1994). Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research* , 99, 7411-7421.
- Santamaria-del-Angel, E., Alvarez-Borrego, S., Millan-Núñez, R., & Muller-Karger, F. E. (1998). Sobre el efecto débil de las surgencias de verano en la biomasa fitoplanctonica del Golfo de California. *Revista Sociedad Mexicana de Historia Natural* , 49, 207-212.
- Simon, A., Poulicek, M., Velimirov, B., & MacKenzie, F. T. (1994). Comparison of anaerobic and aerobic biodegradation of mineralized skeletal structures in marine and estuarine conditions. *Biogeochemistry* , 25, 167-195.
- Staines-Urías, F., D., R. G., & S., G. D. (2009). Oceanographic variability in the southern Gulf of California over the past 400 years: Evidence from faunal and isotopic records from planktic foraminifera. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* . , 284, 337-354.
- Stuvier, M., & Reimer, P. (1993). Extended 14C database and revised CALIB radiocarbon calibration program. *Radiocarbon* , 35, 215-230.
- Sverdrup, H. (1941). The Gulf of California: Preliminary discussion of the cruise of the E. W. Scripps in February and March of 1939. *Proceedings of the 6th Pacific Scientific Congress* . , 161-166.

- Thunell, R. C. (1998). Seasonal and annual variability in particle fluxes in the Gulf of California; A response to climate forcing. *Deep sea research* , I 45, 2059-2083.
- Thunell, R. C., Pride, C., Tappan, E., & Muller-Karger, F. (1996). Plankton response to physical forcing in the Gulf of California. *Journal of Plankton Research* , 18, 2017–2026.
- Thunell, R. C. (1998). Seasonal and annual variability in particle fluxes in the Gulf of California. A response to climate forcing. *Deep-Sea Res. I* 45, 2059-2083.
- Thomson, D. J. (1982). Spectrum estimation and harmonic analysis. *EEE Proceedings* , I 70 (1055).
- Torres-Orozco, E., & M., R.-P. J. (1995). Variabilidad de las masas de agua mediante análisis volumétrico. *Trabajos sometidos al Premio a la Investigación Oceanográfica 1995*.
- Tucker, M. E., & P., W. V. (1990). *Carbonate Sedimentology* . Londres: Blackwell Science.
- Urrutia-Fucugauchi, J., J., O.-R., & Cruz-Gatica, R. (1997). Rock magnetic study of Late Pleistocene-Holocene sediments from Babicora lacustrine basin, Chihuahua, Northern Mexico. *Geofísica Internacional* . , 36(2), 77-86.
- Viau, A., K., G., Fines, P., Atkinson, D. E., & Sawada, M. (2002). Widespread evidence of 1500 yr climate variability in North America during the past 14000 yr. *Geology* , 30, 455-458.
- Wyrtki, K. (1967). Circulation and water masses of the eastern tropical Pacific Ocean. *International Journal of Oceanology and Limnology* . , 54, 117–147.
- Zonneveld, K., Versteegh, G., Kasten, S., Eglinton, T., Emeis, K., Huguet, C., et al. (2010). Selective preservation of organic matter in marine environments; processes and impact on the sedimentary record. *Biogeosciences* , 483-511.

Apéndices

Apéndice 1.

Tabla 4. Edad, densidad gama, porosidad, densidad volumen en seco, y tasa de acumulación de masa para el núcleo compuesto NH01-25. Calculado por Mejía-Piña, (2009).

Profundidad en el núcleo (cm)	Edad (correlación) Años antes del presente	Densidad gama DVH (g/cm ³)	Porosidad (g/cm ³)	Densidad Volumétrica en Seco DVS (g/cm ³)	Tasa de Acumulación de Masa (mg/cm ² /año)
1	25.65	1.300	0.831	0.470	18.314
2	51.3	1.302	0.829	0.473	18.447
3	76.95	1.281	0.843	0.438	17.084
4	102.6	1.295	0.834	0.462	18.005
5	128.25	1.297	0.833	0.464	18.104
6	153.9	1.289	0.837	0.452	17.631
7	179.55	1.285	0.840	0.445	17.346
8	205.2	1.282	0.842	0.440	17.161
9	230.85	1.282	0.842	0.440	17.150
10	256.5	1.292	0.836	0.456	17.796
11	282.15	1.305	0.828	0.477	18.602
12	307.8	1.296	0.833	0.463	18.049
13	333.45	1.298	0.832	0.466	18.171
14	359.1	1.280	0.843	0.437	17.041
15	384.75	1.269	0.850	0.420	16.378
16	410.4	1.278	0.844	0.433	16.899
17	436.05	1.289	0.838	0.451	17.576
18	461.7	1.286	0.839	0.446	17.412
19	487.35	1.321	0.818	0.503	19.617
20	513	1.295	0.834	0.462	18.005
21	538.65	1.286	0.840	0.446	17.401
22	564.3	1.288	0.838	0.449	17.522
23	589.95	1.300	0.831	0.469	18.281
24	615.6	1.296	0.833	0.462	18.027
25	641.25	1.303	0.829	0.474	18.469
26	666.9	1.306	0.827	0.478	18.647
27	692.55	1.300	0.831	0.469	18.281
28	718.2	1.302	0.830	0.472	18.425
29	743.85	1.300	0.831	0.470	18.325
30	769.5	1.298	0.832	0.467	18.204
31	795.15	1.301	0.830	0.471	18.370
32	820.8	1.308	0.826	0.482	18.813
33	846.45	1.303	0.829	0.475	18.514
34	872.1	1.281	0.842	0.439	17.106
35	897.75	1.278	0.845	0.433	16.888
36	923.4	1.322	0.817	0.504	19.662

37	949.05	1.324	0.816	0.507	19.786
38	974.7	1.313	0.823	0.491	19.136
39	1000.35	1.307	0.827	0.480	18.735
40	1026	1.306	0.827	0.478	18.658
41	1051.65	1.299	0.831	0.468	18.237
42	1077.3	1.292	0.836	0.456	17.774
43	1102.95	1.305	0.828	0.477	18.602
44	1128.6	1.294	0.834	0.460	17.939
45	1154.25	1.308	0.826	0.482	18.791
46	1179.9	1.300	0.831	0.469	18.303
47	1205.55	1.301	0.830	0.471	18.370
48	1231.2	1.296	0.833	0.463	18.071
49	1256.85	1.316	0.821	0.495	19.304
50	1282.5	1.320	0.819	0.501	19.550
51	1308.15	1.314	0.822	0.492	19.203
52	1333.8	1.308	0.826	0.482	18.813
53	1359.45	1.311	0.824	0.487	18.991
54	1385.1	1.327	0.814	0.513	20.011
55	1410.75	1.323	0.816	0.507	19.763
56	1436.4	1.320	0.818	0.502	19.584
57	1462.05	1.314	0.822	0.492	19.192
58	1487.7	1.316	0.821	0.495	19.304
59	1513.35	1.326	0.815	0.512	19.955
60	1539	1.316	0.821	0.496	19.337
61	1564.65	1.324	0.816	0.507	19.786
62	1590.3	1.331	0.811	0.520	20.282
63	1615.95	1.317	0.820	0.497	19.382
64	1641.6	1.331	0.812	0.519	20.225
65	1667.25	1.332	0.811	0.521	20.316
66	1692.9	1.331	0.811	0.520	20.282
67	1718.55	1.335	0.809	0.526	20.519
68	1744.2	1.342	0.805	0.536	20.917
69	1769.85	1.338	0.808	0.530	20.667
70	1795.5	1.340	0.806	0.534	20.815
71	1821.15	1.335	0.809	0.526	20.531
72	1846.8	1.335	0.809	0.525	20.485
73	1872.45	1.338	0.807	0.531	20.724
74	1898.1	1.348	0.801	0.546	21.305
75	1923.75	1.351	0.800	0.551	21.488
76	1949.4	1.350	0.800	0.550	21.442
77	1975.05	1.353	0.798	0.555	21.637
78	2000.7	1.344	0.804	0.540	21.065
79	2026.35	1.336	0.809	0.528	20.576
80	2052	1.337	0.808	0.528	20.610
81	2077.65	1.321	0.818	0.502	19.595
82	2103.3	1.313	0.823	0.490	19.114
83	2128.95	1.316	0.821	0.495	19.293
84	2154.6	1.328	0.813	0.515	20.079

85	2180.25	1.328	0.814	0.514	20.033
86	2205.9	1.338	0.808	0.530	20.678
87	2231.55	1.318	0.820	0.498	19.416
88	2257.2	1.317	0.820	0.496	19.360
89	2282.85	1.312	0.824	0.488	19.025
90	2308.5	1.319	0.819	0.500	19.517
91	2334.15	1.329	0.813	0.515	20.101
92	2359.8	1.326	0.814	0.512	19.966
93	2385.45	1.342	0.805	0.538	20.974
94	2411.1	1.346	0.802	0.544	21.213
95	2436.75	1.336	0.809	0.527	20.565
96	2462.4	1.344	0.803	0.541	21.099
97	2488.05	1.327	0.814	0.513	20.022
98	2513.7	1.350	0.800	0.549	21.419
99	2539.35	1.338	0.807	0.531	20.701
100	2565	1.313	0.823	0.490	19.103
101	2590.65	1.352	0.799	0.553	21.557
102	2616.3	1.334	0.810	0.524	20.451
103	2641.95	1.343	0.804	0.539	21.031
104	2667.6	1.348	0.801	0.546	21.305
105	2693.25	1.351	0.799	0.552	21.522
106	2718.9	1.331	0.812	0.519	20.237
107	2744.55	1.351	0.799	0.552	21.534
108	2770.2	1.344	0.804	0.540	21.065
109	2795.85	1.341	0.805	0.536	20.894
110	2821.5	1.359	0.794	0.565	22.028
111	2847.15	1.353	0.798	0.554	21.614
112	2872.8	1.352	0.799	0.554	21.602
113	2898.45	1.365	0.791	0.574	22.386
114	2924.1	1.366	0.790	0.575	22.432
115	2949.75	1.350	0.800	0.549	21.419
116	2975.4	1.345	0.803	0.542	21.156
117	3001.05	1.329	0.813	0.516	20.135
118	3026.7	1.351	0.799	0.552	21.522
119	3052.35	1.335	0.809	0.526	20.531
120	3078	1.322	0.817	0.505	19.685
121	3103.65	1.335	0.809	0.526	20.531
122	3129.3	1.345	0.803	0.541	21.111
123	3154.95	1.336	0.809	0.527	20.542
124	3180.6	1.333	0.810	0.523	20.406
125	3206.25	1.339	0.807	0.533	20.780
126	3231.9	1.332	0.811	0.520	20.293
127	3257.55	1.334	0.810	0.524	20.440
128	3283.2	1.319	0.819	0.500	19.505
129	3308.85	1.321	0.818	0.504	19.651
130	3334.5	1.327	0.814	0.513	19.988
131	3360.15	1.324	0.816	0.508	19.797
132	3385.8	1.326	0.814	0.512	19.966

133	3411.45	1.324	0.816	0.508	19.831
134	3437.1	1.337	0.808	0.529	20.633
135	3462.75	1.343	0.804	0.539	21.019
136	3488.4	1.329	0.813	0.515	20.101
137	3514.05	1.343	0.804	0.539	21.031
138	3539.7	1.324	0.816	0.508	19.820
139	3565.35	1.342	0.805	0.537	20.951
140	3591	1.343	0.805	0.538	20.985
141	3616.65	1.338	0.807	0.531	20.712
142	3642.3	1.325	0.815	0.510	19.876
143	3667.95	1.311	0.824	0.487	18.991
144	3693.6	1.332	0.811	0.520	20.293
145	3719.25	1.332	0.811	0.521	20.316
146	3744.9	1.327	0.814	0.513	19.988
147	3770.55	1.331	0.812	0.519	20.237
148	3796.2	1.342	0.805	0.537	20.951
149	3821.85	1.345	0.803	0.541	21.111
150	3847.5	1.336	0.809	0.527	20.565
151	3873.15	1.349	0.800	0.549	21.408
152	3898.8	1.348	0.801	0.547	21.351
153	3924.45	1.379	0.782	0.597	23.293
154	3950.1	1.361	0.793	0.567	22.120
155	3975.75	1.367	0.790	0.577	22.502
156	4001.4	1.388	0.777	0.611	23.820
157	4027.05	1.373	0.786	0.588	22.920
158	4052.7	1.382	0.780	0.602	23.480
159	4078.35	1.389	0.776	0.613	23.903
160	4104	1.301	0.830	0.470	18.336
161	4129.65	1.329	0.813	0.516	20.124
162	4155.3	1.331	0.812	0.520	20.270
163	4180.95	1.338	0.807	0.531	20.712
164	4206.6	1.365	0.791	0.574	22.397
165	4232.25	1.355	0.797	0.559	21.786
166	4257.9	1.336	0.809	0.528	20.576
167	4283.55	1.352	0.799	0.552	21.545
168	4309.2	1.348	0.801	0.547	21.328
169	4334.85	1.351	0.800	0.551	21.488
170	4360.5	1.335	0.809	0.526	20.497
171	4386.15	1.340	0.806	0.533	20.792
172	4411.8	1.338	0.807	0.531	20.724
173	4437.45	1.341	0.805	0.536	20.906
174	4463.1	1.327	0.814	0.513	19.988
175	4488.75	1.316	0.821	0.496	19.326
176	4514.4	1.343	0.804	0.539	21.008
177	4540.05	1.349	0.800	0.549	21.408
178	4565.7	1.361	0.793	0.567	22.132
179	4591.35	1.361	0.793	0.568	22.166
180	4617	1.364	0.791	0.573	22.351

181	4642.65	1.351	0.799	0.552	21.511
182	4668.3	1.336	0.808	0.528	20.587
183	4693.95	1.344	0.804	0.540	21.054
184	4719.6	1.343	0.804	0.539	21.031
185	4745.25	1.341	0.805	0.536	20.894
186	4770.9	1.346	0.803	0.543	21.179
187	4796.55	1.358	0.795	0.562	21.924
188	4822.2	1.348	0.801	0.547	21.351
189	4847.85	1.335	0.809	0.526	20.497
190	4873.5	1.331	0.812	0.519	20.225
191	4899.15	1.356	0.797	0.559	21.798
192	4924.8	1.366	0.790	0.576	22.478
193	4950.45	1.326	0.815	0.512	19.955
194	4976.1	1.333	0.811	0.522	20.361
195	5001.75	1.333	0.811	0.522	20.372
196	5027.4	1.329	0.813	0.516	20.112
197	5053.05	1.347	0.802	0.545	21.236
198	5078.7	1.331	0.812	0.520	20.270
199	5104.35	1.333	0.810	0.523	20.395
200	5130	1.341	0.806	0.535	20.883
201	5155.65	1.348	0.801	0.547	21.339
202	5181.3	1.354	0.797	0.557	21.717
203	5206.95	1.349	0.801	0.549	21.396
204	5232.6	1.357	0.795	0.562	21.913
205	5258.25	1.350	0.800	0.551	21.476
206	5283.9	1.337	0.808	0.529	20.621
207	5309.55	1.349	0.801	0.548	21.373
208	5335.2	1.328	0.814	0.514	20.033
209	5360.85	1.335	0.809	0.526	20.508
210	5386.5	1.358	0.795	0.563	21.959
211	5412.15	1.352	0.799	0.554	21.591
212	5437.8	1.356	0.796	0.560	21.832
213	5463.45	1.362	0.793	0.569	22.201
214	5489.1	1.345	0.803	0.542	21.145
215	5514.75	1.347	0.802	0.545	21.270
216	5540.4	1.361	0.793	0.567	22.132
217	5566.05	1.356	0.797	0.559	21.798
218	5591.7	1.351	0.799	0.552	21.522
219	5617.35	1.332	0.811	0.521	20.338
220	5643	1.348	0.801	0.547	21.328
221	5668.65	1.357	0.796	0.562	21.901
222	5694.3	1.352	0.799	0.554	21.602
223	5719.95	1.364	0.792	0.572	22.316
224	5745.6	1.354	0.798	0.557	21.706
225	5771.25	1.356	0.796	0.560	21.821
226	5796.9	1.354	0.798	0.556	21.671
227	5822.55	1.356	0.796	0.560	21.855
228	5848.2	1.356	0.796	0.560	21.855

Ciclos en la productividad en sedimentos durante el Holoceno en el sur del Golfo de California.

229	5873.85	1.343	0.804	0.539	21.031
230	5899.5	1.352	0.799	0.552	21.545
231	5925.15	1.341	0.805	0.536	20.906
232	5950.8	1.352	0.799	0.553	21.580
233	5976.45	1.356	0.796	0.560	21.855
234	6002.1	1.378	0.783	0.595	23.211
235	6027.75	1.369	0.789	0.580	22.617
236	6053.4	1.349	0.801	0.549	21.396
237	6079.05	1.363	0.792	0.571	22.282
238	6104.7	1.355	0.797	0.558	21.763
239	6130.35	1.358	0.795	0.563	21.959
240	6156	1.327	0.814	0.513	19.988
241	6181.65	1.357	0.796	0.561	21.884
242	6207.3	1.357	0.796	0.561	21.888
243	6232.95	1.354	0.797	0.557	21.722
244	6258.6	1.353	0.798	0.554	21.610
245	6284.25	1.353	0.798	0.555	21.637
246	6309.9	1.352	0.799	0.553	21.556
247	6335.55	1.351	0.799	0.552	21.531
248	6361.2	1.350	0.800	0.551	21.477
249	6386.85	1.353	0.798	0.555	21.663
250	6412.5	1.353	0.798	0.555	21.636
251	6438.15	1.352	0.798	0.554	21.604
252	6463.8	1.352	0.799	0.554	21.589
253	6489.45	1.352	0.799	0.554	21.587
254	6515.1	1.352	0.799	0.553	21.580
255	6540.75	1.352	0.799	0.553	21.583
256	6566.4	1.352	0.799	0.554	21.590
257	6592.05	1.352	0.798	0.554	21.604
258	6617.7	1.352	0.799	0.554	21.597
259	6643.35	1.352	0.799	0.554	21.592

Tabla 5. Porcentajes de Carbón Inorgánico así como su Tasa de Acumulación de Masa.

Profundidad en el núcleo	Porcentaje de carbonatos	Tasa de Acumulación de Masa mg/cm ² /año	Profundidad en el núcleo	Porcentaje de carbonatos	Tasa de Acumulación de Masa mg/cm ² /año
1	0.63	0.115379903	131	0.55	0.109936252
2	0.65	0.1199059	132	0.44	0.087107247
3	0.63	0.107630727	133	0.44	0.087849879
4	0.57	0.102629548	134	0.55	0.109069578
5	0.57	0.103195179	135	0.76	0.15680956
6	0.53	0.093445816	136	0.78	0.163951636
7	0.54	0.093670606	137	0.77	0.15477873
8	0.52	0.089235269	138	0.81	0.170349774
9	0.49	0.08403359	139	0.73	0.144682988
10	0.51	0.090759853	140	0.6	0.125706573
11	0.47	0.087430493	141	0.69	0.144798304
12	0.4	0.072197097	142	0.72	0.149128532
13	0.33	0.059963092	143	0.68	0.135155618
14	0.36	0.06134624	144	0.6	0.113948008
15	0.4	0.06551208	145	0.56	0.113641301
16	0.37	0.062526309	146	0.55	0.111736347
17	0.38	0.066790441	147	0.64	0.127925821
18	0.36	0.06268345	148	0.58	0.117372218
19	0.39	0.07650793	149	0.49	0.102660368
20	0.41	0.080431414	150	0.65	0.137219211
21	0.45	0.081023328	151	0.68	0.139840536
22	0.5	0.087005613	152	0.75	0.160557838
23	0.4	0.070086444	153	0.61	0.130238098
24	0.41	0.074952523	154	0.69	0.160719991
25	0.41	0.073911628	155	0.68	0.150416522
26	0.42	0.077570692	156	0.47	0.105757286
27	0.43	0.08018045	157	0.55	0.131011057
28	0.44	0.080436854	158	0.38	0.087094311
29	0.45	0.082912122	159	0.67	0.157315548
30	0.44	0.080631447	160	0.58	0.138634598
31	0.38	0.06917429	161	0.44	0.08068011
32	0.42	0.07715222	162	0.31	0.062383456
33	0.42	0.079015653	163	0.31	0.062838504
34	0.27	0.049986533	164	0.27	0.055923199
35	0.58	0.09921515	165	0.34	0.076150995
36	0.51	0.0861294	166	0.38	0.082787453
37	0.57	0.11207514	167	0.39	0.08024688

38	0.51	0.100907891	168	0.52	0.112034778
39	0.52	0.099508696	169	0.75	0.159957274
40	0.46	0.086183068	170	0.61	0.131075936
41	0.34	0.063436234	171	0.53	0.108632955
42	0.32	0.058358077	172	0.5	0.103959128
43	0.47	0.083538099	173	0.49	0.1015459
44	0.46	0.08557027	174	0.56	0.117071142
45	0.5	0.089695445	175	0.69	0.137920025
46	0.42	0.078922263	176	0.86	0.166205275
47	0.41	0.075043174	177	0.88	0.184870805
48	0.42	0.07715222	178	0.84	0.179824779
49	0.36	0.065056779	179	0.86	0.19033187
50	0.33	0.063702645	180	0.83	0.183979708
51	0.4	0.078200516	181	0.85	0.189984178
52	0.34	0.065291111	182	0.88	0.18929478
53	0.34	0.063965052	183	0.72	0.148229734
54	0.26	0.04937747	184	0.85	0.178955875
55	0.29	0.058031735	185	0.94	0.197689861
56	0.22	0.043479444	186	0.82	0.171332284
57	0.23	0.045042664	187	0.84	0.177904558
58	0.28	0.053737883	188	0.84	0.184163189
59	0.37	0.071424178	189	0.64	0.136643251
60	0.42	0.083809403	190	0.36	0.073788422
61	0.37	0.0715483	191	0.51	0.103148998
62	0.33	0.065293341	192	0.57	0.124246692
63	0.39	0.079098968	193	0.64	0.143861661
64	0.4	0.077528504	194	0.73	0.145668724
65	0.44	0.088991292	195	0.39	0.079407652
66	0.5	0.101578497	196	0.57	0.116121821
67	0.48	0.097352576	197	0.79	0.15888807
68	0.46	0.094389448	198	0.67	0.142282601
69	0.42	0.087851158	199	0.6	0.121622911
70	0.42	0.086800905	200	0.67	0.13664569
71	0.4	0.083258244	201	0.63	0.131561655
72	0.44	0.090335423	202	0.78	0.166444758
73	0.45	0.09218455	203	0.52	0.112929661
74	0.5	0.103618266	204	0.42	0.089864326
75	0.46	0.098001946	205	0.32	0.070120575
76	0.46	0.098844148	206	0.41	0.088053258
77	0.43	0.092200822	207	0.53	0.109293903
78	0.42	0.090874944	208	0.6	0.128240311
79	0.45	0.094792647	209	0.71	0.142237724

80	0.48	0.098765391	210	0.59	0.120997872
81	0.55	0.113355809	211	0.59	0.129556487
82	0.54	0.105812906	212	0.54	0.116591448
83	0.46	0.087924272	213	0.49	0.106977555
84	0.48	0.092604733	214	0.45	0.099903872
85	0.5	0.100392888	215	0.58	0.122640272
86	0.48	0.096160715	216	0.71	0.151020433
87	0.43	0.088916404	217	0.61	0.135002838
88	0.42	0.081545947	218	0.84	0.183100388
89	0.41	0.079374972	219	0.84	0.180786721
90	0.4	0.076099059	220	0.57	0.115928396
91	0.51	0.099534167	221	0.55	0.117302001
92	0.46	0.092465215	222	0.67	0.14673785
93	0.45	0.089846467	223	0.7	0.151217341
94	0.43	0.090187647	224	0.57	0.127203431
95	0.44	0.093338814	225	0.49	0.106358221
96	0.41	0.084315617	226	0.6	0.130923938
97	0.37	0.078067195	227	0.53	0.11485799
98	0.34	0.068075521	228	0.51	0.111461286
99	0.41	0.087818543	229	0.59	0.128945409
100	0.4	0.082803762	230	0.54	0.113566516
101	0.47	0.089783237	231	0.62	0.133579927
102	0.5	0.107783061	232	0.67	0.140067259
103	0.68	0.139070055	233	0.71	0.153214747
104	0.67	0.140906603	234	0.56	0.122388863
105	0.49	0.104393378	235	0.61	0.141586997
106	0.45	0.096850029	236	0.78	0.176416252
107	0.54	0.109277583	237	0.7	0.149773877
108	0.59	0.127048762	238	0.72	0.160428359
109	0.62	0.130603202	239	0.86	0.18716343
110	0.58	0.12118625	240	0.84	0.184453303
111	0.59	0.129964263	241	0.8	0.159907276
112	0.6	0.129683683	242	0.86	0.188202309
113	0.73	0.157698084	243	0.89	0.194799586
114	0.39	0.087304547	244	0.72	0.156399626
115	0.66	0.148051669	245	0.65	0.140466677
116	0.52	0.111379616	246	0.78	0.168768652
117	0.48	0.101550174	247	0.67	0.144428
118	0.36	0.072485923	248	0.54	0.116265086
119	0.22	0.047348903	249	0.69	0.14819166
120	0.05	0.010265389	250	0.66	0.142976674
121	0.01	0.001968476	251	0.62	0.134140257

122	0.04	0.008212311	252	0.64	0.138265708
123	0.12	0.025332777	253	0.6	0.129535486
124	0.42	0.086276871	254	0.79	0.170534309
125	0.71	0.144883993	255	0.65	0.140272101
126	0.85	0.176633909	256	0.56	0.120866543
127	0.79	0.160315407	257	0.61	0.131698413
128	0.52	0.106288811	258	0.51	0.110180452
129	0.52	0.101427547	259	0.68	0.146857016
130	0.48	0.09432519			

Tabla 6. Porcentajes de Carbón Orgánico así como su Tasa de Acumulación de Masa.

Profundidad en el núcleo	Por ciento de carbono orgánico	Tasa de Acumulación de Masa mg/cm ² /año	Profundidad en el núcleo	Por ciento de carbono orgánico	Tasa de Acumulación de Masa mg/cm ² /año
1	3.73	0.682206569	131	3.59	0.709924066
2	3.64	0.671841981	132	3.36	0.671452597
3	3.67	0.626820853	133	3.13	0.620903361
4	3.68	0.663310976	134	3.13	0.645807792
5	3.52	0.637818626	135	3.47	0.728533806
6	3.51	0.618505514	136	3.46	0.696303272
7	3.52	0.61111397	137	3.29	0.692755749
8	3.55	0.609545529	138	3.50	0.693289166
9	3.60	0.61704665	139	3.61	0.755706015
10	3.52	0.626598905	140	3.48	0.729237837
11	3.87	0.719162312	141	3.54	0.733008157
12	3.68	0.663671812	142	3.52	0.700424117
13	3.65	0.663409844	143	3.53	0.670014287
14	3.59	0.611928742	144	3.38	0.68489177
15	3.56	0.583057515	145	3.42	0.694390607
16	3.65	0.617489545	146	3.42	0.683803488
17	3.58	0.629587788	147	3.57	0.721434412
18	3.65	0.635366414	148	3.58	0.750049219
19	3.58	0.702009301	149	3.23	0.682718351
20	3.51	0.631801904	150	3.27	0.672674107
21	3.47	0.603470933	151	3.38	0.722510272
22	3.64	0.638137073	152	3.64	0.777371993
23	3.64	0.665432153	153	3.47	0.808025578
24	3.64	0.656371312	154	3.50	0.774866287
25	3.65	0.673387486	155	3.73	0.838857794
26	3.50	0.651885708	156	3.61	0.860385342
27	3.57	0.653001003	157	3.84	0.879881734
28	3.58	0.659980493	158	3.26	0.765680602
29	3.57	0.653481224	159	3.18	0.759143936
30	3.66	0.665529482	160	3.15	0.578329696
31	3.49	0.640547121	161	3.25	0.653818867
32	3.52	0.661285762	162	3.27	0.662439456
33	3.75	0.694442535	163	3.52	0.728037206
34	3.46	0.592211811	164	3.34	0.747175649
35	3.48	0.587706497	165	3.47	0.756198025
36	3.41	0.670287986	166	3.40	0.699999709

37	3.64	0.720798913	167	3.31	0.712498096
38	3.65	0.698474504	168	2.94	0.627672343
39	3.63	0.679347403	169	3.26	0.701363695
40	3.38	0.630257638	170	3.40	0.696890654
41	3.32	0.604917945	171	3.29	0.683843141
42	3.36	0.597208539	172	3.46	0.717245634
43	3.35	0.62298877	173	3.49	0.729395024
44	3.33	0.597551054	174	3.31	0.660616933
45	3.40	0.638518688	175	3.17	0.612640374
46	3.46	0.632559049	176	3.30	0.692845358
47	3.38	0.620156892	177	3.18	0.680979311
48	3.41	0.615870839	178	3.45	0.763983274
49	3.53	0.681618306	179	3.49	0.773158099
50	3.42	0.66880991	180	3.51	0.784522899
51	3.53	0.67845146	181	3.68	0.792026568
52	3.53	0.663919617	182	3.61	0.743825038
53	3.60	0.683118308	183	3.22	0.676874282
54	3.49	0.69898224	184	3.17	0.665836278
55	3.40	0.671559776	185	3.41	0.711864747
56	3.38	0.662323005	186	3.42	0.724325702
57	3.37	0.646198047	187	3.50	0.768004347
58	3.31	0.639342914	188	3.68	0.785698691
59	3.35	0.667881122	189	3.74	0.766989656
60	3.48	0.672940763	190	3.36	0.678558601
61	3.42	0.677270019	191	3.66	0.79692264
62	3.37	0.683699027	192	3.30	0.742236259
63	3.36	0.6518209	193	3.63	0.724352696
64	3.28	0.663389631	194	4.02	0.817898816
65	3.30	0.671027553	195	3.55	0.723011125
66	3.32	0.672544044	196	3.34	0.671955748
67	3.27	0.67160144	197	3.33	0.707590488
68	3.33	0.695697507	198	3.54	0.717575176
69	3.39	0.701020644	199	3.46	0.705866766
70	3.48	0.72372229	200	3.42	0.714400671
71	3.41	0.699688911	201	3.42	0.729796245
72	3.39	0.694456941	202	3.77	0.81960873
73	3.41	0.705640388	203	3.60	0.771121502
74	3.40	0.724788308	204	3.54	0.774832352
75	3.36	0.721992039	205	3.36	0.722251481
76	3.38	0.725599025	206	3.56	0.733918872
77	3.51	0.760103998	207	3.57	0.763671049

78	3.46	0.729482079	208	3.10	0.620637279
79	3.45	0.710493532	209	3.75	0.768439026
80	3.36	0.692294839	210	3.72	0.81598628
81	3.40	0.665445612	211	3.60	0.777492228
82	3.53	0.675487774	212	3.70	0.807789702
83	3.52	0.67871552	213	3.83	0.851180986
84	3.44	0.690100711	214	3.49	0.737533221
85	3.62	0.724811387	215	3.29	0.699373498
86	3.68	0.760958993	216	3.46	0.766417751
87	3.69	0.717216016	217	3.24	0.706462329
88	3.69	0.713406765	218	3.55	0.763608674
89	3.68	0.699160102	219	3.78	0.769195077
90	3.55	0.692445535	220	3.65	0.778245457
91	3.57	0.717007439	221	3.52	0.769826181
92	3.59	0.716575489	222	3.34	0.720442618
93	3.61	0.756527541	223	3.72	0.829723435
94	3.59	0.760923466	224	3.83	0.831113526
95	3.68	0.755755837	225	3.53	0.770487375
96	3.60	0.7597837	226	3.56	0.771498951
97	3.62	0.723802961	227	3.43	0.749631784
98	3.56	0.763164561	228	3.60	0.787004097
99	3.61	0.74730395	229	3.71	0.780454336
100	3.58	0.683689797	230	3.70	0.796739631
101	3.61	0.777978134	231	3.68	0.769324646
102	3.48	0.711711457	232	3.53	0.762405213
103	3.52	0.740285439	233	3.58	0.782414515
104	3.57	0.759728133	234	3.76	0.872500858
105	3.51	0.755215005	235	3.66	0.828251687
106	3.17	0.642309347	236	3.67	0.785457002
107	3.04	0.654408791	237	3.82	0.850270304
108	3.19	0.67176389	238	3.59	0.781516135
109	3.22	0.67300157	239	3.72	0.817523391
110	3.28	0.723174028	240	3.93	0.785544492
111	3.21	0.692727009	241	3.84	0.840345195
112	3.06	0.660819781	242	3.66	0.80196144
113	3.40	0.762011999	243	3.95	0.858460167
114	3.39	0.76044721	244	3.67	0.792880365
115	3.41	0.731250017	245	3.37	0.728734386
116	3.77	0.798438242	246	3.53	0.760294862
117	3.80	0.764525134	247	3.86	0.830864756
118	3.92	0.842595253	248	3.70	0.793791848

119	4.01	0.823694809	249	3.45	0.74716144
120	3.83	0.753729358	250	3.18	0.688226062
121	3.63	0.745472545	251	3.73	0.806045867
122	3.58	0.7559723	252	3.98	0.859683841
123	3.37	0.692063755	253	3.63	0.784026087
124	3.17	0.645856109	254	3.93	0.8481067
125	3.35	0.69635321	255	3.85	0.831173319
126	3.48	0.706605376	256	3.56	0.768168777
127	3.76	0.767732256	257	3.77	0.814687226
128	3.54	0.690682584	258	3.61	0.779422014
129	3.52	0.690735509	259	3.69	0.796702756
130	3.45	0.689000475			

Apéndice 2.

El armado del modelo de edades del registro NH01-26 se realizó en tres partes, la primera parte consiste en la medición de edad de los centímetros superiores a través del método radiométrico que utiliza el ^{210}Pb , La segunda parte utiliza el método radiométrico que utiliza el ^{14}C y la tercera parte consiste en el conteo de varvas por escala de grises como comprobación de los métodos anteriormente.

El radioisótopo de ^{210}Pb es un miembro intermediario de la cadena de decaimiento de ^{238}U que al pasar por el ^{222}Rn se incorpora a la atmósfera debido a su relativamente largo periodo de estabilidad; este decae a ^{210}Pb , que es fácilmente absorbido por la materia orgánica y removido hacia el sedimento. Este una vez en el sedimento, es enterrado y empieza a decaer. Al no existir un aporte de ^{226}Rn las concentraciones de ^{210}Pb disminuyen. El método consiste en hacer mediciones de ^{210}Pb a diferentes profundidades del núcleo y calcular el exceso de ^{210}Pb de la diferencia de ^{226}Rn y ^{210}Pb . Las tasas de sedimentación pueden ser calculadas utilizando el gradiente de decaimiento. El ^{210}Pb tiene una vida media de aproximadamente 22 años, lo que significa que con este elemento podemos medir aproximadamente los últimos 100 años de la parte más cercana a la superficie del núcleo. Estos análisis fueron hechos por el Dr. William Berelson en el laboratorio de geoquímica en la Universidad del Sur de California en Los Ángeles.

Para los sedimentos más antiguos se realizaron fechados con radiocarbono en foraminíferos planctónicos y bentónicos por el método AMS (*Accelerator Mass Spectrometry*). El método esta fundamentalmente basado en la pérdida del ^{14}C de la materia orgánica por decaimiento radioactivo, a una tasa fija de un valor inicial uniforme. Las plantas absorben carbono de la atmósfera y mantienen un equilibrio isotópico con ella. Los animales reflejan la misma concentración debido a que se

alimentan de ellas. El reloj empieza cuando el organismo muere y el equilibrio isotópico se pierde debido a que los organismos ya no se enriquecen en ^{14}C y empieza el decaimiento radioactivo. Las mediciones de radiocarbono deben ser corregidas, ya que algunas veces cuerpos de agua profundos entran en contacto con la atmósfera y sin darle tiempo a que se alcance un equilibrio se incorpora en los tejidos. Esto resulta en determinaciones más viejas que el valor real. Este efecto es particularmente importante en zonas de sugerencias, esto es llamado efecto reservorio.

En este estudio los datos de ^{14}C fueron convertidos a años de calendario utilizando el programa CALIB 4.4.1 de (Stuvier y Reimer, 1993) con un delta R de 249 ± 18 años. Para la corrección del efecto reservorio del océano, una fecha fue establecida de 574 ± 18 años fue utilizada, obtenida de un rodolito local (Frantz, et al., 2000). Los análisis fueron realizados en Livermore National Laboratory en la USGS National Center en Reston, Virginia, E.U.

Los rangos de sedimentación fueron obtenidos de conteo de varvas basados en positivos de radiografías de los sedimentos. Las varvas son parejas anuales equivalentes a los anillos de crecimiento en los árboles, formadas como el resultado de cambios en las condiciones climáticas que generan variaciones en factores como la productividad y depositación. Las varvas son preservadas en áreas con poco oxígeno. El método consiste en tomar radiografías que son posteriormente impresas como positivos y escaneadas a alta resolución. De estas imágenes, una escala de grises es obtenida así como un conteo individual de varvas proveyendo una manera directa de contar los pasados años.