



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA
DENSIDAD DE LA MACROFAUNA BÉNTICA DE
LA PLANICIE ABISAL EN EL GOLFO DE MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A :

DANIELA RABIELA ALONSO



DIRECTORA DE TESIS: DRA. ELVA GUADALUPE ESCOBAR BRIONES

2006



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1.	Datos del Alumno Rabiela Alonso Daniela 56 35 00 39 Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias Biología 098025606
2.	Datos del tutor Dra. Elva Guadalupe Escobar Briones
3.	Datos del sinodal 1 Dr. Javier Alcocer Durand
4.	Datos del sinodal 2 Dr. Carlos Angel Quintil Mortera Gutiérrez
5.	Datos del sinodal 3 Raúl Gío Argaéz
6.	Datos del sinodal 4 M. en C. Luis Alberto Oseguera Pérez
7.	Datos del trabajo escrito Variación espacio-temporal de la densidad de la macrofauna béntica de la planicie abisal en el Golfo de México. 52 p 2006

*El mar, más bien tendría que nombrarte la mar,
vientre que da vida a cada minuto, inspiradora de
grandes poemas y testiga de grandes amores,
dadora de alimento y energía, poderosa y valiente
ante tus testigos. Dentro de ti guardas los misterios
más recónditos y los animales más tenebrosos y
diminutos, quien más a ti Gracias por tu hermosura
y tu grandeza, por dejarme conocerte e inspirarme
cada minuto a saber más de ti.*

Agradecimientos

Apoyo institucional del ICML UNAM-CU durante la gestión del Dr. Adolfo Gracia Gasca y de la Unidad Académica Sistemas Oceanográficos y Costeros del ICML UNAM-CU.

Apoyo en el campo a la tripulación del buque oceanográfico Justo Sierra.

A los proyectos de investigación a cargo de la Dra. E. Escobar Riqueza taxonómica de la fauna asociada al mar profundo del Golfo de México. PAPIIT IN224503; Factores que definen la variabilidad de la composición taxonómica, la densidad y la biomasa de la infauna en el sur del Golfo de México DGAPA UNAM PAPIIT IN211200; Variación de la estructura comunitaria del bentos abisal en el Golfo de México Convocatoria Ciencia Básica SEP-CONACyT 2002 Clave 40158 que dieron el financiamiento a la campaña, materiales y servicios y contribuyeron con la beca Daniela Rabiela con esta tesis como resultado.

Dra. Elva Escobar por la dirección de tesis, por su paciencia, por sus enseñanzas teóricas, prácticas y técnicas, por su apoyo emocional en el término de este trabajo, gracias Elva.

Dr. Javier Alcocer Durand por la revisión de la tesis y por formar parte de mi comité.

Dr. Carlos Mortera Gutiérrez por la revisión de mi tesis, por sus comentarios y correcciones y sus grandes consejos.

Dr. Raúl Gío Agáez por la revisión de la tesis, así como por sus buenos comentarios sobre mi trabajo.

M. en C. Luis Alberto Oseguera Pérez por la revisión de la tesis y los comentarios sobre mi trabajo.

A la Facultad de Ciencias por brindarme un espacio en sus aulas, así como brindarme una excelente planta académica para mi formación estudiantil.

A mis compañeros de laboratorio: Manuel, Myrna, Ramón, Edith, Ivett, León, Balam, Erika, Lalo, Javier, Memo, Citali, Adrianita y Octavio por su gran apoyo teórico, práctico y emocional para la realización de esta tesis. Gracias compañeros.

A las tres grandes mujeres que conforman mi vida: mi madre por su amor tan hermoso, y dedicación a lo largo de mi vida, por disfrutar juntas cada momento de ella y mió, por sobarme con una gran delicadeza cuando me he caído. Gracias ma eres la mejor. A mi hermana por su amor incondicional, por su gran apoyo emocional, por ser mi maestra en el mundo físico y por sus consejos tan atinados en mi vida gracias por estar siempre conmigo y ser como eres. A mi abita, por enseñarme con su vida, la fortaleza, el amor y la belleza de la vida, por cuidarme y amarme como lo hace.

A mi papa por su amor, por sus consejos, su cuidado y su apoyo incondicional. Gracias papito te amo.

A Alberto por su cariño, su apoyo y por querer y cuidar tanto a mi mamá. Gracias Alber.

A Facundo por su amor, por sus risas, por compartir momentos tan especiales y bonitos por formar tan parte de mí y parte de este logro tan importante. Gracias chanchito Te Amo.

A Juan Antonio por ser mi guía en lo bonito que es vivir.

A mi familia mis tíos, tías, primos, primas por su amor a lo largo de mi vida.

A mis mejores amigas y mi mejor amigo: Ana, Clara, Daniela y Bernardo por su apoyo incondicional, por compartir momentos de tristeza, de coraje, de desesperación, de alegría, de baile, de conocimiento, por esa mano que jamás me han negado, gracias. Los quiero.

A mis amigos y amigas de la facultad: Rafa, Poncho, Kim, Beto, Xumo Constanza, Kristel, Lety, Roco, Pau, Mariel, Neto, Ivett, por su apoyo, por su cariño y por el reven.

A la banda cenotera: Berni, Dario, Juan Carlos, Dante, Yaqui, Susi, Citlali por su compañía y cariño.

Índice

Resumen.....	1
Abstract.....	2
Introducción.....	4
Objetivo.....	6
Metas.....	7
Hipótesis.....	7
Antecedentes.....	8
Área de estudio.....	11
Material y Métodos.....	19
Resultados.....	27
Discusión.....	37
Conclusiones.....	43
Referencias.....	45

Índice de figuras

Figura 1. Mapa del Golfo México.....	12
Figura 2. Mapa de las siete provincias geológicas en el Golfo de México.....	13
Figura 3. Mapa del Golfo de México con las estaciones del área de estudio.....	15
Figura 4. Variación de la densidad por estrato batimétrico entre 3000 a 4000 m de profundidad en la planicie abisal del Golfo del México.....	28
Figura 5. Variación interanual de la densidad de la estación de serie de tiempo.	29
Figura 6. Variación de la densidad de las regiones Norte (N) y Sur (S) del Golfo de México.	30
Figura 7. Variación de la densidad de la regiones Oeste (O) y Este (E) del Golfo de México.....	31
Figura 8. Distribución de los valores promedio de las densidades por estaciones muestreadas en la planicie abisal a 3000 y 4000 m de profundidad del Golfo del México.....	34
Figura 9. Variación promedio y desviación estándar de la densidad de la macrofauna béntica en las 68 localidades.....	35
Figura 10. Ubicación de las estaciones con los valores promedio más elevados y más bajos de la densidad de la planicie abisal en el Golfo de México.....	36

Índice de tablas

Tabla 1. Profundidad, latitud y longitud de las estaciones muestreadas en la planicie abisal del Golfo de México.....	19
Tabla 2. Clasificación del tamaño de grano.....	23
Tabla 3. Promedio y desviación estándar de la densidad de la macrofauna béntica de cada estrato de profundidad.....	27
Tabla 4. Promedio y desviación estándar de la densidad de la macrofauna béntica en un mismo sitio a lo largo del tiempo	29
Tabla 5. Promedio y desviación estándar de la densidad en la región Norte y Sur del Golfo de México.....	30
Tabla 6. Promedio y desviación estándar de la densidad en la región Este y Oeste del Golfo de México.....	31
Tabla 7. Promedio y desviación estándar de la densidad de la macrofauna béntica para cada una de las 68 estaciones en la planicie abisal del Golfo de México.....	33
Tabla 8. Estaciones que mostraron los valores promedio de densidad más elevados y más bajos durante las campañas S5,S6 y DGoMB en la planicie abisal en el Golfo de México.....	36

Resumen

El presente trabajo presenta los resultados de la variación espacio-temporal de la densidad de la macrofauna béntica de la planicie abisal en el Golfo de México. Las muestras se recolectaron en ocho campañas oceanográficas realizadas de 1997 a 2004 (Sigsbee 1, Sigsbee 2, Sigsbee 3, Sigsbee 4, Sigsbee 5, Sigsbee 6, Sigsbee 7 y DGoMB) a una profundidad entre los 3000 y 4000 m en el verano (finales de mayo a agosto), a bordo del B/O Justo Sierra de la UNAM (campañas Sigsbee) y R/V Gyre de TAMU (campañas DGoMB). Las muestras de sedimento se recolectaron en fondos blandos con un nucleador de caja tipo US-NEL y con un nucleador tipo Múltiple (MUC). La macrofauna béntica se extrajo del tamizado a través de 250 μm y 300 μm , se fijaron con etanol al 96% y posteriormente se preservaron con etanol al 70% y se tiñeron con rosa de Bengala.

El promedio de la densidad de la macrofauna béntica más elevada (2071.32 ind.m⁻²) entre los 3000 y 4000 m de profundidad se presentó a los 3500 m y el valor más bajo (711.78 ind.m⁻²) por casi tres veces menor se presentó a 3800 m de profundidad. La densidad promedio a lo largo del tiempo mostró valores mayores de 3819.71 ind.m⁻² en el año 2002 y los valores casi cinco veces menor de 677.33 ind.m⁻² en el año 1999. El análisis de varianza a lo largo del tiempo mostró diferencias significativas (ANOVA $F_{(5,18)}=8.6994$, $p=.00025$) para los seis años analizados. El valor promedio de la densidad para las región Norte (1914.39 ind.m⁻²) mostró valores mayores por casi 2 veces con respecto a la región Sur (1464.72 ind.m⁻²). El valor promedio de la densidad para la región Este, una zona carbonatada con 2157.35 ind.m⁻² mostró valores mayores por casi 2 veces con respecto a la región Oeste, una zona terrígena, de 1527.59 ind.m⁻².

La densidad promedio varió entre 229.33 ind.m⁻² y 4447.83 ind.m⁻² de estación a estación al compararlas espacialmente. Las estaciones S5-E4, E8, S6-E9 ubicadas cerca del Cañón de Campeche y DGoMB- C12, S5 cerca del delta del Mississippi y S6-E15 ubicada en la parte más occidental de la planicie abisal presentaron valores de casi 14 veces mayores a las estaciones S2-E17, E18 ubicadas en la parte suroeste de la planicie abisal del Golfo de México las cuales presentaron los valores de densidad más bajos. Las variaciones espaciales y temporales en la densidad de la macrofauna béntica

en este estudio están relacionados con factores como disponibilidad de alimento para el bentos (concentración de materia orgánica), así como por variaciones en el tipo de sedimento.

Abstract

The present study exhibits the temporal and spatial variation of the benthic macrofauna in the abyssal plains of the Gulf of Mexico. The samples collected in the abyssal Gulf of Mexico (depths 3000 to 4000 m) during eight oceanographic campaigns carried out onboard UNAM's R/V Justo Sierra (Sigsbee 1 to 7) and TAMU's R/V Gyre (DGoMB) from 1997 to 2004. Samples were collected in soft bottoms using US-NEL and MUC corers and sieved with 250 μm y 300 μm mesh size sieves, fixed previously with 96% ethanol. Afterwards, they were preserved in 70% ethanol and were tinted with rose of Flare.

The maxima average density (2071.32 ind.m⁻²) between 3000 y 4000 m was at 3500 m depth and the minimum (711.78 ind.m⁻²) was at 3800 m depth. The temporal average density showed the highest values (3819.71 ind.m⁻²) in the 2002 year while the smallest (five times lower) (677.33 ind.m⁻²) in the 1999 year. There were found significant differences between these years (ANOVA F (5,18)=8.6994, p=0.00025), for the six analyzed years.

Spatially, the average densities in the North region were 1,914.39 ind.m⁻² while the South region presented an average density of 1,464.72 ind.m⁻² (two times higher). Meanwhile, the East region (carbonated zone) with 2,157.35 ind.m⁻² compared with West region (terrigenous zone) with 1527.59 ind.m⁻² (two times higher).

The average density varied from 100 ind.m⁻² to 3760 ind.m⁻² between the different stations. The S5-E4, E8 y S6-E9 stations localized near the Cañón de Campeche and DGoMB- C12 and S5 near the Mississippi delta y the S6-E15 located in the most western part in the plain abisal presents values 14 times higher than the S2-E17 and E-18 stations located in the Southwest part of the plain abisal of the Gulf of Mexico which presented lower density values.

The spatial and temporal variation in the benthic macrofauna of the present study are related with different factors such as food availability for the benthos (organic matter concentration) and variations in the sediment type.

Introducción

Los océanos recubren cerca del 71% de la superficie del planeta, ocupan un volumen de 1380 millones de km³ distribuidos en tres grandes cuencas oceánicas con una profundidad media de 3.8 km (Gage y Taylor 1992).

Alrededor de la periferia de las cuencas oceánicas se encuentra una estructura denominada plataforma continental, la cual varía de tamaño y termina alrededor de los 200 m de profundidad, en donde la vida de las plantas es ausente. Si se acepta este criterio topográfico, se puede decir que el mar profundo inicia con el rompimiento de la plataforma continental (Gage y Taylor 1992).

En el borde de la plataforma continental hay una marcada inclinación de la pendiente que indica el inicio del talud continental. La pendiente con topografía irregular es interrumpida por terrazas o por cañones submarinos (Gage y Taylor 1992). Los cañones son hábitat en donde se presentan concentraciones elevadas de fauna sésil, las cuales se deben principalmente a la ocurrencia de sustratos heterogéneos, cantos, agregados rocosos, bloques carbonatados, así como a la presencia de corrientes intensas que distribuyen la materia orgánica proveniente de la plataforma continental, como es el caso del Golfo de México que contiene al menos veinte cañones. En el sector norte del Golfo cinco han sido explorados (Mississippi, Keathley, Bryant, Alamios y De Soto) mientras que en el sector sur solo el cañón de Campeche ha sido explorado (Escobar 2004). En la base del talud existe una cuña espesa que resulta de la acumulación de sedimento representando la elevación continental. La elevación es mucho mas uniforme que el talud y se extiende hasta profundidades mayores para dar lugar a la planicie abisal (Gage y Taylor 1992).

La planicie abisal, ocupa alrededor del 80% del área oceánica; está constituida por planicies extensas, interrumpida por montes, montañas submarinas y trincheras con una profundidad media de 4 500 m (Lalli *et al.* 1993). La planicie abisal en el Golfo de México es plana, presenta irregularidades topográficas únicas como son los diapiros salinos, los cuales se denominan “montes de Sigsbee”. El sedimento en la planicie abisal es de grano fino, en el que predominan los lodos o oozes del foraminífero *Globigerina* sp. (De la Lanza 1991).

En las regiones abisales la oscuridad es total, los valores de salinidad no difieren mucho de los de las capas intermedias (34-35 ‰), la temperatura es de 1 a 4° C y la presión hidrostática del agua aumenta una atmósfera por cada 10 metros de profundidad (Nybakken 1993). Los organismos más estudiados y por lo anterior aparentemente más abundantes en estas regiones son los organismos bénticos (Castañeda 1996), que pueden definirse como organismos asociados a los fondos marinos. Esta asociación temporal o permanente con el sustrato se presenta a través de actividades como: la bioturbación, horadación, oxigenación y cementación del sedimento. Tales actividades pueden realizarse sobre y dentro del sustrato. Los organismos bénticos que realizan actividades sobre el sustrato se denominan epifauna, la cual está representada por organismos de talla grande y puede ser sésil o errante. Los organismos que realizan actividades dentro del sustrato se denominan endofauna o infauna, la cual está limitada en su movilidad y se caracteriza por tallas pequeñas (Escobar 2004). El bentos es importante dentro del ecosistema marino, por su papel en los procesos primarios y los ciclos biogeoquímicos donde se encuentra vinculado al reciclamiento de materiales en la interfase agua-sedimento (Escobar 2004). Desde el punto de vista de la talla pueden dividirse en: (a) Microbentos, inferiores a 0.062 mm., (b) Meiobentos entre 0.5 y 0.062 mm y (c) Macrobentos mayores a 0.5 mm (Nybakken 1993).

El bentos en la planicie abisal depende de la exportación de materia orgánica o producción del fitoplancton proveniente de la superficie, siendo esta su principal fuente de alimento (Kojima *et al.* 1989). Estudios relacionados con los organismos bénticos han reconocido que la materia orgánica en el sedimento superficial depende de factores diversos como: (a) la profundidad (Rex 1981), (b) la proximidad a la costa y las fuentes de aportes (Relaxans *et al.* 1996), (c) la hidrodinámica (Escobar 2004) y (d) la productividad primaria (Graf 1989). Estos factores generan gradientes ambientales sobre la variación de la densidad de los bentos (Escobar *et al.* 1999). La materia orgánica también puede verse afectada por factores como: la topografía, la textura de los sedimentos, la temperatura y por el tiempo de residencia en la columna de agua (Escobar *et al.* 1997).

Se ha observado en diferentes estudios que los valores de densidad de los organismos disminuyen exponencialmente con la profundidad y con la distancia a la costa (Rowe 1983). Una razón para la disminución de la densidad en el bentos con el incremento de la profundidad es la baja cantidad y calidad de alimento disponible para la comunidad,

ya que a mayor distancia a la costa habrá una baja producción primaria, un alcance del aporte terrígeno menor, y por consiguiente una depositación menor en el fondo.

La productividad puede verse modificada por factores como: irradiación, temperatura y cantidad local de nutrientes (Cognetti 2001). Por ejemplo, en aguas tropicales como son las del Golfo de México, factores como el calentamiento superficial y el aporte de lluvias en verano, producen una baja producción primaria y periodos extensos de estratificación térmica, teniendo como consecuencia suministros bajos de materia orgánica al fondo (Rodríguez 1999).

El tipo de sedimento es otro factor que puede determinar la variación del bentos, de este depende el establecimiento de los organismos ya que ofrece sustrato, protección y fuente de alimento. El tipo de sedimento varía según el tamaño de las partículas, el espacio intersticial, la cantidad de materia orgánica, la concentración de oxígeno disuelto en agua intersticial y la composición química (Gray 1974). La hidrodinámica y el incremento de la profundidad son factores que modifican el tipo de sedimento (Rodríguez 1999).

La importancia de los estudios del bentos a una escala global radica en cuanto a que especies como los corales capturan carbono en sus estructuras centenarias o se atrapa en el sedimento abisal, participando en la regulación del clima y de la concentración de carbono en el planeta (Escobar 2004). Por otro lado, estudios realizados en la región norte del Golfo de México han sido descritos ampliamente, dada la importancia de la exploración petrolera en el talud y en la zona abisal, así como para localizar sitios para el aislamiento de desechos (Escobar *et al.* 1999).

El objetivo de esta tesis es describir la variabilidad espacio-temporal de la densidad de macrofauna béntica en la planicie abisal del Golfo de México entre los 3000 y 4000 m de profundidad.

Dentro del estudio probaremos las dos hipótesis:

(1) Si la densidad de la macrofauna béntica en la planicie abisal del Golfo de México entre los 3000 y 4000 m de profundidad presenta variaciones en tiempo y espacio y (2) si la densidad de la macrofauna béntica en la planicie abisal del Golfo de México entre los 3000 y 4000 m de profundidad es estática.

Para lo cual tendrá como metas:

- (1) Caracterizar la variación batimétrica y espacial de la densidad promedio de la macrofauna béntica en un intervalo de 3000 a 4000 m de profundidad.
- (2) Caracterizar la variación interanual de las densidad promedio de la macrofauna béntica entre seis diferentes años en una misma estación
- (3) Establecer las diferencias de la densidad promedio de la macrofauna béntica entre las regiones Norte y Sur del Golfo de México.
- (4) Establecer las diferencias de la densidad promedio de la macrofauna béntica entre las regiones Este y Oeste del Golfo de México.

Antecedentes

El estudio del mar profundo inicia en el siglo XIX con el viaje de circunnavegación del Challenger (Escobar *et al.* 1993). Este estudio intentó caracterizar el ambiente marino a partir de los patrones de distribución y composición de la fauna y elementos ambientales. La expedición Challenger identificó 4717 nuevas especies, determinó la profundidad en 492 estaciones, y estableció la profundidad de la trinchera de las islas Marianas de 8185 metros (Vegas 1971). Los países escandinavos y del norte de Europa fueron los que continuaron los estudios del mar profundo en este siglo. A partir del Primer Congreso Oceanográfico Internacional de 1959, Estados Unidos dio un aumento 10 veces mayor de presupuesto a los estudios del mar profundo, que en tan solo una década conllevó a cambios significativos en conceptos y conocimiento del mar profundo (Escobar *et al.* 1993). Desde entonces se han realizado varios estudios en todo el mundo, recientemente encontramos estudios de los que podemos reconocer el de Smith (1998) con resultados de observaciones a largo plazo en una sola localidad abisal en el Noroeste del Pacífico subtropical cuya variabilidad se relaciona a los cambios en corrientes, la productividad primaria superficial y la materia orgánica exportada al fondo. El estudio de Cosson *et al.* (1997) comparó tres zonas batimétricas con diferentes condiciones tróficas en el noreste del Atlántico tropical registrando la mayor densidad en la zona eutrófica (5403 ind.m⁻²) y la menor densidad (231.50 ind.m⁻²) en la zona oligotrófica. Esta variabilidad la atribuyeron a la productividad superficial y su exportación al fondo, así mismo Parulekar *et al.* (1982) reconoce altos valores de abundancia y biomasa de la meiofauna y la macrofauna en la planicie abisal del océano Índico como consecuencia de una alta producción orgánica en la zona eufótica. El trabajo de Borowski (2001) en la cuenca de Perú Pacífico sureste mostró el efecto de las perturbaciones en las comunidades macrobénticas y en particular al cambio de los poliquetos por tres años. El trabajo de Carey (1981) mostró diferencias significativas en la abundancia de la macrofauna béntica entre dos planicies abisales del noreste del océano Pacífico, sugiriendo que la cantidad y calidad del alimento, así como la composición del sedimento difieren entre los dos sitios causando cambios adaptativos en la composición de las especies, así mismo reconoció un decremento en la biomasa de los organismos con respecto a la profundidad y a la distancia a la costa, lo cual lo

atribuyó a la variación de la entrada de la materia orgánica y a diferencias en el transporte de partículas orgánicas provenientes de la plataforma continental.

Los primeros estudios en los fondos marinos del Golfo México se iniciaron por investigadores norteamericanos en la década de los sesentas. Estas investigaciones continuaron por investigadores mexicanos en la segunda mitad de la década de los noventas, encabezados por investigadores del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (UNAM) con proyectos relacionados a la investigación de los bentos en la Zona Económica Exclusiva del Golfo de México (Escobar *et al.* 1995). Entre los estudios antedecentes a este esfuerzo se citan el de Rowe y Menzel (1971) quienes observaron una disminución de la biomasa infaunal (expresada en términos de peso húmedo, peso seco y carbono orgánico) así como en la densidad con respecto a la profundidad. Estos resultados sugirieron una pérdida de energía a lo largo de la columna de agua. La tesis de López (1996) se abocó a fauna de talla menor, la meiofauna, y reconoció diferencias en la composición taxonómica entre los valores reconocidos en los sectores occidental (terrígeno) y sur (carbonatado) del Golfo de México, también analiza los patrones de distribución de la densidad y la biomasa. En este grupo de talla, Salas (2001) analizó el patrón de distribución de la biomasa y densidad de la meiofauna a lo largo del gradiente batimétrico (21 a 2230 m) en el suroeste del Golfo de México, en el plano espacial reconoció variación de los promedios de densidad y biomasa de este a oeste, vinculándolo a la producción local de la superficie y su contribución al fondo, así como a lo largo del gradiente latitudinal.

En trabajos registrados sobre la macrofauna en el Golfo de México se encuentra el de Castañeda (1996) quien compara las densidades de la macrofauna béntica en dos zonas del Golfo de México (zona terrígena y zona carbonatada), observando una densidad media casi tres veces mayor en la zona carbonatada que en la zona terrígena, esto lo atribuye a la gran variedad de ambientes que se pueden generar en la zona carbonatada debido a una variabilidad de tamaño de grano, lo cual confiere un mayor espacio intersticial, dando lugar a diversos organismos, con diferentes actividades alimenticias, así como tolerancia a condiciones de oxigenación. Trabajos como los de Hernández (1999), Rodríguez (1999), Muñiz (2001) y Rodríguez (2003) reconocen un decremento de la densidad de macrofauna béntica conforme incrementa la profundidad, asociándolo a la hidrodinámica, a la disponibilidad de alimento, a condiciones de hipoxia, a interacciones con la meiofauna, y al tipo de sedimento. En otros estudios

también se ha observado un disminución de la densidad con la profundidad y con respecto a la distancia de la costa, entre los que podemos nombrar el estudio de Velázquez (2005) que compara las densidades en relación con la profundidad y la distancia a la costa, encontrando un patrón parabólico con la distancia a la costa observando los valores más bajos en la distancia intermedia lo que concuerda con los trabajos realizados por Witte, (2000) y Parulekar (1982), (citados en Velásquez 2005) que observaron que a mayor distancia de la costa y mayor profundidad la materia orgánica disminuye y genera cambios en la densidad y biomasa de la comunidad bentónica; por lo que la alta densidad de la macrofauna, la relaciona con la exportación lateral de materia particulada en la proximidad del margen continental aunado a elevadas tasas de sedimentación y el de Estrada (2004) que observa valores mayores en la plataforma continental y a menor profundidad y valores menores lejos de la plataforma y a mayor profundidad, esta disminución de densidad la atribuyó a patrones de variabilidad geográficos que se han atribuido a la disminución de alimento, a la hidrodinámica, a condiciones de hipoxia y a condiciones biológicas.

Área de estudio

El Golfo de México es un mar marginal, parcialmente conectado con el Océano Atlántico a través del estrecho de Florida y con el Mar Caribe a través del canal de Yucatán (Caso *et al.* 2004). El Golfo de México (Figura 1) posee un ancho de 1600 km. de este-oeste y un largo de norte-sur de 900 a 1300 km, siendo menor en las porciones central y oriental y mayor en la porción occidental. Tiene una superficie de 1.6 millones de km.² y un volumen de aproximadamente 2.3 millones de km³ (Monreal-Gomez *et al.* 2004). El sector norte de la cuenca del Golfo de México es territorio norteamericano; mientras que el sector sur corresponde a la zona económica exclusiva de México y en la parte central se encuentra la profundidad mayor del Golfo de México que alcanza 3750 m (Salvador 2001).

El Golfo de México en la parte occidental al canal de Yucatán presenta una plataforma continental angosta de 2 km. Al norte de la Península de Yucatán la plataforma continental es muy extensa de casi 250 km formando el Banco de Campeche, el cual está bien definido desde la parte oriental de la Laguna de Términos hasta Isla Mujeres y es limitado con un talud muy pronunciado excepto en la zona del cañón de Campeche. En cambio la plataforma, frente a Veracruz y Tamaulipas es estrecha y hacia el norte se ensancha frente a las costas de Texas-Louisiana, continuando con esas dimensiones hasta Florida (Monreal-Gomez *et al.* 2004).

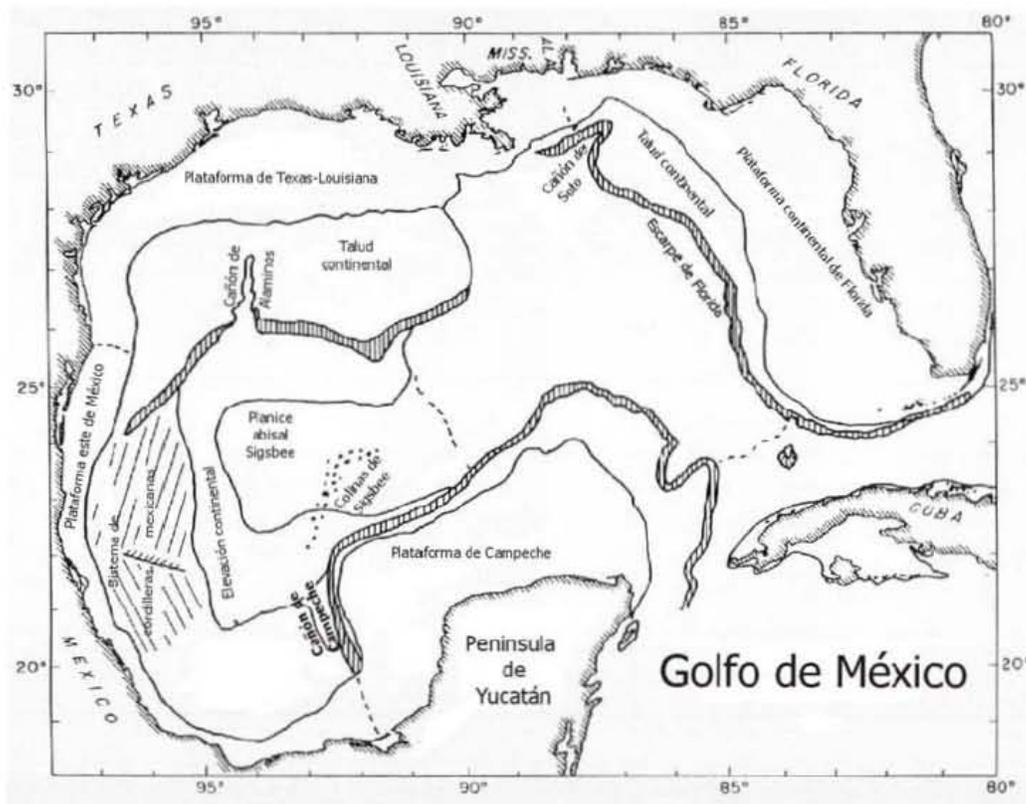


Figura. 1 Mapa del Golfo México, representando su topografía.
Tomado de Bouma (1972).

Geología y Sedimentología

El Golfo de México fisiográficamente, está dividido en dos zonas, una zona terrígena al oeste y una zona carbonatada al este (Uchupi 1975).

La zona terrígena esta formada por lodos terrígenos, los cuales son transportados por una gran cantidad de ríos que desembocan en el margen continental occidental desde el cañón de Campeche hasta el escarpe de Florida en sentido de las manecillas (Pica et al. 1991).

En la zona carbonatada el tipo de sedimento se modifica hacia el oeste del Golfo. Bouma (1972) y Lecuanda y Ramos (1985) describieron la presencia de sedimentos finos de tipo terrígeno en el noroeste del Golfo que se distribuyen con los sedimentos de

tipo biogénico; en las partes someras, sedimentos limosos y carbonatados evidencian la influencia de comunidades arrecifales.

Antoine (1972) dividió al golfo en siete provincias con características geológicas únicas (Figura 2). Las estaciones de muestreo del presente estudio se localizan en la primera provincia, ubicada en el centro del Golfo de México, la cual está conformada en tres regiones: la elevación continental, la planicie abisal Sigsbee, el abanico del Mississippi.

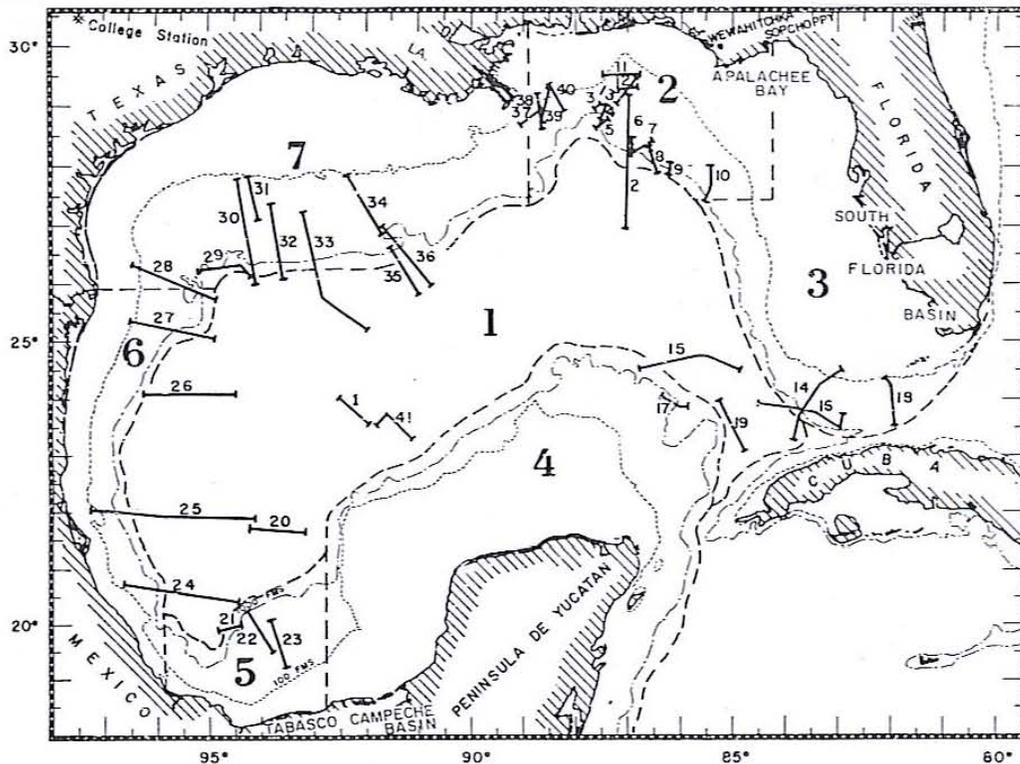


Figura 2. Mapa de las siete provincias geológicas en el Golfo de México: (1) Centro del Golfo de México, (2) Noreste del Golfo de México, (3) Sur de la plataforma y talud continental de Florida, (4) Banco de Campeche, (5) Bahía de Campeche, (6) Este de la plataforma y talud continental del Golfo de México, (7) Norte del Golfo de México.

Tomada de Antoine (1972).

La elevación continental se localiza entre el escarpe de Sigsbee al norte y la base plana de la cuenca al sur. La elevación presenta sedimentos transportados del norte desde el río Mississippi hacia la planicie. La falta de entrada de sedimento a la cuenca por el sur y este es evidente por la falta de marcadas elevaciones (Antoine 1972). La planicie

abisal Sigsbee es plana. Las únicas irregularidades topográficas en esta área son los diapiros salinos (Antoine 1972) los cuales se distribuyen en dirección sur y suroeste hacia el banco de Campeche y son denominados montes de Sigsbee (Uchupi 1975). Los sedimentos superficiales de los montes de Sigsbee están constituidos de lodos pelágicos y hemipelágicos, conformados por foraminíferos y turbiditas (Bryant *et al.* 1991).

Los aportes principales de sedimento terrígeno provienen de los ríos Bravo y Mississippi (Bryant *et al.* 1991) que se caracterizan por un contenido del 25% de carbonatos (Bouma 1972). La planicie abisal Sigsbee está delimitada en la porción más central y profunda por la isobata de 3600 m, la cual presenta dos localidades profundas, una de ellas es de 3735 m y la otra es de 3741 m. Esta cuenca tiene como frontera al sur el escarpe de Campeche al norte el escarpe de Sigsbee, al oeste la elevación continental occidental y al este el escarpe de Florida (De la Lanza 1991).

El abanico del Mississippi se extiende desde la plataforma continental de Louisiana hasta las profundidades abisales. El abanico está delimitado al este por la plataforma carbonatada de Florida y por la elevación continental norte, este y oeste de Texas-Louisiana-Florida. La porción más profunda del abanico colinda al sureste de la llanura de Florida con el suroeste de la planicie abisal (Bryant *et al.* 1991).

La figura 3 ilustra las estaciones de muestreo del presente estudio que se ubican entre los 3000 y 4000 m de profundidad.

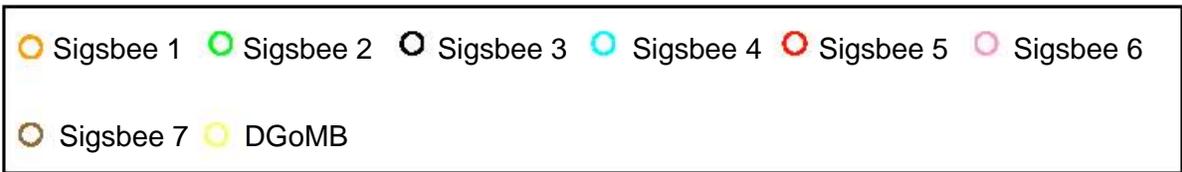
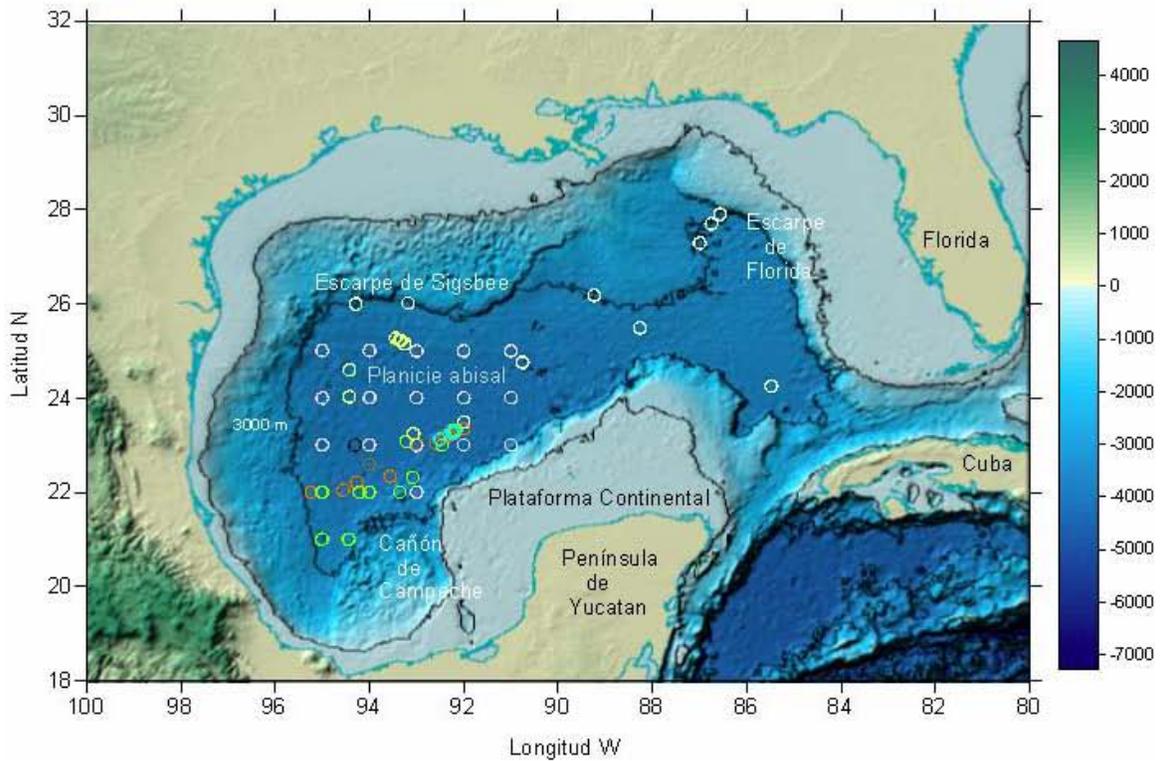


Figura 3. Mapa del Golfo de México con las estaciones del área de estudio. Círculos de colores en recuadro identifican cada campaña oceanográfica.

Condiciones Hidrográficas

En el Canal de Yucatán confluyen diferentes masas de agua, las cuales entran al Golfo de México a diferentes profundidades: el Agua Subtropical Subsuperficial del Caribe (AStSsC) que se encuentra en la capa superior, el Agua Intermedia Atlántica (AIA) que se encuentra a mayor profundidad y en la capa de fondo se encuentra el Agua Profunda Noratlántica (APNA). Sin embargo, el Agua Subtropical Subsuperficial del Caribe

(AStSsC) puede transformarse debido a la mezcla convectiva y dar origen a dos nuevas masas de agua; el Agua Subtropical Subsuperficial del Golfo de México (AStSsGM) y el Agua Común del Golfo (ACGM) (Monreal-Gómez *et al.* 2004).

El AStSsC tiene valores de temperatura y salinidad alrededor de 22.50 °C y 36.60 respectivamente (Monreal-Gómez *et al.* 2004). También esta AStSsC presenta la salinidad máxima en el perfil vertical de las aguas del Golfo y se caracteriza por presentar un contenido bajo de oxígeno (De la Lanza 1991).

El AStSsGM se forma adentro del Golfo durante el invierno, cuando el paso de los frentes fríos atmosféricos producen una mezcla convectiva en la capa de los 200 m, provocando disminución en la salinidad y pérdida de calor con valores de temperatura y salinidad alrededor de 22 °C y 36.40 (Monreal-Gómez *et al.* 2004). El Agua Común del Golfo, se forma por la colisión del giro anticiclónico con el talud y la plataforma continental de Tamaulipas (Vidal *et al.* 1992, Vidal *et al.* 1994). El ACGM presenta una salinidad y temperatura alrededor de 36.40 y 22.5 °C respectivamente, y conforma el 4.83% del agua en el Golfo de México (Monreal-Gómez *et al.* 2004). El Agua Intermedia Atlántica (AIA) se origina en el límite ente los frentes polares antárticos; después de formarse viaja hacia el norte cerca del talud continental del Atlántico occidental. Esta masa de agua se identifica por el mínimo de salinidad en el Golfo, con temperaturas de 6.1-6.3 °C y salinidades entre 34.86 y 34.89 (Monreal-Gómez *et al.* 2004). El volumen del AIA conforma el 73.71% del agua del Golfo de México (Monreal-Gómez *et al.* 2004). La formación del APNA tiene lugar principalmente en latitudes altas, donde el agua de alta densidad se hunde y llena el fondo de las cuencas con aguas frías. (Monreal-Gómez *et al.* 2004). Esta masa de agua presenta temperaturas de 4°C y 34.96 de salinidad (De la Lanza 1991). El Agua Subtropical Subsuperficial del Caribe entra a través del Canal de Yucatán con movimiento en sentido de las manecillas del reloj (anticiclónicamente), hasta el estrecho de Florida (Monreal-Gómez *et al.* 2004) dando origen a la Corriente de Lazo.

La circulación de mayor escala en el golfo se caracteriza por la Corriente de Lazo que une la Corriente de Yucatán con la Corriente de Florida, por un gran giro anticiclónico que se desprende de la corriente de Lazo y viaja hacia el oeste como una onda de Rossby, con una velocidad de traslación de 2.1 a 4 km día⁻¹ (Johnson *et al.* 1992), alcanzando la frontera oeste del Golfo al cabo de varios meses. En su desplazamiento

sufre cambios en tamaño y forma debido a la disipación y dispersión de energía, por lo que el giro anticiclónico en el oeste es considerado como un remanente de aquel que se desprende de la Corriente de Lazo (Monreal-Gómez *et al.* 2004) y por la corriente de frontera oeste que se forma tanto por el viento como por el flujo a través del canal de Yucatán, esta corriente es muy intensa hacia el norte en la costa oeste del Golfo de México (Monreal-Gómez *et al.* 2004). Además de esas características semipermanentes existen zonas grandes donde se presentan giros ciclónicos con diámetros de aproximadamente 150 km como ocurre en la plataforma continental de Texas-Louisiana (Cochrane y Nelly 1986, Hamilton 1992), la plataforma oeste de Florida y en la Bahía de Campeche (Monreal-Gómez y Salas 1990). Se han propuesto varios mecanismos de formación de dichos giros, entre otros, el rotacional ciclónico del esfuerzo del viento (Vázquez de la Cerda 1979), el encuentro de los giros anticiclónicos con el talud continental en el oeste del Golfo (Smith 1986, Vidal *et al.* 1994), la formación del gran giro anticiclónico y la geometría de la costa (Monreal-Gómez *et al.* 2004).

En las capas profundas existen un par de giros ciclón-anticlón por cada anillo anticiclónico que se desprende de la Corriente de Lazo teniendo mayores velocidades de migración que los anillos superficiales de la Corriente de Lazo (Sturges *et al.* 1993). Un factor determinante en la migración de los giros ciclón-anticlón en la parte central del Golfo de México es la batimetría del fondo. Existe un pasaje somero de la isobata de 3000 m que conecta las dos porciones mas profundas ubicadas en el este y en el oeste-centro. Cuando el anillo anticiclónico migra arriba de este pasaje, el par de giros profundos ciclón-anticlón se constriñe en dirección norte-sur, con el giro anticiclónico como encabezado. Dentro de la cuenca central de la planicie abisal el par de giros ciclón-anticlón se reforma con el fortalecimiento del ciclónico con respecto al anticiclónico, dominando el giro ciclónico la circulación profunda del lado oeste. Las velocidades máximas de los giros varían de 10 a 21 $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ a los 1650 y 2250 m de profundidad. En la Sonda de Campeche y en los montes de Sigsbee la velocidad de los giros es mayor debido a la fricción con las formaciones del fondo oceánico. La formación y migración del par de giros ciclón-anticlón profundos y su interacción con la topografía del suelo oceánico provén un mecanismo de ventilación a aguas mas someras (Welsh e Inoue 2000).

La circulación profunda se ha estudiado pobremente, sin embargo, se ha calculado que el tiempo de residencia de la circulación en la planicie es de unos 350 ± 100 años

(Broecker *et al.* 1961). Las aguas profundas en México se encuentran bien oxigenadas, ya que se originan del hundimiento de aguas superficiales subpolares en latitudes altas; su rápido descenso y el escaso aprovechamiento en el fondo marino permiten un contenido elevado de oxígeno disuelto, el cual varía en un gradiente de oeste a este con 4.2 mL^{-1} a 5 mL^{-1} (De la Lanza 1991, Escobar 2000).

El Golfo de México se reconoce como una cuenca oligotrófica que presenta estacionalidad. La mayor productividad primaria es presentada cuando existe mezcla en la columna de agua asociada a los nortes o tormentas de invierno (Escobar *et al.* 1997). El Golfo de México presenta una estratificación muy marcada, con valores de clorofila representados como carbono $>0.06 \text{ gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$ durante los meses de mayo a agosto y $>0.18\text{gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$ durante los meses de octubre a marzo (Müller-Kärger *et al.* 1991).

El carbono de origen biogénico es exportado por debajo de la capa eufótica hacia el talud y la planicie abisal y se ve limitado por una barrera de estratificación vertical de la salinidad y temperatura (Monreal-Gomez *et al.* 1997), la tasa de hundimiento del carbono biogénico alcanza 80 md^{-1} (Diercks y Asper 1997).

Material y métodos

Trabajo de campo

Las muestras se recolectaron durante ocho campañas oceanográficas realizadas en diferentes años entre 1997 y 2004 durante el verano entre finales de mayo a agosto, a bordo del B/O Justo Sierra de la UNAM en el caso de las campañas Sigsbee y a bordo del R/V Gyre de TAMU en el caso de las campañas DGoMB (Tabla 1). Las muestras provienen de recolectas realizadas en la planicie abisal entre los 3000 y 4000m de profundidad.

Campaña Oceanográfica	Año	Estación	Réplicas	Latitud N	Longitud W	Profundidad	Nucleador
Sigsbee 1	1997	7	3	24°03.14'	94°42.99'	3,760	US-NEL
		8	4	23°24.10'	93°07.15'	3,760	US-NEL
		9.1	3	25°15.50'	93°25.12'	3,600	US-NEL
		9.2	3	25°15.14'	93°26.15'	3,620	US-NEL
		9.3	3	25°22.34'	93°33.84'	3,635	US-NEL
		9.4	3	25°23.17'	93°37.12'	3,650	US-NEL
		9.5	3	25°27'30"	93°45.15'	3,690	US-NEL
		10	3	42°59.84'	94°42.99'	3,700	US-NEL
Sigsbee 2	1999	10	3	20°58.87'	95°01.01'	3360	US-NEL
		11	3	20°59.59'	94°30.69'	3300	US-NEL
		12	3	21°30.52'	94°00.62'	3290	US-NEL
		13	3	21°59.47'	93°36.17'	3300	US-NEL
		14	3	22°31.65'	93°08.70'	3600	US-NEL
		15	3	23°00.62'	92°46.32'	3780	US-NEL
		16	3	23°32.09'	92°17.22'	3795	US-NEL
		17	3	23°08.06'	93°22.44'	3730	US-NEL
		18	3	22°00.27'	94°21.79'	3750	US-NEL
19	3	22°00.27'	95°15.67'	3200	US-NEL		
Sigsbee 3	2000	14	3	23°00.00'	94°31.00'	3720	US-NEL
Sigsbee 4	2001	3	10	23°30.84'	92°17.25'	3787	US-NEL
		4	10	23°27.24'	92°20.40'	3880	US-NEL
		5	10	23°24.60'	92°24.15'	3795	US-NEL
		6	10	23°30.52'	92°26.34'	3880	US-NEL
		7	10	23°12.50'	92°50.97'	3830	US-NEL
Sigsbee 5	2002	1	3	23°34.84'	92°01.07'	3710	US-NEL
		2	3	23°30.27'	92°17.72'	3740	US-NEL
		3	3	23°20.53'	92°30.84'	3720	US-NEL
		4	3	23°04.39'	92°59.98	3720	Múltiple
		5	3	22°49.42'	93°27.70'	3720	US-NEL
		6	3	22°34.39'	93°56.59	3700	US-NEL
		7	3	22°21.43'	94°27.05'	3660	Múltiple

Campana Oceanográfica	Año	Estación	Réplicas	Latitud N	Longitud W	Profundidad	Nucleador
Sigsbee 5	2002	8	3	22°04.85'	94°56.19'	3420	US-NEL
		9	3	21°51.29'	95°23.75'	3000	US-NEL
Sigsbee 6	2003	1	3	25°00.11`	91°00.53`	3600	Múltiple
		2	4	24°00.94`	91°00.15`	3710	Múltiple
		3	5	23°00.55`	91°00.46`	3718	Múltiple
		4	5	23°00.86`	92°00.92`	3739	Múltiple
		5	5	24°00.73`	92°00.39`	3700	Múltiple
		6	5	25°00.16`	92°00.53`	3542	Múltiple
		7	5	25°00.03`	93°00.24`	3634	Múltiple
		8	5	24°00.84`	93°00.83`	3736	Múltiple
		9	5	23°00.09`	93°00.75`	3744	Múltiple
		10	5	23°00.86`	94°00.87`	3742	Múltiple
		11	5	24°00.93`	94°00.11`	3740	Múltiple
		12	5	25°00.83`	94°00.24`	3698	Múltiple
		13	5	25°00.96`	95°00.49`	3578	Múltiple
		14	5	24°00.15`	95°00.41`	3575	Múltiple
		15	5	23°00.72`	95°00.37`	3560	Múltiple
		16	5	22°00.21`	94°00.38`	3564	Múltiple
		16-bis	5	22°00.64`	93°00.59`	3326	Múltiple
Sigsbee 7	2004	1	4	23°04.00'	93°00.00'	3740	Múltiple
		2	4	23°11.93'	92°50.48'	3732	Múltiple
		3	4	23°21.46'	92°40.28'	3664	Múltiple
		4	4	23°21.35'	92°41.89'	3651	Múltiple
		5	4	23°19.68'	92°39.98'	3654	Múltiple
		6	4	22°59.15'	94°01.08'	3734	Múltiple
DGoMB	2000	C12	5	26°00.80`	89°24.07`	3000	US-NEL
		RW6	5	25°85.92`	94°49.44`	3010	US-NEL
		S39	5	27°49.06`	86°90.93`	3001	US-NEL
		S40	5	27°50.72`	86°75.19`	3000	US-NEL
		S41	5	27°01.50`	86°57.13`	3000	US-NEL
		W6	5	26°00.55`	93°31.20`	3146	US-NEL
		S41	3	27°50.43`	86°57.66`	3000	US-NEL
		S1	10	25°00.60`	92°00.65`	3523	US-NEL
		S2	8	23°49.23`	92°00.37`	3731	US-NEL
		S3	2	24°75.53`	90°75.49`	3670	US-NEL
		S4	10	24°25.07`	85°48.37`	3497	US-NEL
		S5	9	25°48.90`	88°27.03`	3315	US-NEL
		jssd3	6	24°75.76`	90°76.20`	3672	US-NEL

Tabla 1. Profundidad, latitud y longitud de las estaciones muestreadas en la planicie abisal del Golfo de México de las 8 campañas oceanográficas.

Las muestras de sedimento se recolectaron en fondos blandos en las campañas oceanográficas Sigsbee 1, 2, 3, 4, 5 y DGoMB con un nucleador de caja tipo US-NEL. Este nucleador para las campañas oceanográficas Sigsbee 1, 2, 3, 4 cubrió un área inicial de 0.25 m² el cual a su vez se dividió en cuatro cuadrantes. Cada cuadrante representó una réplica de sedimento que cubrió un área de 0.0625 m². Para la campaña oceanográfica Sigsbee 5 y la estación 10 de la campaña Sigsbee 1 el nucleador de caja tipo US-NEL cubrió un área de 0.16m², el cual a su vez se dividió en tres cuadrantes, en este caso cada cuadrante representó una réplica de sedimento que cubrió un área de 0.04 m². Para la campaña oceanográfica DGoMB, el nucleador de caja tipo US-NEL cubrió un área inicial de 0.2 m², el cual a su vez se dividió en ocho cuadrantes. Cada cuadrante representó una submuestra, cinco de las submuestras cubrieron un área de 0.036 m², dos de las submuestras cubrieron un área 0.024 m² y la última submuestra cubrió un área de 0.185 m² en las estaciones C12, RW6, S39, S40, S41a, S41b y 0.172 m² para las estaciones S1, S2, S3, S4, S5, JSSD3. En esta campaña se denominaron réplicas al número de veces que el nucleador de caja fue arrojado al mar en cada estación. Las muestras de sedimento en las campañas oceanográficas Sigsbee 5 (E4, E7), Sigsbee 6 y Sigsbee 7 se obtuvieron en fondos blandos con un nucleador tipo Múltiple (MUC). Este nucleador cuenta con 12 núcleos independientes aquí llamados réplicas. Cada réplica cubrió un área de 0.007854m².

En todos los casos el sedimento obtenido se tamizó a bordo. Las mallas a través de las cuales se tamizaron las réplicas fueron de 250 μm de abertura para las campañas Sigsbee 1, 2, 3, 6, 7 y 300 μm para las campañas Sigsbee 5 y DGoMB, en la campaña Sigsbee 4 se utilizaron los dos tipos de abertura de 250 μm y 300 μm para retener únicamente la macrofauna béntica y reconocer la eficiencia de retención de estas dos aberturas de tamiz. El sedimento retenido en los tamices junto con organismos se preservó con etanol al 96% enfriado a 4°C, en frascos previamente etiquetados con el nombre de la campaña, estación y número de réplica. Cada muestra de sedimento incluyó tinción vital Rosa de Bengala para facilitar posteriormente la separación de los organismos en el laboratorio.

En cada una de las estaciones de muestreo de las campañas oceanográficas se realizó el registro en tiempo real de la temperatura y la salinidad en agua de fondo adicionalmente a toda la columna de agua usando para ello una sonda CTD Neil Brown. Así mismo se tomaron muestras de agua de fondo con la rossette para determinar la concentración del oxígeno disuelto por medio del oxímetro YSI con precisión de (0.1 mg.L^{-1}) y la concentración de pigmentos, así también en cada estación se tomaron muestras para describir los factores ambientales del sedimento mismo, como tamaño de grano, porcentaje de nitrógeno, carbono, materia orgánica, pH y la concentración de pigmentos, todas estas muestras se congelaron para su posterior procesamiento en el laboratorio. Toda la información generada de las mediciones se documentó a bordo en bitácoras de campo.

Trabajo de laboratorio

En el laboratorio las muestras de macrofauna béntica retenidas por el tamiz se enjuagaron con agua dulce para quitar el exceso de etanol. Una vez enjuagadas, se analizaron bajo el microscopio estereoscópico con un nivel de resolución de 120 aumentos ($12 \times 10\times$ del ocular). Los organismos encontrados se separaron, identificaron a nivel de Phylum, Subphylum, Clase u Orden, basados en la clasificación propuesta por Brusca y Brusca (1990). Cada organismo se cuantificó y la información se registró en bitácoras, este valor se denominó abundancia. Posteriormente los ejemplares extraídos se colocaron en viales se etiquetaron (campaña oceanográfica, estación y réplica) y postfijaron con etanol al 70%.

El análisis del tamaño del grano en el sedimento se realizó con un equipo Particle Sizer Analysette 20 Sedimentograph por medio del método de fotoextinción. Este método mide el grado de atenuación de un rayo de luz monocromático provocado por las partículas en suspensión en una columna de sedimentación. El equipo se ajustó a una densidad de 2.71, que corresponde a sedimentos de origen carbonatado. Para lo anterior se tomó un gramo de sedimento superficial al que se le agregó 50 mL de agua destilada, se sonicó durante 5 minutos para disgregar el sedimento y posteriormente se vació en la cubeta de lectura (200 mL) con agua destilada. En cada caso se realizó la medida de un blanco, consistente en agua destilada; después el sedimento se colocó en suspensión hasta obtener entre 55% y 70% de saturación de sedimento resuspendido, medido y se obtuvo la lectura, que proporcionó el tamaño de las partículas en micras

(μm) en aproximadamente 1 minuto. Posteriormente se obtuvo el equivalente del valor phi (ϕ), basado en la escala de Wentworth (Tabla 2) para la conversión de micras a phi, clasificándose como arenas, arcillas o limos y se estimó su contribución en por ciento.

Tamaño de grano mm.	Escala phi (ϕ)	Tipo de Sedimento
256	-8	Guijarro
64	-6	Guijarro
16	-4	Grava
4	-2	Grava
2	-1	Gránulos
1	0	Arena muy gruesa
0.5	1	Arena gruesa
0.25	2	Arena mediana
0.125	3	Arena fina
0.0625	4	Arena muy fina
0.031	5	Limos gruesos
0.0039	8	Limos
0.002	9	Limos
0.00006	14	Arcillas

Tabla 2. Clasificación del tamaño de grano tomado de Gray (1981)

Para el análisis de carbono y nitrógeno orgánico, el sedimento se descongeló a temperatura ambiente en el laboratorio. Se colocó en cápsulas de porcelana, posteriormente se acidularon con una solución de HCl 0.2 N para eliminar el exceso de carbonatos, para evitar medir el carbono inorgánico. Después se enjuagó con agua bidestilada para eliminar el exceso de ácido. A cada muestra se le dejó evaporar a temperatura ambiente en una campana de evaporación. Posteriormente se tamizaron y se homogenizaron a través de una malla de 0.25 mm. Se colocó el sedimento en viales de vidrio debidamente etiquetados para el análisis elemental. El porcentaje de carbono y nitrógeno orgánico se determinó por triplicado en un analizador elemental FISIONS modelo EA1108 siguiendo la técnica de Pella (1990). El contenido de materia orgánica se obtuvo con base en el protocolo y constantes para la conversión a partir del porcentaje de nitrógeno orgánico propuestas por Stetson y Trask (1953)

Para evaluar la clorofila “a” en sedimento, las muestras se descongelaron a temperatura ambiente en el laboratorio. Una vez descongeladas se agregó a 17 mL de sedimento de muestra, 10 mL de acetona al 90% para extraer los pigmentos. Los tubos se mantuvieron en oscuridad a 4°C, no rebasando 24 horas, para evitar la degradación de

la clorofila "a". Se procedió a centrifugar cada muestra a 1700 r.p.m. durante 15 minutos. Posteriormente se tomó el sobrenadante con una pipeta y se colocó éste en cubetas de 15 mL para tomar lectura en un fluorómetro de mesa 10-AU Turner Designs, en el fluorómetro se analizaron las muestras vía fluorescencia a 680 nm, para obtener valores totales de clorofila "a" expresados en $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ (Arar y Collins 1997). Se procedió a hacer diluciones en el caso de muestras que presentaron concentraciones elevadas y fuera del intervalo del fluorómetro. Por lo que la concentración de clorofila se obtuvo recalculando los valores. Al valor registrado en el fluorómetro se le restó el valor del blanco (acetona 90%); este valor se multiplicó por el factor de dilución. El resultado se multiplicó por el volumen final del extracto con acetona. Finalmente se expresó la concentración de clorofila en $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ considerando el número de diluciones (Estrada 2004).

Tratamiento de datos

Los valores de abundancia registrados en las bitácoras se vaciaron en hojas de cálculo en el programa Excel, posteriormente y con objeto de uniformizar la información los datos de abundancia se transformaron a datos de densidad $\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$. La densidad se calculó a partir del número de individuos (por taxa) encontrados en cada réplica con un área inicial de 0.0625 m^2 en el caso de la campañas oceanográficas 1, 2, 3 y 4, 0.04 m^2 en el caso de las campañas oceanográficas 5 y la estación 10 de la campaña 1, 0.007854 m^2 en el caso de la campañas oceanográficas 6 y 7 y 0.185 m^2 para las estaciones C12, RW6, S39, S40, S41a, S41b y 0.172 m^2 para las estaciones S1, S2, S3, S4, S5, JSSD3 en el caso de la campaña oceanográfica DGoMB.

El promedio y la desviación estándar de la densidad para cada estación se calcularon a partir del número de réplicas de cada campaña oceanográfica. Para cada campaña se elaboró una tabla con la densidad promedio y la desviación estándar obtenida a partir de las réplicas.

Variación de la densidad en un intervalo de 3000 a 4000 m de profundidad.

Para evaluar esta variación se realizó una tabla en el programa EXCEL donde se agruparon los valores de la densidad promedio de las estaciones muestreadas en cinco intervalos de profundidad de 3000 a 3300, 3301 a 3500, 3501 a 3600, 3601 a 3700 y de

3701 a 3800 metros de profundidad. Con la tabla en EXCEL se realizó una prueba de ANOVA de una vía en el programa STATISTICA 6 para Windows para conocer diferencias significativas entre las densidades promedio de las estaciones de cada intervalo de profundidad. Así mismo se realizó una grafica de tallo y hoja en el programa STATISTICA 6, que permitió observar gráficamente las diferencias de los valores de densidad entre los diferentes intervalos de profundidad. La prueba de similitud de Tukey se aplicó para conocer la similitud de los valores de densidad entre los diferentes intervalos de profundidad.

Variación de la densidad en tiempo.

Los valores de densidad promedio de la macrofauna béntica muestreados en el mismo sitio se agruparon por años (1997,1999, 2001, 2002, 2003 y 2004) en una tabla con coordenadas latitud y longitud, con la campaña oceanográfica y con la densidad promedio correspondiente y se realizó un análisis de varianza para evaluar la significancia entre las diferencias temporales de la densidad. La gráfica de tallo y hoja en el programa STATISTICA 6 permitió observar gráficamente las diferencias. Los valores de esta tabla permitieron elaborar un mapa en el programa de Surfer 8, que mostró las densidades representadas en círculos de diferentes tamaños para cada año.

Variación de la densidad Norte y Sur

Se realizó una tabla donde se agruparon las densidades promedio por región. La región Norte del Golfo de México y la región Sur del Golfo de México delimitadas en los 25° N.. La prueba de ANOVA de una vía en el programa STATISTICA 6 permitió establecer diferencias significativas entre las dos regiones del Golfo de México. Una gráfica de tallo y hoja en el programa STATISTICA 6 reconoció gráficamente las diferencias entre las dos regiones. La prueba de similitud de Tukey se aplicó para conocer el porcentaje de similitud entre las dos regiones del Golfo de México.

Variación de la densidad Este y Oeste

Se realizó una tabla donde se agruparon las densidades promedios por región. La región Este y Oeste del Golfo de México delimitadas en los 90° de longitud. La prueba de ANOVA de una vía en el programa STATISTICA 6 permitió establecer diferencias significativas entre las dos regiones del Golfo de México. Una gráfica de tallo y hoja en

el programa STATISTICA 6 reconoció gráficamente las diferencias entre las dos regiones. La prueba de similitud de Tukey se aplicó para conocer el porcentaje de similitud entre las dos regiones del Golfo de México.

Variación espacial de la densidad

La densidad promedio de cada estación permitió evaluar las diferencias espaciales significativas entre las localidades, aplicando una prueba de ANOVA con el programa STATISTICA 6. La gráfica de tallo y hoja reconoció gráficamente las diferencias entre las estaciones. Se elaboró una tabla con coordenadas latitud y longitud, con las estaciones y con la densidad promedio correspondiente, la cual nos ayudó a elaborar un mapa en el programa de Surfer 8. El mapa mostró las densidades representadas en círculos de diferentes tamaños definidos por los valores de densidad y con diferentes colores dependiendo de cada campaña. La distribución de las estaciones muestreadas se vinculó con estructuras topográficas o presencia de algún río, que estuvieran determinando valores elevados en la densidad de los organismos.

Los factores ambientales: como tamaño de grano, porcentaje de nitrógeno, carbono, materia orgánica, pH y la concentración de pigmentos no se relacionaron en este estudio con la densidad de los organismos.

Resultados

Variación de la densidad en un intervalo de 3000 a 4000 m de profundidad

La densidad promedio más elevada en un intervalo de 3000 a 4000 m de profundidad se presentó a los 3500 m (2111.51 ± 945.13 ind.m⁻²) (n=7) y el valor más bajo casi tres veces menor se presentó a 3800 m de profundidad (711.78 ± 255.95 ind.m⁻²) (n=5) (Tabla 3). El patrón que se reconoció fue de tipo parabólico con una disminución con profundidad. Las diferencias no fueron estadísticamente significativas entre estratos de profundidad (ANOVA $F_{(5,62)}=1.8466$, $p=.11685$) por la dispersión grande de localidades específicas (Figura 4). La prueba de Tukey reconoció diferencias al mostrar una similitud del 11% entre los 3500 y los 3800 m de profundidad.

Profundidad	# de Estaciones	Densidad promedio y desviación estándar de cada estrato de profundidad. ind.m ⁻²
3000	9	1666.58 ± 972.24
3300	8	2071.32 ± 1320.51
3500	7	2111.52 ± 945.13
3600	14	1430.64 ± 644.77
3700	26	1554.52 ± 969.09
3800	5	711.780 ± 255.95

Tabla 3. Promedio y desviación estándar de la densidad de la macrofauna béntica de cada estrato de profundidad.

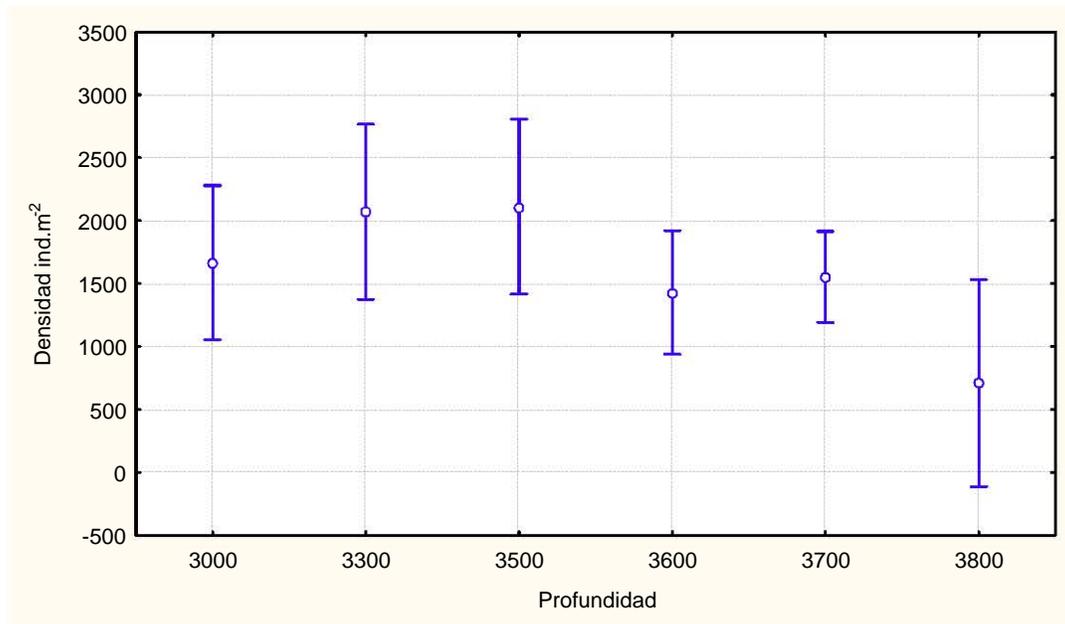


Figura 4. Variación de la densidad por estrato batimétrico entre 3000 a 4000 m de profundidad en la planicie abisal del Golfo del México, representando los valores promedios y las desviaciones estándar de cada estrato de profundidad.

Variación de la densidad en tiempo.

La densidad promedio máxima en la estación de serie de tiempo que abarcó los años (1997, 1999, 2001, 2002, 2003, 2004) se presentó en el año 2002 (3819.71 ± 918.14 ind.m²) (n=3) y el valor mínimo casi cinco veces menor se presentó en el año 1999 (677.33 ± 288.15 ind.m²) (n=3) mostrando un patrón sinusoidal (Tabla 4). Los valores de densidad en esta estación mostraron diferencias significativas a lo largo del tiempo (ANOVA $F_{(5,23)}=16,837$, $p=.00000$: Fig. 5).

Año	Campaña Oceanográfica	# de Réplicas	Densidad promedio y desviación estándar de las réplicas. ind.m ⁻²
1997	1	4	1400.00 ± 400.00
1999	2	3	677.33 ± 288.15
2001	4	10	625.60 ± 82.09
2002	5	3	3819.71 ± 918.14
2003	6	5	2343.96 ± 1120.01
2004	7	4	1750.70 ± 480.64

Tabla 4. Promedio y desviación estándar de la densidad de la macrofauna béntica en un mismo sitio a lo largo del tiempo.

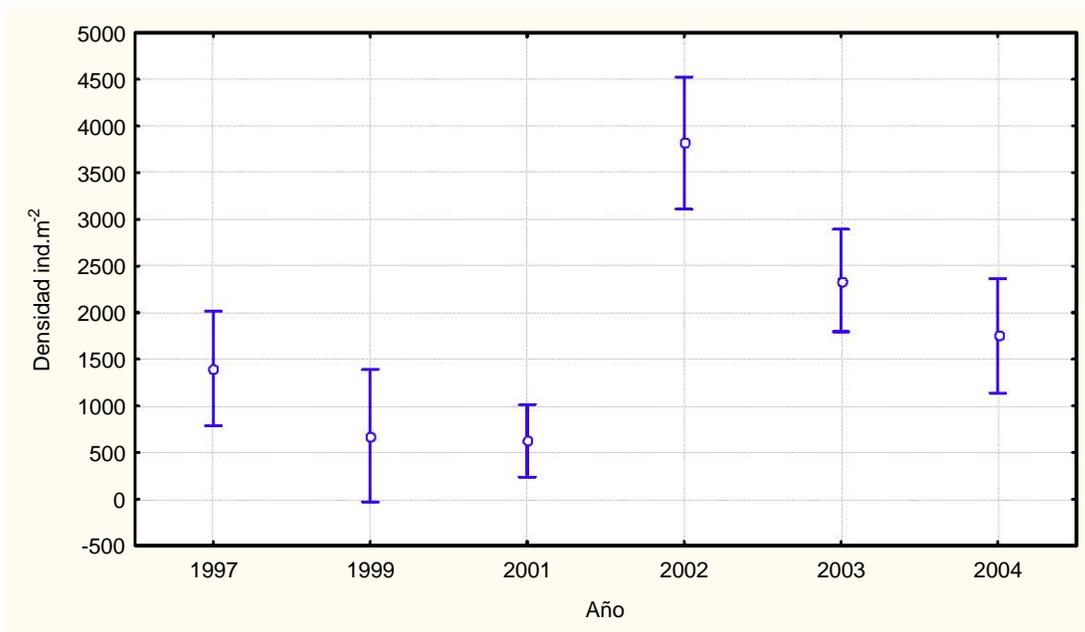


Figura 5. Variación interanual de la densidad de la estación de serie de tiempo, representando los valores promedios y las desviaciones estándar de cada año.

Variación de la densidad entre la región Norte y Sur

La densidad promedio de la región Norte (1914.40 ± 987.27 ind.m⁻²) (n=19) fue dos veces mayor que la presentada en la región Sur (1464.72 ± 888.32 ind.m⁻²) (n=49), (Tabla 5). Las diferencias no fueron estadísticamente significativas (ANOVA

$F_{(1,66)}=3.2959$, $p=.07395$) entre ambas regiones (Figura 6). La prueba de Tukey reconoció diferencias al mostrar una similitud de 7% entre ambas regiones.

Región	# de Estaciones	Densidad promedio y desviación estándar de cada región. ind.m ²
Norte	19	1914.40 ± 987.27
Sur	49	1464.72 ± 888.32

Tabla 5. Promedio y desviación estándar de la densidad en la región Norte y Sur del Golfo de México.

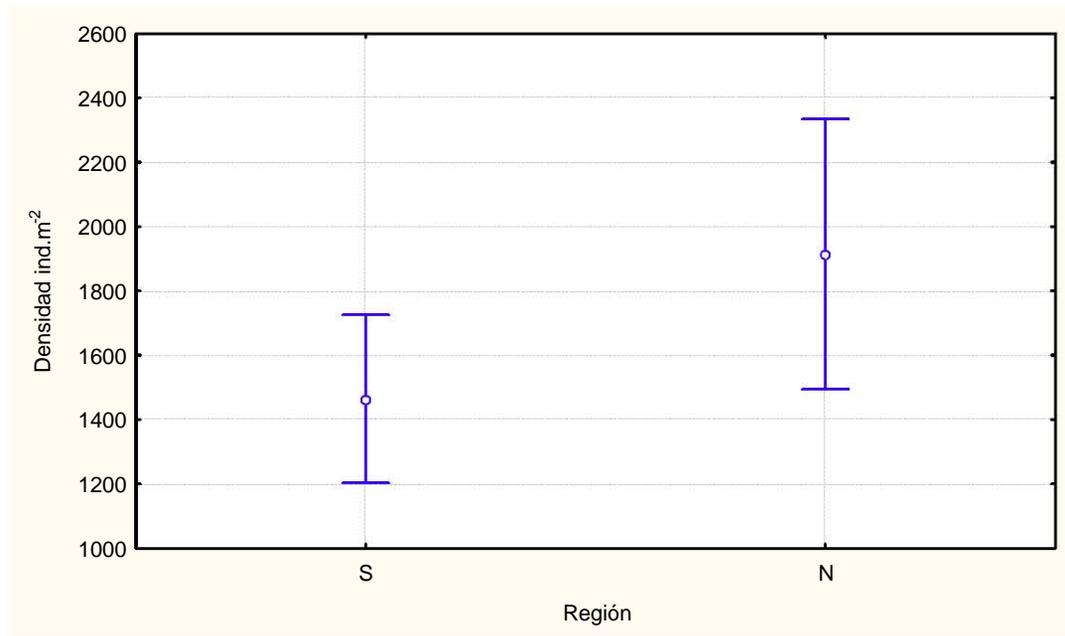


Figura 6. Variación de la densidad de las regiones Norte (N) y Sur (S) del Golfo de México, representando los valores promedios y desviaciones estándar de cada región.

Variación de la densidad entre la región Este y Oeste.

La densidad promedio de la región Este (zona carbonatada) (2157.35 ± 1477.00 ind.m²) fue dos veces mayor que la presentada en la región Oeste (zona terrígena) (1527.60 ± 863.82 ind.m²) (Tabla 6). Las diferencias no fueron estadísticamente significativas (ANOVA $F_{(1,66)}=2.8407$, $p=.09663$) entre ambas regiones (Figura 7). La prueba de Tukey reconoció diferencias al mostrar una similitud de 10% entre ambas regiones.

Región	# de Estaciones	Densidad promedio y desviación estándar de cada región. ind.m ²
Este	7	2157.35 ± 1477.004
Oeste	61	1527.60 ± 863.822

Tabla 6. Promedio y desviación estándar de la densidad en la región Este y Oeste del Golfo de México.

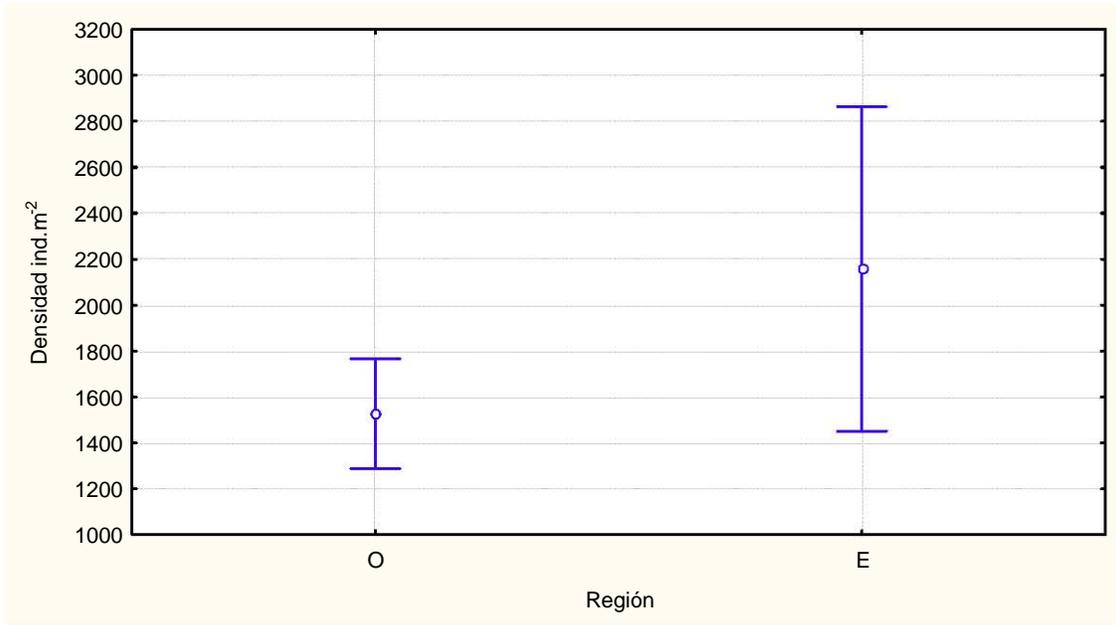


Figura 7. Variación de la densidad de la regiones Oeste (O) y Este (E) del Golfo de México, representando los valores promedio y las desviaciones estándar de cada región.

Variación espacial de la densidad en la planicie abisal.

Se observó una variación entre 229.33 ± 288.15 ind.m² (n=3) y 4447.83 ± 1902.93 ind.m² (n=9) de las densidades promedios de estación a estación (Tabla. 7 y Figura 8). Los valores de densidad fueron significativamente diferentes entre las 68 estaciones muestreadas (ANOVA $F_{(67, 244)}=6.2831$ p=0.0000) (Fig. 9).

Campaña oceanográfica	Estación	# de Réplicas	Densidad promedio y desviación estándar de las réplicas. ind.m ²
1	7	3	794.70 ± 421.00
	8	4	1400.00 ± 400.00
	9.1	3	1808.00 ± 633.77
	9.2	3	1557.33 ± 521.99
	9.3	3	853.33 ± 380.76
	9.4	3	490.70 ± 232.05
	9.5	3	1696.00 ± 389.30
	10	3	2608.33 ± 664.90
2	10	3	1669.33 ± 861.97
	11	3	1178.70 ± 332.68
	12	3	1237.33 ± 345.15
	13	3	1072.00 ± 538.32
	14	3	549.33 ± 186.82
	15	3	677.33 ± 288.15
	16	3	373.33 ± 296.04
	17	3	288.00 ± 166.28
	18	3	229.33 ± 288.15
	19	3	576.00 ± 347.24
3	14	3	2307.33 ± 3927.14
4	3	5	656.00 ± 363.22
	4	5	676.80 ± 273.41
	5	5	1070.40 ± 375.12
	6	5	812.80 ± 250.70
	7	5	625.60 ± 82.09
5	1	3	975.00 ± 163.94
	2	3	758.33 ± 240.23
	3	3	933.30 ± 534.63
	4	3	3819.71 ± 918.14

Campaña oceanográfica	Estación	# de Réplicas	Densidad promedio y desviación estándar de las réplicas. ind.m ²
5	6	3	1858.33 ± 262.60
	7	3	816.67 ± 751.80
	8	3	3416.53 ± 510.62
	9	3	966.70 ± 514.98
6	1	3	1528.67 ± 661.93
	2	4	1656.07 ± 958.95
	3	5	1707.02 ± 377.90
	4	5	2343.96 ± 1120.01
	5	5	1477.72 ± 428.22
	6	5	2038.23 ± 617.54
	7	5	2777.08 ± 1602.27
	8	5	923.57 ± 457.83
	9	5	3503.19 ± 1146.50
	10	5	2955.42 ± 1000.63
	11	5	1324.85 ± 793.50
	12	5	1197.46 ± 587.92
	13	5	2852.31 ± 1234.80
	14	5	1554.15 ± 688.37
	15	5	3363.05 ± 803.67
	16	5	2726.11 ± 876.12
	16-bis	5	1477.70 ± 293.27
7	1	4	1305.07 ± 318.31
	2	4	1273.24 ± 241.02
	3	4	2069.01 ± 727.72
	4	4	1750.70 ± 480.64
	5	4	1750.70 ± 513.26
	6	4	2069.01 ± 846.97
DGoMB	C12	5	3643.00 ± 1423.12
	RW6	5	1567.57 ± 591.26
	S39	5	1541.62 ± 594.85
	S40	5	1536.49 ± 782.07
	S41	5	2087.57 ± 756.31
	W6	5	1811.89 ± 469.79
	S41	3	972.97 ± 603.99
	S1	10	1670.15 ± 997.33
	S2	8	1233.33 ± 365.64
	S3	2	1547.83 ± 475.50
	S4	10	576.62 ± 576.62
	S5	9	4447.83 ± 1902.93
	jssd3	6	833.82 ± 494.52

Tabla 7. Promedio y desviación estándar de la densidad de la macrofauna béntica para cada una de las 68 estaciones en la planicie abisal del Golfo de México.

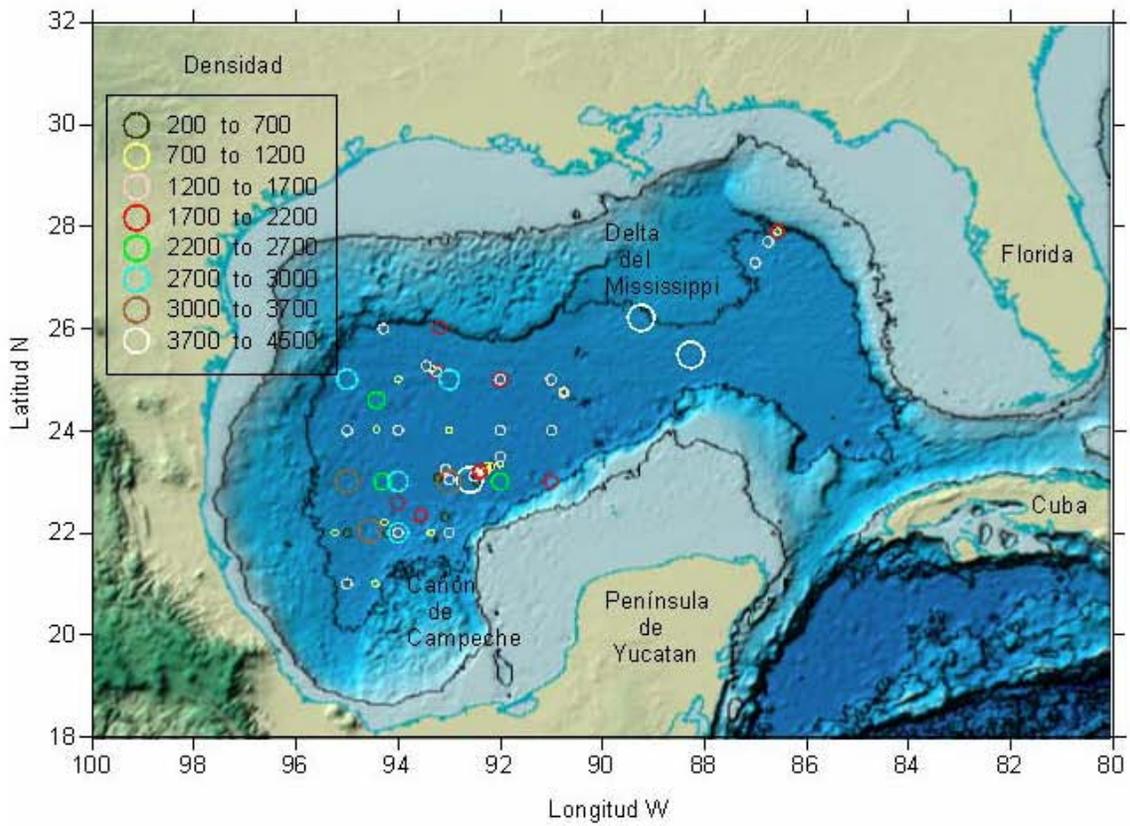


Figura 8. Distribución de los valores promedio de las densidades por estaciones muestreadas en la planicie abisal a 3000 y 4000 m de profundidad del Golfo del México. en las 8 campañas consideradas en este estudio.

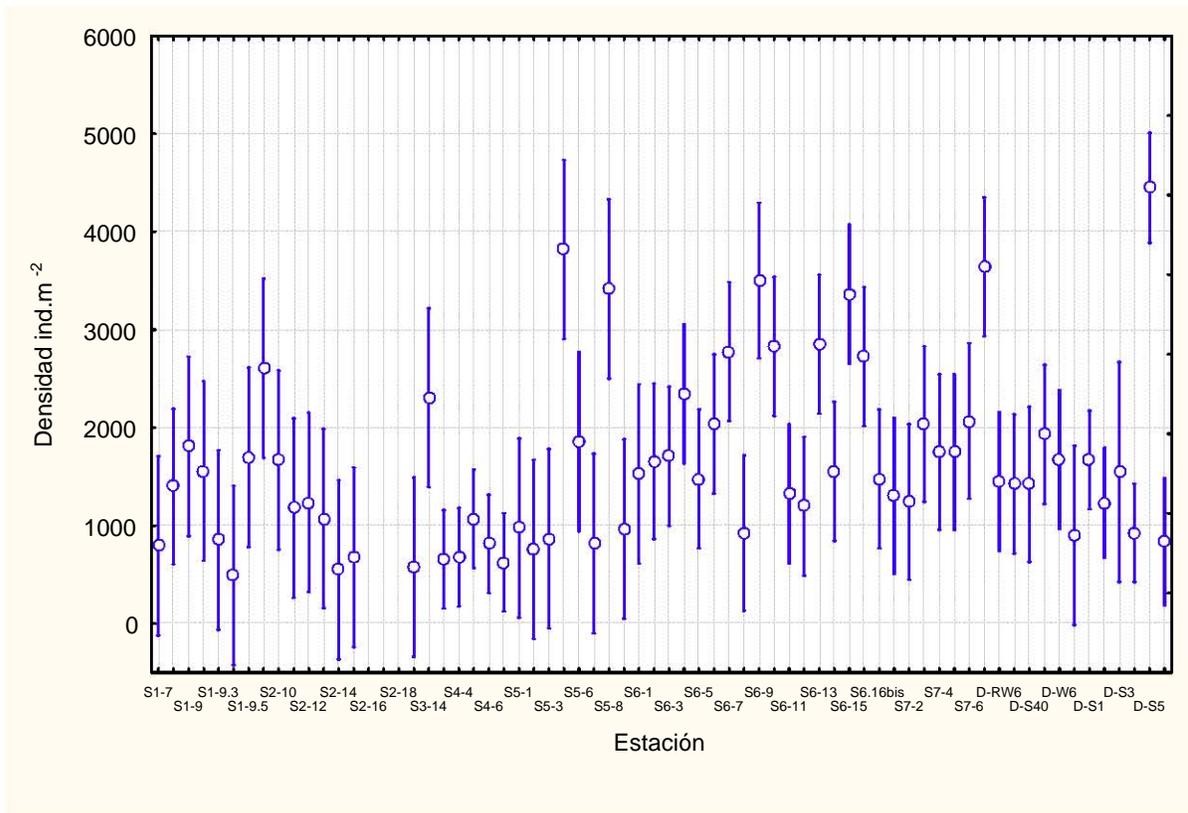


Figura 9. Variación promedio y desviación estándar de la densidad de la macrofauna béntica en las 68 localidades (identificadas por el número en el eje de estación), muestreadas en las 8 campañas oceanográficas (identificadas por la letra en el eje de estación) realizadas en la planicie abisal a profundidades de 3000 a 4000 m en el Golfo de México

Las estaciones S5-E4 (3819.71 ± 918.14 ind.m⁻²) (n=3), E8 (3416.52 ± 510.62 ind.m⁻²) (n=3) y S6-E9 (3503.19 ± 1146.50 ind.m⁻²) (n=5) ubicadas cerca del Cañón de Campeche y DGoMB- C12 (3643.00 ± 1423.12 ind.m⁻²) (n=5) y S5 (4447.83 ± 1902.93 ind.m⁻²) (n=9) ubicadas cerca del delta del Mississippi y S6-E15 (3363.05 ± 803.67 ind.m⁻²) (n=5) ubicada en la parte más occidental de la planicie abisal presentaron valores casi 14 veces mayores a las estaciones S2-E17 (288.00 ± 166.28 ind.m⁻²) (n=3), E18 (229.30 ± 288.15 ind.m⁻²) (n=3) ubicadas en la parte suroeste de la planicie abisal del Golfo de México las cuales presentaron los valores de densidad más bajos (Figura 11).

Estación	# de Réplicas	Densidad promedio y desviación estándar de las estaciones. ind.m ²
S5-E4	3	3819.71 ± 918.14
S5-E8	3	3416.52 ± 510.62
S6-E9	5	3503.19 ± 1146.50
S6-E15	5	3363.05 ± 803.67
D-EC12	5	3643.00 ± 1423.12
D-ES5	9	4447.83 ± 1902.93
S2-E17	3	288.00 ± 166.28
S2-E18	3	229.30 ± 288.15

Tabla 8. Estaciones que mostraron los valores promedio de densidad más elevados y más bajos durante las campañas S5,S6 y DGoMB en la planicie abisal en el Golfo de México.

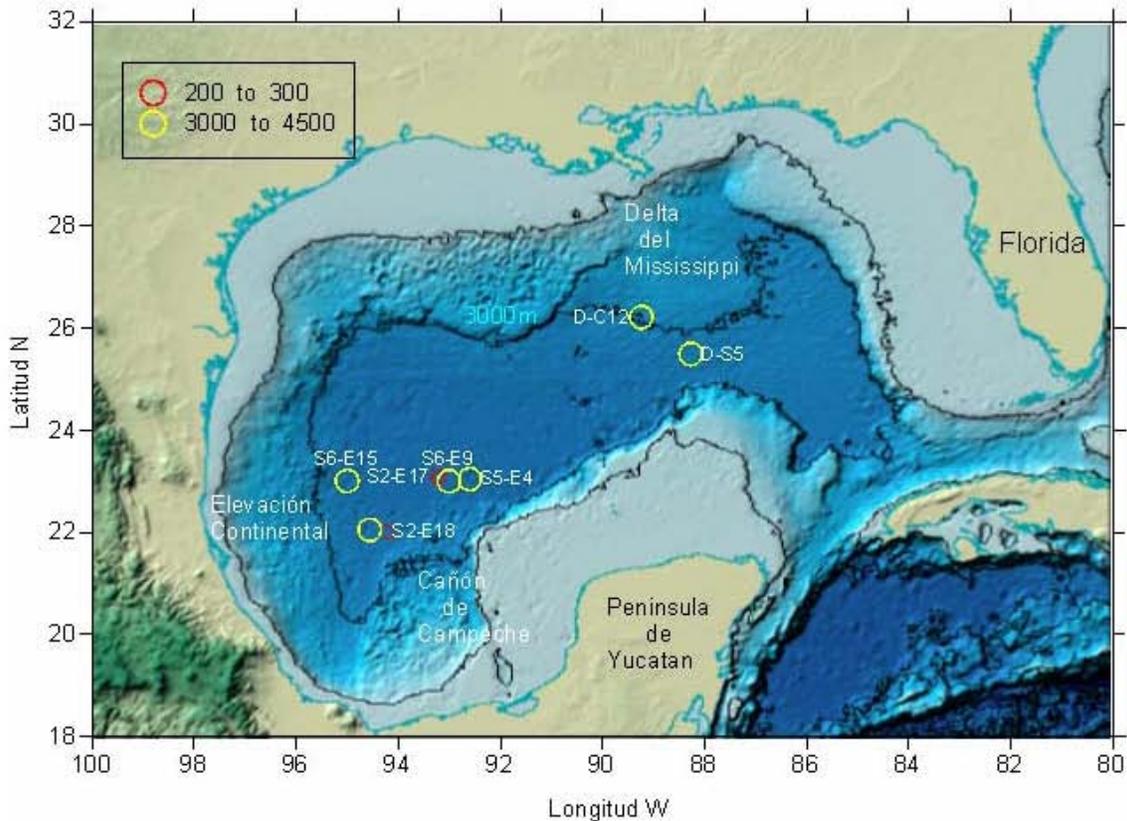


Figura 10. Ubicación de las estaciones con los valores promedio más elevados (en color rojo) y más bajos (en color verde) de la densidad de la planicie abisal en el Golfo de México.

Discusión

Variación de la densidad en un intervalo de 3000-4000 m de profundidad.

Conforme la profundidad aumenta en el mar los factores como: luz, presión hidrostática, temperatura, salinidad, así como la disponibilidad de alimento vista como materia orgánica que llega a los fondos marinos (Carney 2005), se modifican actuando como barreras en la dispersión de los organismos o recursos y factores limitantes que determinan su abundancia y talla (Carney *et al.* 1983).

En el presente estudio se reconoció que la densidad de los organismos bentónicos disminuye con respecto a la profundidad, este mismo patrón se ha observado en trabajos como los de: Cosson *et al* (1997), Rodríguez (1999), Hernández (1999). Los cuales relacionaron la disminución de la densidad a factores como: disponibilidad de alimento, vista como concentración de materia orgánica. El trabajo de Sibuet *et al* (1989) reconoció una relación positiva lineal de la abundancia de la macrofauna con el flujo de materia orgánica en mar profundo del océano Atlántico, en tanto que el trabajo de Rodríguez (1999) atribuyó los valores más bajos de densidad encontrados en las zonas más profundas a la descomposición que sufre la materia orgánica por la lenta depositación que permite la degradación de los compuestos más reactivos por la elevada temperatura en los trópicos, siendo que la materia orgánica que llega muy refractario sin valor alimenticio. En general la materia orgánica remanente es menos rica en nutrimentos, con excepción de aquella que se coloniza por bacterias (Escobar 2004) y a su arribo a la planicie abisal los niveles de descomposición son más bajos por la tasa metabólica más baja en las zonas más profundas.

Variación de la densidad en tiempo.

En el presente estudio se reconoció que la densidad de la macrofauna béntica varió a lo largo del tiempo, representado el valor más alto en el año 2002. Este hallazgo es nuevo ya que se esperaba que no se presentara variación ya que los trópicos tienden a ser estables a lo largo del tiempo (Cosson *et al.* 1997). Hemos tratado de interpretar esta variación espacio-tiempo con la variación de la concentración de clorofila a en la capa eufótica. El trabajo de Escobar (2003) reconoció que existe una variación estacional que

llega a acentuarse en años Niño y que influye por una parte en el aporte de materia orgánica y por consiguiente sobre la biomasa de la macrofauna. Así mismo el trabajo de Smith *et al.* (1998) muestra que la variación temporal en la producción del plancton en la superficie que se exporta de la zona eufótica como materia orgánica particulada, presenta cambios temporales en el hundimiento hacia el fondo del océano.

Otros posibles aportes que influyen temporalmente son corrientes de turbidez que tienen la capacidad de redistribuir la materia orgánica en los abismos (Aller 1997). Las características espaciales y temporales de estas corrientes marinas y los ciclos de erosión y depositación, causan inestabilidad en el fondo marino proveyendo materia orgánica reactiva, útil a la macrofauna, lo que promueve una variación temporal sobre la densidad de la macrofauna béntica (Aller 1997).

Variación de la densidad entre los sectores Norte y Sur del Golfo de México

Se esperaba variación entre los sectores Norte y Sur del Golfo de México ya que por un lado en el sector Norte se encuentra la presencia del delta Mississippi con un gran aporte fluvial hacia el centro del Golfo de México, representando un sistema de depósito terrígeno en el sector Norte del Golfo (Rowe y Menzel 1971), a diferencia en el sector Sur no existe la presencia de aportes fluviales con gran afluencia, por el contrario existe la presencia de una plataforma carbonatada, así como diversas estructuras como son: el Escarpe Campeche, el Cañón de Campeche y los domos salinos de Sigsbee. (Uchupi 1975).

La variación observada en la densidad de la macrofauna entre las regiones geográficas Norte y Sur se atribuyó principalmente, a que en la zona norte, donde se encontraron las densidades mayores de macrofauna, se ve influenciada por la presencia del delta del Mississippi que aporta por una parte agua fluvial y por la otra aporta y promueve la producción y exportación de materia orgánica (Rowe y Menzel 1971). El Río Mississippi descarga un promedio de 580 km³ de agua dulce por año en el norte del Golfo de México y es responsable de cerca del 90 por ciento del influjo de agua dulce (Caso *et al.* 2004), así como genera condiciones de eutrofia en la región norte e hipoxia sobre la plataforma (Escobar *et al.* 1997).

Por el contrario en la zona sur, donde se encontraron los valores bajos de densidad, no existe la presencia de aportes fluviales con gran afluencia que lleguen hacia el centro del Golfo de México en virtud a que se trata de una plataforma continental carbonatada en contraste con un sistema de depósito terrígeno (Escobar *et al.* 1997), por lo que el aporte de nutrientes y de materia orgánica de origen fluvial es escaso y carece de procesos que fertilicen sus aguas superficiales (Rowe y Menzel 1971). Estudios como el de Escobar *et al.* (1999) observaron valores de densidades de la macrofauna béntica de una a tres ordenes de magnitud menores en la zona sur del Golfo de México en comparación con la zona norte del Golfo de México, debido a un acumulo de materia orgánica en la zona norte por el delta del Mississippi y su acarreo por corrientes de turbidez, así como la posible infiltración de hidrocarburos en la planicie abisal proveyendo un oasis de alimento para las comunidades quimioautotróficas, así como para la fauna béntica abisal asociada a esta comunidades (Escobar 2004), En el sector sur hasta el año 2003 se reconocieron formaciones geológicas identificadas como volcanes de asfalto. Los fondos abisales de la Sonda de Campeche presentan este tipo nuevo de vulcanismo generado por la erupción de asfalto, en donde crecen tapetes bacterianos que sirven de alimento para una gran cantidad de organismos (Escobar 2004).

Variación de la densidad de la macrofauna en los sectores Este y Oeste

Se esperaba encontrar variación entre el sector Este y Oeste ya que por un lado el sector Oeste del Golfo de México (zona terrígena) es el resultado de la actividad tectónica de la cuenca, relacionada con intrusiones salinas, la actividad de la corriente costera y el acarreo masivo de sedimentos de ríos que desembocan al Golfo, predominantemente del Mississippi, que disminuyen progresivamente en el tamaño de grano con la profundidad, los ríos en este sector contribuyen a la formación de una franja de limos arenosos de naturaleza terrígena con un contenido de carbonatos menor al 25% (Escobar *et al.* 1997), en contraste el sector Este (zona carbonatada) consiste en una sección carbonatada formada desde el Cenozoico tardío y depósitos de evaporitas formadas en el Triásico (Uchupi 1975), conformada en su mayoría por sedimentos calcáreos de origen marino tanto somero como profundo con un contenido de carbonatos mayor al 70%, la ausencia de ríos superficiales, muestra que el aporte continental tiene una influencia insignificante sobre la plataforma y el talud continental (Lopez 1996).

Un factor importante que influye en la variabilidad de la densidad de los organismos es la naturaleza del sedimento con el tamaño de grano y su origen. El tamaño de grano es de gran importancia para la selección del hábitat de los organismos mostrando adaptaciones fisiológicas y morfológicas (Gray 1974).

La diferencia observada en este estudio en los valores de densidad entre la zona terrígena al oeste y la zona carbonatada al este del Golfo de México, se debió a los diferentes tipos de sedimento y el origen de éstos en cada región. Los resultados de Castañeda (1996) para la zona carbonatada muestran que la heterogeneidad del sedimento promueve espacios intersticiales para los organismos de la macroinfauna con una mayor posibilidad de microhábitats en contraste de las proporciones similares de limos y arcillas en la zona terrígena donde se reconoció la densidad menor (Castañeda 1996).

Variación espacial de la densidad de la macrofauna en la cuenca

Los resultados de la variación espacial de la densidad de la macrofauna béntica de estación a estación muestran una gran dispersión de los valores que se atribuyen por una parte a la heterogeneidad en la topografía del fondo en la planicie abisal, con diapiros (Uchupi 1975), desembocadura de grandes ríos y cañones como son: el cañón Mississippi, Keathley, Bryant, Alamios y De Soto en el sector Norte y el cañón de Campeche en el sector Sur (Escobar 2004), la hidrodinámica compleja con la presencia de giros (Escobar *et al.* 1999), la corriente del Lazo (Escobar 2004), la estacionalidad que conlleva una exportación diferencial de materia orgánica al fondo (Rodríguez 1999). La producción de fitoplancton que hay en la superficie, por el control hidrodinámico y biológico que ejerce el zooplancton, los cuales van a estar regulando en gran medida el porcentaje de materia orgánica que llegara al fondo marino (Escobar *et al.* 1999). La materia orgánica también se ve influenciada por factores como: la profundidad (Rex 1981), las fuentes de aporte (Relaxans 1996), la topografía, la temperatura y el tiempo de residencia en la columna de agua (Escobar *et al.* 1997). Hernández (1999) asocia la variación de la densidad a condiciones de hipoxia e interacciones con la meiofauna.

En trabajos como el de Rodríguez (1999) se señala una relación directa entre la temperatura y los patrones encontrados de densidad, esto debido a la relación de la temperatura con la cantidad de alimento, determinada por la calidad de enzimas

metabólicas. La temperatura ha sido considerada como uno de los factores reguladores de las comunidades, ya que afecta: funciones metabólicas, tasas de actividad y tasas de crecimiento de los organismos, este factor afecta principalmente a organismos que se encuentran en la columna de agua.

Los fuentes de aporte como son el transporte lateral y el hundimiento del material terrígeno y detrito costero en forma de restos de microalgas constituyen una fuente rápida y energética hacia el fondo marino y crean un sistema dinámico que produce patrones espaciales (Rodríguez 1999). Velázquez (2005) menciona que a mayor distancia a la costa y mayor profundidad la materia orgánica disminuye, presentando un patrón parabólico al encontrarse que en la estación intermedia y más profunda, hay un descenso de la densidad, por lo que la alta densidad de macrofauna la relaciona con la exportación lateral de material particulado en la proximidad del margen continental aunado a elevadas tasas de sedimentación (Velázquez 2005)

.La periodicidad normal del desarrollo, reproducción, reclutamiento y mortalidad, así como perturbaciones físico-químicas en el ambiente también pueden estar determinando variación de estación a estación en la densidad de los organismos (Kennish 1994).

Efecto de la topografía sobre la densidad de la macrofauna abisal

Las densidades más elevadas se reconocieron en las estaciones S5-E4, E8, S6-E9, E15 de las campañas Sigsbee y C12, S5 de las campañas DGoMB- Éstas, se atribuyeron a la cercanía del delta Mississippi (estaciones DGoMB- C12 y S5) por la afluencia que llega hacia el centro del Golfo y el aporte de la materia orgánica de origen fluvial, así como transporta lateral del material terrígeno y detrito de origen costero, los cuales constituyen una fuente rápida de materia y energía hacia el fondo (Escobar *et al* 1999), así mismo en trabajos como el de Rowe y Kennicutt (2006) en que reportan una gran influencia del delta Mississippi a las altas densidades encontradas en las estaciones muestreadas al norte del Golfo de México.

En el caso de las estaciones S5-E4, E8 y S6-E9 que se ubican cerca del cañón de Campeche se puede discutir que los cañones son responsables de la acumulación del material orgánico, pues actúan como vías para el transporte de sedimentos y materia

orgánica desde la costa hasta el océano profundo por lo que mucho del carbono orgánico disponible puede exportarse al fondo marino y llegar al bentos (Gage y Tyler 1992, citado en Estrada 2004).

Los valores elevados de la densidad en la estación S6-E15 ubicada en la parte más occidental de la planicie abisal, se relacionan con una alta producción primaria en la zona y las densidades menores presentadas en las estaciones S2-E17, E18 ubicadas en la parte suroeste de la planicie abisal del Golfo de México pueden atribuirse a regiones con poca producción primaria en la superficie, lo cual estaría determinando poca entrada de materia orgánica al sedimento. En estudios como el Carey (1981) se relacionaron las diferencias de la densidad béntica entre dos zonas en el noreste del Océano Pacífico a la variación en los niveles de producción primaria, reconociendo baja producción primaria y baja acumulación de materia orgánica en sedimento en la región Cascadia donde se presentaron los valores de densidad mínimos.

Las densidades bajas en las estaciones S2-E17, E18 ubicadas en la parte suroeste de la planicie abisal del Golfo de México y muestreadas con el nucleador US-NEL., pueden estar relacionadas con el tipo de muestreador. Los trabajos de Shirayama y Fukushima (1995), y Blake y Narayanaswamy (2004) encontraron que éste es menos eficiente que el nucleador Múltiple.

Conclusiones

Este estudio reconoció variabilidad espacio-temporal de la densidad de macrofauna béntica en la planicie abisal del Golfo de México que mostró patrones diversos lo cual ratificó la hipótesis planteada en este trabajo y fundamentada en la heterogeneidad de hábitats en la planicie abisal.

- (1) La densidad promedio de la macrofauna abisal en el Golfo de México disminuyó con el aumento de la profundidad, presentando la densidad promedio mayor en los 3500 m de profundidad y la densidad menor en los 3800 m de profundidad. Esta variación mostró un patrón de tipo parabólico.

- (2) La densidad promedio de la macrofauna abisal en el Golfo de México mostró diferencias significativas en el tiempo, registrándose la densidad más elevada en el año 2002 y el valor promedio más bajo por casi cinco veces menor en el año 1999. Esta variación mostró un patrón de tipo sinusoidal.

- (3) La densidad promedio mostró diferencias entre las regiones Norte y Sur presentando valores promedio más elevados por casi 2 veces en la región Norte con respecto a la región Sur.

- (4) La densidad promedio mostró diferencias entre las regiones Este y Oeste, presentando los valores promedio mayores por casi 2 veces en la región Este con respecto a la región Oeste.

(5) Se encontraron diferencias significativas en los valores de densidades promedio entre las estaciones muestreadas en la planicie abisal que se relacionan a la topografía y a la hidrografía de la cuenca. Los valores promedio de la densidad varían de 229.33 ind.m² a 4447.83 ind.m². Las estaciones S5-E4, E8 y S5-E9 ubicadas cerca del cañón de Campeche, DGoMB- C12, S5 ubicadas cerca del delta Mississippi y S6-E15 ubicada en la parte más occidental de la planicie abisal presentaron valores de casi 14 veces más elevados a las estaciones S2-16,17 ubicadas al suroeste de la planicie abisal, las cuales presentan los valores de densidad más bajos.

Referencias

Aller, J. Y., 1997. Benthic community response to temporal and spatial gradients in physical disturbance within a deep-sea western boundary region. *Deep-Sea Research* 44 (1), 39-69.

Antoine J. W., 1972. Structure of Gulf of Mexico. In: Rezak, R., Henry, V.J. (Eds.), *Contribution on the Geological and Geophysical Oceanography of the Gulf of Mexico*. Gulf Publishing Company, Houston, pp. 1-34.

Arar, J. E., Collins, B. G., 1997. In vitro Determination of Chlorophyll a and Pheophytine in Marine and Freshwater Algae by Fluorescence. *National Exposure Research Laboratory*. Cincinnati, Ohio, pp. 22.

Blake, A. J., Narayanaswamy, E. B., 2004. Benthic infaunal communities across the Weddell Sea Basin and South Sándwich Slope Antarctica. *Deep-Sea Research II*, 51, 1797-1815.

Borowski, C., 2001. Physically disturbed deep-sea macrofauna in the Peru Basin, southeast Pacific, revisited 7 years after the experimental impact. *Deep-Sea Research Part II* 48, 3809-3839.

Bouma, H. A., 1972. Distribution of sediments and sedimentary structures in the Gulf of Mexico. In: Rezak, R. and Henry, V.J. (Eds.), *Contribution in the Geological and Geophysical Oceanography of the Gulf of Mexico*. Gulf Publishing Company, Houston, pp. 35-65. 303.

Brusca, R. C., Brusca, G. J., 1990. *Invertebrates*. Sinauer Associates, Inc. Publishers, E.U.A. Massachusetts, pp. 422.

Bryant, W. R., Lugo, J., Cordova, C., Salvador, A., 1991. Physiography and bathymetry. In: Salvador, A. (Ed.), *The Gulf of Mexico Basin*. Boulder. The Geological Society of America, U.S.A, pp. 13-30.

Carey, G. A., 1981. A comparación od Benthic infaunal abundante on two abismal plañís in the northeast Pacific Ocean. *Deep-Sea Research* 28 (5), 467-479.

Carney., R.S., Haedrich., R.L., Rowe., G.T., 1983. Zonation of fauna in the deep-sea. In. Rowe., G.T. (Ed), *The Sea. Vol 8, Deep-Sea Biology*. Wiley, New York, pp. 371-398.

Carney., R., 2005. Zonation of deep biota on Continental Margins. *Oceanography and Marine Biology* 43, 211-278.

Caso, M., Pisanty, I., Ezcurra, E., 2004. Diagnostico Ambiental del Golfo de México. INE-Semarnat, México, pp. 626.

Castañeda, S. O., 1996 Contribución al conocimiento del macrobentos de la infauna del margen continental del golfo de México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM., México, pp. 85.

Cochrane, J. D., Nelly, F. J., 1986. Low frequency circulation on the Texas-Louisiana continental shelf. *Journal of Geophysical Research* 91, 10645-10659.

Cognetti, G., Sará, M., Magazú, G., 2001. *Biología Marina*, Ariel, Barcelona, pp. 479.

Cosson, N., Sibuet, M., Galeron, J., 1997. Community structure and spatial heterogeneity of the deep-sea macrofauna at three contrasting stations in the tropical northeast Atlantic. *Deep-Sea Research* 44 (2), 247-269.

De la Lanza E. G., 1991. *Oceanografía de Mares Mexicanos*. AGT Editores S.A, México, pp. 569.

Diercks, A. R., Asper, V.L., 1997. In situ settling speeds of marine show aggregates below the mixed layer: Black Sea and Gulf of Mexico. *Deep-Sea Research* 44, 385-398.

Escobar, B. E., Soto, L. A., 1993. Bentos del mar profundo en México. En: Salazar-Vallejo, S. T., Gonzáles, N. E. (Eds), Biodiversidad Marina y Costera de México. Comisión Nacional de Biodiversidad y CIQRO, México, pp.106-116.

Escobar, B. E., Domínguez, D., Illescas, C., 1995. Informe final crustáceos macrobénticos de la plataforma y talud continental del Golfo de México, Conabio, www.conabio.gob.mx.

Escobar, E., López, M., Soto, L. A., Signoret, M., 1997. Densidad y biomasa de la meiofauna del talud continental superior en dos regiones del Golfo de México. Ciencias Marinas 23 (4), 463-487.

Escobar B. E., Signoret M, Hernández D., 1999 Variation of the macrobenthic infaunal density in a bathymetric gradient: Western Gulf of Mexico. Ciencias Marinas 25 (2), 193-212

Escobar-Briones, E. G., 2000. La biodiversidad del mar profundo en México. Biodiversitas 6 (29), 2-6.

Escobar, E., 2003. The effect of the 1997-1998 ENSO on the benthic macrofaunal biomass in the southwestern Gulf of Mexico. Geofísica internacional 42 (3), 517-522.

Escobar, E., 2004. Estado del conocimiento de las comunidades bénticas en el golfo de México. En: Caso, M., Pisanty, I., Ezcurra, E. (Eds.), Diagnostico Ambiental del Golfo de México Vol I. INE-Semarnat, México, pp. 201-446.

Estrada, S. E., 2004. Macroinfauna béntica del cañón de Campeche SW del Golfo de Mexico Tesis Licenciatura, Facultad de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM., México, pp.65.

Gage, J. P., Tyler, P.A., 1992. Deep-Sea Biology a natural history of organism at the Deep-Sea Floor, Cambridge Univ, Press, pp. 504.

Graf, G., 1989. Benthic-pelagic coupling in a deep-sea benthic community. *Nature* 341 (6241), 437-439.

Gray, J. S., 1974. Animal-sediment relationship. *Oceanography and Marine Biology* 12, 223-261.

Gray, J. S., 1981. *The ecology of sediments*. Cambridge University Press, pp 185.

Hamilton, P., 1992. Lower continental slope cyclonic eddies in the Central Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research* 97, 2185-2200.

Hernández, R. D., 1999. Riqueza taxonómica, densidad y biomasa de la infauna macrobéntica a lo largo de un gradiente batimétrico en el sector occidental del Golfo de México. Tesis de Licenciatura, FES Zaragoza, UNAM., México, pp.41.

Johnson, D. R., Thompson J. D., Hawkins, J. D., 1992. Circulation in the Gulf of Mexico from Geosat Altimetry during 1985-1986. *Journal of Geophysical Research* 97, 2201-2214.

Kennish, M. J., 1994. *Practical handbook of Marine Science*. CRC Press, USA, pp. 303.

Kojima, S., Ohta, S., 1989. Patterns of bottom environments and macrobenthos communities along the depth gradient in the bathial zone off Sanriku, northwestern Pacific. *Journal Oceanography Society Japan* 45, 95-105.

Lalli, M. C., Parson, T. R., 1993. *Biological Oceanography. An introduction*. Butterworth, Great Britain, pp. 301.

Lecuanda, C. R., Ramos, L. F., 1985 Distribuciones de sedimentos en la parte sur del Golfo de México. Informe técnico # 2, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, pp. 1-23

López, G. M., 1996. Meiofauna de dos ambientes: terrígeno (Tamaulipas) y carbonatado (Yucatán) del margen continental en el Golfo de México. Tesis de Licenciatura. UAM-Xochimilco., México, pp. 30.

Monreal-Gómez, M. A., Salas de León, D. A. 1990. Simulación de la circulación de la Bahía de Campeche. *Geofísica Internacional* 29,101-111.

Monreal-Gomez, M., Salas de Leon, D. A., 1997. Circulación y estructura termohalina del Golfo de México. En: Lavin, M. F. (Ed.), *Contribuciones a la oceanografía Física en México*, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana, pp. 183-199.

Monreal-Gómez, M. A., D. A. Salas de León, A. y Velasco-Mendoza., 2004. La Hidrodinamica de Golfo de México. En: Caso, M., Pisanty, I., Ezcurra, E. (Eds.), *Diagnostico Ambiental del Golfo de México Vol I*. INE-Semarnat, México, pp. 47-68.

Müller-Kärger, F. E., Walsh, J. J., Evans, R. H. y Meyers, M. B.1991. On the seasonal phytoplankton concentration and sea surface temperatura cycles of the Gulf of Mexico as determined by satellites. *Journal Geophysic. Research* 96 (C7), 12645-12665.

Muñiz, I. G., 2001. Variación de la estructura comunitaria de la infauna macrobéntica en el gradiente batimétrico del sector occidental del escarpe de Campeche, suroeste del Golfo de México. Tesis de licenciatura, Facultad de ciencias, UNAM., México, pp. 80.

Nybakken, J. W., 1993. *Marine Biology, An Ecological Approach*. Harper Collins College Publishers, U.S.A. pp. 462.

Parulekar, H. A., Harkantra, N. S., Ansari, Z. A., Matondkar, P. G., 1982. Abissal benthos of the central Indian Ocean. *Deep-Sea Research* 29 (12A), 1531-1537.

Pella, E., 1990. Elemental organic analysis. Part 1. Historical developments. *American Laboratory* 22 (2), 116-125.

Pica, G. Y., Ponce V. M. G., Barron E. M. A., 1991, Oceanografía geológica. En: De la Lanza E. G. (Ed), Oceanografía de Mares Mexicanos. AGT Editores S.A, México, pp. 3-29.

Relaxans, J .C., Deming, J., Dinet, A., Gailards, J. F., Sibuet, M., 1996. Sedimentary organic matter and micro-meibenthos with relation to trophic conditions in the tropical northeast Atlantic. *Deep-Sea Research* 43 (8), 1343-1368.

Rex, M. A., 1981. Community structure in the deep-sea benthos. *Annual Review Ecology System* 12, 331-353.

Rodríguez, P. P., 1999. Variación de la densidad y la biomasa de la infauna macrobentónica a lo largo del gradiente batimétrico en el SW del Golfo de México. Tesis de Licenciatura, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM., México. pp. 50.

Rodríguez, P. P., 2003 Efecto de los factores ambientales en la variación espacial y temporal de la densidad y la biomasa de la infauna macrobentónica en el sur del Golfo de México. Tesis de Maestría en Ciencias, Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM., México. pp. 81.

Rowe, G. T., Menzel D. W., 1971. Quantitative benthic samples from the deep Gulf of Mexico with some comments on the measurement of deep sea biomass. *Bulletin Marine Science* 21 (2), 556-566.

Rowe, G. T., 1983. Biomass and production of the deep-sea macrobenthos. In: Rowe, G. T. (Ed). *Deep-sea biology. The Sea. Vol 8.* Wiley, New York, pp. 97-121.

Rowe, G. T., Kennicutt, M. C., 2006. Northern Gulf of Mexico Continental Slope habitats end benthic ecology study. Final Report to U.S. Department of the interior, Minerals Management Service, New Orleans, pp. 456.

Salas, H. A., 2001. Variación espacial y batimétrica de la biomasa de microfauna del suroeste del Golfo de México Tesis Licenciatura, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM., México. pp. 50.

Salvador, A., 2001. Introducción. In: Salvador, A. (Ed.), The Gulf of Mexico Basin. The Geological Society of America, U.S.A, pp. 1-12.

Shirayama, Y., Fukushima, T., 1995. Comparisons of Deep-Sea Sediments and Overlying Water Collected Using Multiple Core and Box Core. *Journal of Oceanography*, 51, 75-82.

Sibuet, M., Lambert, C. E., Chesselet, R., Laubier, L., 1989. Density of the major size groups of benthic fauna and trophic input in deep basins of the Atlantic Ocean. *Journal Marine Research* 47, 851-867.

Smith, D. C., 1986. A numerical study of loop current eddy interactions with topography in the Western Gulf of Mexico. *Journal of Physical Oceanography* 16, 260-272.

Smith, K. L., Druffel, E. R. M., 1998. Long time-series monitoring of an abyssal site in the NE Pacific: an introduction. *Deep-Sea Research II* 45, 573-586.

Stetson, J. L., Trask, P. D., 1953. The sediments of the western Gulf of Mexico. Part II. Chemical studies of sediments of the western Gulf of Mexico. *Association Petrology and Geophysics*. Tulsa. Oklahoma, pp. 566.

Sturges, W., Evans, J., Welsh, S., Holland, W., 1993. Separation of warm-core rings in the Gulf of Mexico. *Journal of Oceanography* 23, 250-268.

Uchupi, E., 1975. Physiography of the Gulf of Mexico and Caribbean Sea. In: Naim, A. E. M. (Ed.), *The ocean basins and margins* Vol. 3. The Gulf of Mexico and Caribbean Sea, Plenum Press, pp. 1-64.

Vázquez de la Cerda, A. M., 1979. Circulación del agua en el suroeste del Golfo de México. *Dirección General de Oceanografía, Secretaría de Marina*. México, pp. 26.

Vegas, V., 1971. Introducción a la ecología del bentos marino, Washington D. C. OEA, pp. 91.

Velázquez, L. R., 2005. Variación de las comunidades de la macrofauna béntica de tres localidades de la zona abisal del suroeste del golfo de México. Tesis de licenciatura, UAM-Xochimilco., México, pp. 40.

Vidal, V. M. V., Vidal, F. V., Pérez-Molero, J. M., 1992. Collision of a Loop Current anticyclonic ring against the continental shelf slope of the western Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research* 97, 2155-2172.

Vidal, V. M. V., Vidal, F. V., Hernández, A. F., Meza, E., Pérez-Molero J. M., 1994. Baroclinic flows, transports, and kinematic properties in a cyclonic-anticyclonic-cyclonic ring triad in the Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research* 99, 7571-7597.

Welsh, S., Inoue, M., 2000. Loop currents rings and the deep circulation in the Gulf of Mexico. *Journal Geophysic Research* 105 (C7), 6951-6959.