

00366



*Posgrado en Ciencias del Mar y
Limnología*

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO



**IMPORTANCIA DEL TAMAÑO DE MALLA SOBRE LA ESTRUCTURA
COMUNITARIA DE LA MACROFAUNA DE MAR PROFUNDO EN EL
GOLFO DE MÉXICO**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
(BIOLOGÍA MARINA)
PRESENTA
BIÓL. JUAN ANTONIO SALAS HERNÁNDEZ

Directora de Tesis: Dra. Elva G. Escobar Briones

Comité Tutoral: Dra. María Antonieta Aladro Lubel

Dr. José Luis Carballo Cenizo

Dr. Omar Defeo Gorospe

Dr. Gilbert T. Rowe

m. 344714



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Contenido

Índice de cuadros	i
Índice de figuras	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
Introducción	1
Antecedentes	5
Hipótesis	7
Fundamento	7
Objetivos	8
Área de estudio	9
Material y Método	13
Trabajo de campo	13
Recolecta de datos y materiales	13
Trabajo de laboratorio	16
Tratamiento de la información	18
Resultados	20
Estructura comunitaria	20
Riqueza taxonómica	20
Densidad	27
Biomasa	30
Variables ambientales	33
Discusión	41
Conclusiones	47
Literatura citada	48
Apéndices	55
I. Valores promedio del número total de individuos en ambas aberturas de tamices...	55
II. Valores promedio de densidad ($\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$) por estación en ambas aberturas de tamices	56
III. Valores promedio de biomasa ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}$) por estación en ambas aberturas de tamices	57
Agradecimientos	58

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Clasificación de invertebrados bénticos, con base en los organismos retenidos en diferentes aberturas de malla de tamiz.....	2
Cuadro 2. Número de estaciones, réplicas por estación, por tamiz y por zona batimétrica para cada zona batimétrica recolectadas durante la campaña oceanográfica SIGSBEE-4	15
Cuadro 3. Ubicación y características ambientales de las localidades de muestreo para la campaña oceanográfica SISGSBEE-4.....	16
Cuadro 4: Resultados de ANOVA de dos vías para la riqueza taxonómica	20
Cuadro 5.- Riqueza taxonómica de los organismos presentes en las estaciones de muestreo. Clasificación según Brusca & Brusca (1990)	21
Cuadro 6: Valores por réplica de la riqueza taxonómica, densidad y biomasa en ambas aberturas de tamices obtenidas durante la campaña SIGSBEE-4.....	22
Cuadro 7: Resultados de ANOVA de dos vías para la densidad	27
Cuadro 8: Porcentaje de los phyla más importantes, con respecto a la densidad ($\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$) de cada una de las zonas batimétricas y en cada una de las aberturas de tamices	28
Cuadro 9: Resultados de ANOVA de dos vías para la biomasa	30
Cuadro 10: Porcentaje de los phyla más importantes, con respecto a la biomasa ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}$) por zona batimétrica y abertura de malla	31
Cuadro 11: Análisis de componentes principales	36
Cuadro 12: Análisis de correlación canónica para la riqueza taxonómica	37
Cuadro 13: Análisis de correlación canónica para la densidad ($\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$)	38
Cuadro 14: Análisis de correlación canónica para la biomasa ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}$)	38

Figura 11: Variación de la biomasa promedio por estación con respecto al contenido de clorofilas en sedimento, para la abertura de tamiz de 300 μm ($r = 0.76$)	32
Figura 12: Variación a lo largo del gradiente batimétrico de: a) la temperatura de fondo; b) la salinidad; c) la concentración de oxígeno disuelto; d) la concentración de clorofilas en sedimento; e) el porcentaje de nitrógeno orgánico en sedimento; f) el porcentaje de carbono orgánico en sedimento; g) el porcentaje de arenas, y h) el porcentaje de lodos. Valores promedio por estación	36
Figura 13.- Variación de la talla con el incremento de la profundidad en ambas aberturas de malla de tamiz para los phyla dominantes: a) phylum Annelida; b) phylum Nematoda y c) phylum Arthropoda.	40

Índice de Figuras

Figura 1.- Área de estudio y localización de las estaciones de muestreo (♦). Zonas batimétricas: 1.- Plataforma continental, 2.- Reborde continental, 3.- Talud continental y 4.- Planicie abisal	10
Figura 2.- <i>a)</i> Comparación de ambas aberturas de malla de tamiz en cada una de las zonas batimétricas, incluye desviación estándar (Desv. Est.), error estándar (Error. Est.) y Media; <i>b)</i> Interacción de los factores principales (abertura de malla de ambos tamices y zonas batimétricas) con la riqueza taxonómica ...	20
Figura 3.- <i>a)</i> Caracterización de los grupos taxonómicos por su frecuencia y abundancia para la abertura de 250 μm ; <i>b)</i> porcentaje acumulativo de la abundancia promedio de los phyla para la abertura de 250 μm ; <i>c)</i> caracterización de los grupos taxonómicos por su frecuencia y abundancia para la abertura de 300 μm ; <i>d)</i> porcentaje acumulativo de la abundancia promedio de los phyla para la abertura de 300 μm	24
Figura 4: Análisis de clasificación a partir de la matriz de similitud realizada con el índice de Bray-Curtis para: <i>a)</i> abertura de 250 μm y <i>b)</i> abertura de 300 μm	25
Figura 5: Variación del número de taxa con respecto a: <i>a)</i> el gradiente batimétrico (250 μm , $r = -0.59$ y 300 μm , $r = -0.57$); <i>b)</i> la temperatura de fondo (250 μm , $r = 0.89$ y 300 μm , $r = 0.76$), y <i>c)</i> el porcentaje de nitrógeno orgánico (250 μm , $r = 0.70$ y 300 μm , $r = 0.45$)	26
Figura 6.- <i>a)</i> Comparación de ambas aberturas de malla de tamiz en cada una de las zonas batimétricas, incluye desviación estándar (Desv. Est.), error estándar (Error Est) y Media; <i>b)</i> Interacción de los factores principales (abertura de malla de ambos tamices y zonas batimétricas) con la densidad	27
Figura 7: Porcentaje de densidad que representan los phyla dominantes en ambas aberturas de tamices para: <i>a)</i> talud continental y <i>b)</i> planicie abisal	28
Figura 8: Variación de la densidad con respecto a: <i>a)</i> el gradiente batimétrico (250 μm , $r = -0.83$ y 300 μm , $r = -0.83$); <i>b)</i> la temperatura (250 μm , $r = 0.85$ y 300 μm , $r = 0.87$), y <i>c)</i> la salinidad (250 μm , $r = -0.81$ y 300 μm , $r = -0.82$).	29
Figura 9.- <i>a)</i> Comparación de ambas aberturas de malla de tamiz en cada una de las zonas batimétricas, incluye desviación estándar (Desv. Est.), error estándar (Error Est.) y Media; <i>b)</i> Interacción de los factores principales (abertura de malla de ambos tamices y zonas batimétricas) con la biomasa	30
Figura 10: Porcentaje de biomasa que representan los phyla dominantes en ambas aberturas de tamices para: <i>a)</i> talud continental y <i>b)</i> planicie abisal	32



RESUMEN

El presente trabajo analiza la estructura comunitaria de la macrofauna béntica y compara los efectos de dos aberturas de malla de tamiz: 300 y 250 micrómetros. La primera usada por diversos autores en ecosistemas de mar profundo de zonas templadas y tropicales. La segunda usada en investigaciones previas en mar profundo de la región occidental del Golfo de México. Éstas últimas investigaciones, se han basado en la hipótesis de oligotrofia de la cuenca con aporte reducido de alimento que da como consecuencia animales de talla más pequeña. Los resultados de este estudio permitirán evaluar las diferencias y ajustar los obtenidos en investigaciones previas entre los pares. Los resultados (promedio \pm desviación estándar) de riqueza taxonómica, densidad y biomasa utilizando la abertura de malla de 300 μm fueron: 9.4 ± 1.67 taxa; $1,936 \pm 625$ ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$) y 20.93 ± 25.95 ($\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2}$) en las muestras del talud continental, y 6 ± 2.0 taxa; 614 ± 102.8 ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$) y 0.31 ± 0.21 ($\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2}$) en las muestras de la planicie abisal. Los resultados obtenidos utilizando la abertura de malla de 250 μm fueron: 9.7 ± 1.53 taxa; $2,467 \pm 734$ ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$) y 10.8 ± 8.27 ($\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2}$) en las muestras del talud continental, y 4.8 ± 0.84 taxa; 672 ± 461.93 ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$) y 0.18 ± 0.19 ($\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2}$) en las muestras de la planicie abisal. La eficiencia de retención para la riqueza taxonómica fue similar en los dos tamices y las dos zonas batimétricas no presentándose diferencias estadísticas significativas. La eficiencia de retención del número de organismos fue significativamente mayor con la malla de 250 μm en las muestras de las dos zonas batimétricas. La biomasa fue similar al comparar los resultados de los dos tamices y las dos zonas batimétricas. Las variables ambientales que explicaron la estructura comunitaria fueron la profundidad y el contenido de carbono orgánico en el sedimento superficial. Este estudio confirma que la talla de los componentes faunales es resultado de limitaciones energéticas en el mar profundo del Golfo de México, y que utilizando la abertura de malla de 250 μm se obtendrán valores similares de riqueza taxonómica y biomasa, pero los valores de densidad serán diferentes presentándose un número mayor de organismos en este tamiz.



ABSTRACT

This study has analyzed the community structure of the benthic macrofauna and compared the effects of different sieve sizes: 300 and 250 micrometers. The former has been used by diverse authors in temperate deep-sea ecosystems and on occasion in several tropical deep-sea studies. The latter has been used in our previous investigations of the deep Gulf of Mexico, based on the hypothesis that such an oligotrophic basin with limited energy supplies would have smaller sized animals. The results now allow us to evaluate the differences in results and thus adjust our previous results with those of other authors. The results (average \pm standard deviation) obtained in taxonomic richness, density and biomass using the 300 μm mesh size were 9.40 ± 1.67 taxa; 1936 ± 625 ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$) and 20.93 ± 25.95 ($\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2}$) in the continental slope samples and 6 ± 2.0 taxa; 614 ± 102.8 ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$) and 0.31 ± 0.21 ($\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2}$) in the abyssal plain samples. The results obtained using the 250 μm mesh were 9.7 ± 1.5 taxa; 2467 ± 734 ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$) and 10.8 ± 8.27 ($\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2}$) in the samples from the continental slope, and 4.8 ± 0.84 ; 672 ± 461.93 ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$) and 0.18 ± 0.19 ($\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2}$) in the abyssal plain. The efficiency of retaining the taxa was similar in the two sieves in the two depth zones. The efficiency of retaining number of organisms was significantly higher for the 250 μm mesh size in samples from the two depth zones. The biomass was similar when comparing results from the two sieves and the two depth zones. The environmental factors explaining the differences recorded in the community structure were depth and organic carbon content in the superficial sediment. This study confirmed that the size of the faunal components is result of the energetic limitation in the deep sea Gulf of Mexico and that using the 250 μm mesh size sieve will provide similar taxa composition and richness and biomass values but will result in different density values retaining a larger number of organisms.



INTRODUCCIÓN

En estudios bénticos, la clasificación de los componentes faunales puede darse en función de los grupos taxonómicos presentes (Thiel, 1983). En esta clasificación, el macrobentos *sensu stricto* excluye nemátodos, copépodos harpacticoides y ostrácodos (taxa considerados tradicionalmente meiobentos). La fracción completa (incluyendo cualquiera de los tres grupos mencionados anteriormente) retenida por el tamiz de 250 μm , es nombrada macrobentos *sensu lato* (Gage *et al.*, 2002), como en este estudio.

Otra clasificación, se da con base en los tamaños de malla en los cuales son retenidos los organismos (Thiel, 1975).

Mare (1942) definió la macrofauna como el grupo de metazoarios retenidos por un tamiz con abertura de malla de 1,000 x 1,000 μm . Sin embargo, esta clasificación realizada para aguas poco profundas ha sido abandonada por los biólogos que estudian el mar profundo (Rowe, 1983) (Cuadro 1). Muchos autores han advertido que el uso de una determinada abertura de malla podría depender del hábitat en consideración (Gage *et al.*, 2002). Por lo anterior, a medida que crece el conocimiento y las posibilidades de explorar el mar profundo, van siendo necesarios nuevos tipos de muestreo y métodos de procesamiento (Thiel, 1983).

A nivel mundial, una diferencia importante entre los muestreos en aguas someras y mar profundo ha sido el uso progresivo de tamices más finos para lavar las muestras de sedimento (Rowe, 1983). Lo anterior ha traído consigo ventajas y desventajas para las investigaciones cuantitativas bénticas marinas; por ejemplo, la oportunidad de retener un mayor número de especies e individuos de la macrofauna aumenta con el uso de una malla más fina (Rees, 1984). Esto se observa claramente en aguas costeras, donde con el uso de una abertura de 1,000 μm se pierde un número considerable de especies pequeñas y estados juveniles de organismos, los cuales son retenidos en otra abertura de malla más pequeña (usualmente 500 μm). Esta última abertura mejora considerablemente la cuantificación de la abundancia en el bentos, siendo la adoptada para muestreos en ese tipo de ambientes (Gage *et al.*, 2002).

En contraste, el uso progresivo de aberturas de malla más finas incrementa significativamente el costo del procesamiento de muestras y el límite del muestreo depende en

gran medida del soporte logístico y financiero con que se cuenta (Schlacher y Wooldridge, 1996a; Okamoto y Pereira, 1998).

Cuadro 1. Clasificación de invertebrados béticos, con base en los organismos retenidos en diferentes aberturas de malla de tamiz. Tomado y modificado de Rowe (1983).

Microbentos	<0.04 mm =(40 μ m) (Burnett, 1978)
Meiobentos	>0.1 mm, 0.05-0.001 mg/organismo (Mare, 1942) >0.03-0.06 mm =(30-60 μ m) (Hulings y Gray, 1971), excluyendo macrofauna
Macrobentos	>1- mm, >1 mg (Mare, 1942) >0.42- mm= (420 μ m) (Sanders <i>et al.</i> , 1965) >0.5- mm = (500 μ m)(Frankenberg y Menzies, 1968) >0.290- mm = (290 μ m) (Hessler y Jumars, 1974) >0.250 mm = (250 μ m) (Khripounoff <i>et al.</i> , 1980) >0.12 mm = (120 μ m)(Paul y Menzies, 1974)
Megabentos	Visible a simple vista en las fotografías (Hessler y Jumars, 1974; Rowe y Menzies, 1969; Grassle <i>et al.</i> , 1975; Rice <i>et al.</i> , 1982)

Debido a que la abertura de malla influye fuertemente sobre la calidad y tipo de datos en los estudios de macrofauna, es de importancia crucial la optimización de los protocolos de muestreo para la estimación e interpretación de patrones espaciales tanto de la densidad como de la biomasa (Andrew y Mapstone, 1987). Los objetivos específicos de un estudio constituyen el primer criterio en la elección de la abertura de malla para separar la macrofauna del sedimento. Estos objetivos pueden estar comprendidos en tres categorías amplias, sin ser exclusivas (Schlacher y Wooldridge, 1996b): 1) inspecciones faunales, cuyo propósito es caracterizar a las comunidades en términos de riqueza de especies y de abundancia de poblaciones individuales; 2) estudios cuantitativos, en los cuales los atributos poblacionales (ejemplo, densidad) son estimados con una precisión específica; y 3) inferencias estadísticas sobre una hipótesis específica (ejemplo: impacto de contaminantes), donde las comunidades son comparadas espacial o temporalmente.

El mayor número de estudios de mar profundo se ha realizado en países de latitudes altas y la estrategia empleada para las muestras béticas ha sido procesarlas con tamices de abertura de malla de 300 μ m. Esta técnica obedece a las tallas mayores de algunos organismos béticos en

latitudes altas ("gigantismo polar": Chapelle y Peck, 1999), atribuido a la baja temperatura y metabolismo (Menzies *et al.*, 1973), así como a la disponibilidad de alimento (McConaughey, 1978; Rowe, 1983; Galéron *et al.*, 2000) y de oxígeno. Los dos últimos, han sido considerados recientemente como los factores ecológicos más importantes que determina el incremento de talla corporal en la plataforma continental (Chapelle y Peck, 1999) y el mar profundo (McClain y Rex, 2001). Ambos parámetros llegan a este hábitat a través de la columna de agua, pasando de la masa de agua de fondo al sedimento por difusión en el caso del oxígeno y por hundimiento en el caso de las partículas de alimento (Thiel, 1983; Kennedy, 1993). En los ambientes de mar profundo, el oxígeno llega a ser un parámetro limitante sólo en casos especiales. Las condiciones anóxicas son el resultado del porcentaje de intercambio muy bajo con la columna de agua, y los altos aportes de materia orgánica (Berner, 1982).

Sin embargo, el uso generalizado de la abertura de malla de 300 μm puede traer consigo limitaciones severas en los resultados, ya que por su talla reducida se podría perder una gran cantidad de taxa pertenecientes a la macrofauna, sobre todo en zonas tropicales.

Por el contrario, desde el inicio del estudio del mar profundo en aguas mexicanas Escobar (1993) empleó tamices de 250 μm asumiendo que los organismos bénticos a grandes profundidades en los ambientes tropicales están limitados en alimento y por lo tanto presentan tallas reducidas. Varios estudios han demostrado que conforme incrementa la profundidad y la distancia a la costa, el alimento llega al talud continental y planicie abisal a través del transporte escalonado, dependiendo de la producción primaria y secundaria de la columna de agua (Rowe, 1983; Gage y Tyler, 1991), o de las corrientes de turbidez (Escobar *et al.*, 1999).

El aporte de alimento en latitudes altas e intermedias generalmente es elevado, en comparación con latitudes tropicales. Esta diferencia influye en la talla de los individuos, pues a poco alimento se invierte poca energía en crecimiento (Graf, 1989; Gage y Tyler, 1991; Cosson *et al.*, 1997).

El enriquecimiento del piso marino probablemente sea mayor en latitudes altas debido a los siguientes factores: 1) las aguas marinas en latitudes altas son más ricas en nutrientes, lo que podría dar producciones primarias superficiales mayores y debido a estos "florecimientos" de alimento superficial, y a su posterior muerte, hundimiento y depositación en el fondo, podría representar una entrada importante de alimento al mar profundo; 2) restos de animales de gran tamaño (mamíferos marinos, peces, calamares, pulpos, entre otros) podrían representar una entrada masiva (aunque aperiódica e impredecible) de alimento; y 3) la ausencia de una barrera

física, como sería el caso de la termoclina en los trópicos, permite la depositación relativamente rápida del alimento hacia el mar profundo (Graf, 1989; Gage y Tyler, 1991).

En los últimos años, se ha prestado una atención considerable a la evaluación de los aparatos de muestreo y diseños estadísticos para dar mayor eficiencia y precisión a las estimaciones de la abundancia de los organismos (Andrew y Mapstone, 1987). No obstante, se ha brindado menos atención a los procedimientos de post-muestreo (ejemplo: tamizado de muestras), a pesar de que esta etapa sea importante para estimaciones más precisas de la estructura comunitaria (Bachelet, 1990).

Particularmente, los registros sobre densidad y biomasa de la macrofauna béntica en la plataforma y talud para el caso de la Zona Económica Exclusiva (ZEE) de México son escasos, más aún para la zona abisal. Los trabajos sobre la comparación de técnicas de muestreo son prácticamente inexistentes inclusive en ambientes tropicales.

Por lo anterior, el propósito del presente estudio es comparar la estructura comunitaria (a partir de la composición taxonómica, densidad y biomasa) de la macrofauna, obtenida con dos aberturas diferentes de malla de tamiz en la región occidental del Golfo de México.



ANTECEDENTES

Los primeros estudios cuantitativos sobre el bentos realizados alrededor de la década de los 40's, estuvieron restringidos a los grupos taxonómicos que se retenían en los tamices usados para lavar el sedimento. La abertura de malla empleada más frecuentemente era 1,000 μm como límite más bajo (Thiel, 1983).

Sanders *et al.* (1965), usando un tamiz de 1,000 μm observaron que se perdió gran parte de los componentes de la macrofauna por lo cual introdujeron una abertura de malla de 420 μm . Esta última abertura fue adoptada por otros investigadores como Giggs, de la Universidad del Estado de Oregon y Hessler del Instituto de Oceanografía (Scripps) (Menzies *et al.*, 1973). Más tarde, Menzies y Rowe (1968) emplearon una abertura de 500 μm . Hessler y Jumars (1974), para su muestreo abisal en el Pacífico Norte utilizaron una abertura de 297 μm recolectando varios taxa que se creyó debían pertenecer a la macrofauna.

Hessler (1974; en Gage *et al.*, 2002), mencionó que para poder recolectar un mayor número de taxa en sedimentos localizados bajo aguas oligotróficas – como es el caso del Golfo de México –, era esencial una abertura de malla de tamiz mucho más fina. Mencionó también que la talla corporal de la macrofauna en el mar profundo es comparable con la talla que llega a presentar la meiofauna en aguas someras.

Una abertura de malla de 250 μm ha sido usada como límite de abertura inferior por los franceses desde la década de los 70's, para sus estudios sobre macrobentos en el mar profundo (Gage *et al.*, 2002). Un ejemplo de esto es el estudio realizado en el Atlántico noroeste tropical, donde se caracterizó la estructura y la biomasa de las comunidades bénticas (*sensu stricto* – en el caso de la macrofauna –) en tres sitios con diferente productividad primaria superficial (eutrófico, mesotrófico y oligotrófico). El uso de la abertura de tamiz de 250 μm permitió reconocer que la riqueza taxonómica, densidad y biomasa de los componentes bentónicos disminuyen con el incremento de la profundidad y con la disminución de los aportes de alimento. Lo anterior sugirió que la reducción del aporte de alimento es el factor más importante en el control de la fauna béntica marina de profundidad (Galéron *et al.*, 2000). Esta misma abertura de malla fue usada posteriormente en programas de muestreo en profundidades abisales financiados por Estados Unidos a partir de la década de los 80's. Gage *et al.* (2002) lavaron las muestras de sedimento de mar profundo de latitudes altas del Atlántico Norte, utilizando una abertura de 250 μm ;

posteriormente en el laboratorio utilizó mallas de 1,000, 500, 425, 300 y 250 μm para estimar la riqueza taxonómica, densidad y biomasa de la macrofauna. Observaron que el 94% de la biomasa retenida por el tamiz más fino (250 μm), fue la misma proporción obtenida en el tamiz más grande (1000 μm). Lo anterior confirmó que los individuos de talla grande contribuyen en gran medida a la biomasa del macrobentos, permitiendo reconocer la conveniencia de utilizar un tamiz con abertura de 1000 μm para reducir tiempo de esfuerzo cuando el fin es hacer estudios de biomasa exclusivamente. Sin embargo, sus resultados mostraron un efecto marcado de la abertura del tamiz en la abundancia y riqueza de las especies, ya que estas variables se incrementaron con una abertura de tamiz más fina.

Polloni *et al.* (1979; en Thiel, 1983) presentaron datos de estructura de talla de macrofauna de un total de 283 especies muestreadas entre 400 y 3,600 m de profundidad en el noroeste del Atlántico. El promedio de talla se mantuvo, por lo que sugirieron que la talla reducida en el mar profundo no tiene que ser un fenómeno generalizado a todos los taxa. Respecto a lo anterior, Sibuet *et al.* (1984) mencionaron que sería necesario un número de estudios mayor para saber como se distribuye la energía entre los diferentes componentes de una comunidad y así explicar la tendencia de aumento o disminución de la talla corporal de las especies con el incremento de la profundidad.

Entre los trabajos realizados en el área de estudio (región occidental del Golfo de México) que exceden los 200 m, Falcón (1998), Hernández (1999) y Escobar *et al.* (1999) analizaron la riqueza taxonómica, densidad y biomasa de la meio y macrofauna a lo largo de un gradiente de profundidad en la porción occidental del Golfo de México. La descripción del patrón de distribución en el gradiente batimétrico de la densidad y biomasa de la macrofauna en el suroeste del Golfo se presentó por Rodríguez (1999).

El empleo de diferentes métodos de muestreo y de procesamiento puede complicar la interpretación de los resultados al comparar los valores de densidad y biomasa. Sin embargo, resulta necesario cuando se quiere tener una referencia de la magnitud de los valores estimados por otros autores en zonas tropicales (Pfannkuche, 1985).



HIPÓTESIS

La fauna béntica de mar profundo, depende para su subsistencia de la exportación del carbono biogénico al fondo (Rowe, 1983; Cosson *et al.*, 1997; Galéron, 2000). Este evento de naturaleza estacional es común en latitudes altas (Rowe *et al.*, 1974), mientras que en latitudes bajas el evento de exportación está limitado por la estratificación térmica y por la producción primaria incipiente. La exportación está dada por eventos estocásticos como frentes de invierno, tormentas y huracanes, entre otros (Escobar *et al.*, 1999). La disminución del número y talla de la macrofauna con la profundidad, puede ser proporcional al índice de disminución en producción primaria hacia mar adentro y a la cantidad y calidad de la materia orgánica que se deposita en el fondo de la cuenca (Thiel, 1983).

Hipótesis de trabajo:

La riqueza taxonómica, la densidad y la biomasa de la fauna de mar profundo en el área de estudio, presentarán diferencias significativas entre las aberturas de malla de tamiz de 250 y 300 μm y entre las zonas batimétricas definidas por el talud continental y la planicie abisal, dada la disminución significativa de talla como resultados de limitaciones energéticas.

FUNDAMENTO

A nivel mundial, se han realizado pocos estudios dirigidos a evaluar el desempeño de diferentes aberturas de malla. La mayoría de los resultados sobre este tema, se dan a partir de comparaciones entre dos aberturas de malla en particular y se generaliza a lo largo de la literatura (Bachelet, 1990). De esta forma, muchos estudios del macrobentos se realizan más por costumbre con una u otra abertura de malla que por consideración del espectro de talla de este componente béntico (Andrew y Mapstone, 1987). En México, estos estudios son prácticamente inexistentes, por lo que el presente trabajo permitirá evaluar el efecto de la malla de tamiz en las estimaciones de riqueza taxonómica, densidad y biomasa de la infauna de las zonas de mar profundo (talud continental y planicie abisal) dentro de la Zona Económica Exclusiva (ZEE) en la región occidental del Golfo de México. Adicionalmente, los resultados obtenidos sobre la talla de la macrofauna béntica servirán como base para evaluar el efecto de la oligotrofia persistente sobre la estructura comunitaria en el Golfo de México.



OBJETIVOS

Objetivo general

Comparar la eficiencia de recolecta entre dos aberturas de malla de tamiz (250 μm y 300 μm) a partir de la riqueza taxonómica, la densidad y la biomasa de la macrofauna en el talud continental y la planicie abisal de la región occidental del Golfo de México.

Objetivos particulares

- 1) Comparar la riqueza taxonómica, la densidad ($\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$) y la biomasa ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}$) de la fauna retenida entre tamices con abertura de malla de 250 y 300 μm en el talud continental y en la planicie abisal.
- 2) Caracterizar por su frecuencia y abundancia a los componentes faunísticos en tamices con abertura de malla de 250 y 300 μm .
- 3) Describir los factores ambientales de columna de agua (temperatura, salinidad y concentración de oxígeno disuelto) y del sedimento (contenido de clorofilas en sedimento, porcentaje de nitrógeno y tamaño de grano) a lo largo del gradiente batimétrico.
- 4) Evaluar la relación de la riqueza taxonómica, la densidad y la biomasa con los factores ambientales.



ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubicó dentro de las coordenadas geográficas de 21°15'58" y 23°30'50" N y 92°17'15" y los 96°41'39" W, en el sector occidental del Golfo de México dentro de la Zona Económica Exclusiva de México (Fig. 1). Incluyó un transecto de noreste a suroeste que abarcó las zonas batimétricas de talud continental inferior y la planicie abisal. En el talud continental se realizaron tres estaciones de trabajo dentro de un intervalo de profundidad de 1,100 a 2,250 m. En la planicie abisal se realizaron cinco estaciones con un intervalo de profundidad de 3,700 a 4,000 m.

Esta zona se caracteriza por presentar un margen continental estrecho, de talud abrupto, caracterizado por plegamientos paralelos a la línea de costa denominados Cordilleras Mexicanas, que se extienden entre los 19° y 24° N (Antoine *et al.*, 1974). Éstas actúan como barrera del sedimento de origen continental, generando por su naturaleza y origen uno de los taludes continentales únicos en el mundo (Moore y del Castillo, 1974). Hacia el este y el sur se extiende una planicie abisal amplia denominada "Planicie abisal de Sigsbee", la cual presenta las profundidades mayores en el Golfo de México. Esta zona se extiende desde la isóbata de 2,500 m hasta 3,800 m y esta cubierta por una sección sedimentaria amplia (> 9 km). Por debajo de esta sección se encuentran diapiros salinos (Antoine y Bryant, 1969) que continúan en dirección sur y suroeste hacia el Banco de Campeche y son denominados "Nodos de Sigsbee" (Uchupi, 1975), (Fig. 1). Las fuentes principales de los sedimentos terrígenos son los aportes de los ríos Bravo y Mississippi (Bryant *et al.*, 1991), con un contenido de carbonatos menor al 25 % (Bouma, 1972).

Los sedimentos superficiales que cubren la cima de los Nodos de Sigsbee son lodos (oozes) pelágicos, principalmente formados de restos de foraminíferos y algunas capas delgadas de turbiditas (Bryant *et al.*, 1991). En general, los sedimentos del sector oeste del Golfo de México están clasificados dentro de las provincias 3, 4 y 7 propuestas por Antoine (1972).

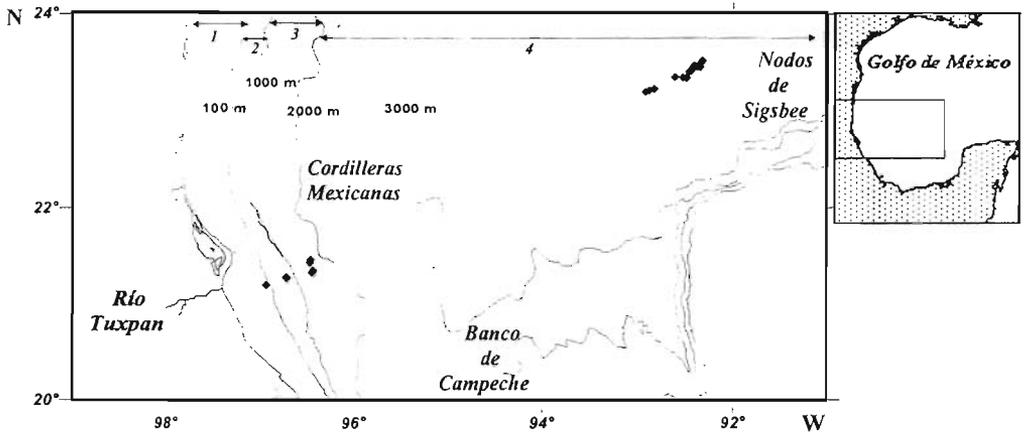


Figura 1.- Área de estudio y localización de las estaciones de muestreo (♦). Zonas batimétricas: 1.- Plataforma continental, 2.- Reborde continental, 3.- Talud continental y 4.- Planicie abisal.

El agua profunda en el centro del Golfo de México tiene características diferentes de temperatura y salinidad, en comparación con el agua profunda sobre los umbrales en los estrechos de Yucatán y Florida. La cuenca del Golfo alcanza los 4,000 m mientras que los umbrales de Yucatán y Florida tienen profundidades menores de 2,000 m y 750 m, respectivamente. El agua que llena la cuenca pasa por estos umbrales por eventos extremos que podrían estar acoplados con procesos de gran escala y ser indicadores de la variación interanual o de un período mayor (Gallegos y Czitrom, 1997).

La hidrodinámica del área de estudio está determinada por los patrones de circulación general que prevalecen en el sector occidental del Golfo (Vidal *et al.*, 1992). Por cada anillo anticiclónico que se desprende de la Corriente de Lazo con una migración hacia el oeste en las capas superiores, existe un par de giros ciclónico-anticiclónico asociados en las capas profundas (Sturges *et al.*, 1993) viajando más rápido que el promedio de la velocidad de migración de los anillos superficiales de la Corriente de Lazo.

La batimetría del fondo en la parte central del Golfo de México es un factor determinante en la migración del par de giros ciclón-anticiclón. Existe un pasaje somero de la isóbata de 3,000 m que conecta las dos porciones más profundas (debajo de la isóbata de 3,400) ubicadas en el este y en el oeste-centro. El par profundo ciclón-anticiclón que se forma debajo del anillo anticiclónico refleja la batimetría del fondo. Así, cuando el anillo anticiclónico migra arriba de este pasaje, el par ciclónico-anticiclónico profundo se constriñe en la dirección norte-sur como si fuera empujado a través de dicho pasaje, con el anticiclónico encabezando el par. Una vez dentro de la

cuenca central el giro ciclónico-anticiclónico se reforma con el fortalecimiento del ciclónico con respecto al anticiclónico, dominando el primero la circulación profunda en la cuenca del lado oeste. Algunas características de los giros ciclónicos en la isóbata de los 2.550 m incluyen un tamaño promedio de 270 km, una velocidad de migración promedio de 3.69 km.d^{-1} y 4.28 cm.s^{-1} , 225 días en promedio para alcanzar el talud superior del oeste del Golfo de México y 307 días de vida (Welsh e Inoue, 2000). El desfase entre el anillo anticiclónico que se desprende de la Corriente de Lazo con respecto a los ciclónicos profundos, se atribuye al retraso en el arrastre que se da en el canal de la isóbata de los 3,000 m; sin embargo, cuando los ciclónicos profundos han migrado hacia la cuenca central del Golfo de México, su movimiento se vuelve más rápido que al anillo anticiclónico de las capas superiores. Así una vez en la porción central, el anillo anticiclónico en las capas superiores se posiciona al noroeste con respecto al giro ciclónico profundo, moviéndose sobre el talud mexicano. El giro ciclónico profundo comienza a ser atrapado por la batimetría de fondo debajo de los 3,300 m, formando una corriente de chorro hacia el sur a lo largo del talud sur de Texas-México en las capas inferiores para posteriormente ser disipada (Welsh e Inoue, 2000).

Esta compleja hidrodinámica profunda, obviamente influye en la hidrodinámica superficial cuyo efecto, a su vez, se refleja en la generación de una productividad primaria elevada en algunas zonas como resultado de la formación de florecimientos de aguas subsuperficiales ricas en nutrientes (Monreal-Gómez y Salas-de-León, 1997). No obstante, la estratificación vertical de la salinidad y temperatura constituyen una barrera física para la exportación del carbono biogénico por debajo de la capa eufótica hacia el talud y la planicie abisal, (Monreal-Gómez y Salas-de-León, 1997). Por debajo de la capa de mezcla, la estratificación de la columna de agua es casi permanente y solamente es alterada por los frentes continentales durante el invierno y otras anomalías climáticas (Vidal *et al.*, 1990). En este sentido, el Golfo de México se ha reconocido como un sistema oligotrófico que presenta estacionalidad, teniendo la mayor producción primaria cuando se presenta mezcla de la columna de agua asociada a los "Nortes" (noviembre a mayo) que genera en forma desacoplada, de junio a noviembre, un aumento en la densidad y biomasa del bentos (Soto y Escobar, 1995; Escobar y Soto, 1997).

Las condiciones fisicoquímicas del Golfo de México son resultado principalmente de la variabilidad de la hidrodinámica de la cuenca. En el talud superior (entre los 250 y 900 m de profundidad), se ha reconocido una capa de concentración mínima de oxígeno disuelto (2.5 mg.l^{-1}). Esta capa de agua obedece a una de las bisecciones de la distribución del campo de

circulación baroclínica y puede estar determinada por la batimetría de la zona, por la época climatológica, por la velocidad y el flujo de la Corriente de Lazo, por los giros ciclónicos y anticiclónicos, o bien por la influencia fluvial (Vidal *et al.*, 1994). Las aguas del oeste del Golfo muestran una capa amplia de mínimo oxígeno, que va de los 200 m hasta los 500 m de profundidad; sin embargo, los patrones de circulación ciclónica y anticiclónica comunes en esta zona pueden modificar su profundidad (Moulin, 1980).

Hacia el sector oeste de la cuenca (área de recolecta de este estudio), las condiciones oceánicas que predominan están caracterizadas por un perfil térmico con tres zonas: la capa de mezcla, la termoclina y la capa profunda. Este perfil térmico se extiende en un intervalo de 23° a 4°C. El máximo de salinidad (36.7), se localiza por debajo de la zona de mezcla que disminuye rápidamente y forma la haloclina hasta los 400 m. A partir de este estrato, la salinidad disminuye y alcanza un mínimo de 34.88 a los 750 m donde se reconoce el Agua Intermedia Antártica (AIA). Esta capa de transición juega un papel importante en la captación y distribución de nutrientes. El AIA se localiza después de los 900 m y se extiende hasta los 1,500 m aproximadamente. Esta masa de agua está caracterizada por un mínimo de salinidad (34.86-34.89) y temperatura de 6.2°C (Nowlin, 1971). Por debajo de ésta, a partir de los 1,500 m se localiza el Agua Profunda del Atlántico Norte (APAN), donde la temperatura decrece paulatinamente y la salinidad aumenta ligeramente, hasta alcanzar la zona donde la masa de agua de fondo está bien caracterizada con 4°C y salinidad de 34.96 (Nowlin, 1967).



MATERIAL Y MÉTODO

Trabajo de campo

Las muestras se recolectaron durante la campaña oceanográfica *SIGSBEE-4*, que se llevó a cabo del 22 al 29 de junio de 2001 a bordo del B/O Justo Sierra. Esa campaña formó parte de un proyecto interdisciplinario e interinstitucional a largo plazo (Bentos del Mar Profundo) del cual el planteamiento global contempla un principio fenomenológico que procura cubrir un ambiente eutrófico y un oligotrófico a lo largo de un gradiente batimétrico.

Para la realización de la campaña oceanográfica, se siguió un transecto perpendicular a la línea de costa entre los 21°15'58" y 23°30'50" N y 92°17'15" y los 96°41'39" W. El transecto cubrió un gradiente batimétrico de 326 a 3, 975 m en dirección a la planicie abisal y a los Nodos de Sigsbee. Sin embargo, la estación 1 (326 m) se excluyó en este trabajo por su profundidad, ya que en la zonación propuesta por Hernández (1999) para la región occidental del Golfo de México (más tarde utilizada por Díaz (2001) y Hernández (2002)), esta estación pertenece a la zona de reborde continental-talud continental superior y en el presente estudio sólo se contemplaron (por la profundidad de las estaciones) dos zonas batimétricas: talud continental inferior y planicie abisal.

La ubicación preliminar de las estaciones para la obtención de datos, material de columna de agua y de sedimento presentadas en la campaña dependió de la batimetría (en algunas áreas poco documentada a detalle), de las condiciones hidrográficas encontradas durante la campaña, así como de la limitante en el tiempo de crucero y el alto costo del mismo.

Debido a la dificultad de muestreo que implica trabajar a tales profundidades, no se puede tener control de algunas variables, como por ejemplo: la deriva del Buque originada por las corrientes superficiales al momento del muestreo, así como el seno que forma el cable que descende el nucleador con respecto al piso marino, el cual es arrastrado por las corrientes de fondo. Por lo anterior, las coordenadas que aparecen en el Cuadro 3 corresponden a la ubicación del momento en que cada nucleador hizo contacto con el fondo marino.

Recolecta de datos y materiales

Columna de agua: en cada una de las localidades de muestreo se registraron temperatura y salinidad con una sonda CTD Delta Mark III C-24" WOOCE de General Oceanic, S/N 02-549.

Las muestras de agua de fondo se tomaron con la roseta del CTD y se emplearon para conocer la concentración de oxígeno disuelto. Para ello se utilizó un oxímetro YSI modelo 51B y sensor YSI modelo 5905 con precisión de $\pm 0.1 \text{ mg.l}^{-1}$ (calibración por temperatura o 2 % de la lectura).

Sedimento: las muestras de sedimento se obtuvieron en fondos blandos con un nucleador de caja (*boxcore*) tipo US-NEL. Este nucleador cubrió un área inicial de 0.25 m^2 , el cual a su vez se dividió en cuatro cuadrantes. Cada cuadrante representó una réplica de sedimento que cubrió un área de 0.0625 m^2 . En cada estación de muestreo (a excepción de la estación 9, debido a la limitante en el tiempo de crucero y el alto costo del mismo), el nucleador se lanzó tres veces. Por lo anterior, en el Cuadro 3 en la columna de estaciones (E), aparece una numeración en donde se incluye el número de estación al igual que el número de lance del nucleador (ejemplo: 7.1, 7.2 y 7.3).

En cada una de las estaciones, del nucleador "1" se obtuvieron cuatro réplicas que fueron tamizadas a través de la abertura de malla de $250 \mu\text{m}$; del nucleador "2" se obtuvo la quinta réplica para tamizar en la malla de $250 \mu\text{m}$ y tres réplicas fueron tamizadas a través de la abertura de $300 \mu\text{m}$; finalmente, del nucleador "3" se obtuvieron dos réplicas para tamizar en la abertura de $300 \mu\text{m}$. De uno de los dos cuadrantes restantes del tercer nucleador, se recolectaron las muestras del sedimento superficial para evaluar la concentración de pigmentos en sedimento, el contenido de nitrógeno y de carbono orgánico y el tamaño de grano. El último cuadrante sirvió para obtener las muestras de meiofauna.

En la estación 9 sólo fue posible realizar dos lances. De uno de ellos se tomaron las cuatro réplicas que se tamizaron a través de abertura de malla de $300 \mu\text{m}$ y del segundo lance, sólo se pudo obtener tres réplicas para tamizar en la abertura de malla de $250 \mu\text{m}$, ya que el cuarto cuadrante sirvió para recolectar las muestras de las variables abióticas, al igual que las muestras de meiofauna (Cuadro 2).

La infauna macrobéntica se obtuvo de los primeros 10 cm del sedimento superficial que fue recolectado en cada nucleador. Después de resuspender cada réplica en agua marina, el sedimento se filtró a través de la abertura de malla correspondiente. El sedimento que permaneció en los tamices se preservó en frascos previamente etiquetados con capacidad de 1,000 ml, con etanol al 96 %. Cada muestra de sedimento fue teñida con Rosa de Bengala (tinción vital) para facilitar la separación de los organismos.

Las muestras para analizar el contenido de nitrógeno orgánico, carbono orgánico y los pigmentos en el sedimento, se obtuvieron con núcleos (jeringas de 20 ml) tomando los primeros 5 ml del sedimento contenido en cada núcleo. Las muestras destinadas para el análisis de los pigmentos se cubrieron con papel aluminio antes de congelarse, a fin de evitar la degradación de los mismos por luz.

Las muestras para el análisis del sedimento, se obtuvieron con una espátula tomando los primeros 10 cm del sedimento, las cuales se guardaron en frascos de 100 ml previamente etiquetados. En estas muestras, se registró la temperatura, color y la profundidad. Los datos registrados son indispensables para caracterizar en un momento dado las condiciones generales en las que se tomaron las muestras.

Todo el material obtenido se mantuvo en el congelador científico del buque a -20°C para su posterior análisis en el laboratorio.

Cuadro 2.- Número de estaciones, réplicas por estación, por tamiz y por zona batimétrica para cada zona batimétrica recolectadas durante la campaña oceanográfica SIGSBEE-4.

Estación	Macrofauna	
	250 μm	300 μm
Talud Continental		
Número de réplicas por estación		
9	3	4
8	5	5
2	5	5
Número total de réplicas por tamiz	13	14
Número total de réplicas por zona	27	
Planicie Abisal		
Número de réplicas por estación		
3	5	5
5	5	5
6	5	5
4	5	5
7	5	5
Número total de réplicas por tamiz	25	25
Número total de réplicas por zona	50	

Cuadro 3.- Ubicación y características ambientales de las localidades de muestreo para la campaña oceanográfica SISGSBEE-4. Abreviaturas: E = Estación; N = Norte; W = Oeste; Z = Profundidad; Temp = temperatura de fondo; O.D = concentración de oxígeno disuelto del agua de fondo; Chl.S = concentración de pigmentos en el sedimento; N.O. = Nitrógeno orgánico; C.O. = Carbono orgánico.

E	Latitud (N)	Longitud (W)	Z (m)	Temp. (°C)	Salinidad	O.D. (mg.l ⁻¹)	Chl.S mg.m ⁻²	N.O. (%)	C.O. (%)	Arenas (%)	Lodos (%)
Talud Continental											
9.1	21°15'58"	96°41'29"	1, 103	7.0	34.45	5.50	2.82	0.12	1.09	6.22	93.78
9.2	21°16'17"	96°41'39"	1, 112								
8.1	21°19'01"	96°25'13"	1, 608								
8.2	21°19'09"	96°25'19"	1, 630	5.0	34.80	5.44	0.77	0.08	4.88	7.92	92.08
8.3	21°20'47"	96°24'58"	1, 714								
2.1	21°25'56"	96°26'57"	1, 733								
2.2	21°23'30"	96°26'28"	1, 714	4.9	34.82	6.10	0.20	0.10	1.10	12.94	87.06
2.3	21°27'12"	96°26'12"	1, 633								
Planicie Abisal											
3.1	23°30'58"	92°17'24"	3, 785								
3.2	23°30'50"	92°17'15"	3, 787	4.0	34.91	5.98	0.31	0.07	3.75	13.45	86.55
3.3	23°30'12"	92°17'37"	3, 780								
5.1	23°23'40"	92°22'47"	3, 795								
5.2	23°24'36"	92°24'09"	3, 795	4.0	34.99	6.00	0.82	0.07	5.05	17.47	82.53
5.3	23°24'11"	92°25'23"	3, 841								
6.1	23°20'05"	92°27'06"	3, 850								
6.2	23°20'31"	92°29'20"	3, 880	4.0	34.99	5.90	0.59	0.12	1.06	15.49	84.51
6.3	23°20'58"	92°34'29"	3, 815								
4.1	23°26'55"	92°18'58"	3, 880								
4.2	23°27'14"	92°20'24"	3, 880	4.0	34.99	5.94	0.51	0.10	2.46	18.61	81.39
4.3	23°27'32"	92°21'58"	3, 865								
7.1	23°13'37"	92°47'58"	3, 826								
7.2	23°12'30"	92°50'58"	3, 830	4.0	35.01	5.94	1.24	0.08	4.99	5.57	94.43
7.3	23°11'40"	92°53'05"	3, 975								

Trabajo de laboratorio

En el laboratorio, las muestras de infauna 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 12 aumentos, y los organismos que se encontraron se separaron e identificaron a nivel Phylum, Subphylum, Clase u Orden basados en la clasificación propuesta

por Brusca y Brusca (1990). Cada grupo taxonómico se cuantificó y se pesó por separado en una balanza analítica OHAUS (0.0001 mg de precisión) para obtener los valores de peso húmedo fijado (phf). Los especímenes se preservaron por taxón en viales etiquetados con etanol al 70%. Los resultados que se obtuvieron de densidad y biomasa se registraron en bitácoras de laboratorio que se integraron en una base de datos correspondiente a la campaña oceanográfica.

La densidad ($\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$), se calculó a partir del número de individuos (por taxa) encontrados en cada réplica con un área inicial de 0.0625 m^2 . La biomasa (expresada en $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}$) se obtuvo de la transformación de los datos del peso húmedo fijado a carbono conforme las constantes por grupo taxonómico propuestas para el mar profundo del Golfo de México por Rowe (1983) y Escobar *et al.* (1997 y 1999).

Clorofilas en sedimento: las muestras de sedimento recolectadas para este análisis se descongelaron a temperatura ambiente en el laboratorio. Una vez descongeladas se les agregó a cada muestra 10 ml de acetona al 90% para comenzar la extracción. Los tubos se dejaron en oscuridad a 4°C por no más de 24 horas para evitar la degradación de los pigmentos. Cada tubo se centrifugó a 1,700 r.p.m. durante 15 minutos. Con una pipeta se tomaron 8 ml del sobrenadante y se colocaron en cubetas de 8 ml para posteriormente tomar la lectura en un fluorómetro 10-AU Turner Designs, en el cual se analizaron las muestras vía fluorescencia, obteniendo los valores totales de clorofila en unidades de $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (Lorenzen y Jeffrey, 1980).

Carbono y nitrógeno orgánico: el sedimento se descongeló a temperatura ambiente en el laboratorio. El contenido de los tubos se colocó en cápsulas de porcelana y se aciduló con una solución de HCl al 0.1 N para eliminar el exceso de carbonatos y posteriormente se enjuagó con agua de-ionizada para eliminar el exceso de ácido. Cada muestra se dejó evaporar a temperatura ambiente en una campana de evaporación. Aquellas que presentaron una humedad excesiva se secaron en un horno a 40°C hasta que quedaron completamente secas; posteriormente se tamizaron a través de una malla de 0.25 mm para homogeneizarlo.

El sedimento homogeneizado se colocó 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 FISONs modelo EA1108 siguiendo la estrategia de Pella (1990).

El método analítico original se basó en una oxidación completa e instantánea de la muestra por "combustión rápida", la cual convirtió todo el material y sustancias orgánicas e inorgánicas

en productos de combustión. El gas, resultado de la combustión, pasó a través de un horno de reducción y se extendió dentro de la columna cromatográfica por el gas acarreador (helio) donde fue separado y detectado vía un detector termal de conductividad (DTC), el cual lleva un rendimiento proporcional notable de la concentración de los componentes individuales de la mezcla.

Sedimento: el análisis granulométrico del sedimento superficial, se realizó basándose en la técnica de pipeteo de Folk (1969). Se agregó H_2O_2 a la muestra con el fin de eliminar la materia orgánica presente. Una vez que terminó la efervescencia la muestra se lavó y se tamizó a través de una abertura de malla de 4 phi (Φ). La parte retenida en el tamiz se colocó en una cápsula de porcelana y se secó a $60^\circ C$ con objeto de cuantificar la fracción correspondiente a arenas. La porción que pasó el tamiz se colocó en una probeta de 1,000 ml y se aforó con agua destilada, para evaluar la fracción de lodos.

Una vez en la probeta, a la muestra se le agregó 0.5 g de dispersante (Hexametáfosfato de Sodio ($NaPO_4$)), se agitó durante 1 minuto, y se tomaron las alícuotas siguiendo la tabla de tiempos establecida correspondientes a los tamaños 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11 Φ . Cada alícuota se colocó en una cápsula de porcelana y se secó a temperatura ambiente. Una vez secas, se pesaron para poder calcular el porcentaje de cada tipo de sedimento (arenas y lodos). Posteriormente se realizaron los histogramas y los análisis estadísticos correspondientes.

Tratamiento de la información

Para el desarrollo del objetivo uno, se aplicó un análisis de varianza de dos vías (ANOVA-dos vías), utilizando como factores principales: 1) zonas batimétricas (talud continental vs. planicie abisal) y 2) aberturas de malla de tamiz (250 μm vs. 300 μm).

El ANOVA de dos vías se realizó por separado para cada una de las variables biológicas (riqueza taxonómica, densidad y biomasa), a partir de los valores por réplica (como réplicas se usaron todas las muestras de todas las estaciones para cada zona batimétrica) cumpliendo con los supuestos de homocedasticidad y normalidad de los datos. Los datos de densidad y biomasa se tuvieron que transformar utilizando *raíz cuadrada* y *logaritmo₁₀*, respectivamente, para cumplir con los supuestos. La homocedasticidad se comprobó mediante la prueba de Hartley- F_{max} ($p \geq 0.05$).

Si a pesar de todas las transformaciones posibles de los datos no se cumplía con los supuestos, la alternativa sería el uso de un análisis no paramétrico (Kruskal-Wallis), aunque este tipo de análisis es menos susceptible de detectar una diferencia o relación si está presente (Zar, 1984; Infante y Zárate de Lara, 1998; Wheater y Cook, 2000).

Para caracterizar la frecuencia y abundancia de los componentes faunísticos en ambas aberturas de malla (objetivo dos), se realizó una prueba de Olmstead y Tukey (Sokal y Rohlf, 1969; García de León, 1988), el cual sirvió para caracterizar los grupos taxonómicos por su abundancia y frecuencia de ocurrencia en componentes dominantes, ocasionales, raros y comunes dentro de la comunidad del sedimento. Los resultados de esta prueba se presentaron mediante el gráfico de cuadrantes. En apoyo a este objetivo, se realizó un análisis de clasificación (unión simple) a partir de una matriz de similitud con el índice de Bray-Curtis para reconocer la manera en que se agrupan las estaciones según su riqueza taxonómica y densidad. Para este análisis, los datos de densidad se transformaron mediante raíz cuarta.

Para establecer el grado de correspondencia o dependencia entre las variables abióticas (objetivo tres) se realizó un análisis de correlación de Spearman (Hair, 1999). Se utilizaron los datos de cada profundidad de muestreo para realizar estas correlaciones. Para estas y todas las correlaciones se consideró un nivel de significancia de $p < 0.05$.

Para evaluar la relación de la riqueza taxonómica, la densidad y la biomasa con los factores ambientales (objetivo cuatro), se realizó en primer lugar, un análisis de componentes principales para reconocer cuál de las variables ambientales podría representar el mayor porcentaje de variación de los datos. Posteriormente, se realizó un análisis de correlación canónica para evaluar la correlación entre las variables ambientales y las biológicas, reconociéndose así la(s) variable(s) más importante(s) para explicar la riqueza taxonómica, densidad y biomasa de la infauna. Los datos de las variables biológicas se transformaron mediante raíz cuadrada. Esta prueba empleó la lambda prima como contraste estadístico.

Adicionalmente, en apoyo a la hipótesis general, se calculó el peso medio de los organismos (por Phylum) a lo largo del gradiente batimétrico, dividiéndose el peso total entre el número total de individuos. El simple cálculo de ese descriptor fue utilizado para evaluar el comportamiento del tamaño del cuerpo (en peso) en relación al gradiente batimétrico.



RESULTADOS

Estructura Comunitaria

Riqueza taxonómica:

Respecto al análisis de varianza para el caso de la riqueza taxonómica, la comparación entre ambas aberturas de malla de tamiz en cada una de las dos zonas batimétricas no mostró diferencias significativas. El cambio de profundidad del talud continental a la planicie abisal, sí presentó un efecto significativo sobre el número de taxa presentes en las dos aberturas de malla (Cuadro 4; Fig. 2a). La interacción entre ambos factores no fue significativa (Cuadro 4; Fig. 2b).

Cuadro 4: Cuadro de resultados de ANOVA de dos vías para la riqueza taxonómica.

Factor	Grados de libertad del efecto	Cuadrados promedio del efecto	Grados de libertad del error	Cuadrados promedio del error	F	nivel-p
Zona	1	51.4187	73	2.4691	20.8246	0.0002
Tamiz	1	2.0132	73	2.4691	0.8153	0.3695
Interacción	1	0.3385	73	2.4691	0.1371	0.7122

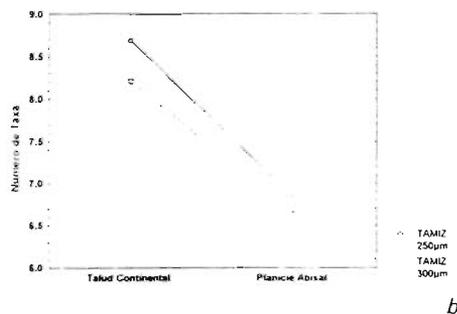
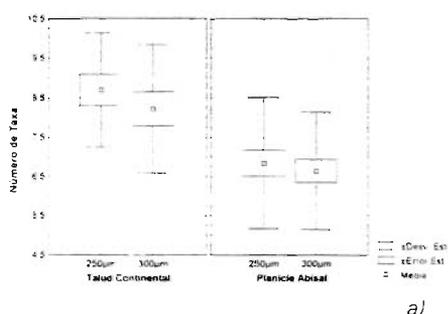


Figura 2.- a) Comparación de ambas aberturas de malla de tamiz en cada una de las zonas batimétricas. incluye desviación estándar (Desv. Est.), error estándar (Error. Est.) y Media; b) Interacción de los factores principales (apertura de malla de ambos tamices y zonas batimétricas) con la riqueza taxonómica.

La macrofauna estuvo compuesta por 20 taxa, los cuales se agruparon en 10 Phyla (Cuadro 5). De los 20 taxa reconocidos, sólo uno se identificó hasta familia (Tubiluchidae), seis se identificaron hasta orden (Hidroidea, Leptostraca, Cumacea, Tanaidacea, Isopoda y Amphipoda), dos taxa a nivel subclase (Ostracoda, Copepoda), diez a nivel clase (Hexactinélida, Polichaeta, Sipunculida, Aplacophora, Bivalvia, Scaphopoda, Gimnolemata, Echinoidea, Ophiuroidea y Holothuroidea), y por la complejidad del grupo dentro de la fauna béntica un taxa a nivel Phylum (Nematoda). La riqueza taxonómica mayor (11 taxa) para ambas aberturas de tamices, se presentó en la estación 8 perteneciente al talud continental a 1,651 m; en tanto que la estación 3 presentó la riqueza taxonómica menor (4 taxa) a una profundidad de 3,784 m ubicada en la planicie abisal para ambas aberturas de tamices (Cuadro 6).

Cuadro 5.- Riqueza taxonómica de los organismos presentes en las estaciones de muestreo. Clasificación según Brusca & Brusca (1990).

<i>Phylum</i>	<i>Subphylum</i>	<i>Clase</i>	<i>Subclase</i>	<i>Superorden</i>	<i>Orden</i>	<i>Familia</i>	<i>Nombre común</i>	
(ANEL) Annelida		Polychaeta					1. Poliqueto	
(NEM) Nematoda							2. Nemátodo	
(ART) Arthropoda	Crustacea	Maxillopoda	Ostracoda				3. Ostrácodo	
			Copepoda				4. Copépodo harpacticoideo	
		Malacostraca	Phyllocarida		Leptostraca		5. Leptostraco	
				Eumalacostraca	Peracarida	Cumacea	6. Cumáceo	
					Tanaidacea	7. Tanaidáceo		
					Isopoda	8. Isópodo		
					Amphipoda	9. Anfípodo		
(MOL) Mollusca			Aplacophora					10. Aplacóforo
			Bivalvia					11. Bivalvo
		Scaphopoda					12. Escafópodo	
(ECTO) Ectoprocta		Gimnolemata					13. Briozoo	
(PORI) Porifera		Hexactinélida					14. Esponja	
(SYP) Sipuncula		Sipunculida					15. Sipuncúlido	
(EQUI) Echinodermata	Eleutherozoa	Echinoidea					16. Equinoide	
		Ophiuroidea					17. Ofiurido	
		Holothuroidea					18. Holoturdo	
(PRIAP) Priapula						Tubiluchidae	19. Priápúlido	
(CNI) Cnidaria		Hidrozoa			Hidroidea		20. Hidroide	

Cuadro 6.- Valores por réplica de la riqueza taxonómica, densidad y biomasa en ambas aberturas de malla de tamiz obtenidas durante la campaña SIGSBEE-4. Abreviaturas: Z= Profundidad (m); n.d.= sin dato; n = número de réplicas por estación.

Estación	Z promedio (m)	Número total de taxa (por réplica)		Densidad total (ind·m ⁻²) (por réplica)		Biomasa total (mgC·m ⁻²) (por réplica)	
		(250 µm)	(300 µm)	(250 µm)	(300 µm)	(250 µm)	(300 µm)
Talud Continental							
9.1		8.00	8.00	1,952	2,368	4.30	8.33
9.2	1,107	11.00	8.00	2,944	2,368	5.03	9.63
9.3		10.00	6.00	2,368	864	4.05	5.96
9.4		n.d.	10.00	n.d.	2,144	n.d.	59.78
Promedio por estación (n=3-4)		9.67	8.00	2,421	1,936	4.46	20.93
(desviación estándar)		(1.53)	(1.41)	(498.15)	(625.64)	(0.51)	(25.95)
8.1		9.00	7.00	3,152	1,696	6.33	32.94
8.2		8.00	9.00	2,464	1,280	6.41	14.12
8.3	1,651	8.00	9.00	1,984	1,600	5.10	3.11
8.4		11.00	11.00	3,216	2,896	8.63	5.56
8.5		7.00	11.00	1,520	1,856	6.82	8.24
Promedio por estación (n=5)		8.60	9.40	2,467	1,865	6.66	12.79
(desviación estándar)		(1.52)	(1.67)	(734.90)	(613.20)	(1.28)	(11.99)
2.1		9.00	7.00	2,000	1,008	9.57	0.62
2.2		6.00	6.00	1,712	1,072	5.90	2.47
2.3	1,693	8.00	7.00	2,368	1,456	23.45	4.39
2.4		9.00	8.00	2,752	1,232	13.64	2.37
2.5		9.00	8.00	1,648	1,088	1.85	25.17
Promedio por estación (n=5)		8.20	7.20	2,096	1,171	10.88	7.00
(desviación estándar)		(1.30)	(0.84)	(464.14)	(179.03)	(8.27)	(10.24)
Planicie Abisal							
3.1		5.00	7.00	816	848	0.27	0.51
3.2		6.00	5.00	1,408	544	0.46	0.51
3.3	3,784	4.00	9.00	256	624	0.00	0.05
3.4		5.00	4.00	368	224	0.05	0.13
3.5		4.00	5.00	512	944	0.13	0.36
Promedio por estación (n=5)		4.80	6.00	672	636	0.18	0.31
(desviación estándar)		(0.84)	(2.00)	(461.93)	(282.03)	(0.19)	(0.21)
5.1		6.00	9.00	1,216	1,104	4.14	24.29
5.2		6.00	7.00	1,344	816	3.47	22.07
5.3	3,810	7.00	7.00	1,744	784	24.30	24.25
5.4		6.00	5.00	1,392	496	4.47	2.96
5.5		5.00	6.00	1,104	704	2.84	148.92
Promedio por estación (n=5)		6.00	6.80	1,360	780	7.85	44.50
(desviación estándar)		(0.71)	(1.48)	(242.39)	(219.50)	(9.22)	(59.06)

Continúa.....

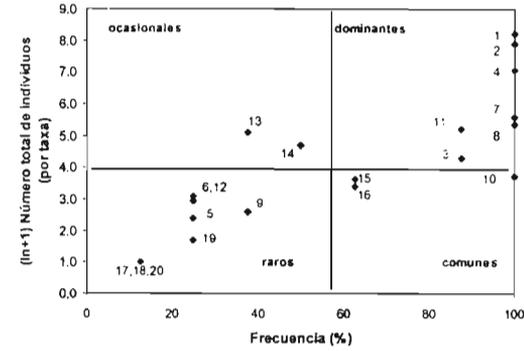
Cuadro 6.- *Continuación.*

Estación	Z promedio (m)	Número total de		Densidad total (ind·m ⁻²)		Biomasa total (mgC·m ⁻²)	
		Taxa (por réplica) (250 µm)	(300 µm)	(por réplica) (250 µm)	(300 µm)	(por réplica) (250 µm)	(300 µm)
				Planicie	Abisal		
6.1		5.00	6.00	736	560	2.74	0.94
6.2		10.00	6.00	864	592	20.01	0.88
6.3	3, 848	7.00	8.00	1, 152	960	3.53	18.66
6.4		9.00	7.00	1, 200	832	23.38	0.91
6.5		8.00	6.00	832	400	3.38	0.60
Promedio por estación (n=5)		7.80	6.60	956	668	10.61	4.39
(desviación estándar)		(1.92)	(0.89)	(206.27)	(224.40)	(10.19)	(7.98)
4.1		7.00	9.00	416	896	3.53	22.35
4.2		8.00	4.00	752	336	1.48	0.46
4.3	3, 875	7.00	9.00	1, 088	704	2.15	32.46
4.4		8.00	7.00	560	384	1.14	0.95
4.5		9.00	8.00	576	1, 072	27.24	25.30
Promedio por estación (n=5)		7.80	7.40	678	678	7.11	16.30
(desviación estándar)		(0.84)	(2.07)	(258.14)	(318.92)	(11.29)	(14.71)
7.1		9.00	5.00	672	736	1.84	1.52
7.2		6.00	7.00	720	464	1.94	1.05
7.3	3, 877	7.00	7.00	640	672	8.60	85.15
7.4		8.00	6.00	560	624	1.90	2.43
7.5		9.00	7.00	640	576	3.54	1.19
Promedio por estación (n=5)		7.80	6.40	646	614	3.56	18.27
(desviación estándar)		(1.30)	(0.89)	(58.35)	(102.82)	(2.90)	(37.39)

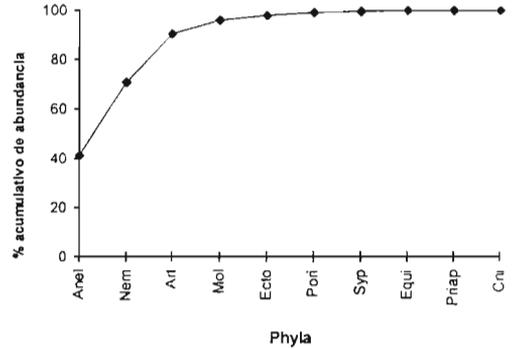
En el tamiz de 250 µm, la comunidad béntica a través de la prueba de Olmstead y Tukey se dividió en grupos dominantes: poliquetos, nemátodos, copépodos, tanaidáceos, isópodos, moluscos y ostrácodos; grupos ocasionales: briozoarios y esponjas. Los grupos considerados raros fueron: escafópodos, cumáceos, leptostracos, priapúlidos, anfipodos, holotúridos, ofiuridos e hidroideos; y los grupos comunes: sipuncúlidos, aplacóforos y equinoideos, (Fig. 3a). La curva de porcentaje acumulativo muestra que los phyla Annelida, Nematoda y Arthropoda (phyla dominantes) aportaron el 90 % de la abundancia total (Fig. 3b).

En el tamiz de 300 µm, los grupos dominantes fueron: poliquetos, nemátodos, copépodos, tanaidáceos, isópodos y moluscos; los grupos ocasionales fueron: briozoarios y esponjas; los grupos considerados raros fueron: ostrácodos, anfipodos, leptostracos, hidroideos, cumáceos, equinodermos, escafópodos, holotúridos, ofiuridos y priapúlidos y los grupos considerados comunes fueron:

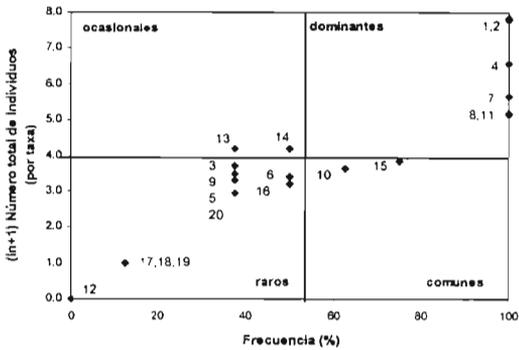
sipuncúlidos y aplacóforos (Fig. 3c). En esta abertura de malla de tamiz al igual que en la de 250µm, los phyla que aportaron el 90 % de la abundancia total fueron: Annelida, Nematoda y Arthropoda, como se puede apreciar en la curva de porcentaje acumulativo por phylum (Fig. 3d).



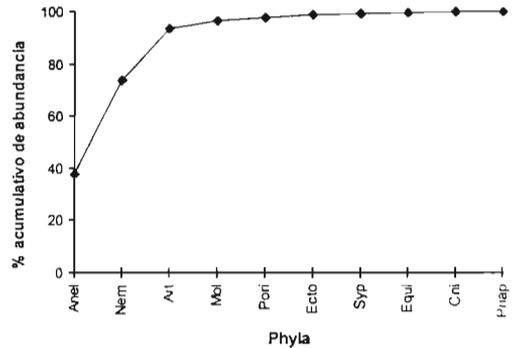
a)



b)



c)



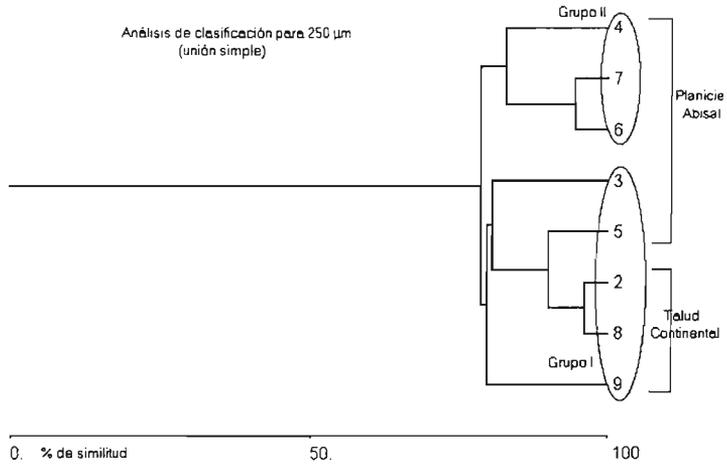
d)

Figura 3.- a) Caracterización de los grupos taxonómicos por su frecuencia y abundancia para la abertura de 250 µm; b) porcentaje acumulativo de la abundancia promedio de los phyla para la abertura de 250 µm; c) caracterización de los grupos taxonómicos por su frecuencia y abundancia para la abertura de 300 µm; d) porcentaje acumulativo de la abundancia promedio de los phyla para la abertura de 300 µm. Las abreviaturas y numeración de los grupos taxonómicos se hicieron con base en el cuadro 4.

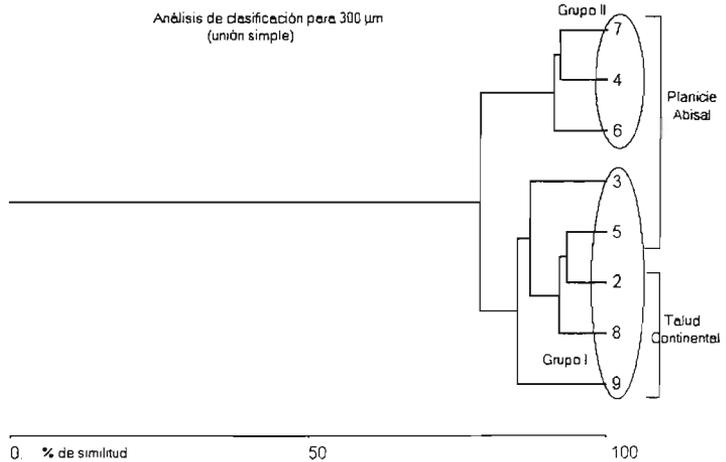
El análisis de clasificación diferenció 2 grupos a un 80 % de similitud, con base en los phyla y la densidad de cada uno de ellos en ambas aberturas de malla de tamiz, 250 µm (Fig.4a) y 300 µm (Fig.4b). El Grupo I comprendió las estaciones del talud continental (9, 8 y 2) y dos estaciones (3 y 5) de la planicie abisal en las dos aberturas de malla. Estas dos últimas estaciones, a pesar de ser de más del doble de profundidad que las del talud, no se unieron con el Grupo II representado por las estaciones 6, 4 y 7 correspondientes a la planicie abisal.

Los phyla Porifera y Cnidaria estuvieron presentes en todas las estaciones de la planicie abisal (Grupo II), pero ausentes en las del talud continental (Grupo I), así como en las estaciones 3 y 5 pertenecientes –por su profundidad- a la planicie abisal.

La estación 9 en ambas clasificaciones, presentó una similitud menor con respecto al resto de las estaciones que conformaron el Grupo I.



a)



b)

Figura 4: Análisis de clasificación a partir de la matriz de similitud realizada con el índice de Bray-Curtis para: a) abertura de 250 μm y b) abertura de 300 μm .

El número promedio de taxa disminuyó con la profundidad, aunque los coeficientes de correlación no fueron significativos ($r = -0.59$; $p > 0.05$ y $r = -0.57$; $p > 0.05$ para las aberturas de 250 y 300 μm , respectivamente: Fig. 5a).

La correlación entre la riqueza taxonómica y la temperatura fue positiva y significativa para ambos tamaños de malla: $r = 0.89$; $p = 0.002$ para 250 μm y $r = 0.76$; $p = 0.027$ para 300 μm (Fig. 5b). En el tamiz de 250 μm , el porcentaje de nitrógeno orgánico en sedimento y el número de taxa se correlacionaron de forma positiva ($r = 0.70$; $p = 0.051$). En el tamiz de 300 μm no se presentó correlación significativa entre estas dos variables ($r = 0.41$, $p = 0.313$: Fig. 5c).

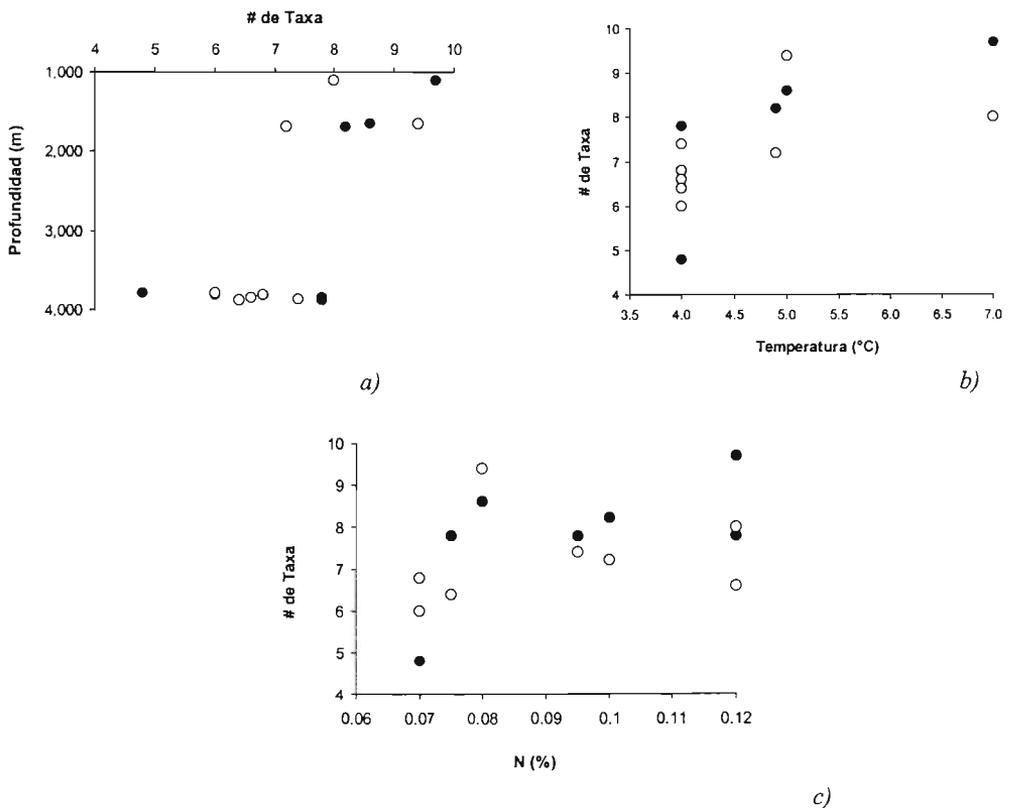


Figura 5: Variación del número de taxa con respecto a: a) el gradiente batimétrico (250 μm , $r = -0.59$ y 300 μm , $r = -0.57$); b) la temperatura de fondo (250 μm , $r = 0.89$ y 300 μm , $r = 0.76$), y c) el porcentaje de nitrógeno orgánico (250 μm , $r = 0.70$ y 300 μm , $r = 0.45$). Los círculos cerrados (\bullet), representan al tamiz de 250 μm y los círculos abiertos (\circ), representan el tamiz de 300 μm .

Densidad:

La densidad media \pm desviación estándar por estación varió de $2,467 \pm 735 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ en el talud continental a $672 \pm 462 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ en la zona abisal para la abertura de $250 \mu\text{m}$. La variación de la densidad fue de $1,936 \pm 626 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ a $636 \pm 282 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ del talud continental a la planicie abisal, respectivamente, para la abertura de tamiz de $300 \mu\text{m}$ (Cuadro 6). En general, el tamiz de $250 \mu\text{m}$ registró los valores de densidad más elevados.

El ANOVA de dos vías, mostró diferencias significativas para la densidad entre zonas y aberturas de malla (Cuadro 7; Fig. 6a), pero no en la interacción entre ambos factores (Cuadro 7; Fig. 6b).

Cuadro 7: Cuadro de resultados de ANOVA de dos vías para la densidad.

<i>Factor</i>	<i>Grados de libertad del efecto</i>	<i>Cuadrados promedio del efecto</i>	<i>Grados de libertad del error</i>	<i>Cuadrados promedio del error</i>	<i>F</i>	<i>nivel-p</i>
Zona	1	4855.325	73	36.0931	134.5222	0.00001
Tamiz	1	531.041	73	36.0931	14.7131	0.0003
Interacción	1	103.364	73	36.0931	2.8638	0.0949

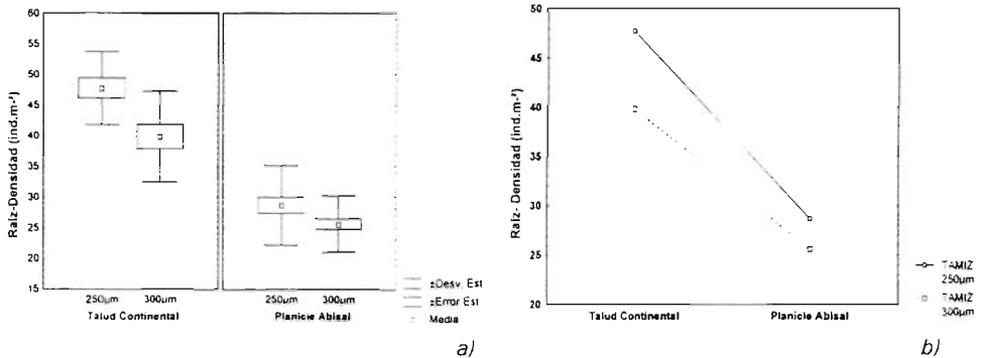


Figura 6.- a) Comparación de ambas aberturas de malla de tamiz en cada una de las zonas batimétricas, incluye desviación estándar (Desv. Est.), error estándar (Error Est) y Media; b) Interacción de los factores principales (abertura de malla de ambos tamices y zonas batimétricas) con la densidad.

En la zona del talud continental, para ambas aberturas de malla de tamiz (250 y 300 μm), los phyla dominantes (Annelida, Nematoda y Arthropoda) presentaron porcentajes casi idénticos (Cuadro 8; Fig. 7a). En la planicie abisal se observó un patrón diferente, ya que el phylum Annelida

en el tamiz de 250 μm presentó un porcentaje mayor (39 %) al registrado con el tamiz de 300 μm (28 %). El phylum Nematoda en el tamiz de 250 μm , presentó un porcentaje menor (30 %) en comparación con el tamiz de 300 μm (43 %) (Cuadro 8; Fig. 7b). Cabe mencionar que el phylum Arthropoda estuvo compuesto principalmente por copépodos harpacticoides y el phylum Annelida por poliquetos.

Cuadro 8: Porcentaje que representan los phyla más importantes, con respecto a la densidad ($\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$) por zona batimétrica y abertura de malla de tamiz. Abreviaturas: n = número total de réplicas por zona batimétrica para cada tamiz; d.e. = Desviación estándar.

Zona Batimétrica	Abertura de Tamiz (μm)	n	Densidad promedio (d.e.)	Annelida (%)	Nematoda (%)	Arthropoda (%)	Otros (%)
Talud Continental	250	13	2,328 (565.73)	45	30	19	6
	300	14	1,657 (472.62)	45	30	20	5
Planicie Abisal	250	25	862 (245.42)	39	30	21	10
	300	25	675 (229.53)	28	43	18	11

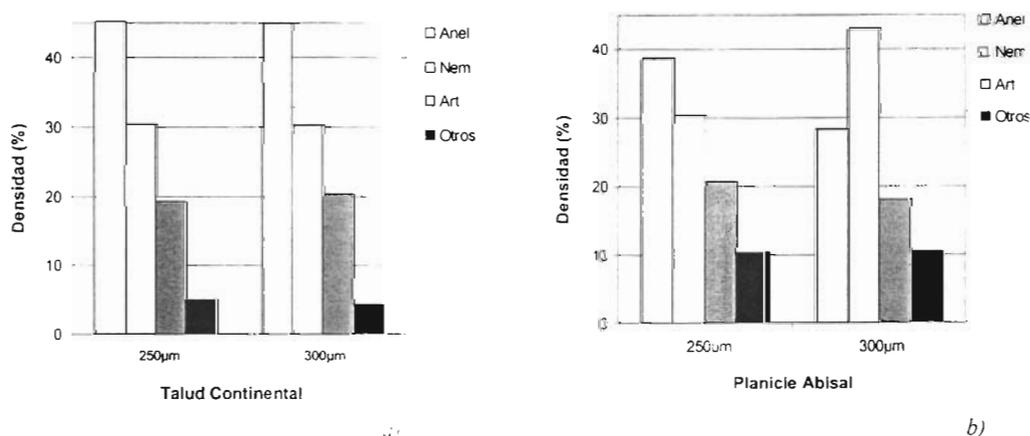


Figura 7: Porcentaje de densidad de los phyla dominantes en ambas aberturas de malla de tamiz para: a) talud continental y b) planicie abisal. Abreviaturas de los grupos taxonómicos con base en el cuadro 5.

En ambas aberturas de malla de tamiz, la densidad disminuyó con la profundidad en forma significativa, presentando una correlación negativa con ésta ($r = -0.83$; $p = 0.010$) (Fig. 8a).

La relación de la densidad con la temperatura fue positiva y significativa, tanto para el tamiz de 250 μm ($r = 0.85$; $p = 0.008$) . como para el tamiz de 300 μm ($r = 0.87$; $p = 0.005$) (Fig. 8b).

La relación de la densidad con la salinidad fue negativa y significativa, tanto para el tamiz de 250 μm ($r = -0.81$; $p = 0.016$) como para el tamiz de 300 μm ($r = -0.82$; $p = 0.011$) (Fig. 8c).

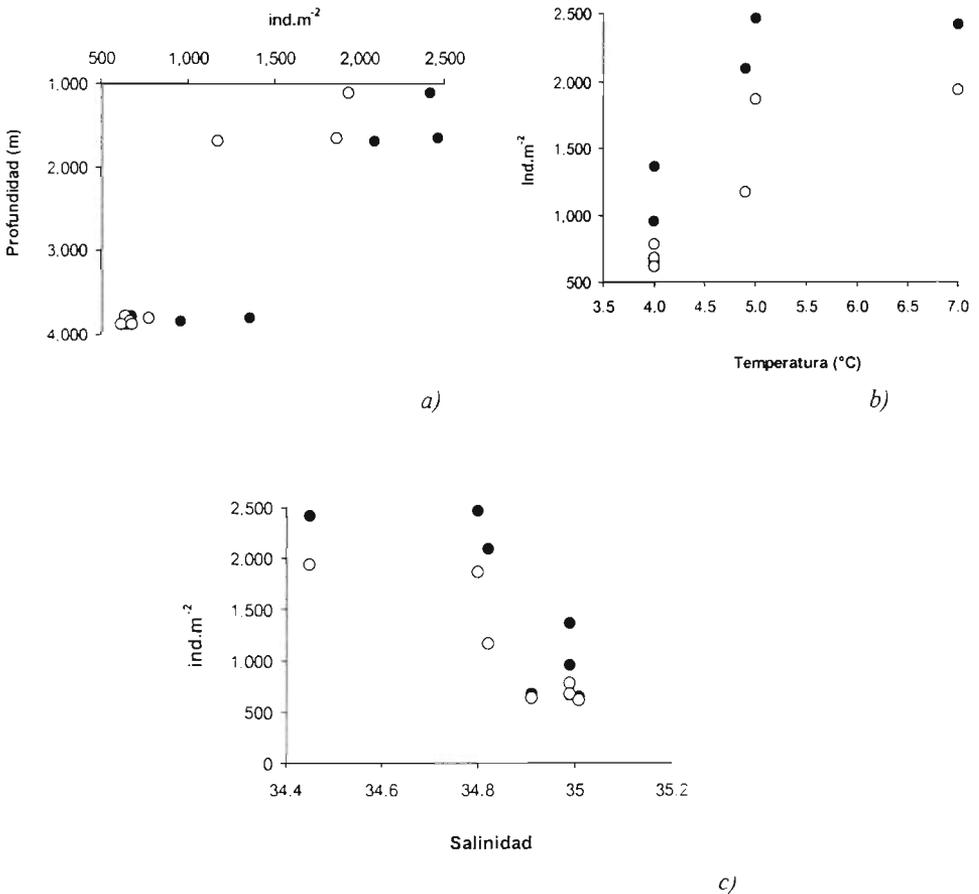


Figura 8 Variación de la densidad con respecto a: a) el gradiente batimétrico (250 μm , $r = -0.83$ y 300 μm , $r = -0.83$); b) la temperatura (250 μm , $r = 0.85$ y 300 μm , $r = 0.87$), y c) la salinidad (250 μm , $r = -0.81$ y 300 μm , $r = -0.82$). Los círculos cerrados (●), representan al tamiz de 250 μm y los círculos abiertos (○), representan al tamiz de 300 μm .

De la serie de parámetros ambientales cuantificados en este estudio, la densidad presentó correspondencia con las mismas variables (profundidad, temperatura y salinidad) en ambas aberturas de tamices, pero no se encontró correlación con el resto de las variables ambientales (oxígeno disuelto, clorofilas en sedimento, porcentajes de nitrógeno y carbono orgánicos, y porcentajes de lodos y arenas).

Biomasa:

Para la abertura de 250 μm . la biomasa promedio por estación varió de $10.88 \pm 8.27 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}$ en el talud continental a $0.18 \pm 0.19 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}$ en la zona abisal; para la abertura de tamiz de 300 μm , la variación fue de $20.93 \pm 25.95 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}$ a $0.31 \pm 0.21 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}$ del talud continental a la zona abisal, respectivamente (Cuadro 6).

Para el caso de la biomasa el análisis de varianza presentó diferencias significativas sólo entre las zonas batimétricas (talud continental y planicie abisal). La abertura de tamiz (250 y 300 μm) no tuvo un efecto significativo (Cuadro 9; Fig. 9a). El análisis de la interacción de los factores principales no mostró diferencias significativas (Cuadro 9; Fig. 9b).

Cuadro 9: Cuadro de resultados de ANOVA de dos vías para la biomasa.

Factor	Grados de libertad del efecto	Cuadrados promedio del efecto	Grados de libertad del error	Cuadrados promedio del error	F	nivel-p
Zona	1	1.0211	73	0.2443	4.1805	0.0444
Tamiz	1	0.1231	73	0.2443	0.5038	0.4801
Interacción	1	0.0127	73	0.2443	0.0519	0.8204

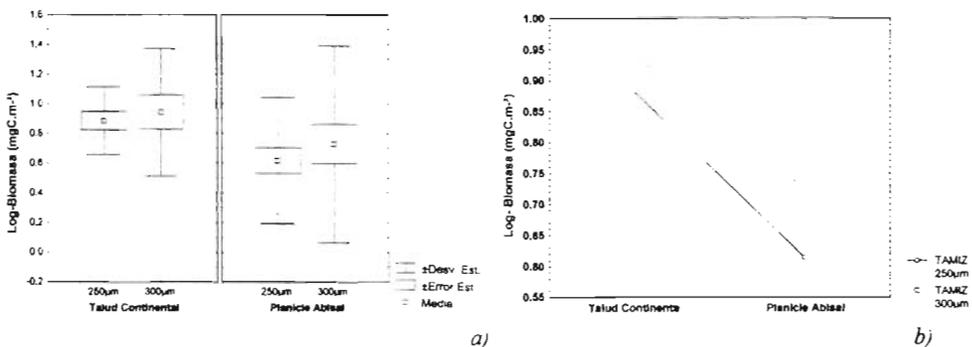


Figura 9.- a) Comparación de ambas aberturas de malla de tamiz en cada una de las zonas batimétricas, incluye desviación estándar (Desv. Est.), error estándar (Error Est.) y Media; b) Interacción de los factores principales (abertura de malla de ambos tamices y zonas batimétricas) con la biomasa.

El patrón de la biomasa, no se correspondió con el de la densidad, ya que un número elevado de organismos presentó biomasa reducida y por el contrario, un número reducido de organismos puede presentar biomasa alta. Por lo anterior, en la zona del talud continental para el tamiz de 250 μm , el phylum Annelida presentó la biomasa mayor (60 %) seguido por los phyla Mollusca y Arthropoda, ambos con 18 %. Para la misma zona batimétrica, en el tamiz de 300 μm , los phyla que dominaron fueron Mollusca, Annelida y Arthropoda con 48, 22 y 9 %, respectivamente. En esta abertura de malla de tamiz, se obtuvieron organismos del phylum Porifera que representaron el 19 % y se incluyeron en el grupo clasificado como "Otros" (Cuadro 10; Fig. 10a).

En la planicie abisal se observó un patrón diferente respecto al talud continental. En la abertura de tamiz de 250 μm , el phylum Annelida disminuyó su porcentaje (28 %), el phylum Mollusca lo incrementó al doble (36 %) y el phylum Arthropoda registró el menor porcentaje (12 %). En esta zona para esta abertura de tamiz el phylum Ectoprocta (briozoarios) aportó el 10 % al grupo clasificado como "Otros". En la abertura de tamiz de 300 μm , los phyla Annelida, Mollusca, y Arthropoda registraron el 14, 36 y 4 %, respectivamente. Cabe señalar que los phyla Echinodermata y Porifera, contribuyeron con un porcentaje alto (22 y 20 %, respectivamente) en el grupo clasificado como "Otros" (Cuadro 10; Fig. 10b).

Cuadro 10: Porcentaje que representan los phyla más importantes, con respecto a la biomasa ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}$) de cada una de las zonas batimétricas y en cada una de las aberturas de malla de tamiz. Abreviaturas: n = número total de réplicas por zona batimétrica para cada tamiz; d.e. = Desviación estándar.

Zona batimétrica	Abertura de Tamiz (μm)	n	Biomasa promedio (d.e.)	Annelida (%)	Mollusca (%)	Arthropoda (%)	Otros (%)
Talud Continental	250	13	7.30 (1.35)	60	18	18	4
	300	14	13.60 (16.06)	22	48	9	21
Planicie Abisal	250	25	5.86 (6.76)	28	36	12	24
	300	25	16.77 (23.90)	14	36	4	46

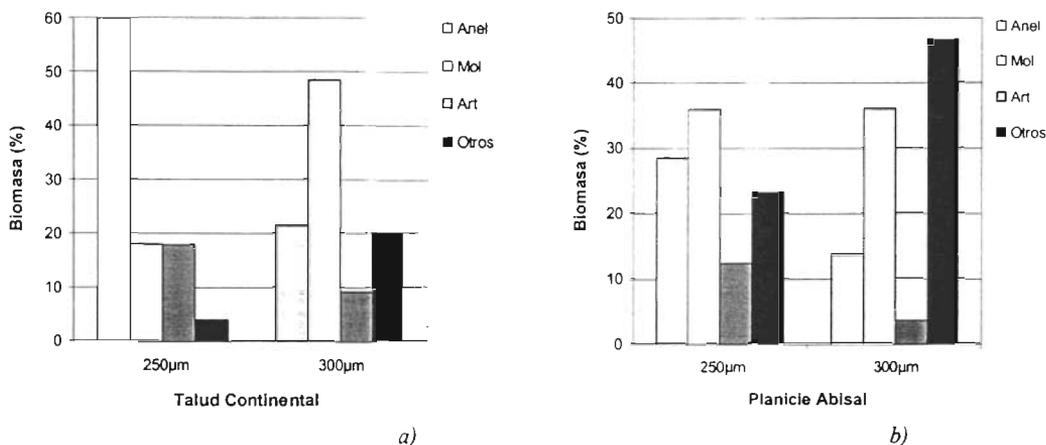


Figura 10: Porcentaje de biomasa que representan los phyla dominantes en ambas aberturas de malla de tamiz para: a) talud continental y b) planicie abisal. Abreviaturas de los grupos taxonómicos con base en el cuadro 5.

La heterogeneidad de los resultados de biomasa promedio por estación a lo largo del gradiente batimétrico para la abertura de tamiz de 250 µm, originó que esta variable biológica no presentara correlación con ninguna de las variables ambientales (profundidad, temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, clorofilas en sedimento, porcentajes de nitrógeno y carbono orgánicos, y porcentajes de lodos y arenas) cuantificadas en este estudio.

La abertura de malla de tamiz de 300 µm tampoco presentó correlación con los parámetros ambientales, excepto con el contenido de clorofilas en sedimento con la cual presentó una correlación positiva ($r = 0.76$; $p = 0.028$; Fig. 11).

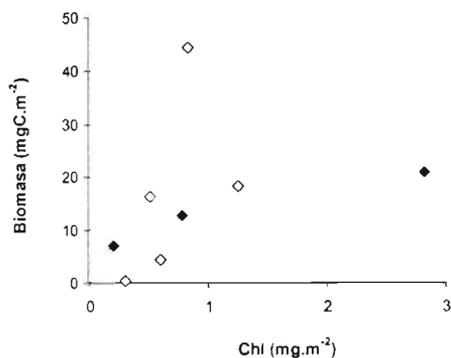


Figura 11: Variación de la biomasa promedio por estación con respecto al contenido de clorofilas en sedimento, para la abertura de malla de tamiz de 300 µm ($r = 0.76$). Los rombos cerrados (♦) representan las estaciones del talud continental y los rombos abiertos (◇) representan las estaciones de la planicie abisal.

Variables ambientales:

La temperatura de fondo disminuyó conforme aumentó la profundidad, encontrándose el valor máximo, 7.0 °C, a una profundidad de 1,103 m (estación 9) y el mínimo, 4.0°C, a partir de los 3,785 y hasta los 3,975 m, (Cuadro 3). Se observó una correlación inversa entre la profundidad y la temperatura ($r = -0.87$; $p = 0.005$), (Fig. 12a).

La salinidad de fondo varió de 34.45 a 35.01, (Cuadro 3). El valor más bajo se registró a 1,107 m (estación 9) en el talud continental y el mayor a 3,877 m (estación 7) en la zona abisal. Se observó una correlación positiva entre la profundidad y la salinidad ($r = 0.97$; $p = 0.004$) (Fig. 12b). A partir de la temperatura y la salinidad se reconocieron dos masas de agua en el área de estudio: 1) Agua Intermedia Antártica (AIA), con un intervalo de salinidad de 34.45-34.82 y temperatura de 7.0-4.9 °C y 2) Agua profunda del Atlántico Norte (APAN), con un intervalo de salinidad de 34.91-35.01 y temperatura de 4.0 °C (Fig. 12c).

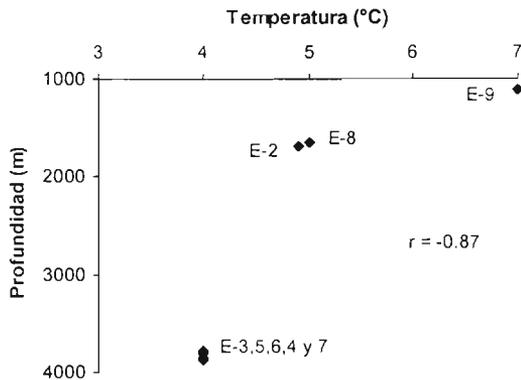
La concentración de oxígeno disuelto en el agua de fondo varió de 5.44 mg.l⁻¹ (estación 8) a una profundidad de 1,651 m a 6.00 mg.l⁻¹ (estación 5) a una profundidad de 3, 810 m, (Cuadro 3). No se reconoció ningún patrón con respecto a la profundidad ($r = 0.25$; $p = 0.548$), (Fig. 12d).

La concentración más alta de pigmentos en sedimento (2.82 mg.m⁻²), se presentó en la estación 9 a una profundidad de 1,107 y la concentración menor (0.20 mg.m⁻²), se presentó en la estación 2 a la profundidad de 1,693 m, ambas en el talud continental, (Cuadro 3). Este parámetro no presentó correspondencia con la profundidad ($r = -0.05$; $p = 0.911$), (Fig. 12e).

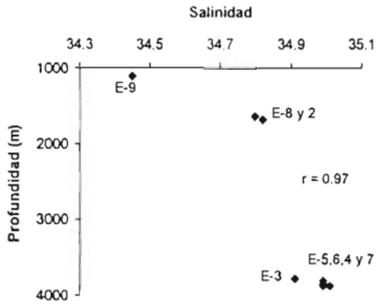
El porcentaje más bajo (0.07 %) de nitrógeno orgánico en el sedimento, se presentó en las estaciones 3 y 5 a profundidades de 3.784 y 3.810 m, respectivamente. El porcentaje más alto (0.12 %), se presentó en la estación 9 a 1.107 m de profundidad (talud continental) y en la estación 6 a 3.848 m (planicie abisal). Con el incremento de la profundidad el nitrógeno orgánico mostró un patrón de disminución en el talud continental, pero en la planicie abisal no siguió ninguna tendencia, (Cuadro 3; Fig. 12f); lo cual provocó que no se presentara correspondencia entre este parámetro y la profundidad ($r = -0.27$; $p = 0.526$).

El porcentaje de carbono orgánico fluctuó en un intervalo de 1.06 % a una profundidad de 3,848 m (estación 6) a 5.05 % a una profundidad de 3,810 m (estación 5), (Cuadro 3; Fig. 12g). Se observó una variabilidad amplia de los valores de carbono orgánico en el sedimento marino, presentándose un aumento en las estaciones de la planicie abisal en comparación con las estaciones del talud continental. No se presentó correlación con la profundidad ($r = 0.26$; $p = 0.531$).

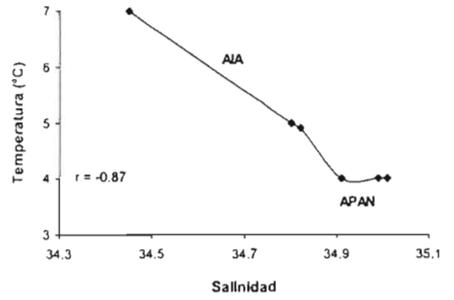
El análisis de tamaño de grano del sedimento permitió determinar la composición de arenas y lodos. Para el caso de las arenas, el porcentaje menor (5.57 %) se presentó en la estación 7 a una profundidad de 3,877 y el porcentaje mayor (18.61 %), se presentó en la estación 4 a una profundidad de 3,875 m (Cuadro 3; Fig. 12h). En cada una de las estaciones de muestreo predominó la fracción de lodos con más del 80 %. El porcentaje menor de lodos (81.39 %), se presentó en la estación 4 a una profundidad de 3,875 m y el porcentaje mayor (94.43 %), se presentó en la estación 7 a 3,877 m. (Cuadro 3; Fig. 12i). Ninguna de las fracciones (arenas y lodos), presentó correlación con la profundidad ($r = 0.31$; $p = 0.456$ y $r = -0.31$; $p = 0.456$, respectivamente).



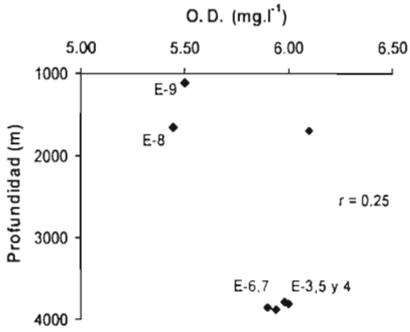
a)



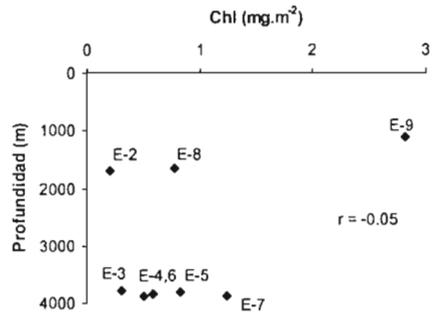
b)



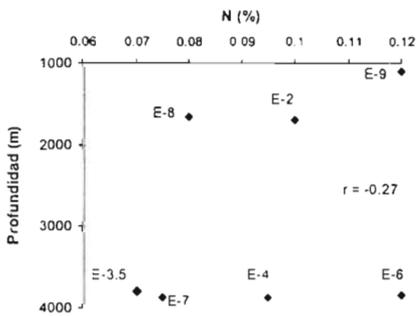
c)



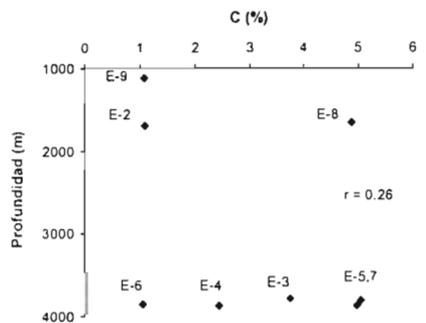
d)



e)



f)



g)

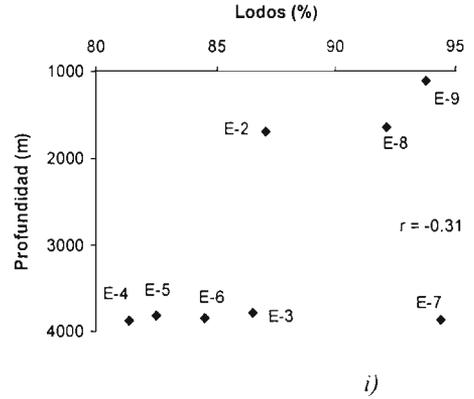
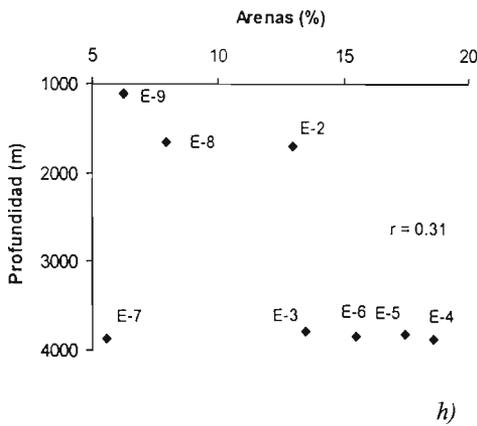


Figura 12: Variación a lo largo del gradiente batimétrico de: a) la temperatura de fondo; b) la salinidad; c) salinidad vs. temperatura; d) la concentración de oxígeno disuelto; e) la concentración de clorofilas en sedimento; f) el porcentaje de nitrógeno orgánico en sedimento; g) el porcentaje de carbono orgánico en sedimento; h) el porcentaje de arenas, e i) el porcentaje de lodos. Valores promedio por estación.

Análisis de Componentes Principales

El análisis por componentes principales (ACP) mostró que las variables que explican la mayor proporción de la varianza son: la profundidad (53.2 %) y el porcentaje de carbono orgánico en sedimento (28.5 %) (Cuadro 11).

Cuadro 11: Resultados del análisis de componentes principales.

	Factor I	Factor II
Profundidad	0.97	0.93
Temperatura	0.79	0.82
Nitrógeno	0.23	0.70
Carbono	0.93	0.95
Clorofilas en sedimento	0.91	0.92
Oxígeno	0.61	0.66
Salinidad	0.76	0.77
Arenas	0.57	0.65
Lodos	0.90	0.91
Varianza explicada	%	Acumulada
Factor I	53.2	53.2
Factor II	28.5	81.7

De los resultados obtenidos en el ACP, se tomaron las cuatro variables que tuvieron el valor mayor de explicación de la varianza para realizar el análisis de correlación canónica: profundidad, porcentaje de carbono orgánico, clorofilas en sedimento y lodos. Estas variables se reportan en la literatura entre las más importantes que determinan la estructura comunitaria de la macrofauna en el mar profundo.

Análisis de Correlación Canónica

Los resultados del análisis de correlación canónica mostraron que la profundidad fue la variable que presentó una mayor correlación con la riqueza taxonómica y densidad en ambas aberturas de tamiz (Cuadro 12 y 13, respectivamente). Sin embargo, no se presentaron diferencias significativas en el nivel de probabilidad ni en el contraste estadístico (lambda prima). Lo anterior muestra que no se da una correlación en las comparaciones por separado para cada función canónica, ni en el contraste multivariante de las raíces canónicas.

Cuadro 12: Resultados del análisis de correlación canónica para la riqueza taxonómica de la macrofauna para la campaña SIGSBEE-4.

	Tamiz de 250 μm	Tamiz de 300 μm
Profundidad	- 0.70	- 0.73
Carbono	- 0.45	0.02
Clorofilas en sedimento	0.58	0.29
Lodos	0.51	0.29

Medidas de ajuste global para el análisis de correlación canónica. Prueba de Chi^2

	<i>Correlación canónica</i>	R^2 <i>canónica</i>	Chi^2	<i>df</i>	<i>nivel-p</i>	<i>Lambda prima</i>
0	0.8942	0.7997	8.9051	8	0.3503	0.0785
1	0.7796	0.6079	3.2768	3	0.3508	0.3920

Cuadro 13: Resultados del análisis de correlación canónica para la densidad ($\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$) de la macrofauna para la campaña SIGSBEE-4.

	Tamiz de 250 μm	Tamiz de 300 μm
Profundidad	- 0.92	- 0.95
Carbono	- 0.26	0.21
Clorofilas en sedimento	0.33	0.49
Lodos	0.40	0.55

Medidas de ajuste global para el análisis de correlación canónica. Prueba de Chi^2

	<i>Correlación canónica</i>	R^2 <i>canónica</i>	Chi^2	<i>df</i>	<i>nivel-p</i>	<i>Lambda prima</i>
0	0.9821	0.9647	12.9724	8	0.1128	0.0745
1	0.5514	0.3040	1.2688	3	0.7365	0.6959

En el caso de la biomasa para ambas aberturas de tamices, la variable importante fue el porcentaje de carbono orgánico aunque los valores de correlación ni los de probabilidad pueden ser considerados significativos (Cuadro 14).

Cuadro 14: Resultados del análisis de correlación canónica para la biomasa ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}$) de la macrofauna para la campaña SIGSBEE-4.

	Tamiz de 250 μm	Tamiz de 300 μm
Profundidad	- 0.18	- 0.06
Carbono	- 0.39	0.31
Clorofilas en sedimento	- 0.09	0.51
Lodos	- 0.28	0.01

Medidas de ajuste global para el análisis de correlación canónica. Prueba de Chi^2

	<i>Correlación canónica</i>	R^2 <i>canónica</i>	Chi^2	<i>df</i>	<i>nivel-p</i>	<i>Lambda prima</i>
0	0.9297	0.8643	7.9996	8	0.4335	0.1017
1	0.5003	0.2503	1.0084	3	0.7992	0.7496

Variación batimétrica del peso medio individual

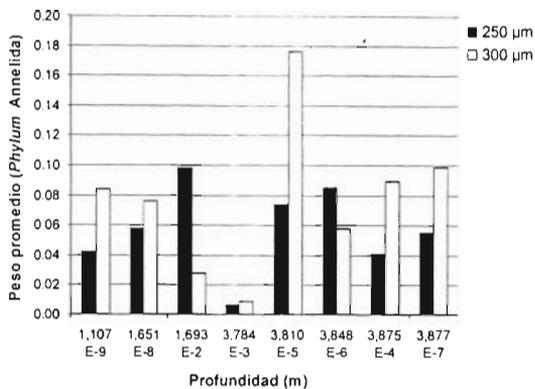
El análisis en ambas aberturas de tamices del tamaño medio ("peso") de los organismos a lo largo del gradiente batimétrico, mostró que no en todos los phylum dominantes se obtuvo una disminución de la "talla" con el incremento de la profundidad.

El phylum Annelida en la zona de talud continental, para el caso de la abertura de tamiz de 250 μm presentó un aumento de la talla con el incremento de la profundidad. La abertura de tamiz de 300 μm presentó un patrón opuesto, registrándose una disminución gradual con el incremento de la profundidad (Fig. 13 a).

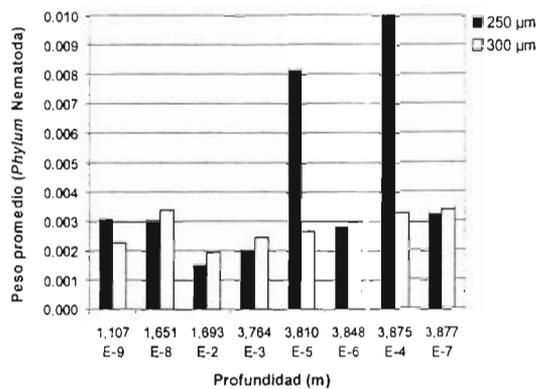
En la zona de planicie abisal, la abertura de tamiz de 250 μm presentó un aumento de la talla aunque no continuo registrándose en algunas estaciones valores similares a estaciones ubicadas en el talud continental. En la abertura de tamiz de 300 μm , se observó un aumento de la talla de los anélidos. Particularmente en la estación 5, se registró el valor mayor de este phylum para ambas aberturas de tamices y ambas zonas batimétricas (Fig. 13 a).

El phylum Nematoda en el talud continental, no mostró una tendencia muy clara en ninguna de las dos aberturas de tamices (Fig. 13 b). En la planicie abisal, la abertura de tamiz de 250 μm , presentó un aumento muy ligero aunque hubo dos estaciones (E-5 y 4) en donde se registraron las tallas notablemente mayores. Lo anterior fue debido a que en esas estaciones se obtuvieron organismos de un tamaño inusual para este phylum a esas profundidades, lo cual se pudo apreciar al momento del trabajo de separación de las muestras. Por su parte, la abertura de tamiz de 300 μm también presentó un aumento ligero (Fig. 13 b).

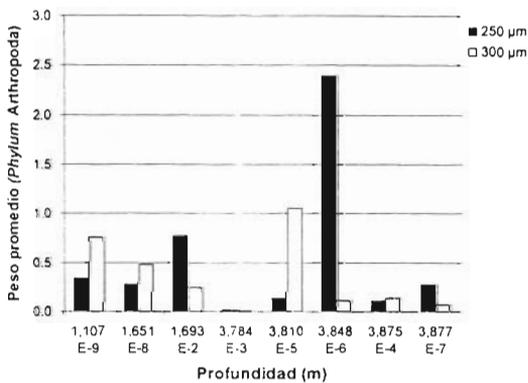
El phylum Arthropoda en la zona de talud continental, para el caso de la abertura de tamiz de 250 μm no presentó una tendencia particular de la talla de los organismos con respecto al incremento de la profundidad. La abertura de tamiz de 300 μm , presentó una disminución de la talla conforme aumentó la profundidad. En la zona de planicie abisal, ninguna de las dos aberturas de tamiz presentó un patrón de disminución o aumento. Particularmente en la estación 6, se registró un valor alto influenciado por el tamaño grande que presentó un organismo del orden Isopoda, el cual fue retenido en el tamiz de 250 μm (Fig. 13 c).



a)



b)



c)

Figura 13.- Variación de la talla con el incremento de la profundidad en ambas aberturas de malla de tamiz para los phyla dominantes: a) phylum Annelida; b) phylum Nematoda y c) phylum Arthropoda.



DISCUSIÓN

Riqueza taxonómica

Los resultados obtenidos en este estudio mostraron que tanto el número de grupos taxonómicos, así como los taxa presentes no fueron marcadamente diferentes entre ambas aberturas de malla de tamiz.

A excepción de los ostrácodos que en el tamiz de 250 μm estuvieron caracterizados en el cuadrante de los "dominantes", en tanto que en el tamiz de 300 μm aparecieron en el cuadrante de "raros" y los equinoideos en el tamiz de 250 μm fueron "raros", en el de 300 μm fueron "comunes". El resto de los taxa en ambas aberturas de malla de tamiz, se distribuyeron de igual forma en cada uno de los cuatro cuadrantes.

Cuando se usa una abertura de malla más pequeña, queda retenida una mayor cantidad de sedimento y organismos de la meiofauna (Gee y Warwick, 1994). Esta puede ser la razón de la presencia de los ostrácodos en el tamiz de 250 μm , los cuales tradicionalmente son considerados como parte de la meiofauna (Galéron *et al.*, 2000; Gage *et al.*, 2002). No obstante, fueron incluidos en este estudio junto con nemátodos y copépodos harpacticoides como parte de la macrofauna *sensu lato*.

El análisis de agrupamiento no mostró patrones de discriminación diferentes al comparar los resultados de ambas aberturas de malla de tamiz a lo largo del gradiente batimétrico. Esto indica que el patrón de la estructura comunitaria es muy similar en los dos tamices utilizados.

La eficiencia de retención de ambas aberturas de malla de tamiz (250 y 300 μm) fue la misma y no se presentaron diferencias estadísticas significativas al comparar una con otra en cada una de las dos zonas batimétricas. Con base en lo anterior, podría sugerirse que cualquiera de las dos aberturas de malla, brindaría una proporción adecuada para las estimaciones taxonómicas (Gage *et al.*, 2002). Aunque esta eficiencia también dependerá del taxon bajo consideración (Okamoto y Pereira, 1998).

Rees (1984) mostró que los patrones de variación temporal en la abundancia de dos especies de poliquetos difieren cuando se usan tamices de diferente abertura de malla. Este mismo autor mencionó que los efectos de abertura de malla sobre la descripción de variación espacial en la macrofauna a nivel de especie han sido documentados pocas veces.

En el presente trabajo sólo se logró separar a los organismos en grandes grupos taxonómicos. La falta de identificación a un nivel taxonómico más fino (familia, género o especie), impidió establecer si la abertura de malla de tamiz de 250 μm retiene organismos que por falta de alimento presenten una talla más reducida y no puedan ser retenidos en la abertura de malla de 300 μm .

Densidad

La densidad fue la única variable biológica que presentó diferencias estadísticas significativas al comparar la abertura de malla de 250 μm vs. 300 μm en una misma zona batimétrica, así como cada una de las aberturas consigo misma en las dos zonas batimétricas.

La probabilidad de retener un número mayor de especies e individuos de la macrofauna, aumentó con el uso de una malla más fina (James, *et al.*, 1995). La retención de organismos más pequeños depende tanto de la talla, así como de la tendencia de algunas especies a fragmentarse durante la rutina de procesamiento de muestras en el campo (Rees, 1984).

La diferencia en los valores de densidad al comparar ambas aberturas de malla de tamiz, puede tener influencia de la pérdida de individuos jóvenes en el tamiz de 300 μm . Esto concuerda con otros estudios comparativos sobre la eficiencia de retención, los cuales indican que las estimaciones de los descriptores poblacionales son fuertemente gobernadas por la abertura de malla (Okamoto y Pereira, 1998).

Por lo anterior, podría considerarse que si el objetivo de un trabajo en mar profundo es estimar densidades poblacionales que incluyan todos los estadios dentro de cada taxon, la abertura de malla de 250 μm será una mejor opción que la abertura de malla de 300 μm . En la primera abertura, quedarían retenidos pequeños organismos en estado juvenil necesarios para obtener resultados satisfactorios en dinámicas de población (Schlacher, *et al.*, 1996b), los cuales contribuyen en gran medida al funcionamiento del ecosistema béntico (Bachelet, 1990). En cambio, la inclusión de etapas tempranas de desarrollo no siempre es considerada ventajosa en estudios de efecto de contaminantes (Schlacher, 1996c; Hartley, 1982), ni en estudios cuyo objetivo sea la descripción de especies ya que ésta se basa usualmente sobre las características en estado adulto (James *et al.*, 1995). En consecuencia, la abertura de malla de 300 μm sería en dichos casos una buena alternativa. La separación simple de estadios juveniles entre dos especies, podría necesitar del uso de dos aberturas de malla de tamiz, ya que en algunas ocasiones se

pueden presentar morfologías relativamente similares, pero diferente talla corporal (Bachelet, 1990).

Biomasa

Los datos de biomasa, no fueron afectados por la abertura de malla de tamiz. La ausencia de diferencias estadísticas significativas en los valores de biomasa entre aberturas de malla, podría resultar de la presencia de especímenes raros que pueden desarrollar una talla más grande que el promedio dentro del mismo taxon en cuestión (Gage *et al.*, 2002).

Lo anterior concuerda con lo obtenido en el presente estudio (ver Apéndice III), ya que en algunas réplicas se tuvo la presencia de organismos que presentaron una biomasa elevada (phyla Porifera, Mollusca y Echinoidea) en ambas aberturas de malla de tamiz. Eso originó desviaciones estándar amplias, iguales e incluso mayores que la media (Cuadro 5).

Diversos autores (Zar, 1984; Andrew y Mapstone, 1987; Vezina, 1988; Riddle, 1989; Hair *et al.*, 1999; Wheater y Cook, 2000), han mencionado que la varianza es altamente sensible al valor de la media. Algunos de estos autores, han destacado la importancia del número de réplicas de muestreo que se requieren para estimaciones con una precisión específica. La agregación de los organismos béticos puede cambiar temporal y espacialmente, trayendo como consecuencias que las diferencias o relaciones entre las muestras sean más difíciles de identificar. Lo anterior, puede ser compensado en ocasiones incrementando el número de muestras (Wheater y Cook, 2000).

En este trabajo se trató de minimizar el error de muestreo tomando cinco réplicas por estación para darle robustez al tratamiento estadístico. Sin embargo, no fue posible realizar el mismo número de estaciones de trabajo en la zona de talud continental y la planicie abisal (ver razones en Material y Método). Lo anterior dio como consecuencia un análisis estadístico no balanceado (Andrew y Mapstone, 1987).

El número de muestras necesario para lograr estimaciones de densidad poblacional dentro de un error aceptable, declina exponencialmente con la densidad promedio de la población muestreada (Vezina, 1988). Aparentemente, la densidad promedio depende de la proporción de individuos retenidos en la malla, en consecuencia, el número de réplicas requeridas podría estar en función de la abertura de malla (Schlacher y Wooldridge, 1996b).

Para el caso de la biomasa, el tamiz de 300 μm puede proporcionar buenos resultados ya que en él quedan retenidos organismos adultos de los diferentes grupos taxonómicos que llegan a

representar biomásas de casi el doble de la retenida en la abertura de malla de tamiz de 250 μm . En este sentido, Gage *et al.* (2002) mencionaron que se deben considerar los objetivos particulares de cada estudio. Si lo que se quiere es trabajar con datos de biomasa se debe tomar en cuenta la suficiencia de utilizar una abertura de malla más grande y de esta forma reducir tiempos de esfuerzo. El uso de una abertura de malla más fina, incrementa significativamente el costo y el tiempo del procesamiento de muestras (Schlacher y Wooldridge, 1996 a, b; Okamoto y Pereira, 1998).

Variables ambientales y su influencia sobre la estructura comunitaria de la macrofauna

La profundidad constituye una variable agregada que conduce intrínsecamente el cambio de otras variables ambientales importantes para el establecimiento de comunidades bénticas. Es por ello que resulta difícil separar el efecto que puede tener la profundidad por sí misma. El cambio de esta variable controla a su vez otras variables ambientales como el tipo de sedimento, la disponibilidad de alimento, la temperatura, la concentración de oxígeno disuelto, la salinidad, por mencionar algunas (Palma *et al.*, 1982).

De las variables ambientales medidas en este estudio, la profundidad, la temperatura y la salinidad se relacionaron únicamente con la riqueza taxonómica y la densidad en ambas aberturas de malla de tamiz. Tanto la riqueza taxonómica como la densidad disminuyeron con la profundidad, presentándose para ambas aberturas diferencias significativas al comparar el talud continental con la planicie abisal. Para estas zonas batimétricas, los registros previos para el ambiente profundo del Golfo de México caracterizaron de pobre a la comunidad infaunal. Este esquema se ha repetido constantemente en otras regiones y fue refutado por Grassle (1991), quien señaló que la gran mayoría de las colecciones y registros existentes estaban sub-representados.

La comparación entre el talud continental y planicie abisal, revelan una tendencia de disminución de especies en el mar profundo, la cual podría estar relacionada con la disminución de la temperatura o presión (esta última, no medida en este estudio). Tanto la distribución batimétrica como la zoogeográfica de los invertebrados marinos puede estar afectada por la temperatura, por diversos factores tales como exclusión de las aguas profundas con temperaturas bajas, migraciones en el gradiente vertical, transporte pasivo, acumulación o disipación asociados a las condiciones hidrográficas, densidad y viscosidad del agua, termoclina y turbulencia (Kinne, 1973).

La densidad, se relacionó con la salinidad de forma negativa la cual puede mostrar una variación amplia en la zona costera por el aporte fluvial y espacialmente llega a extenderse sobre la plataforma continental en la capa superficial. Sin embargo, los fondos marinos son las regiones donde hay mayor estabilidad de salinidad, por lo que las poblaciones de los organismos bentónicos existentes a más de 200 m, en general no se ven afectadas por este parámetro (Ingmanson y Wallace, 1989).

Uno de los factores más importantes que varía con la profundidad, es el aporte de materia orgánica al piso marino (Galéron *et al.*, 2000). Este factor ha sido considerado como la variable más importante para el establecimiento de las comunidades bénticas, influyendo también en la talla de los organismos, pues a poco alimento se invierte poca energía en crecimiento y reproducción (Graf, 1989; Gage y Tyler, 1991).

Particularmente, el Golfo de México se caracteriza por una productividad primaria baja ($44.8 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$), lo que ha valido su ubicación dentro de las cuencas oligotróficas (Escobar *et al.*, 1999). Esta condición se acentúa por la fuerte estratificación vertical de la columna de agua que limita el aporte de nutrientes por debajo de la termoclina producidos en la capa eufótica (Marañón *et al.*, 2003). En este sentido, los huracanes y depresiones tropicales podrían ser algunos de los eventos de forzamiento clima-océano que permiten la exportación rápida del carbono biogénico por debajo de la termoclina (Alongi y Pichon, 1988). Los valores bajos de densidad y biomasa encontrados en algunas estaciones de muestreo, podrían deberse a la descomposición mayor que sufre la materia orgánica por efecto de la lenta deposición que permite la degradación de los compuestos más reactivos. La materia orgánica remanente es menos activa y los niveles de descomposición son más bajos (Berner, 1982).

Los valores de biomasa obtenidos con el tamiz de $250 \mu\text{m}$ no se relacionaron con ninguna variable ambiental. La abertura de malla de tamiz de $300 \mu\text{m}$ presentó correlación únicamente con el contenido de clorofilas en sedimento. En general los valores de esta variable son similares a los obtenidos en años anteriores (Hernández, 2002) para la misma región, en ambas zonas batimétricas. Se conoce que con aportes moderados de materia orgánica se incrementa la producción béntica (Poiner y Kennedy, 1984; Ansari *et al.*, 1986). En cambio, cuando el aporte es alto se aprecia una tendencia a la reducción del número de taxa y especies, y al aumento del número de individuos (Salazar, 1991), dada la disminución de la concentración de oxígeno disuelto en el fondo.

La reducción en la densidad y biomasa de la macrofauna con respecto a la profundidad coincide con lo hallado en otros trabajos a nivel mundial. El promedio de la biomasa en las diversas profundidades varía geográficamente, ya que ésta depende de la producción local de la superficie y cuánta de esta producción contribuye a la comunidad de fondo (Rowe y Menzel, 1971; Rex, 1983; Galéron *et al.*, 2000).

La mayoría de los valores de biomasa de las estaciones más profundas no son tan bajos comparados con estaciones del talud continental. De hecho, el valor más alto registrado al menos para la abertura de malla de tamiz de 300 μm ($44.50 \pm 9.2 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}$) fue en la planicie abisal a 3,810 m de profundidad. Algunos de los procesos que podrían ayudar a explicar este fenómeno, sería por ejemplo, la especialización de algunas especies para aprovechar fuentes de alimento alternas como hidrocarburos en chapopoterías naturales o transporte por corrientes de turbidez (Escobar *et al.*, 1999), aporte por eventos estocásticos, entre otros. De igual forma, se podría suponer la presencia, de comunidades quimioautotróficas asociadas a infiltraciones frías y a su radio de acción. Este tipo de asociaciones biológicas ya han sido descritas para la parte norcentral del Golfo de México sobre el talud continental (Childress *et al.*, 1986), y recientemente McDonald *et al.* (2003) descubrieron en la planicie abisal de la Bahía de Campeche un ecosistema de este tipo. El aceite y el gas natural que se genera en estas infiltraciones, migran continuamente de grandes profundidades en la corteza terrestre y es atrapado en el suelo marino. La producción primaria en estas comunidades está sostenida por bacterias quimioautotróficas que metabolizan el metano, sulfuro de hidrógeno y otros componentes reductores (McDonald y Joyce, 1997; Sassen, 1997).

Estas fuentes alternas de alimento podrían llevar al gigantismo de algunas debido al efecto pronunciado de la presión hidrostática sobre el metabolismo (respuesta fisiológica: Menzies *et al.*, 1973; Chapelle y Peck, 1999). Aunque esto es más frecuente en tallas mayores como la epifauna de la plataforma y talud superior, para la planicie abisal resulta necesaria una revisión más de tallada sobre el tema (Pequegnat *et al.*, 1990; Salas *et al.*, 2002).

La variación de los factores ecológicos citados arriba influye en el tamaño corporal de los organismos y en la presencia o ausencia de determinados grupos taxonómicos a lo largo del gradiente batimétrico, así como en las diferentes regiones geográficas del mundo (Pequegnat, 1983). La asociación entre el tamaño del cuerpo y los factores ecológicos no es sorprendente debido a que la talla está fuertemente correlacionada con la historia de vida (McClain y Rex, 2001).



CONCLUSIONES

1. La riqueza taxonómica, disminuyó con la profundidad. Sin embargo, en la comparación entre ambas aberturas de malla de tamiz en cada zona batimétrica no hubo diferencias significativas. En el cambio de una zona batimétrica a otra si hubo diferencias significativas en ambas aberturas de malla.
2. La densidad de la infauna disminuyó con la profundidad. La comparación entre ambas aberturas de tamiz y entre zonas batimétricas presentó diferencias significativas. La combinación de la abertura de tamiz y el incremento de la profundidad, no fue significativa.
3. La biomasa de la infauna disminuyó con la profundidad. Para esta variable, sólo se presentaron diferencias significativas entre zonas batimétricas. La abertura de tamiz no tuvo, un efecto significativo. El grupo de los anélidos, que es un grupo representativo de la macrofauna, fue retenido con mayor eficiencia en el tamiz de 250 μm .
4. En ambas aberturas de tamices (250 y 300 μm), los componentes faunísticos dominantes que aportaron más del 90 % fueron los anélidos, nemátodos y artrópodos.
5. La temperatura de fondo y la salinidad se relacionaron de forma directa con la profundidad. El oxígeno disuelto, porcentaje de carbono y nitrógeno, así como el contenido de clorofilas en sedimento, no mostraron correlación con la profundidad.
6. La profundidad fue la variable ambiental que presentó la correlación estadística más significativa con la riqueza taxonómica y la densidad. La biomasa se correlacionó con el porcentaje de carbono orgánico, aunque no de forma significativa.



LITERATURA CITADA

Formato seguido: Ciencias Marinas

- Alongi, D. M. and Pichon, M. (1988). Bathyal meiobenthos of the western Coral Sea: Distribution and abundance in relation to microbial stocks and environmental factors. *Deep-Sea Res.* 35: 491-503.
- Alongi, D.M. (1989). Ecology of tropical soft-bottom benthos: A review with emphasis on emerging concepts. *Rev. Biol. Trop.*, 37: 85-100.
- Andrew, N.L. and Mapstone, B.D. (1987). Sampling and the description of spatial pattern in marine ecology. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 25: 39-90.
- Antoine, J.W. and Bryant, W.R. (1969). Distribution of salt and salt structures in Gulf of Mexico. *Am. Ass. Petr. Geol. Bull.*, 53 (12): 2543-2550.
- Antoine, J.W. (1972). Structure of the Gulf of Mexico. En: Rezak and Henry (eds.), *Contribution on the Geological and Geophysical Oceanography of the Gulf of Mexico*. Houston. Texas, pp. 1-28.
- Antoine, J.W., Martin, R.G., Pyle, T.G. and Bryant, W.R. (1974). Continental margins of the Gulf of Mexico. In: C.A. Burk y C.L. Drake (eds.), *The Geology of the Continental Margins*. Springer-Verlag. New York, pp. 683-693.
- Anzari, Z.A., Ingole, B.S. and Parulekar. A.H. (1986). Effect of high organic enrichment on benthic polychaete population in an estuary. *Mar. Poll. Bull.* 17: 361-365.
- Bachelet, G. (1990). The choice of a sieving mesh size in the quantitative assessment of marine macrobenthos: a necessary compromise between aims and constraints. *Mar. Environ. Res.* , 30: 21-35.
- Berner, R.A. (1982). Chemistry of biogenic matter at the deep-sea floor. In: Ernest. W. G. And Morin. J. G. (Eds.). *The environment of the sea*. Prentice-Hall. USA. Pp. 154-176.
- Bouma, H.A. (1972). Distribution of sediments and sedimentary structures in the Gulf of Mexico. In: Rezak, R. and Henry, V.J. (Eds.). *Contribution on the Geological and Geophysical Oceanography of the Gulf of Mexico*. Texas A & M University. *Oceanography studies*, Vol. 3. Gulf Publ., Houston, Texas. pp: 35-65.
- Brusca, R. and Brusca, G. (1990). *Invertebrates*. Sinauer Assoc. Inc. Pub. Sunderland. M.A. 922 pp.
- Bryant, W.R., Lugo, J., Córdova, C. y Salvador, A. (1991). Physiography and bathymetry. In: Salvador. A. (Ed.) *The Gulf of Mexico Basin*: Boulder, Colorado. Geological Society of America, *The Geology of North America*. volume J. pp. 13-30.

- Burnett, B. R. (1978). Quantitative sampling of macrobiota of the deep-sea benthos. I. Sampling techniques and some data from the abyssal central North Pacific. *Deep-Sea Res.*, 24: 781-789.
- Chapelle, G. y Peck, L.S. (1999). Polar gigantism dictated by oxygen availability. *Nature*. 399:114-115.
- Childress, J.J., Fisher, C.R., Brooks, J.M., Kennicott II, M.C., Bidigare, R. and Anderson, A. (1986). A methanotrophic marine molluscan (*Bivalvia*, *Mytilidae*) symbiosis: Mussel fueled by gas. *Science*. 233: 1306-1308.
- Cosson, N., Sibuet M. and Galeron J. (1997). Community structure and spatial heterogeneity of the deep-sea macrofauna of three contrasting stations in the tropical northeast Atlantic. *Deep-Sea Res.*, 44: 247-269.
- Díaz-Aguilar, C. (2001). Patrón de distribución de la riqueza taxonómica, densidad y biomasa de la meiofauna en un gradiente batimétrico del sector occidental del Golfo de México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 61 pp.
- Escobar, E. y Soto, L. A. (1997). Continental shelf benthic biomass in the western Gulf of México. *Continental Shelf Res.*, 17 (6): 585-604.
- Escobar, E., López, M., Soto, L.A. y 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, E., Signoret, M. y Hernández-Robles, D. (1999). Variación de la densidad de la infauna macrobéntica en un gradiente batimétrico: Oeste del Golfo de México. *Ciencias Marinas*. 25 (2): 193-212.
- Falcón, L.I. (1998). Consumo de oxígeno y biomasa de la infauna del ambiente de plataforma continental del suroeste del Golfo de México y Península de Yucatán. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 78 pp.
- Folk, R.L. (1969). *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill. Austin, Texas. 182 pp.
- Frankenberg, D. and Menzies, R.J. (1968). Some quantitative analyses of the deep-sea benthos off Peru. *Deep-Sea Res.*, 15: 623-626.
- Gage, J.D. and Tyler, P.A. (1991). *Deep sea biology a natural history of organisms in the deep sea floor*. Cambridge Univ. Press. 504 pp.
- Gage, J.D., Hughes, D.J. and González-Vecino, J.L. (2002). Sieve size influence in estimating biomass, abundance and diversity in samples of deep-sea macrobenthos. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 225: 97-107.
- Galéron, J., Sibuet, M., Mahaut, M-L. and Dinét, A. (2000). Variation in structure and biomass of the benthic communities at three contrasting sites in the tropical Northeast Atlantic. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 197: 121-137.

- Gallegos, A. y Czitrom, S. (1997). Aspectos de la Oceanografía Física regional del Mar Caribe. En: M.F. Lavín, (Ed). Contribuciones a la Oceanografía Física en México, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana, pp. 225-242.
- García de León, L.A. (1988). Generalidades del análisis de cúmulos y del análisis de componentes principales. U.N.A.M., Instituto de Geografía. México, D.F. 29 pp.
- Gee, J.M. and Warwick, R.M. (1994). Metazoan community structure in relation to the fractal dimensions of marine macroalgae. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 103: 141-150.
- Graf, G. (1989). Benthic-pelagic coupling in a deep-sea benthic community. *Nature*. 341 (6241):437-439.
- Grassle, J.F. (1991). Deep-Sea benthic biodiversity. *BioScience*. 41(7): 464-469.
- Grassle, J.F., Sanders H.L., Hessler R.R., Rowe G.T. and McClellan T. (1975). Pattern and zonation: A study of the bathyal megafauna using the research submersible ALVIN. *Deep-Sea Res.*, 22: 457-481.
- Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L. and Black, W.C. (1999). *Análisis Multivariante*. Prentice Hall. España. 767 pp.
- Hartley, J.P. (1982). Methods for monitoring offshore macrobenthos. *Mar. Poll. Bull*, 13: 150-154.
- 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. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 43 pp.
- Hernández, R. D. (2002). Riqueza de familias, patrones de distribución y variabilidad genética de los tanaidáceos (Crustácea: Peracárida) del mar profundo del oeste del Golfo de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 85 pp.
- Hessler, R.R. (1974). The structure of deep benthic communities from central organic waters. In: Miller CB (ed). *The biology of the oceanic Pacific*. Oregon State University Press, Corvallis, pp.185-209.
- Hessler, R.R. and Jumars, P.A. (1974). A byssal community analyses from replicate box cores in the central North Pacific. *Deep-Sea Res.*, 21: 185-209.
- Hulings, N.C. and Gray, J.S. (1971). *A manual for the Study of Meiofauna*. Smithsonian Contributions to Zoology, No. 78. U.S. Government Printing Office, Washington, 84 pp.
- Infante Gil, S. y Zárate de Lara, G. P. (1998). *Métodos Estadísticos, un enfoque interdisciplinario*. Edit. Trillas. 1ª edic. México. 643 pp.
- Ingmanson, D.E. and Wallace, W.J. (1989). *Oceanography, an introduction*. Wadsworth Publishing Company. California. 511 pp.

- James, R.J., Smith, L. M. and Fairweather, P. G. (1995). Sieve mesh.size and taxonomic resolution needed to describe natural spatial variation of marine macrofauna. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 118: 187-198.
- Kennedy, A. D. (1993). Minimal predation upon meiofauna by endobenthic macrofauna in the Exe Estuary, south west England. *Mar. Biol.*, 117: 331-319.
- Khripounoff, A., Desbruyères, D. and Chardy, P. (1980). Les peuplements benthiques de la faille VEMA: Données quantitatives et bilan d'énergie en milieu abyssal. *Oceanol. Acta*, 3: 187-198.
- Kinne, O. (1973). Temperature. General introduction. In: Kinne, O. (Ed.) *Marine Ecology*, Vol. I, Part 1, Ch. 3. John Wiley & Sons. pp. 321-346.
- Lorenzen, C.J. and Jeffrey, S.W. (1980). Determination of chlorophyll in seawater. Report of intercalibration test. UNESCO 35.
- Marañón, E., Behrenfeld, M. J., González, N., Mouriño B. and Zubkov, M. V. (2003). High variability of primary production in oligotrophic waters of the Atlantic Ocean: uncoupling from phytoplankton biomass and size structure. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 257: 1-11.
- Mare, M. F. (1942). A study of marine benthic community with special references to the micro-organisms. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 25: 517-554.
- McClain, C. R. and Rex, M.A. (2001). The relationship between dissolved oxygen concentration and maximum size in deep-sea turrid gastropods: an application of quantile regression. *Mar. Biol.* 139: 681-685.
- McConaughey, B. H. (1978). *Introduction to marine biology*. Third edition. The C.U. Mosby Company. USA. 624 pp.
- McDonald, I. R., Bohrmann, G., Escobar, E., Abegg, F., Blanchon, P., Blinova, V., Brückmann, W., Drews, M., Eisenhaur, A., Han, X., Eeschen, K. H., Meier, F., Mortera, C., Naehr, T., Orcutt, B., Bernard, B., Brooks, J. and Defaragó, M. (2003). Asphalt vulcanism and chemosintetyc life in the Campeche Knolls, Gulf of Mexico. *Science*. 304: 999-1002.
- McDonald, I. and Joyce, S. (1997). Lair of the "Ice Worm". *Quarterdeck*. 5.3. Oceanography, Texas A&M University.
- Menzies, R.J. and Rowe.G.T. (1968), The LUBS, a large undisturbed-bottom sampler. *Limnol. Ocenogr.*. 13:708-714.
- Menzies, R.J., George, R.Y. and Rowe, G.T. (1973). *Abyssal environment and ecology of the world ocean*. Wiley Interscience. 488 pp.
- Monreal- Gómez, M.A. y Salas-de-León, D.A. (1997). Circulación y estructura termohalina del Golfo de México. En: M.F. Lavín. (Ed). *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana, pp. 183-199.

- Moore, G.W. and Del Castillo, L. (1974). Tectonic evolution of the southern Gulf of Mexico. *Geol. Soc. Ann. Bull.* 85 (4): 607-618.
- Moulin, R.J. (1980). Observaciones hidrológicas frente al litoral de Tamaulipas en el Golfo de México. *Seria de Marina. Dirección General de Oceanografía. México.* 47 pp.
- Nowlin, W. D. and McLellan, H.J. (1967). A characterization of Gulf of Mexico waters in the winter. *J. Mar. Res.*, 25(1): 29-59.
- Nowlin, W.D. (1971). Water masses and general circulation of the Gulf of Mexico. *Oceanology. Contributions.* 452: 173-178.
- Okamoto, M. and Pereira, F.P. (1998). The effect of sieve mesh size on the abundance and composition of macrophyte-associated macrofaunal assemblages. *Hydrobiol.*, 389: 21-28.
- Palma, W., Carrasco, F., Aracena, O. y López, E.I. (1982). Macroinfauna de playas arenosas de la Bahía de Concepción, Chile. *Cienc. y Tec. Mar. CONA.*, 6: 101-115.
- Paul, A.Z. and Menzies, R.J. (1974). Benthic ecology of the high Arctic deep sea. *Mar. Biol.*, 2: 7251-7262.
- Pella, E. (1990). Elemental organic análisis. Part I and 2 *Am. Lab.* 22 (2): 116-130.
- Pequegnat, W.E. (1983). The ecological communities of the continental slope and adjacent regimes of the northern Gulf of Mexico. Report of Contract AA851-CTI-12. Mineral Management Service, USA, 398 pp.
- Pequegnat, W.E., Gallaway, B.J. and Pequegnat, L.H. (1990). Aspects of the ecology of the deep-water fauna of the Gulf of Mexico. *Amer. Zool.* 30: 45-64.
- Pfannkuche, O. (1985). The deep-sea meiofauna of the Porcupine Seabight and Abyssal Plain (NE Atlantic): Population structure, distribution and standing stock. *Oceanol. Acta.*, 8: 343-353.
- Poiner, I. R. and Kennedy, R. (1984). Complex patterns of change in the macrobenthos of a large sandbank following dredging, 1. Community analysis. *Mar. Biol.*, 78:335-3552.
- Rees, H.L. (1984). A note on mesh selection and sampling efficiency in benthic studies. *Mar. Pol. Bull.* 15(6): 225-229.
- Rex, M.A. (1983). Geographic patterns of species diversity in deep-sea benthos. In: G. T. Rowe (Ed.). *Deep-sea biology, The Sea. Vol. 8. J. Wiley, N. Y.* pp 453-472.
- Rice, A.L., Aldred, R.G., Darlington, E. and Wild, R.A. (1982). The quantitative estimation of the deep-sea megabenthos; a new approach to an old problem. *Oceanol. Acta.* 5: 63-72.
- Riddle, M.J. (1989). Precision of the mean and the design of benthos sampling programmes: caution advised. *Mar. Biol.* 103: 225-230.

- Rodríguez, P. (1999). Variación de la densidad y biomasa a lo largo del gradiente batimétrico en el suroeste del Golfo de México. Tesis de licenciatura. ENEP Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 49 pp.
- Rowe, G.T. (1983). Biomass and production of the deep sea macrobenthos. In: G. T. Rowe (Ed.). Deep-sea biology, The Sea. Vol. 8. J. Wiley, N. Y. 560 pp.
- Rowe, G.T. and Menzies R.J. (1969). Zonation of large benthic invertebrates in the deep-sea off the Carolinas. *Deep-Sea Res.*, 16: 531-537.
- Rowe, G.T. and Menzel, D.W. (1971). Quantitative benthic samples from the deep Gulf of Mexico with some comments on the measurement of deep-sea biomass. *Bull. Mar. Sci.*, 21:556-566.
- Rowe, G.T., Polloni, P.T. and Horner, S.G. (1974). Benthic biomass estimates from the NW Atlantic Ocean and the northern Gulf of Mexico. *Deep-Sea Res.*, 21: 641-650.
- Salas, J.A., Escobar, E. and Rodríguez, P. (2002). Meiofauna-Macrofauna relationship in the southwest Gulf of Mexico. *Deep-Sea Newsletter*, 31: 15-17.
- Salazar, S. (1991). Contaminación Marina. Centro de Investigaciones de Quintana Roo. Fondo de Publicaciones y ediciones. 193 pp.
- Sanders, H.L., Hessler, R.R. and Hampson, G.R. (1965). An introduction to the study of deep-sea benthic faunal assemblages along the Gay head-Bermuda transect. *Deep-Sea Res.*, 12: 645-867.
- Sassen, R. (1997). Gas hydrate gardens of the Gulf of Mexico. Quarterdeck, 5.3, Oceanography, Texas A&M, University.
- Schlacher, T.A. and Wooldridge, T.H. (1996a). How accurately can retention of benthic macrofauna by a particular mesh size be predicted from body size of organisms?. *Hydrobiol.* 323. 149-154.
- Schlacher, T.A. and Wooldridge, T.H. (1996b). How sieve mesh size affects sample estimates of estuarine benthic macrofauna. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 201: 159-171.
- Schlacher, T.A. and Wooldridge, T.H. (1996c). Patterns of selective predation by juvenile, benthivorous fish on estuarine macrofauna. *Mar Biol.*,
- Sibuet, M., Monniot, C., Desbruyères, D., Dinet, A., Khripounoff, A., Rowe, G.T. and Segonzac, M. (1984). Peuplements benthiques et caractéristiques trophiques du milieu dans la plaine abyssale de Demerara. *Oceanol. Acta*, 7: 345-358.
- Sokal, R.R. and Rohlf, F.J. (1969). *Biometry*. San Francisco: W.A. Freeman and Co., 776 pp.
- Soto, L.A. y Escobar, E. (1995). Coupling mechanisms related to benthic production in the SW Gulf of Mexico. En: A. Eleftheriou, A.D. Ansell and J. Smith (Eds.). *Biology and Ecology of Shallow Coastal Waters Proc. 28th. European Marine Biology Symposium Series*. Olsen & Olsen. Denmark, pp. 233-242.

- Sturges, W., Evans, J., Welsh, S. and Holland, W. (1993). Separation of warm-core rings in the Gulf of Mexico. *J. Geophys. Oceanogr.*, 23:250-268.
- Thiel, H. (1975). The size of the deep-sea benthos. *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.* 60: 575-606.
- Thiel, H. (1983). Meiobenthos and Nanobenthos of the Deep Sea. In: G. T. Rowe (Ed.). *The Sea*, Vol. 8. J. Wiley, N.Y. 560 pp.
- Uchupi, E. (1975). Physiography of the Gulf of Mexico and Caribbean Sea. In: Nairn, A.E.M. (Ed.). *The Ocean basins and margins*. Vol. 3. The Gulf of Mexico and Caribbean Sea. Plenum Press. Pp. 1-64.
- Vezina, A.F. (1988). Sampling variance and the design of quantitative surveys of the marine benthos. *Mar Biol.*, 97: 151-155.
- Vidal, V.M., Vidal, F.V. y Hernández, A. F. (1990). *Atlas Oceanográfico del Golfo de México*. Vol. 2. Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Morelos, México. 707 pp.
- Vidal, V.M., Vidal, F.V. and Pérez-Molero, J.M. (1992). Collision of a loop current anticyclonic ring against the continental shelf slope of the Western Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.*, 97: 2155-2172.
- Vidal, V.M., Vidal, F.V., Hernández, A. F., Meza, E. y Zambrano, L. (1994). Winter water mass distribution in the western Gulf of Mexico affected by a colliding anticyclonic ring. *J. Oceanogr.* 50: 559-588.
- Welsh, S. and Inoue, M. (2000). Loop Current rings and the deep circulation in the Gulf of Mexico. *Jour. Geo. Res.* 105 (C7): 1, 6951-1, 6959.
- Wheeler, C.P. and Cook, P.A. (2000). *Using statistics to understand the environment*. Routledge, Taylor and Francis Group. London and New York. 184 pp.
- Zar, J. H. (1984). *Biostatistical Analysis*. 2^a edic. Prentice Hall. USA. 718 pág.

Estación No. Z. (m)	Tamiz de 250 µm							Tamiz de 300 µm						
	Talud Continental				Zona Abisal			Talud Continental				Zona Abisal		
	9	8	2	3	5	6	7	9	8	2	3	5	6	7
	1,107	1,651	1,693	3,784	3,810	3,848	3,877	1,107	1,651	1,693	3,784	3,810	3,848	3,877
Poliquetos	76	67.8	54.4	15.4	37.4	24.2	15.2	61	44.6	33.8	11.2	12.8	14.2	10.4
Nemátodos	44.3	47.4	40.8	15.2	27.6	14.6	14.8	33.8	39.4	21.2	21	23.2	17.2	15
Sipunculidos	0	0.6	0.8	0	0	0.6	0.4	0	2	0.2	0.4	0.2	0	0.2
Copépodos	11	17.8	19	10	14.6	8	4.4	9.3	13.6	6.8	3.6	6	4.4	6.8
Tanaidáceos	3	7.2	5.4	0.8	1.4	1	1.4	7.3	5.2	2	1.8	2.6	1.2	0.6
Ostrácodos	1	1.4	1.8	0	0.2	0.2	1	0	1.8	1	0	0.2	0	0
Cumáceos	0	0.6	0.8	0	0	0	0	0.8	1	0.2	0	0.4	0	0
Isópodos	4.7	4.4	4.4	0.2	0.4	1	1.6	4.3	4.2	4.2	0.4	0.2	0.2	0.4
Aplacóforo	1.3	0.2	0.2	0.2	0.6	0.2	0.4	1.8	0.4	0.6	0.2	0.2	0	0
Moluscos	1.3	4.4	3.2	0	2.4	0.8	0.2	1.8	3.4	2.8	1	1	0.6	2
Holoturidos	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0
Ofiuridos	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0
Priapulido	0	0	0	0.2	0	0	0.2	0	0	0	0.2	0	0	0
Leptostraco	0	0	0	0	0	0.6	0.2	0	0.4	0	0	0	0.2	1.4
Porifera	6.3	0	0	0	0	1.4	2	0.3	0	0	0	0	1.4	1.6
Anfípodo	0.3	0.6	0	0	0	0.2	0	1	0.4	0	0	1.2	0	0
Equinoideo	0	1	0	0	0.4	0.2	0.4	0	0.2	0	0	0.8	0.6	0.2
Escafópodos	1.8	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Briozoarios	0.3	0	0	0	0	6.8	0	5	0	0	0	0	1.6	2.2
Hidroide	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0.2	0.8

Apéndice I. Valores promedio del número total de individuos por estación para cada uno de los grupos taxonómicos en ambas aberturas de tamices. Abreviaturas: Z = Profundidad.

Estación No.	Tamiz de 250 µm							Tamiz de 300 µm								
	Talud Continental				Zona Abisal			Talud Continental				Zona Abisal				
	9	8	2	3	5	6	4	7	9	8	2	3	5	6	4	7
Z (m)	1,107	1,651	1,693	3,784	3,810	3,848	3,875	3,877	1,107	1,651	1,693	3,784	3,810	3,848	3,875	3,877
Poliquetos	1,216	1,085	870	246	598	387	243	237	976	713	540	179	205	227	198	166
Nemátodos	709	758	652	243	442	234	237	150	540	630	339	336	371	275	249	240
Sipunculidos	0	10	13	0	0	10	6	6	0	32	3	6	3	0	6	3
Copépodos	176	285	304	160	234	128	70	93	148	217	108	57	96	70	76	109
Tanaidáceos	48	115	86	13	22	16	22	13	116	83	32	29	41	19	9	35
Ostrácodos	16	22	29	0	3	3	16	3	0	29	16	0	3	0	0	0
Cumáceos	0	10	13	0	0	0	0	0	12	16	3	0	6	0	0	0
Isópodos	75	70	70	3	6	16	26	13	68	67	67	6	3	3	6	3
Aplacóforo	21	3	3	3	10	3.2	6.4	6.4	28	6	10	3	3	0	0	0
Moluscos	21	70	51	0	38	13	3	28	28	54	45	16	16	10	32	10
Holoturidos	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
Ofiuridos	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
Priapulido	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0
Leptostraco	0	0	0	0	0	9	3	0	0	6	0	0	0	3	22	0
Porifera	101	0	0	0	0	22	32	12	4	0	0	0	0	0	26	26
Anfípodo	5	9	0	0	0	3	0	0	16	6	0	0	19	0	0	0
Equinoideo	0	16	0	0	6	3	6	3	0	3	0	0	13	10	3	0
Escafópodos	27	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Briozoarios	5	0	0	0	0	108	0	80	0	0	0	0	0	0	26	35
Hidroide	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	13	6

Apéndice II. Valores promedio de densidad ($\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$) por estación para cada uno de los grupos taxonómicos en ambas aberturas de tamices. Abreviaturas: Z = Profundidad.

Estación No.	Tamiz de 250 μm							Tamiz de 300 μm						
	Talud Continental				Zona Abisal			Talud Continental				Zona Abisal		
	9	8	2	3	5	6	7	9	8	2	3	5	6	7
Z (m)	1,107	1,651	1,693	3,784	3,810	3,848	3,877	1,107	1,651	1,693	3,784	3,810	3,848	3,877
Poliquetos	3.21	3.93	5.34	0.10	2.76	2.06	0.82	5.12	3.39	0.95	0.10	2.25	0.82	1.11
Nemátodos	0.14	0.14	0.06	0.03	0.23	0.04	0.03	0.08	0.13	0.04	0.05	0.06	0.05	0.05
Sipunculidos	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.30	0.00	0.00	0.02	0.00	0.07
Copépodos	0.16	0.18	0.18	0.03	0.33	0.28	0.14	0.48	0.64	0.00	0.00	0.72	0.15	0.20
Tanaidáceos	0.03	0.10	2.11	0.01	0.01	0.00	0.02	0.10	0.21	0.14	0.02	0.20	0.03	0.01
Ostrácodos	0.02	0.14	0.44	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.05	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00
Cumáceos	0.00	0.02	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.15	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
Isópodos	0.36	0.34	0.10	0.00	0.02	2.09	0.05	0.68	0.64	0.13	0.00	0.00	0.00	0.02
Aplacóforo	0.09	0.02	0.05	0.00	0.05	0.02	0.05	0.14	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00
Moluscos	0.13	1.40	2.52	0.00	4.37	3.98	4.45	1.66	7.24	5.31	0.14	27.75	0.04	11.58
Holoturidos	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Ofiuridos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Priapulido	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Leptostraco	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04
Ponferra	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.09	12.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.60
Anfípodo	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.01	0.00	0.00	0.98	0.00	0.00
Equinoideo	0.00	0.07	0.00	0.00	0.07	1.37	1.41	0.00	0.00	0.00	0.00	12.50	3.06	2.45
Escafofodos	0.09	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Briozoarios	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04
Hidroide	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.13

Apéndice III. Valores promedio de biomasa ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}$) por estación para cada uno de los grupos taxonómicos en ambas aberturas de tamices. Abreviaturas: Z = Profundidad.



AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Elva Escobar Briones, por la dirección de este trabajo y por la paciencia para su culminación.

Al apoyo logístico, administrativo e institucional del ICML, UNAM-CU durante la gestión del Dr. Adolfo García Gasca.

Al CONACyT por el financiamiento de investigación que cubrió el costo de tiempo de buque en el proyecto G-27777B.

Al CONACyT por el otorgamiento de beca de maestría, durante el período: Febrero-Julio de 2003.

AL CONACyT por el financiamiento de beca para la realización de tesis de maestría otorgado por el proyecto: CONACyT-G35442-T "Desarrollo en México de nuevas metodologías en isótopos estables aplicada a depósitos minerales, vulcanismo y sistemas hidrotermales". Beca otorgada del 1º de Febrero al 31 de Julio de 2003.

Proyecto PAPIIT IN224503: "Riqueza taxonómica de la fauna asociada al mar profundo del Golfo de México" y SEP-CONACyT 2002 Clave: 40158 "Variación de la estructura comunitaria del bentos abisal en el Golfo de México" que apoyaron con financiamiento la parte operativa del proyecto.

Los tamices fueron otorgados en el marco del proyecto MMS Contract 1435-01-99-CT-30991TAMU "Deep Gulf of Mexico Benthos Study(DGoMBS) - Joint US/Mexico Studies of the Sigsbee Deep (JSSD)" para intercalibración y comparación de datos entre los proyectos de México y EEUU.

A toda la tripulación del B/O Justo Sierra, por los buenos ratos y apoyo para la realización de la campaña SIGSBEE-4.

A los miembros del comité tutorial, por sus valiosos comentarios, recomendaciones y correcciones al presente trabajo: Dra. María Antonieta Aladro Lubel, Dr. José Luis Caballo Cenizo, Dr. Omar Defeo y Dr. Gilbert T. Rowe.

Al Dr. Luis A. Soto González, jefe del Laboratorio de Ecología del Bentos en el ICML, UNAM, por brindar el espacio físico y las facilidades para realizar la mayor parte del trabajo en el laboratorio.

A la Dra. María Luisa Macahín, por las facilidades para obtener el peso húmedo de los organismos obtenidos en las muestras.