



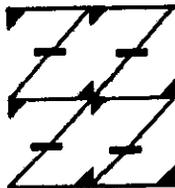
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
"ZARAGOZA"

RIQUEZA TAXONOMICA, DENSIDAD Y BIOMASA DE LA  
INFAUNA MACROBENTICA A LO LARGO DE UN GRADIENTE  
BATIMETRICO EN EL SECTOR OCCIDENTAL DEL  
GOLFO DE MEXICO

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**B I O L O G A**  
P R E S E N T A  
DIANA RAQUEL HERNANDEZ ROBLES

UNAM  
FES  
ZARAGOZA



LO HUMANO EJE

DE NUESTRA REFLEXIÓN

TESIS CON  
PALLA DE ORIGEN

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. ELVA G. ESCOBAR BRIONES

MEXICO, D. F.

1999

271038



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

*"Ahora sabemos algo que toda la caravana de generaciones precedentes desconoció: que los humanos solo somos compañeros de viaje de las demás criaturas en la odisea evolutiva. Este nuevo conocimiento debió habernos dado, a estas alturas, un sentido de camaradería hacia las criaturas que nos acompañan, el deseo de vivir y dejar vivir, y capacidad para maravillarnos ante la magnitud y duración de esta aventura biótica."*

Aldo Leopold

## Indice

Lista de Cuadros .....	i
Lista de Figuras .....	ii
Resumen .....	iv
Abstract .....	v
Introducción .....	1
Antecedentes .....	5
Area de Estudio .....	6
Objetivos .....	9
Hipótesis y Fundamento .....	9
Material y Método .....	10
1. Trabajo de Campo .....	10
2. Trabajo de Gabinete .....	11
Resultados .....	13
Parámetros Ambientales .....	13
Agrupamiento de las localidades .....	17
Estructura de la Comunidad .....	17
Densidad .....	19
Biomasa .....	22
Discusión .....	27
Conclusiones .....	34
Literatura Citada .....	35
Apéndices .....	42
Agradecimientos .....	43

## Lista de Cuadros

Cuadro 1. Ubicación de las estaciones de muestreo y de zonas de profundidad.....	12
Cuadro 2. Características ambientales de las estaciones de muestreo. Abreviaturas: Z: profundidad; Temp: temperatura de fondo; Sal. : salinidad de fondo ; O.D.: concentración de oxígeno disuelto de fondo; %N: Nitrógeno orgánico; %C: Carbono orgánico; C/N: relación Carbono/Nitrógeno; Chl: concentración del máximo de clorofila en columna de agua ; M.O.: contenido de materia orgánica en sedimento .....	14
Cuadro 3. Riqueza taxonómica de los organismos existentes en las estaciones de muestreo (Clasificación según Brusca & Brusca, 1990) .....	19
Cuadro 4. Estaciones de muestreo, densidad y biomasa promedio de los Phyla presentes por cada estación; n= número de réplicas; $\bar{x}$ = valor promedio; $\sigma$ = desviación estándar (Clasificación según Brusca & Brusca, 1990).....	26
Cuadro 5. Datos comparativos de densidad ( $\text{ind m}^{-2}$ ) y biomasa ( $\text{gC m}^{-2}$ ) de la infauna macrobéntica del Golfo de México y de otras regiones del mundo.....	31

## Lista de Figuras

- Figura 1. Area de estudio y localización de las estaciones de muestreo.....8
- Figura 2. Variación de: a) la temperatura de fondo a lo largo del gradiente batimétrico; b) la concentración de oxígeno disuelto (O.D.) de fondo con respecto al gradiente batimétrico; c) la concentración de oxígeno disuelto de fondo con la temperatura de fondo; d) la concentración máxima de clorofila en columna de agua con la distancia a la costa. E1 - E10 son las localidades muestreadas citadas en cuadros 1 y 2.....15
- Figura 3. Variación de: a) la concentración de oxígeno disuelto de fondo (O.D.) con la concentración máxima de clorofila en columna de agua (Chl); b) el contenido de materia orgánica en sedimento (M.O.) con la profundidad; c) el contenido de materia orgánica en sedimento con la concentración máxima de clorofila en columna de agua; d) la concentración de oxígeno disuelto de fondo con el contenido de materia orgánica en sedimento. Las líneas indican la tendencia citada en el texto; los símbolos vacíos en las gráficas b, c y d muestran el valor hipotético de la estación 2. E1 - E10 son las localidades muestreadas, citadas en cuadros 1 y 2...16
- Figura 4. a) Agrupación de las localidades por su similitud, zonación en el gradiente batimétrico; b) variación del número de Phyla con respecto a la profundidad; c) caracterización de los grupos taxonómicos por su frecuencia y abundancia. Numeración de los grupos taxonómicos citada en cuadro 3. E1 - E10 son las localidades muestreadas, citadas en cuadros 1 y 2..... 18
- Figura 5. a) Porcentaje acumulativo de abundancia promedio de los Phyla registrados; b) Variación de la densidad promedio en las zonas del gradiente batimétrico; c) Densidad promedio y porcentaje de densidad de los Phyla registrados; d) Variación del porcentaje de la densidad promedio de los tres Phyla dominantes a lo largo del gradiente batimétrico por zonas. Numeración de las zonas de profundidad citada en cuadro 1..... 20
- Figura 6. Relación de la densidad con: a) la concentración de oxígeno disuelto de fondo (O.D.); b) la concentración máxima de clorofila en columna de agua (Chl); c) el contenido de materia orgánica en sedimento (M.O.); d) la temperatura de fondo. Las líneas indican la tendencia citada en el texto. Los números romanos indican las zonas reconocidas en el gradiente batimétrico, citadas en cuadro 1.....21
- Figura 7. a) Variación de la biomasa promedio con el gradiente de profundidad; b) Biomasa promedio y porcentaje de biomasa de los distintos Phyla identificados; c) Variación del porcentaje de biomasa promedio de los cuatro Phyla con mayor biomasa, por zona batimétrica. Los números romanos indican las zonas reconocidas en el gradiente batimétrico, citadas en cuadro 1.....23

Figura 8. Relación de la biomasa promedio con: a) la concentración máxima de clorofilas en columna de agua (Chl); b) la concentración de oxígeno disuelto de fondo (O.D.); c) el contenido de materia orgánica en sedimento (M.O.); d) la temperatura de fondo. Las líneas indican la tendencia citada en el texto. Los números romanos indican las zonas reconocidas en el gradiente batimétrico, citadas en cuadro 1.....24

Figura 9. Variación de la biomasa de la macrofauna en el gradiente batimétrico y con la distancia a la costa.....25

Figura 10. Ubicación de las localidades de muestreo de infauna macrobéntica citados en el cuadro 5.....32

## Resumen

El presente trabajo presenta los resultados del análisis de la comunidad bentónica en el sector occidental del Golfo de México a partir de recolectas realizadas desde el margen continental hasta la zona abisal durante la campaña SIGSBEE a bordo del B/O *Justo Sierra* en junio de 1997. Los grupos taxonómicos dominantes en la comunidad fueron Annelida (32.20%), Nematoda (31.33%) y Arthropoda (27.98%), que juntos contribuyeron con más del 90% en la comunidad. La densidad mayor (2,713 ind m<sup>-2</sup>) se registró sobre el talud continental a 1,231 m de profundidad, y la menor (794 ind m<sup>-2</sup>) en la planicie abisal a 3,760 m de profundidad. La biomasa mayor (0.093 gC m<sup>-2</sup>) se registró en el sector superior del talud continental a 498 m de profundidad y la mínima (0.008 gC m<sup>-2</sup>) en la planicie abisal a 3,635 m. Ambos parámetros mostraron estar regulados por la concentración máxima de clorofilas en columna de agua, la concentración de oxígeno disuelto en el fondo y el contenido de materia orgánica en el sedimento superficial, los cuales a su vez fueron regulados por la hidrodinámica del Golfo. El análisis multivariado de los factores ambientales permitió generar un esquema de zonación para el sector occidental del Golfo de México, el cual fue consistente con la propuesta previa de Pequegnat (1983) para el sector noroeste del Golfo. Los valores de densidad y biomasa del área de estudio están dentro del intervalo de registros previos para otras regiones del Golfo de México y de ambientes tropicales del océano mundial.

Palabras clave :

Golfo de México, bentos, mar profundo.

## Abstract

The results of the study of the benthic community in the western Gulf of Mexico are here in described. Samples were obtained, along a depth gradient, from the shelf break to the abyssal plain during the SIGSBEE cruise onboard the R/V *Justo Sierra* in June 1997. Dominant taxa were Annelida (32.20%), Nematoda (31.33%) and Arthropoda (27.98%) contributing with more than 90% of the community density. Largest density (2,713 ind  $m^{-2}$ ) was recorded on the continental slope at 1,231m depth, the lowest (794 ind  $m^{-2}$ ) was recorded in the abyssal plain at 3,760 m depth. The largest biomass (0.093 gC  $m^{-2}$ ) was recorded in the upper continental slope at 498 m depth; the lowest (0.008 gC  $m^{-2}$ ) on the abyssal plain at 3,635 m. Both community parameters were defined by the chlorophyll maximum concentration in the water column, the oxygen content in the bottom and the organic matter content in surficial sediment, all of which were determined by the hydrodynamics in the gulf.

A zonation scheme for the western Gulf of Mexico is proposed based on the multivariate analysis of the environmental parameters and was consistent with the earlier scheme described by Pequegnat (1983) for the northwestern gulf. Both density and biomass values in the area of study are consistent with the range of previous values for different regions of the Gulf of Mexico and tropical environments of the world ocean.

### Key Words :

Gulf of Mexico, benthos, deep-sea.

## Introducción

La parte submarina del continente ha sido subdividida en tres grandes regiones: el margen continental, la cuenca oceánica y la cresta o cordillera central (Heezen & Menard, 1963). El primero es una prolongación de los continentes, que comprende a su vez la plataforma continental (o zona de descenso suave) y el talud continental, que es señalado por la ruptura violenta de la anterior, la primera ubicada a profundidades que varían entre los 120 y 200 m, y la segunda de 200 a 2,000 m. La cuenca oceánica comprende la zona abisal, es decir, planicies que continúan por lo general al talud continental, con levantamientos y picos (Vegas, 1980). Teniendo en cuenta la profundidad, Allee *et al.*, (1949) dividieron a los fondos marinos en cuatro zonas principales: la eulitoral, hasta los 50 m de profundidad, donde termina la acción de las mareas y de las olas; la sublitoral, de los 50 a los 200 m, hasta donde termina la plataforma continental; la arquibéntica o talud continental, hasta los 2,000 m, y la abisal a una profundidad mayor.

Uno de los grupos de vida marina menos estudiado en México y quizás más importante por su papel en los ciclos biogeoquímicos es el bentos, el cual está constituido por todas aquellas especies que viven en relación íntima con el fondo, ya sea para fijarse en él, excavarlo, marchar sobre su superficie o nadar en sus vecindades sin alejarse de él. El bentos, como gran comunidad ecológica se extiende en el mar desde la zona litoral hasta las grandes profundidades, teniendo como factor básico de establecimiento su relación íntima con el fondo. Los organismos marinos bentónicos reflejan y responden en el marco global a tres gradientes ambientales: 1) el latitudinal, en magnitud y estacionalidad de la radiación solar de los polos hacia el ecuador; 2) el de profundidad (batimétrico), desde las zonas someras hasta las grandes profundidades y 3) el gradiente desde la costa hasta mar abierto, el cual frecuentemente se relaciona con el de profundidad (Perès, 1961).

A lo largo de estos fondos marinos, se ha demostrado la existencia de organismos que se han ido adaptando a la variación de los factores físicos (presión, ausencia de luz, baja temperatura), químicos (variaciones en la concentración de oxígeno), geológicos (tamaño de grano) y biológicos (naturaleza de las fuentes alimenticias de cada zona). Los factores que controlan la distribución y diversidad de la vida en el bentos a lo largo de un gradiente desde la costa al mar profundo son: los niveles de luz, la disponibilidad de alimento, la temperatura, la salinidad y la naturaleza y estabilidad del fondo (Perès, 1961).

Los niveles de luz en el océano, decrecen rápidamente con la profundidad, restringiendo la fotosíntesis de las plantas a los 40 ó 50 m superiores del mar (Ingmanson & Wallace, 1989). La atenuación de la luz está relacionada con la materia particulada suspendida a medida que aumenta la profundidad, por lo que a profundidades mayores de 200 m, el bentos depende en gran medida de la exportación de las partículas de origen fotosintético en forma de detrito y permanece en total oscuridad (Jerlov, 1973).

La temperatura del océano cambia con las estaciones del año, debido a variaciones en la cantidad de radiación solar incidente. La distribución vertical de la temperatura en las capas del mar frecuentemente permite reconocer tres estratos: uno superficial isotérmico o

capas del mar frecuentemente permite reconocer tres estratos: uno superficial isotérmico o capa de mezcla (temperaturas idénticas a diferentes profundidades), un estrato con un decremento máximo de temperatura por unidad de profundidad o termoclina y un estrato inferior con temperaturas ligeramente descendentes. En las partes más profundas de los océanos, la temperatura es baja (2 - 4 °C) y constante. La comparación entre las áreas de plataforma continental, el talud continental y las planicies abisales, revelan una tendencia de disminución del número de especies en el mar profundo relacionada con la disminución de la temperatura (Kinne, 1963). Tanto la distribución batimétrica como la zoogeográfica de los invertebrados marinos puede estar afectada por la temperatura: (i) por exclusión de las aguas profundas con temperaturas bajas, (ii) por migraciones en el gradiente vertical o (iii) por transporte pasivo, acumulación o disipación asociados a las condiciones hidrográficas. densidad y viscosidad del agua, termoclina y turbulencia, entre otros (Kinne, 1973).

La salinidad muestra 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 de profundidad en general no se ven afectadas por este parámetro (Ingmanson & Wallace, 1989).

El oxígeno disuelto en el Golfo de México es acarreado hacia las regiones más profundas por el hundimiento y la circulación de agua bien oxigenada proveniente de la Antártica. Esta agua fluye lentamente de las altas a las bajas latitudes sobre el fondo marino. Como resultado de esto, mucho del piso marino está saturado de oxígeno. Las aguas con menor cantidad de oxígeno son aquellas que están a profundidades medias, cerca de los 1,000 m de profundidad. Estas aguas se asocian a los florecimientos del talud, donde el oxígeno se consume debido a la descomposición de materia orgánica que se hunde proveniente de la capa eufótica y por la respiración de bacterias y metazoarios (Ingmanson & Wallace, 1989). Los cambios en la concentración de oxígeno disuelto en el agua afectan de diferentes maneras a las especies existentes. Tulkki (1965) describe la desaparición de la fauna bentónica del sur del mar Báltico como resultado de la deficiencia de oxígeno. A medida que la concentración de oxígeno disuelto disminuye hacia el interior de los sedimentos, la abundancia de los metazoarios también disminuye. La concentración de oxígeno en el agua también se ve afectada por los cambios de temperatura, y ambas a su vez modifican los requerimientos metabólicos de los organismos (Fenchel & Riedl, 1970).

Otro de los factores condicionantes de la vida bentónica es el tipo de substrato. Con el incremento de la profundidad hacia la zona abisal, la heterogeneidad de la composición del tamaño de grano disminuye y se convierte paulatinamente en un substrato cada vez más fino, hasta predominar las arcillas. De la naturaleza del substrato depende la composición, abundancia y diversidad de la comunidad. Los factores del sedimento que son importantes para el establecimiento de los organismos son el tamaño y dureza de los gránulos, composición química predominante, intersticios, contenido de materia orgánica, de agua y de oxígeno. Los lodos finos generalmente no son adecuados para los organismos que se

alimentan de la materia orgánica suspendida; comúnmente benefician a aquellos que no son selectivos en su alimentación. La hidrodinámica también modifica los fondos y por ende afecta la vida bentónica. Las corrientes modifican las condiciones oceanográficas superficiales y facilitan el transporte de materia orgánica a los grandes fondos (Vegas, 1980).

El bentos puede dividirse en dos grupos con base en su localización. La *epifauna* es aquella que vive sobre la superficie del fondo. La *infauna* es el término utilizado para describir aquellos organismos que viven dentro del substrato (Nybakken, 1993). Así mismo, la infauna se puede subdividir por su tamaño en micro, meio y macrobentos. El *microbentos* está constituido por las bacterias y las levaduras. El *meiobentos*, incluye metazoarios que pesan menos de  $10^{-4}$  g (phf) y se retienen en mallas de 42 a 100  $\mu\text{m}$  de apertura. El *macrobentos* son organismos más grandes retenidos en mallas de 125  $\mu\text{m}$  a 2.0 mm de apertura (Levinton, 1982; Fenchel, 1978).

La composición de especies y su abundancia tiene variaciones temporales y espaciales (Holland, 1985; Holland, *et al.* 1987; Gage & Tyler, 1991) que son producidas por la sucesión en tiempo. Los cambios estacionales en la abundancia se atribuyen a la periodicidad normal del desarrollo, reproducción, reclutamiento y mortalidad, así como a perturbaciones del ambiente, donde los cambios en las condiciones físicas o químicas pueden determinar variaciones de densidad (Kennish, 1994). La distribución espacial de los macroinvertebrados bénticos se ha evaluado a 3 niveles: (1) distribución a pequeña escala; (2) distribuciones regionales y (3) distribuciones globales (Wolf, 1983).

En el primer nivel, la composición de especies de la macrofauna béntica se ha relacionado con factores físicos, como olas, corrientes del fondo, características del sedimento y profundidad. Los factores biológicos (depredación y competencia) y químicos (concentración de oxígeno, entre otros) afectan la distribución del bentos. Los factores bióticos actúan como factores limitantes en el segundo nivel de escala (Coull & Bell, 1979). La ocurrencia de los organismos depende de la adaptación biológica y evolución convergente en reproducción, modos de alimentación, tamaño y otros parámetros que permiten habilitar la coexistencia de especies en un mismo ambiente (Tietjen, 1982).

Los poliquetos, crustáceos y moluscos gasterópodos y bivalvos componentes del bentos, comprenden cerca del 85% de todos los organismos en comunidades bénticas marinas a nivel tropical, éstas forman la base para el flujo de energía del bentos; todos ellos son una fuente de alimento para peces demersales y crustáceos de importancia comercial (Longhurst & Pauly, 1987). La composición taxonómica ha permitido establecer esquemas de zonación del bentos profundo (Vinogradova, 1962). Existen diferencias entre la fauna béntica del margen continental y aquellas de mar profundo, mostrando una reducción de individuos y reemplazo de especies de la zona del margen continental hacia aquellas a lo largo del talud continental y planicie abisal.

La explicación de la alta diversidad de los organismos bentónicos, ha originado teorías controversiales. Esta se atribuye a la persistencia de las condiciones ambientales por

periodos de tiempo largos en los fondos marinos (Sanders, 1968); al predominio de los organismos de alimentación generalista como prevención de la competencia por alimento (Dayton & Hessler, 1972); a la distribución por parches en áreas orgánicamente enriquecidas; a la ocurrencia de eventos de perturbación en pequeña escala y a la falta de barreras para la dispersión entre grupos taxonómicos distribuidos en el mar profundo (Grassle & Morse-Porteus, 1987)

Los organismos bentónicos viven en un mundo predominantemente bidimensional, considerando que la mayoría habita dentro de los primeros 10 cm de profundidad del sedimento. a diferencia de los organismos plañtónicos y nectónicos que tienen un mundo tridimensional. Existen tres estrategias para la vida bentónica: 1) fijación a las superficies firmes; 2) movimiento libre en el fondo ó 3) movimiento dentro de los sedimentos. Estos estilos de vida se vinculan a las formas principales de obtener alimento de los organismos bentónicos: filtración del agua del mar, depredación e ingestión de materia orgánica en sedimento. Los organismos compiten por espacio y por el alimento, por lo mismo, en el bentos un solo organismo puede exhibir más de un estilo de vida (Perès, 1961).

La obtención de sustancias nutritivas por los animales de profundidad provienen de distintas fuentes como detrito utilizado por las bacterias baxófilas, cuya presencia en el estómago de muchos invertebrados y su producción anual alta indican que proveen alimento a partir del detrito en los animales del sistema profundo (Zobell, 1954); las diatomeas exportadas a los fondos abisales (Wood, 1956); y los vegetales arrastrados por corrientes de turbidez submarina en el talud continental (Menzies, 1965).

La disponibilidad del alimento y de substratos adecuados controlan la abundancia de organismos bentónicos. Éstos, generalmente son menos abundantes a medida que incrementan las profundidades del agua y la distancia del continente, debido a que el alimento es más abundante cerca del mismo. En los lugares donde los organismos que se alimentan de depósito son abundantes, los filtradores son escasos. Esta situación ocurre cuando los primeros hacen el área menos accesible para los filtradores. Esta competencia crea un ambiente de vivienda indeseable, en lugar de competir directamente por alimento o espacio para vivir. Por otra parte, las aguas cargadas de oxígeno mezcladas con los sedimentos removidos, permiten que las bacterias aerobias, protozoarios y otros animales bentónicos pequeños vivan mucho más abajo de la interfase agua - sedimento de lo que es posible en los lodos deficientes de oxígeno (Gross, 1990).

## Antecedentes

El Golfo de México se ha reconocido dentro de los Ecosistemas Marinos Grandes por sus condiciones de cuenca independiente, caracterizado por la batimetría, hidrografía y poblaciones tróficamente dependientes de la productividad primaria en la capa eufótica (Sherman, 1994). Los resultados de estudios oceanográficos de casi tres décadas en la porción norte y de casi una en la región sur han revelado una complejidad de los procesos que en él ocurren. La variabilidad espacial y estacional de la producción del bentos de la plataforma y el borde externo refleja los procesos que se llevan a cabo en la columna de agua como una propiedad conservativa (Rowe & Menzel, 1971; Soto & Escobar, 1995; Escobar & Soto, 1997). Lo anterior es debido a que las tallas más pequeñas del bentos dependen de la cantidad y calidad de la materia orgánica del fondo. Se ha reconocido que la materia lábil en el sedimento superficial depende de factores como la profundidad (Perès, 1982), la proximidad a la costa y las fuentes de aporte (Pace *et al.*, 1984), la herbivoría (Valiela, 1984), la productividad primaria (Graf *et al.*, 1995) y su tasa de hundimiento (Wassman, 1984), lo que conlleva a que exista una variabilidad a lo largo de gradientes ambientales diversos. La fauna bentónica del Golfo de México por debajo de los 200 m de profundidad y la variación de su estructura comunitaria se encuentran pobremente descritas a diferencia de otras localidades igualmente estudiadas a nivel mundial. Por lo anterior, se requiere de esta información para poder reconocer las variaciones estacionales de los eventos estocásticos e impactos de origen antropogénico.

Los estudios realizados sobre la infauna macrobéntica en el Golfo de México son diversos. Actualmente existen cinco trabajos acerca del conocimiento de la distribución de la infauna en el Golfo de México que incluyen al mar profundo: el trabajo de Rowe y Menzel (1971) de la distribución de la biomasa de meiofauna y macrofauna en el Escarpe de Campeche; un estudio ecológico sobre la meiofauna y macrofauna del talud de Veracruz y Tamaulipas (Gettleston, 1976; el de Kennedy (1976), en la porción suroccidental del Golfo, y los trabajos de Soto & Escobar (1995), López (1996), Castañeda (1996), Escobar *et al.* (1997) y Falcón (1998) sobre la macrofauna y meiofauna del margen continental y talud superior de los sectores occidental y sur del Golfo de México.

El presente estudio es primero en su género, ya que analiza la riqueza taxonómica, densidad y biomasa existentes a lo largo de un gradiente de profundidad desde los 200 m en el margen continental hasta los 3,760 m en la planicie abisal. Con apoyo de los factores ambientales se describen los patrones de variación de los parámetros comunitarios reconocidos en la porción occidental del Golfo de México.

## Area de Estudio

Los resultados de este estudio se obtuvieron a lo largo de un transecto a profundidad que incluye el reborde y talud continental, la elevación continental y la zona abisal del sector noroeste del Golfo de México, frente al estado de Tamaulipas. Esta zona se caracteriza por un margen continental estrecho de talud abrupto, caracterizado por plegamientos paralelos a la línea de costa denominados Cordilleras Mexicanas, que se extienden entre los 24° y 19° N (Antoine *et al.*, 1974). Estas actúan como barrera del sedimento de origen continental, generando uno de los taludes continentales únicos en el mundo por su naturaleza y origen (Garrison & Martin, 1973; Moore & Del Castillo, 1974). Hacia el este y sur del talud se extiende una planicie abisal amplia que separa las Cordilleras Mexicanas de los Nodos de Sigsbee, y de los de Campeche al sur. Esta planicie abisal es parte de la provincia terrígena del Golfo (Uchupi, 1975). Entre esta planicie abisal y el talud se ha reconocido una elevación continental estrecha (Ewig & Antoine, 1966). En la zona abisal, bajo varios kilómetros de sedimento, se encuentran diapiros salinos (Antoine & Bryant, 1969) que continúan en dirección sur y suroeste hacia el banco de Campeche. El área de estudio se caracteriza por lodos de origen terrígeno que son depositados por los frentes del Río Grande y principalmente por los del Río Mississippi (Glover, 1961). La plataforma en esta región es estrecha, generalmente menor a 50 km de ancho, y finaliza a una profundidad de 100 m; está caracterizada por cordilleras lineales paralelas a la línea de la costa (Bergantino, 1971). El primer estrato de profundidad se aproxima al límite de aporte terrígeno de los ríos principales de este sector: Grande, Soto la Marina y Pánuco. El segundo representa una carpeta de sedimento conformada sobre cordilleras (Antoine, 1972), y el tercero es en su mayoría de lodo biogénico. Los sedimentos superficiales de la plataforma son lodo y arenas finas. Los parches de grava y arena gruesa mezclados con lodos ocurren en la plataforma interior y media al norte de Tamiahua y a lo largo de la plataforma interior al norte de los ríos Pánuco y Soto la Marina (Escobar & Soto, 1997).

La zona recibe la influencia de la compleja hidrodinámica superficial, en la que se refleja el efecto de los giros anticiclónicos liberados de la Corriente de Lazo que se trasladan en dirección oeste del área de estudio, la cual además de generar una productividad primaria elevada con la surgencia de agua, se ha reconocido como promotora de la producción béntica a lo largo de la plataforma continental exterior y del talud superior (Vidal *et al.*, 1988, 1990, 1994). En dirección este, la capa de mezcla se extiende en un rango de 10 a 175 m por debajo de la cual se reconoce una estratificación térmica casi permanente que es solamente alterada por los frentes continentales durante el invierno y otras anomalías climáticas (Vidal *et al.*, 1990). Sobre el talud superior se ha reconocido una capa de concentración mínima de oxígeno disuelto que obedece a una de las bisecciones de la distribución del campo de circulación baroclínica. En dirección este predominan las condiciones oceánicas 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 se localiza por debajo de la zona de mezcla (36.7 ups<sup>1</sup>), 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 ups localizado a los 750 m donde se reconoce el Agua Antártica Intermedia (Nowlin & McLellan, 1967). La masa de agua a 1,500 m corresponde al agua profunda del Atlántico Norte y se caracteriza por temperatura de 4.02 °C y salinidad de 34.98 ups. El inicio del mar profundo se ha delimitado en el Golfo de México a partir de la zona transicional de la plataforma y talud continental conforme Pequegnat (1983).

Las condiciones físicas en el área de estudio están influenciadas por los patrones de circulación general que prevalecen en el sector occidental del Golfo descritos por Vidal *et al.*, (1992). La condición estratificada prevalece desde abril (temperatura máxima de 23.7°C) hasta la temporada de lluvias que termina en septiembre cuando las aguas superficiales alcanzan temperaturas máximas de 29°C y la capa de mezcla está a una profundidad de 50 m en la plataforma externa. Esta condición estratificada produce gradientes verticales y horizontales. Una termoclina estacional está presente cerca de los 18 m y está limitada en su circulación por el agua oceánica (23°C y 36.5 ups) sobre el agua común del Golfo, en el límite de la plataforma continental en la porción norte y a 5 y 13 m de las bocas de los ríos. El flujo costero produce una pluma superficial (2 - 5 m) que se extiende hacia afuera hasta 50 km. Durante la temporada de lluvias, las intensidades de las descargas de los ríos Grande 25°50'N (58 m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>), Soto La Marina 23°40'N (30 m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>) y Pánuco 22°20'N (409 m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>) generan una capa fina de agua de baja salinidad (30 ups) y temperaturas de 21 a 23°C, que pueden localizarse hasta cerca de 100 km. de distancia de las bocas de Laguna Madre y Tamiahua y de los ríos Soto La Marina y Pánuco (Escobar & Soto, 1997).

La condición de mezcla se establece al inicio de las tormentas del norte, en noviembre y termina durante marzo. La mezcla convectiva es común en la columna de agua y su efecto alcanza los 150 m de profundidad en las aguas de la plataforma exterior. Durante este periodo la termoclina se profundiza en la plataforma exterior de 80 m a 160 m. La temperatura del agua (12°C) y la salinidad (31 ups) son bajas sólo en la capa superficial y se originan del flujo de los ríos en la región occidental. La ocurrencia de las tormentas del norte crea gradientes intensos de mezcla a lo largo de las aguas de la plataforma y del talud continental (<15°C, <34 ups) y el agua oceánica (23°C, >36 ups) en invierno. Los anillos anticiclónicos que chocan en la plataforma de Tamiahua maximizan el proceso de mezcla. Los gradientes máximos de temperatura (12°C a 80 km. y 5°C a 280 km.) y salinidad (31 ups) ocurren fuera del Río Grande y Laguna Madre y están asociados con el transporte convergente derivado de las interacciones del giro anticiclónico y de los vientos del norte (Escobar & Soto, 1997).

---

<sup>1</sup> ups = Unidades prácticas de salinidad.

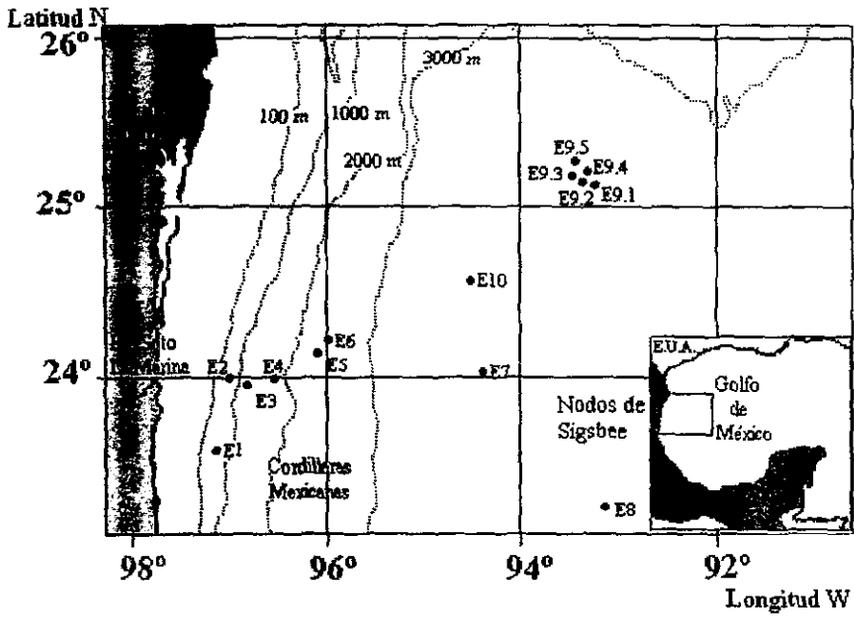


Fig. 1. Area de estudio y localización de las estaciones de muestreo.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Describir la variación de la riqueza taxonómica, densidad y la biomasa de la infauna macrobéntica a lo largo de un gradiente batimétrico (200 a 3,760 m) en el sector occidental del Golfo de México.

### **Objetivos particulares**

1. Describir los factores ambientales de la capa eufótica (clorofila), de la masa de agua profunda (temperatura, salinidad y oxígeno disuelto) y de sedimento (tamaño de grano y contenido de materia orgánica) a lo largo del gradiente batimétrico.
2. Describir el patrón de la riqueza taxonómica (en grupos mayores) en el gradiente batimétrico.
3. Caracterizar los componentes faunísticos en el gradiente batimétrico por su frecuencia y abundancia.
4. Describir la distribución de la densidad y biomasa de la macrofauna en el gradiente batimétrico.
5. Describir las relaciones existentes entre la densidad y biomasa de la macrofauna con los parámetros ambientales.
6. Comparar los valores de densidad y biomasa con otras regiones del Golfo de México y de las regiones tropicales del resto del mundo.
7. Señalar la relevancia de estudios de infauna macrobéntica en la conservación del ambiente marino y sus recursos prioritarios renovables y no renovables.

## **Hipótesis**

La distribución de la fauna béntica en el gradiente batimétrico se ha relacionado con factores ambientales (como la profundidad, la temperatura, la concentración de clorofila en la capa eufótica, la disponibilidad de alimento y la proximidad a la costa). Estos factores cambian espacialmente y afectan de formas diversas a la riqueza taxonómica, la densidad y la biomasa de la infauna macrobéntica por lo que se observará una disminución de dichos parámetros con el aumento de la distancia a la costa y la profundidad.

## **Fundamento**

Este estudio es pionero en su naturaleza ya que por vez primera se realiza un muestreo en la zona abisal de la Zona Económica Exclusiva de México, permitiendo tener el conocimiento de las características de la fauna de fondo y de los factores ambientales que la determinan.

## Material y Método

### 1. Trabajo de Campo.

El estudio se realizó en la campaña oceanográfica SIGSBEE a bordo del B/O *Justo Sierra* en junio de 1997. Las 10 estaciones de muestreo se ubicaron a lo largo de un transecto perpendicular a la costa en un gradiente batimétrico con profundidades de 200 a 3.760 m frente al Río Soto La Marina en dirección a la planicie abisal y los Nodos de Sigsbee (Cuadro 1; Fig. 1).

Los parámetros ambientales de la masa de agua profunda, tales como temperatura y salinidad de fondo, se midieron con una sonda CTD (General Oceanics Mark III WOOCE) en cada una de las estaciones de muestreo. Se tomaron muestras de agua de fondo con la rossette, en las que se determinó la concentración de oxígeno disuelto siguiendo el método de Winkler (Strickland & Parsons, 1972) en análisis por duplicado; los datos obtenidos se cotejaron con los obtenidos por la lectura con un oxímetro YSI modelo 51B y sensor YSI modelo 5905 con precisión de  $\pm 0.1$  mg/l (calibración de la temperatura ó 2% de la lectura). Por otra parte, se realizó un perfil de clorofila *a* con apoyo de un perfilador Biospherical modelo PNF-300 que permitió conocer el patrón de distribución de la concentración de clorofila en la capa eufótica de la columna de agua.

Las muestras de sedimento se obtuvieron en fondos blandos con un nucleador de caja tipo US-NEL con área de  $0.25 \text{ m}^2$ . El tamaño de grano y el contenido de materia orgánica se obtuvieron del submuestreo de sedimento superficial. El análisis granulométrico del sedimento se realizó por tamizado de las arenas (Folk, 1968). La determinación de la materia orgánica se realizó de acuerdo con el procedimiento y constantes de conversión de Stetson & Trask (1953). Las determinaciones de nitrógeno y carbono orgánico elemental en sedimento requirieron de 3 mg de sedimento secado a  $60^\circ\text{C}$  y acidificado con solución 0.1N de HCl. La muestra se calcinó por triplicado ( $1,040^\circ\text{C}$ ) en presencia de oxígeno en viales de latón, en un analizador elemental Carlo Erba, modelo 1106. Se calibró con soluciones estándar de acetanilido y blancos.

La infauna macrobéntica se obtuvo del sedimento del nucleador, se tomaron 3 a 5 réplicas. Cada réplica (con área de  $0.0625 \text{ m}^2$ ) se tamizó a través de mallas con 1.0, 0.5 y 0.25 mm de abertura del poro. Los organismos que se retuvieron en los tamices se recolectaron y se colocaron en frascos de vidrio con etanol al 70%. El sedimento que permaneció en los tamices también se recolectó, se guardó en bolsas de plástico, se fijó en formalina al 10% y se tiñó con Rosa de Bengala. Las muestras se procesaron posteriormente en el laboratorio conforme los protocolos citados en Escobar & Soto (1997) y Escobar *et al.* (1998).

## 2. Trabajo de Gabinete.

En el laboratorio, las muestras se enjuagaron con agua corriente y se filtraron a través de un tamiz con abertura de poro de  $125\mu\text{m}$  para eliminar cualquier organismo de meiofauna que pudiese haber quedado. Una vez enjuagadas las muestras, se analizaron bajo microscopio estereoscópico y los organismos que se encontraron se separaron en grandes grupos taxonómicos (Phylum, Clase, Orden). La clasificación por taxa se basó en Brusca & Brusca (1990) y Gage & Tyler (1991). El número de individuos (abundancia) se contabilizó y separados por taxa se pesaron en una balanza analítica Sartorius (0.001 mg de precisión) para obtener los valores de peso húmedo fijado (phf). Posteriormente se almacenaron por taxon en frascos de vidrio con etanol al 70%.

A partir del área inicial de cada réplica ( $0.0625\text{ m}^2$ ), se calculó la densidad ( $\text{ind m}^{-2}$ ) por cada taxon. Por otra parte, la biomasa (expresada como  $\text{gC m}^{-2}$ ) se obtuvo al transformar los datos del peso húmedo fijado a gramos de Carbono conforme las constantes por taxon propuestas por Rowe (1983). Con los datos de cada muestra se realizó un cuadro de datos que contiene la abundancia total, los valores de densidad ( $\text{ind m}^{-2}$ ) y de biomasa ( $\text{gC m}^{-2}$ ) (Apéndices I, II y III).

La zonificación en el gradiente batimétrico para el sector oeste del Golfo de México se llevó a cabo por medio de un análisis de conglomerados de las variables ambientales transformadas con logaritmo natural (profundidad, temperatura, concentración de oxígeno disuelto, contenido de materia orgánica en sedimento y concentración máxima de clorofila en columna de agua) utilizando el método de unión de Ward y el coeficiente de unión de 1-Pearson  $r$ , el cual generó un dendrograma que unió las localidades en zonas a partir de su similitud. Estas zonas tuvieron como objeto permitir reconocer tendencias de los parámetros biológicos: densidad y biomasa. Un análisis de discriminantes permitió comprobar la existencia de diferencias significativas entre los grupos obtenidos en el análisis de clasificación, utilizando Lambda de Wilks como parámetro de validación.

Se realizó la prueba de Olmstead y Tukey (Sokal & Rohlf, 1969) para caracterizar a los grupos taxonómicos en componentes dominantes, indicadores, raros y frecuentes dentro de la comunidad del sedimento.

Un análisis de correlación de Spearman permitió establecer los factores ambientales que definen los cambios de la densidad y biomasa en el gradiente batimétrico. Para evaluar la significancia de dichos cambios, se realizó un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis.

Debido a la dificultad de muestreo que implica trabajar a tales profundidades, la limitante en el tiempo de crucero y el alto costo del mismo, se consideró un nivel de confianza mínimo del 90% para todas las pruebas estadísticas. Se utilizaron los paquetes estadísticos STATISTICA 5 y SPSS para Windows 95.

Cuadro 1. Ubicación de las estaciones de muestreo y las zonas de profundidad.

Estación	Réplicas (n)	Latitud N	Longitud W	Profundidad (m)	Distancia a la costa (km)	Zona (m)
1	5	23°57'10"	97°12'9"	200	55.66	I (200-500)
2	5	24°03'20"	97°01'07"	498	78.47	I
3	5	24°03'09"	96°44'40"	1,231	107.67	II (1,200-2,250)
4	3	24°09'20"	96°34'07"	1,698	122.27	II
5	3	24°12'09"	96°09'50"	2,220	162.42	II
6	3	24°23'08"	96°00'07"	2,620	177.02	III (2,275-3,200)
9.3	3	25°22'20"	93°33'50"	3,600	315.72	IV (3,225-3,700)
9.1	3	25°15'30"	93°25'07"	3,620	474.50	IV
9.4	3	25°23'10"	93°37'07"	3,635	410.62	IV
9.2	3	25°15'08"	93°26'09"	3,650	403.32	IV
9.5	3	25°27'30"	93°45'09"	3,690	392.37	IV
10	3	24°59'50"	94°46'09"	3,700	381.42	IV
7	3	24°03'08"	94°42'60"	3,760	363.17	V (3,700-3,800)
8	4	23°24'6"	93°07'09"	3,760	290.17	V

## Resultados

En 14 estaciones de muestreo, se analizaron los parámetros ambientales, y de un total de 49 muestras se estableció el patrón de cambio de la riqueza taxonómica, la densidad y la biomasa. La temperatura y la concentración de oxígeno disuelto mostraron una relación directa con la profundidad. La salinidad, el tamaño de grano y el contenido de materia orgánica en sedimento mostraron patrones variables en el gradiente de profundidad. El contenido de materia orgánica en el sedimento se redujo con la disminución en la concentración máxima de clorofilas en columna de agua y mostró un incremento con la disminución de la concentración de oxígeno disuelto. La concentración de clorofila disminuyó con el incremento de la distancia a la costa. La densidad y la biomasa disminuyeron con el incremento de profundidad; la concentración máxima de clorofilas en la capa eufótica y la concentración de oxígeno disuelto regularon su distribución en el gradiente batimétrico.

### Parámetros Ambientales

*Temperatura.* La temperatura disminuye conforme aumenta la profundidad, encontrándose el valor mayor ( $19.5^{\circ}\text{C}$ ) a una profundidad de 200 m, en tanto que la temperatura menor fue de  $4^{\circ}\text{C}$  y se registró a partir de los 3,600 m de profundidad (Cuadro 2 y Fig. 2a). Existe una correlación inversa entre ambos factores ( $r = -0.90$ ,  $p < 0.1$ ).

*Salinidad.* El intervalo de la salinidad de fondo varía con valores de 34.6 a 36.2 ups. El valor más alto se registró a 3,760 m de profundidad, en la zona abisal, en tanto que el mínimo se registró a 1,231 m, sobre el talud continental. La salinidad de fondo es constante en el gradiente batimétrico, predominó el valor de 34.8 ups a cualquier profundidad. No se reconoció ningún patrón con respecto a la profundidad (Cuadro 2).

*Oxígeno disuelto.* Los valores de oxígeno disuelto variaron de 2.8 a  $6.2 \text{ mg l}^{-1}$ . Las aguas con menor concentración de oxígeno ( $2.8 - 4.8 \text{ mg l}^{-1}$ ) se registraron a profundidades entre 200 y 2,220 m, en tanto que las de mayor concentración de oxígeno ( $5.6 - 6.2 \text{ mg l}^{-1}$ ) se registraron de 2,620 a 3,760 m (Cuadro 2, Fig. 2b). La concentración de oxígeno disuelto de fondo mostró una relación directa con el incremento de la profundidad ( $r = 0.59$ ,  $p < 0.1$ ). La relación de la concentración de oxígeno disuelto con la temperatura fue inversa ( $r = -0.71$ ,  $p < 0.1$ ; Fig. 2c).

*Clorofila en columna de agua.* Los valores máximos de clorofila en la columna de agua variaron de 0.17 a  $0.43 \text{ mg l}^{-1}$ . Dichos valores disminuyeron con el aumento de la distancia a la costa. El valor máximo se registró en la estación 2, en el margen continental, en tanto que el mínimo se registró en las estaciones 9, ubicadas en la zona abisal. La variación de los valores fue marcada sobre el talud, pero en la zona abisal se mantuvo constante ( $0.17 - 0.23 \text{ mg l}^{-1}$ ) (Cuadro 2, Fig. 2d). Se encontró una correlación inversa con el incremento de la distancia a la costa ( $r = -0.92$ ,  $p < 0.1$ ). La concentración máxima de clorofila en columna de agua se correlacionó inversamente con la concentración de oxígeno disuelto de fondo ( $r = -0.74$ ,  $p < 0.1$ ) (Fig. 3a).

*Tamaño de grano.* El sedimento del área de estudio estuvo dominado por lodos en una proporción de 55.9 a 99.6%. El valor máximo se registró a 200 m de profundidad, en tanto que el mínimo se registró a 498 m. La variación de valores fue mínima, ya que únicamente hubo un

descenso muy marcado cerca de los 500 m ( $r = -0.52$ ,  $p < 0.1$ ) Con respecto a las arenas, se registró una tendencia contraria a la presentada por los lodos ( $0.4 - 44.07\%$ ) ( $r = 0.52$ ,  $p < 0.1$ ) (Cuadro 2).

**Contenido de materia orgánica en sedimento.** Los valores varían de 0.92% a 1.68%. La tendencia general de la materia orgánica en sedimento fue a disminuir con el gradiente de profundidad (1.68% a 200 m en la plataforma continental hacia 1.07% en la zona abisal). El valor mínimo (0.92%) se registró a 498 m, otros valores bajos corresponden así mismo a la zona abisal, el valor máximo (1.68%) se registró a 200 m ( $r = -0.28$ ,  $p > 0.1$ ). Se reconoce una constancia en valores  $< 1.53\%$  por debajo de 1,000 m de profundidad (Cuadro 2 y Fig. 3b). Existe una tendencia de aumento del contenido de materia orgánica en sedimento con el aumento de la concentración máxima de clorofila en columna de agua (Fig. 3c). A excepción de la estación 2, la concentración de materia orgánica disminuye en ambientes más oxigenados (Fig. 3d). El valor estimado de materia orgánica dentro del gradiente batimétrico es de 1.55% (Figs. 3b, c y d), éste se representa con un símbolo vacío y está descrito por la ecuación  $y = a + bx$ , donde  $a = 1.605$  y  $m = 0.00008$  a 498 m de profundidad;  $a = 1.106$  y  $m = 1.045$  cuando el valor de clorofilas es de  $0.43 \text{ mg m}^{-3}$ ;  $a = 10.29$  y  $m = -3.55$  cuando el valor de oxígeno disuelto es de 4.75.

Cuadro 2. Características ambientales de las estaciones de muestreo. Abreviaturas: Z: profundidad; Temp: temperatura de fondo; Sal.: Salinidad de fondo; O.D.: concentración de oxígeno disuelto de fondo; %N: Nitrógeno orgánico; %C: Carbono orgánico; C/N: relación Carbono/Nitrógeno; Chl.: concentración del máximo de clorofila en columna de agua; M.O.: contenido de materia orgánica en sedimento.

Estación	Z (m)	Temp. (°C)	Sal. (ups)	O.D. (mg l <sup>-1</sup> )	%N	%C	C/N	Chl (mg m <sup>-3</sup> )	M.O. (%)	Arenas (%)	Lodos (%)
1	200	19.5	35.6	2.8	0.11	0.99	9.0	0.42	1.58	0.40	99.60
2	498	12.0	34.8	3.0	0.06	5.04	84.0	0.43	0.92	44.07	55.93
3	1,231	10.0	34.6	4.2	0.10	0.71	7.10	0.35	1.53	1.28	98.72
4	1,698	8.0	34.8	5.8	0.09	0.63	7.0	0.31	1.30	3.24	96.76
5	2,220	5.0	34.7	4.8	0.08	0.60	7.50	0.27	1.22	1.05	98.95
6	2,620	5.0	34.8	6.2	0.01	0.72	72.0	0.23	1.53	2.69	97.31
9.3	3,600	4.0	34.8	6.0	0.09	1.66	18.40	0.17	1.38	2.83	97.17
9.1	3,620	4.0	34.8	6.0	0.09	1.06	11.8	0.17	1.30	6.23	93.77
9.4	3,635	4.0	34.8	6.0	0.08	1.20	15.0	0.17	1.22	3.12	96.88
9.2	3,650	4.0	34.8	6.0	0.09	1.80	20.0	0.17	1.38	2.93	97.07
9.5	3,690	4.0	34.8	6.0	0.09	0.69	7.67	0.17	1.38	3.76	96.24
10	3,700	4.0	35.9	6.0	0.09	0.93	10.3	0.19	1.38	5.19	94.81
7	3,760	4.0	34.8	6.0	0.07	3.01	43.0	0.23	1.07	7.98	92.02
8	3,760	4.0	38.2	5.6	0.08	3.13	39.1	0.21	1.22	13.68	86.32

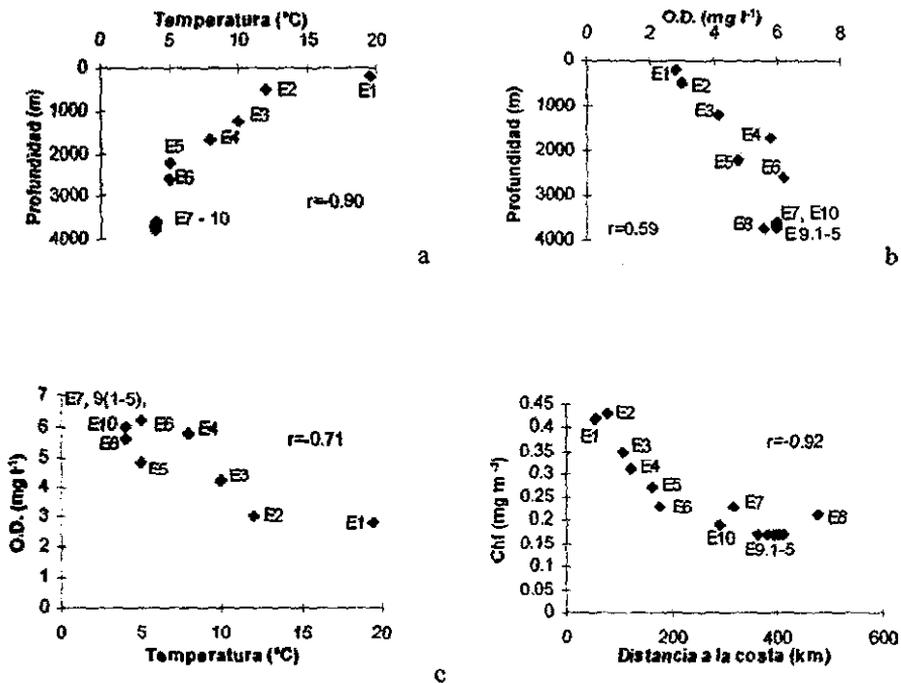


Fig. 2 Variación de: a) la temperatura de fondo a lo largo del gradiente batimétrico; b) la concentración de oxígeno disuelto (O.D.) de fondo con respecto al gradiente batimétrico; c) la concentración de oxígeno disuelto de fondo con la temperatura de fondo; d) la concentración máxima de clorofila en columna de agua con la distancia a la costa. E1 - E10 son las localidades muestreadas citadas en cuadros 1 y 2.

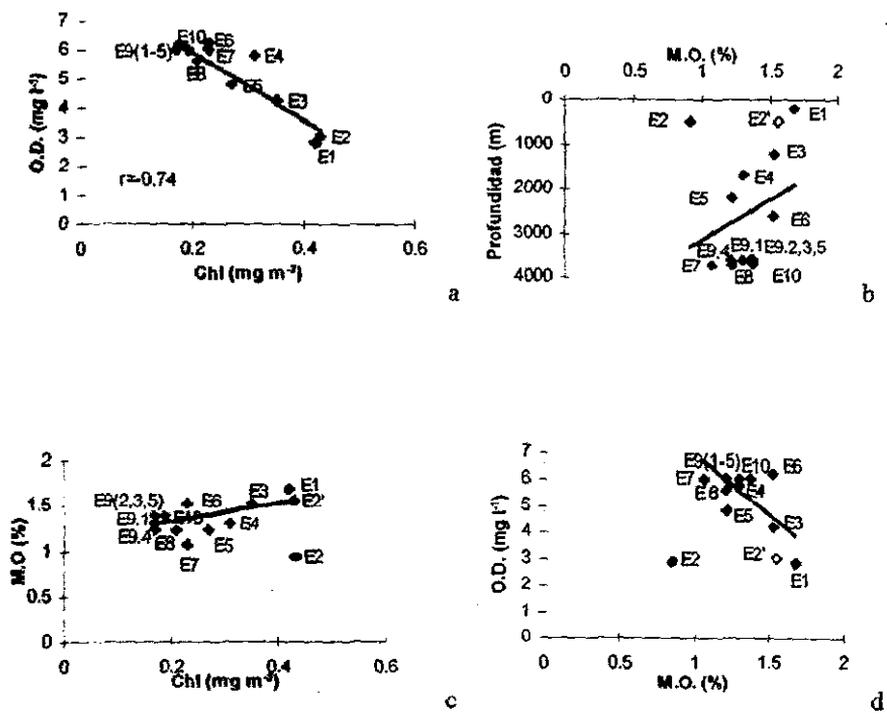


Fig. 3. Variación de: a) la concentración de oxígeno disuelto de fondo (O.D.) con la concentración máxima de clorofila en columna de agua (Chl); b) el contenido de materia orgánica en sedimento (M.O.) con la profundidad; c) el contenido de materia orgánica en sedimento con la concentración máxima de clorofila en columna de agua; d) la concentración de oxígeno disuelto de fondo con el contenido de materia orgánica en sedimento. Las líneas indican la tendencia citada en el texto; los símbolos vacíos en las gráficas b, c y d muestran el valor hipotético de la estación 2. E1-E10 son las localidades muestreadas citadas en cuadros 1 y 2.

## *Agrupamiento de las localidades*

La agrupación de localidades conforme a las similitudes existentes entre los parámetros ambientales de las diferentes estaciones, muestra dos grandes grupos (Fig. 4a). El primer grupo abarca las estaciones del reborde continental, del talud superior y medio (hasta 1,700 m de profundidad; E1-E4); el segundo grupo abarca las estaciones del talud inferior y de la zona abisal, localizadas entre 2,000 m y 3,760 m de profundidad (E5-E10). La separación de estos grupos fue validada por el análisis de discriminantes donde se obtuvo una separación con valores de  $\lambda = 0.1288$ ;  $p < 0.1$ .

A la vez cada grupo se subdividió, permitiendo reconocer cinco subgrupos: el primero comprendió las estaciones E1 y E2 a 200 y 498 m en el reborde continental y talud superior; el grupo II abarca las estaciones E3, E4 y E5, localizadas a 1,231, 1,698 y 2,220 m de profundidad; el grupo III estuvo comprendido únicamente por la estación E6 a 2,620 m, correspondiente a la elevación continental; el grupo IV abarcó las estaciones E9 y la E10, localizadas entre los 3,600 m y 3,700 m; finalmente, el grupo V estuvo comprendido por las estaciones E7 y E8, ambas a 3,760 m de profundidad y ubicadas más al sur (Cuadro 1). Esta separación también fue validada mediante el análisis de discriminantes, el cual mostró que la separación en las dos primeras funciones fue alta y significativa ( $\lambda_1 = 0.000096$ ,  $p < 0.1$ ;  $\lambda_2 = 0.007174$ ,  $p < 0.1$ ). Las funciones restantes no tuvieron una separación marcada ( $\lambda_3 = 0.305705$ ,  $p = 0.1$ ;  $\lambda_4 = 0.940493$ ,  $p > 0.1$ ). Con base a esta zonación se interpretan de aquí en adelante las tendencias de la densidad y la biomasa.

## *Estructura de la Comunidad*

*Composición Taxonómica.* Se reconoció un total de 26 grupos taxonómicos, los cuales se agruparon en nueve Phyla (Cuadro 3). De los 26 grupos registrados, sólo uno se identificó hasta infraorden (Caridea), 10 se identificaron hasta orden (Hidroidea, Actinaria, Acari, Mystacocarida, Harpacticoida, Leptostraca, Decapoda, Cumacea, Tanaidacea, Isopoda y Amphipoda), un grupo a nivel Subclase (Ostracoda), 11 grupos a nivel clase (Polychaeta, Sipuncula, Pycnogonida, Cephalocarida, Aplacophora, Gastropoda, Bivalvia, Scaphopoda, Asteroidea, Ophiuroidea y Echinoidea), y tres grupos a nivel Phylum (Porifera, Nematoda y Ectoprocta) (Cuadro 3).

Las estaciones que presentaron mayor riqueza taxonómica (ocho Phyla) fueron la E3, E10 y E8 a 1,231, 3,700 y 3,760 m de profundidad, respectivamente. La estación que mostró menor riqueza taxonómica (cuatro Phyla) fue la E5 a 2,220 m de profundidad. El resto de las estaciones oscilaron entre cinco y siete Phyla (Cuadro 4). Este nivel de resolución no permitió reconocer una tendencia de variación en el gradiente batimétrico (Fig. 4b).

La comunidad de infauna se dividió en dos grupos por su abundancia y frecuencia de ocurrencia: componentes dominantes y raros. Los grupos taxonómicos dominantes son poliquetos, nemátodos, anfipodos, sipuncúlidos, ostrácodos, copépodos, leptostracos, tanaidáceos, isópodos, bivalvos y briozoos; los grupos raros son: esponjas, hidroides, ácaros, cefalocáridos, mystacocáridos, carideos, aplacóforos, gasterópodos, escafópodos, equinodermos, ofiuridos y equinoides (Fig. 4c). La curva del porcentaje acumulativo de los Phyla, muestra que los anélidos, artrópodos y nemátodos (grupos dominantes) aportan el 90% de la abundancia total (Fig. 5a).

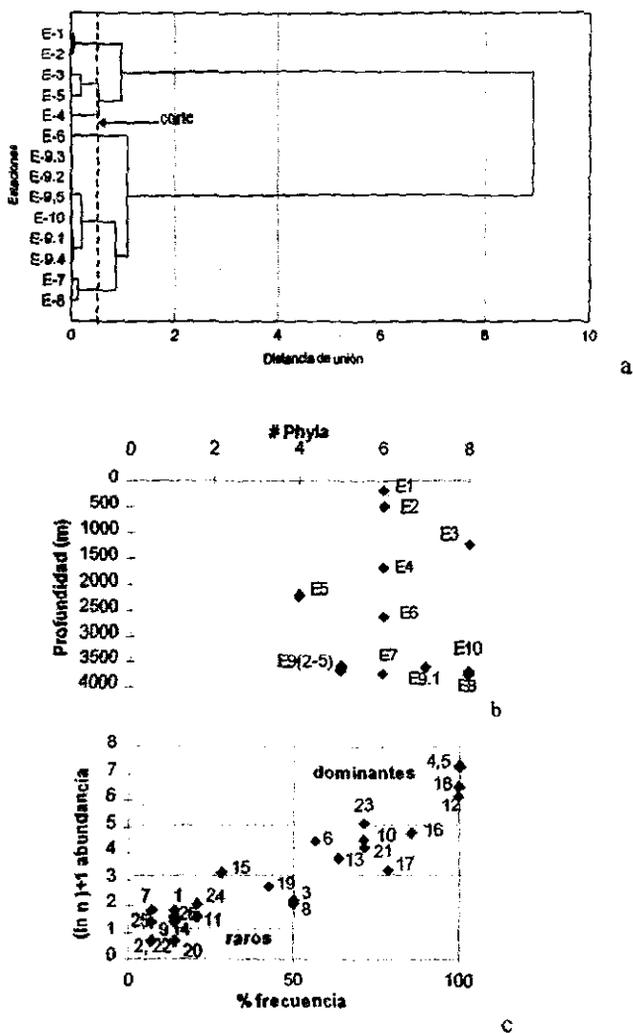


Fig. 4. a) Agrupación de las localidades por su similitud, zonación en el gradiente batimétrico; b) variación del número de phyla con respecto a la profundidad; c) caracterización de los grupos taxonómicos por su frecuencia y abundancia. Numeración de los grupos taxonómicos citada en cuadro 3. E1 - E10 son las localidades muestreadas, citadas en cuadros 1 y 2.

Cuadro 3. Riqueza taxonómica de los organismos existentes en las estaciones de muestreo. (Clasificación según Brusca &amp; Brusca, 1990).

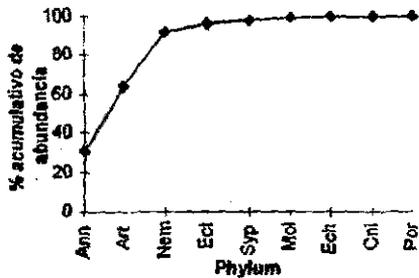
Phylum	Subphylum	Clase	Subclase	Superorden	Orden	Suborden	Infraorden	Nombre común
Porifera								1. Esponja
Cnidaria		Hydrozoa			Hidroida			2. Hidroide
		Anthozoa	Hexacorallia		Actinaria			3. Anémona
Nematoda								4. Nematodo
Annelida		Polychaeta						5. Poliqueto
Sipuncularia		Sipunculida						6. Sipunculido
Arthropoda	Cheliceriformes	Chelicerata	Aracnida		Acari			7. Acaro
	Crustacea	Pycnogonida						8. Pienogónido
		Cephalocarida						9. Cefalocarido
		Maxillopoda	Ostracoda					10. Ostracodo
			Myracoecarida			Mystacocaridida		11. Mistacocarido
			Copepoda			Harpoecioidea		12. Copepodo
		Malacostraca	Phyllocarida			Leptostraca		13. Leptostraco
			Eumalacostraca			Decapoda	Pleocyemata	14. Carideo
				Peracarida		Cumacea		15. Cumáceo
						Tanaidacea		16. Tanaidáceo
					Isopoda		17. Isópodo	
					Amphipoda		18. Anfípodo	
Mollusca		Aplousobranchia						19. Aplousóforo
		Gastropoda						20. Gasterópodo
		Bivalvia						21. Bivalvo
		Scaphopoda						22. Escapópodo
Ectoprocta							23. Briozoo	
Echinodermata		Asterozoa						24. Asteroideo
		Ophiurozoa						25. Ofiúrido
		Echinozoa						26. Equinideo

**Densidad.** La densidad de la macrofauna varió de  $491 \pm 189$  ind  $m^{-2}$  a  $3,635$  m a  $2,714 \pm 1,354$  ind  $m^{-2}$  a  $1,231$  m de profundidad (Cuadro 4). La tendencia de la densidad promedio es a disminuir con la profundidad. Su correlación con la profundidad es inversa ( $r = -0.70$ ,  $p < 0.1$ ) (Fig. 5b). No se apreciaron diferencias significativas entre la densidad de las diferentes zonas de profundidad ( $H = 3.15$ ,  $p > 0.1$ )

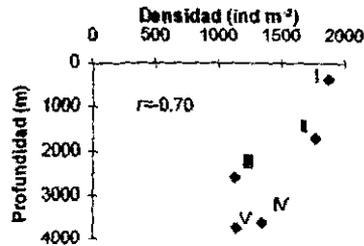
Los phyla Annelida con  $485$  ind  $m^{-2}$  (32.2%), Arthropoda con  $471$  ind  $m^{-2}$  (31.33%) y Nematoda con  $421$  ind  $m^{-2}$  (27.98%) aportaron las densidades promedio más elevadas de la comunidad en el gradiente batimétrico (Fig. 5 a y c).

Se reconoció un reemplazo de los grupos taxonómicos a lo largo del gradiente batimétrico. El phylum Annelida presentó mayor densidad en la zona I (49.04%); en la zona II, el phylum Nematoda fue el de mayor densidad (30.09%), mientras que en las zonas más profundas (III a V), el phylum con mayor densidad fue Arthropoda (36.97%, 36.48% y 45.47%, respectivamente) (Fig. 5d).

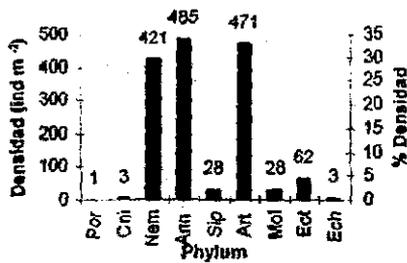
La concentración de oxígeno disuelto en el fondo y la concentración máxima de clorofilas en la capa eufótica, regularon en forma significativa la distribución de la densidad de la macrofauna a lo largo del gradiente batimétrico. La relación entre la concentración de oxígeno disuelto de fondo y la densidad promedio es inversa ( $r = -0.90$ ,  $p < 0.1$ ) (Fig. 6a). La correlación entre la densidad promedio y la concentración máxima de clorofilas en la capa eufótica es directa ( $r = 0.60$ ,  $p < 0.1$ ) (Fig. 6b). La densidad no se correlacionó con el contenido de materia orgánica en sedimento (Fig. 6c). La correlación con la temperatura fue positiva ( $r = 0.89$ ,  $p < 0.01$ ) (Fig. 6d). A pesar de que puede apreciarse una disminución en la proporción de arenas con la profundidad, no se apreció una relación entre el tamaño de grano y la densidad promedio dada la variabilidad observada en la zona I.



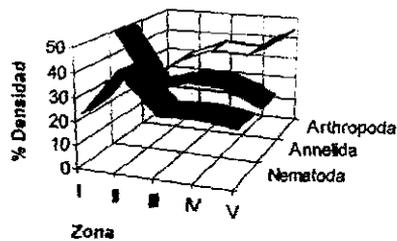
a



b

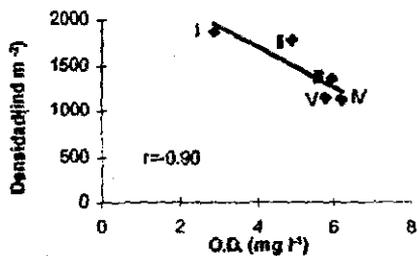


c

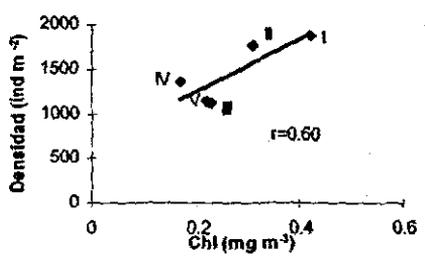


d

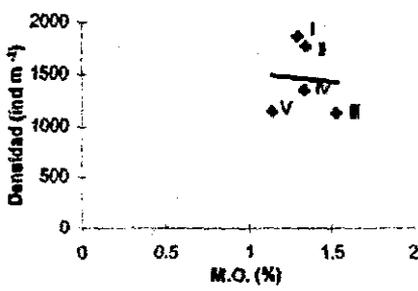
Fig. 5. a) Porcentaje acumulativo de abundancia promedio de los Phyla registrados; b) Variación de la densidad promedio en las zonas del gradiente batimétrico; c) Densidad promedio y porcentaje de densidad de los Phyla registrados; d) Variación del porcentaje de la densidad promedio de los tres Phyla dominantes a lo largo del gradiente batimétrico por zonas. Numeración de las zonas de profundidad citada en cuadro 1.



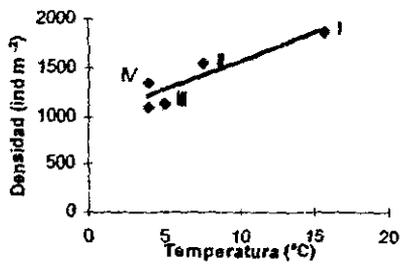
a



b



c



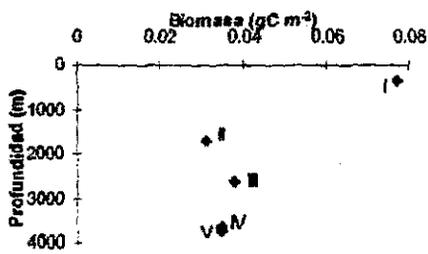
d

Fig. 6. Relación de la densidad con: a) la concentración de oxígeno disuelto de fondo (O.D.); b) la concentración máxima de clorofila en columna de agua (Chl); c) el contenido de materia orgánica en sedimento (M.O.); d) la temperatura de fondo. Las líneas indican la tendencia citada en el texto. Los números romanos indican las zonas reconocidas en el gradiente batimétrico, citadas en cuadro 1.

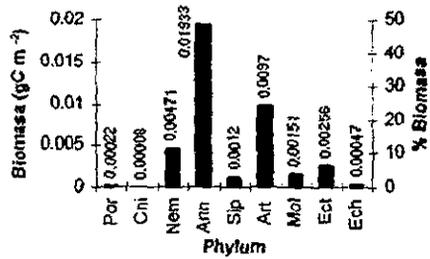
**Biomasa:** El patrón de la biomasa es distinto al observado en la densidad y se justifica debido a que un número elevado de organismos tienen tallas reducidas. Los valores de biomasa promedio variaron de  $0.093 \pm 0.068 \text{ gC m}^{-2}$  a 498 m a  $0.008 \pm 0.0012 \text{ gC m}^{-2}$  a 3,635 m (Cuadro 4). En general la biomasa promedio disminuye con el incremento de profundidad con una correlación de  $r = -0.30$ ,  $p > 0.1$ , (Figs. 7a y 9). Se reconoció una disminución abrupta en la E2 a 498 m de profundidad, en el talud superior, que determina el cambio en la zona II. Esta se asocia al estrato de concentración mínima de oxígeno disuelto, con un incremento ligero de la biomasa hacia la zona abisal. Los valores promedio de la zona abisal ( $0.0353 \text{ gC m}^{-2}$ ) son mayores a los de la zona II ( $0.0315 \text{ gC m}^{-2}$ ) ( $H=9.27$ ,  $p < 0.1$ ).

Los phyla Annelida con  $0.019 \text{ gC m}^{-2}$  (48.59%), Arthropoda con  $0.0097 \text{ gC m}^{-2}$  (24.38%), Nematoda con  $0.0047 \text{ gC m}^{-2}$  (11.84%) y Ectoprocta con  $0.002 \text{ gC m}^{-2}$  (6.43%), contribuyeron con el 87% de la biomasa total (Fig. 7b). Al igual que con la densidad, se aprecia un reemplazo de taxa dominantes en el gradiente batimétrico, donde el Phylum Annelida es el que aporta el mayor porcentaje de biomasa (40.2 a 59.0%) a <3,600 m (zonas I, II y III), mientras que en la elevación continental y en la zona abisal (zonas IV y V) los poliquetos fueron reemplazados por el Phylum Arthropoda con 44.8 a 46% (Fig. 7c).

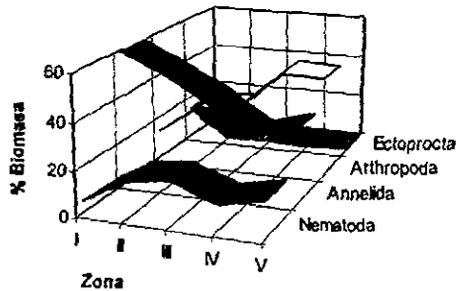
Los factores que tuvieron mayor influencia en la regulación de la biomasa fueron la concentración máxima de clorofila en la capa eufótica y la concentración de oxígeno disuelto de fondo. La relación con la clorofila fue positiva pero poco significativa ( $r = 0.40$ ,  $p > 0.1$ ; Fig. 8a). La relación con la concentración de oxígeno disuelto fue inversa ( $r = -0.10$ ,  $p > 0.1$ ; Fig. 8b). La biomasa promedio de la macrofauna no mostró estar regulada por el contenido de materia orgánica (Fig. 8c). No se reconoció relación entre la biomasa y el tamaño de grano. La relación de la biomasa promedio con la temperatura fue positiva ( $r = 0.90$ ,  $p < 0.1$ ) (Fig. 8d).



a



b



c

Fig. 7. a) Variación de la biomasa promedio con el gradiente de profundidad; b) Biomasa promedio y porcentaje de biomasa de los distintos Phyla identificados; c) Variación del porcentaje de biomasa promedio de los cuatro Phyla con mayor biomasa, por zona batimétrica. Los números romanos indican las zonas reconocidas en el gradiente batimétrico citadas en cuadro 1.

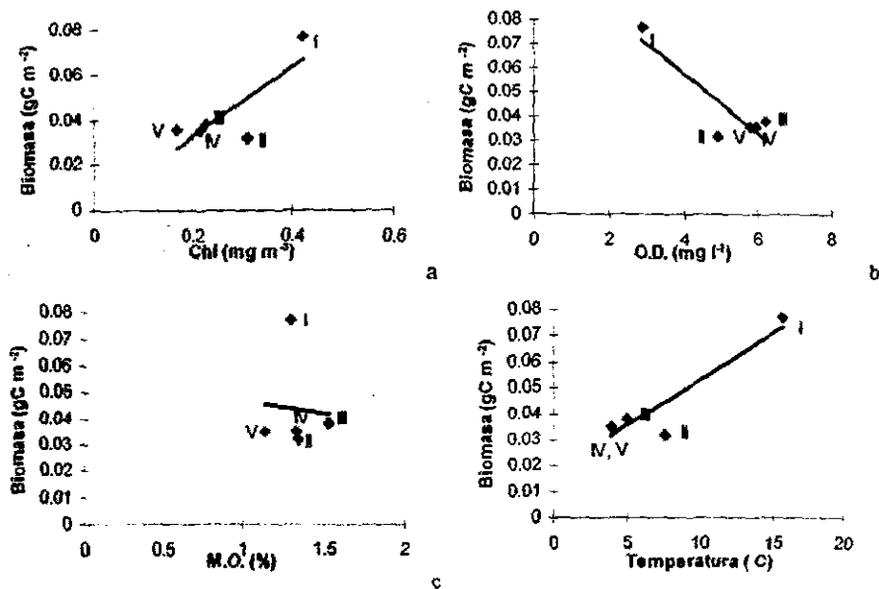


Fig. 8. Relación de la biomasa promedio con: a) la concentración máxima de clorofilas en columna de agua (Chl); b) la concentración de oxígeno disuelto de fondo (O.D.); c) el contenido de materia orgánica en sedimento (M.O.); d) la temperatura de fondo. Las líneas indican la tendencia citada en el texto. Los números romanos indican las zonas reconocidas en el gradiente batimétrico, citadas en cuadro 1.

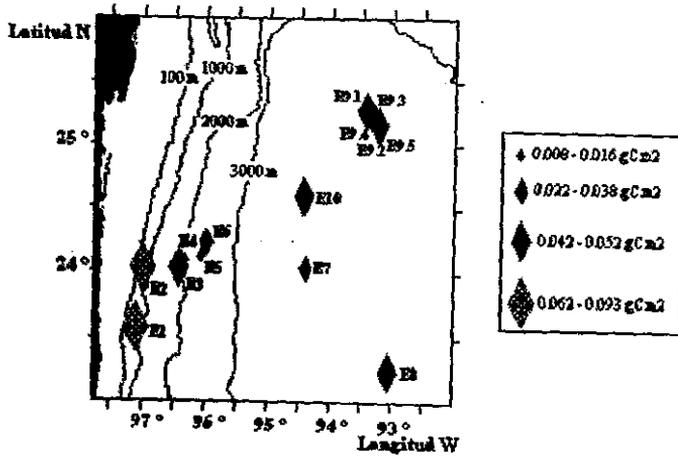


Fig. 9. Variación de la biomasa de la macrofauna en el gradiente batimétrico y con la distancia a la costa.

Cuadro 4. Estaciones de muestreo, densidad y biomasa promedio por estación de los Phyla presentes por cada estación; n= número de réplicas;  $\bar{x}$ = valor promedio;  $\sigma$  = desviación estándar; (Clasificación según Brusca & Brusca, 1990).

Estación	n	Profundidad	Zona	PHYLUM										
				Densidad $\bar{x}$ ( $\sigma$ )	Biomasa $\bar{x}$ ( $\sigma$ )	Porifera	Cnidaria	Nematoda	Annelida	Sipuncula	Arthropoda	Mollusca	Ectoprocta	Echinodermata
		(m)		(ind m <sup>-2</sup> )	(gC m <sup>-2</sup> )	(ind m <sup>-2</sup> )	(ind m <sup>-2</sup> )	(ind m <sup>-2</sup> )	(ind m <sup>-2</sup> )	(ind m <sup>-2</sup> )	(ind m <sup>-2</sup> )	(ind m <sup>-2</sup> )	(ind m <sup>-2</sup> )	(ind m <sup>-2</sup> )
1	5	200	I	1888 (725)	0.062 (0.209)	0	0	368	1091	54	294	64	0	10
2	5	498	I	1,850 (1,118)	0.093 (0.068)	0	0	445	739	96	410	38	122	0
3	5	1,231	II	2,714 (1,554)	0.082 (0.033)	0	9	1226	797	48	554	35	32	13
4	3	1,695	II	1,067 (907)	0.013 (0.005)	0	0	331	197	11	496	11	21	0
5	3	2,220	II	880 (177)	0.016 (0.011)	0	0	235	85	0	528	0	32	0
6	3	2,620	III	1,125 (260)	0.038 (0.017)	5	0	277	336	0	416	27	64	0
9.3	3	3,600	IV	853 (311)	0.022 (0.006)	0	11	91	133	0	539	0	80	0
9.1	3	3,620	IV	1,808 (517)	0.044 (0.019)	0	5	352	688	5	560	59	139	0
9.4	3	3,635	IV	491 (189)	0.008 (0.001)	0	5	149	53.3	0	203	0	80	0
9.2	3	3,650	IV	1,557 (426)	0.037 (0.015)	0	0	517	517	5	459	59	0	0
9.5	3	3,690	IV	1,696 (318)	0.051 (0.001)	0	5	453	587	0	645	5	0	0
10	3	3,700	IV	1,667 (536)	0.050 (0.018)	11	5	464	363	0	539	37	238	5
7	3	3,760	V	795 (344)	0.026 (0.020)	0	0	123	149	75	395	11	43	0
8	4	3,760	V	1,400 (346)	0.042 (0.009)	0	4	360	328	24	612	16	48	8

## Discusión

Durante años se pensó que el mar profundo era un desierto con un número reducido de especies debido a los parámetros ambientales extremos que lo caracterizan, tales como la ausencia de luz, la presión, la escasez de alimento y la baja temperatura, entre otros. Sin embargo, actualmente se sabe que, por el contrario, el mar profundo es un ecosistema con diversidad biológica comparable a la existente en las selvas húmedas tropicales (Grassle & Macioleck, 1992).

Como resultado de estudios en el gradiente batimétrico se han propuesto diversos esquemas de zonación basados en la composición faunística y la abundancia de los componentes comunitarios. Estos ejercicios han encontrado conclusivamente que los ecotonos entre cada zona están definidos por la transición de factores ambientales (Darnell & Defenbaugh, 1990; Pequegnat, 1983) entre los que destacan las condiciones permanentes de temperatura, oxígeno disuelto y el tamaño de grano.

El presente estudio, consistente con otros realizados a nivel mundial, refleja que la presencia de la capa hipóxica y la cantidad potencial de alimento, son fronteras entre zonas. A diferencia de otros estudios, se reconoce que el contenido de materia orgánica puede definir zonas y que éste, más que determinado por el tamaño de grano, es el reflejo de las concentraciones de clorofila en la superficie. Kojima & Ohta (1989) propusieron que existen variaciones estacionales en la densidad de la macrofauna debidas a las variaciones de suministro de la producción del fitoplancton y a su exportación reflejada como contenido de materia orgánica en sedimento. Siendo la materia orgánica la fuente principal de alimento para los heterótrofos del mar profundo, es razonable asumir que tanto la actividad como la distribución de los organismos bénticos son parcialmente paralelas a la concentración de materia orgánica, de modo que la distribución de la biota podría ser relativamente constante a cualquier profundidad por debajo de una piconclina permanente. Por lo anterior, no existe razón para asumir que una lluvia lenta de detrito no es la base de la vida marina. Sin embargo, el incremento de la profundidad la convierte progresivamente en una fuente de energía menos útil o disponible (Rowe *et al.*, 1974). En la zona de estudio, las corrientes de turbidez son las que pueden facilitar su transporte (Escobar *et al.*, 1998), así como los sitios de depósito asociados a estructuras de mesoescala como giros y sus fronteras.

La zonación generada de la clasificación de los factores ambientales fue consistente con las cinco zonas reconocidas por Pequegnat (1983) en la porción norte del Golfo de México y reflejó que la hidrodinámica es la que determina la zonación en las diferentes regiones del Golfo, esto es, los grandes aportes de carbono orgánico particulado generados de las fronteras de los giros anticiclónicos (Escobar & Soto, 1997). Estos aportes de carbono orgánico particulado modifican la proporción esperada del tamaño de grano (> % arenas) en el sedimento en el talud superior y en el reborde continental aportan materia orgánica en exceso que no refleja aumento de densidad o de biomasa, como se esperaría del análisis comparativo con otros estudios (Cosson *et al.*, 1997; Sibuet *et al.*, 1993).

Se ha reconocido que la densidad y la biomasa de la infauna bentónica varían de acuerdo al gradiente de batimétrico, mostrando en general una tendencia de disminución con el aumento de profundidad (Rowe *et al.*, 1974). Sin embargo, la profundidad fue el único factor que afectó a los organismos bentónicos, sino que también fueron afectados por otros parámetros ambientales. La temperatura, considerada como uno de los factores reguladores de las comunidades de la infauna bentónica (Kinne, 1973), influyó directamente en la distribución de la densidad y la biomasa. Consistentemente con los registros de otras regiones (Rowe, 1981; Cosson, *et al.*, 1997), la concentración de clorofila en columna de agua actuó como un factor determinante en los valores de densidad y biomasa, ya que al ser heterótrofa la mayor parte de la macrofauna bentónica, depende de lo que se exporte de la columna de agua hacia el fondo marino. El contenido orgánico en los sedimentos del mar profundo generalmente es bajo, excepto en áreas de producción biológica relativamente alta o con baja concentración de oxígeno; en el presente estudio, los valores fueron altos, pero no regularon significativamente la densidad ni la biomasa. El tamaño de grano es uno de los factores que mayor influencia tiene en la riqueza taxonómica, la densidad y la biomasa de la macrofauna, ya que las diferentes formas de alimentación requieren de diferente tipo de substrato (Glémarec, 1973; Flint, 1981; Cosson, *et al.*, 1997), sin embargo, en este estudio sólo reguló la riqueza taxonómica.

Dentro de los parámetros ambientales que modulan la riqueza taxonómica del sector occidental del Golfo de México está la productividad primaria, ya que los valores altos de la riqueza, están asociados con las elevadas concentraciones de clorofila en la columna de agua. Rowe *et al.*, (1974) describieron una relación semejante para el sector norte del Golfo. Un factor que está relacionado con el anterior es el contenido de materia orgánica en sedimento; ésta al ser la fuente de alimento de la mayoría de los grupos taxonómicos, modula la agregación de éstos a lo largo del gradiente batimétrico. Sibuet, *et al.*, (1989) reconocieron una relación positiva lineal de la abundancia de la macrofauna con el flujo de carbono y materia orgánica en el mar profundo del océano Atlántico. Los resultados mostraron que al aumentar la cantidad de materia orgánica, aumenta la abundancia taxonómica. Durante mucho tiempo se ha asumido que el movimiento de los sedimentos ricos en materia orgánica de origen continental en el mar profundo, contribuye a la abundancia, estableciéndose una relación inversa con la distancia a la costa (Zenkevitch, 1961).

La presencia de un flujo estacional puede ser de mayor importancia que la magnitud del flujo total anual del material orgánico hacia el fondo en la determinación de la estructura y función de la comunidad bentónica (Towsend & Cammen, 1988). Adicionalmente, la concentración de clorofilas que se exporta de la capa eufótica se ve reflejada en el contenido de materia orgánica en el sedimento, ya que al disminuir la productividad primaria, disminuye directamente el material orgánico que se deposita. La disminución de ambas da lugar a un aumento en la concentración de oxígeno disuelto. Los resultados apoyan lo propuesto por Escobar & Soto (1997) mostrando que el contenido de materia orgánica es afectado por la topografía del ambiente de deposición, la textura de los sedimentos, la temperatura y el tiempo de residencia en la columna de agua. El transporte lateral y advección de material terrígeno y detrito costero en forma de restos de micro y

macroalgas (Hicks, 1986) y mudas de invertebrados constituyen una fuente rápida de materia y energía hacia el fondo marino (Pfannkuche & Thiel, 1987). Un ejemplo de esto se puede reconocer en este estudio donde se distinguen variaciones notorias en los patrones comúnmente establecidos. Ambos procesos son de gran importancia en la definición de la estructura y funcionamiento de las comunidades bentónicas del margen y talud continental del sector occidental, donde las Cordilleras Mexicanas influyen sobre el proceso de transporte de material continental al mar profundo (Escobar *et al.*, 1997).

Con aportes moderados de materia orgánica se incrementa la producción béntica (Poiner & Kennedy, 1984; Ansari *et al.*, 1986). Sin embargo, 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. Las tasas de C/N se han considerado como una característica suficientemente constante e importante de los sedimentos. La tasa C/N de los sedimentos de la plataforma occidental contienen carbono y nitrógeno en las tasas aproximadas reconocidas por otros autores para el Golfo de México (C/N= 6 a 10) (Trask, 1953; Behrens *et al.*, 1981; Escobar & Soto, 1997) y que permanece esencialmente constante en la plataforma y el talud ( $\bar{x}=8.5$ ) del noroeste (Kennedy, 1976; Walsh *et al.*, 1989) y el sur del Golfo (Rowe & Menzel, 1971). Las tasas más altas en la porción occidental del Golfo (14.7-25.4) a profundidades >150m pueden reflejar un incremento en la remineralización cercana a la costa (Walsh *et al.*, 1989) y tasas bajas de acumulación que muestran el transporte del ambiente costero al talud superior.

La composición taxonómica en el área de estudio y la riqueza de taxa son consistentes con otras regiones a profundidades similares (Rowe *et al.*, 1974; Rowe *et al.*, 1982; Sibuet *et al.*, 1984; Richardson *et al.*, 1985; Grassle & Morse-Porteus, 1987; Sibuet *et al.*, 1993; Richardson *et al.*, 1995; Cosson, *et al.*, 1997). Las zonas de talud medio y zona abisal, localizadas a 1,231, 3,700 y 3,760 m de profundidad, presentaron riqueza taxonómica alta, atribuida a la estabilidad ambiental favorable para la diversificación de la fauna en el fondo. Diversos autores han propuesto teorías distintas para explicar la ocurrencia de riqueza de especies o de grupos taxonómicos a profundidades grandes (Grassle & Morse-Porteus, 1987) e intermedias (Rex, 1981). Los registros previos para el ambiente profundo del Golfo de México caracterizaron de pobre a la comunidad infaunal. Este esquema al parecer 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. Un incremento en el número de colectas explica la diferencia con los registros previos del Golfo de México, así como su estrecha vinculación con la estructura de columna de agua e hidrodinámica del centro del Golfo.

Otro de los factores ambientales que influye en la riqueza taxonómica, es el tamaño de grano (Glemarec, 1973). En el presente estudio, se reconoce que en aquellas regiones donde el porcentaje de arena fue mayor (500 m y 3,700 m), se registraron valores más altos de riqueza taxonómica. Los estudios de Flint (1981), han mostrado que la estructura del sedimento juega un papel importante en la composición de la comunidad.

La proporción en la composición taxonómica de este estudio es consistente con intervalos batimétricos en el Golfo de México. A pesar de la carencia de un número mayor de estudios a profundidad, la comparación con el Atlántico central es consistente (Boesch, 1979). Los registros de Flint (1981), quien mostró que los poliquetos son el taxa dominante en la plataforma externa del noroeste del Golfo de México debido a sus estrategias de alimentación que involucran consumo de material depositado, apoyan los registros taxonómicos para este estudio. En esta región el sedimento es en su mayoría arenoso, lo cual, de acuerdo con Sanders (1960) y Levinton (1972) favorece la estrategia de alimentación por suspensión. Es factible que otros factores definan geográficamente el predominio de grupos ocasionalmente citados, como son los nemátodos que comúnmente se asocian a la presencia de lípidos en el sedimento según los estudios de Tietjen (1982), por lo que es necesario iniciar este tipo de análisis en estudios futuros.

A pesar de que la infauna puede mostrar adaptaciones fisiológicas para tolerar las condiciones bajas de oxígeno disuelto (Rosenberg *et al.*, 1983), una parte de los organismos no están adaptados y esto tiene un efecto en su composición y abundancia. La disminución abrupta de la biomasa en la zona superior del talud continental, se asocia a las condiciones hipóxicas, donde muchos poliquetos pueden sobrevivir aun cuando el ambiente es limitante para la mayoría de los crustáceos.

La variabilidad de la densidad y la biomasa de la infauna macrobéntica con la profundidad y la distancia a la costa se ha descrito anteriormente (Sanders & Hessler, 1969; Escobar & Soto, 1997). Dicha variación se ha asociado a la hidrodinámica y los efectos vinculados a la disponibilidad de alimento (Carman & Thistle, 1985; Decho & Castenholz, 1986), condiciones de hipoxia (Rosenberg *et al.*, 1983) e interacciones con la meiofauna (Bell & Coull, 1978). Estos factores y su variación estacional (Levin *et al.*, 1991) conllevan a procesos de sucesión asociados a perturbación y consecuente recolonización en el sedimento (Coull & Palmer, 1984; Rosenberg *et al.*, 1983). La densidad y la biomasa de la macrofauna en la porción occidental del Golfo se vio controlada, al igual que en otras regiones del océano mundial (Sibuet *et al.*, 1989; Kojima & Ohta, 1989), por la exportación del material fotoautotrófico proveniente de la capa eufótica.

Los valores de densidad y biomasa de macrofauna béntica reconocidos en este estudio, coinciden con los valores promedio registrados para otras regiones del Golfo de México y del mundo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Datos comparativos de densidad (ind m<sup>-2</sup>) y biomasa (gC m<sup>-2</sup>) de la fauna macrobentónica del Golfo de México y de otras regiones del mundo.

Localidad	Z (m)	Densidad (ind m <sup>-2</sup> )	Biomasa (gC m <sup>-2</sup> )	Referencia
1. Golfo de México, NW.	3,700	112	0.002	Rowe & Menzel, 1971
	3,400	19	0.001	
2. Golfo de México, NW.	45	5,625	0.065	Rowe <i>et al.</i> , 1974.
	600	502	0.019	
	110	2,490	0.027	
	1100	610	0.005	
3. Golfo de México W	349	1888	0.077	Este estudio.
	1716	1764	0.031	
	2620	1125	0.038	
	3649	1345	0.035	
	3760	1140	0.034	
4. Guinea y Senegal, África W	20-330	15-1,386	0.051-2.522	Longhurst, 1958, 1959.
5. Sur de Martha's Vineyard	366	1,695	1.087	Wigley & McIntyre, 1964.
	567	730	0.717	
6. Gay-Head Bermuda	2,806	2,154		Sanders <i>et al.</i> , 1965.
	2,873	748		
	3,752	561		
7. Mar Indico SW	20-350		0.34-3.4	Neyman, 1969.
8. Plataforma de Pakistán, W	20-200	196-224	0.34-0.51	Savich, 1971.
9. Atlántico, NW.	1,300	3,325	0.2015	Rowe <i>et al.</i> , 1974.
	2,900	789	0.0234	
	4,920	175	0.007	
10. Pacífico, EH. San Diego	1,130	1,880		Jumars, 1976.
	1,230	2,252		
11. Cabo Blanco y Sahara Español.	30-1,830	1,635-35,200	0.0816-3.2096	Nichols & Rowe, 1977.
12. Pacífico Ecuatorial Este.	4,480	152.4		Hecker & Paul, 1979.
	4,908	113.9		
13. Malacca Strait, Océano Índico.	80-320	118-528	0.0068-2.4	Ansari & Parulekar, 1981.
14. Atlántico NW	280	4,090	0.5168	Rowe <i>et al.</i> , 1982.
	1,141-1,437	4,760	0.3536	
	1,707-1,815	1,880	0.3128	
	2,551-2,673	1,790	0.2788	
	2,749-3,264	1,660	0.2142	
	3,659	1,360	0.0238	
15. Norte de Perú.	187		0.8262	Rosenberg <i>et al.</i> , 1983.
	250		0.6358	
	280		0.0748	
	359		0.0816	
16. Densera, Pacífico Ecuatorial, Este.	4,420	493.2	0.002	Sibuet <i>et al.</i> , 1984.
	4,850	235.6	0.0009	
17. Venezuela	3,500	678.4	0.011	Richardson <i>et al.</i> , 1985.
	3,950	262.66	0.002	
	5,050	238	0.004	
18. Región de los Galápagos	2,700	4,004		Grassle <i>et al.</i> , 1985.
19. Bahía de Biscay	2,100	1,064		Dinet <i>et al.</i> , 1985.
	2,900	1,029		
20. Atlántico NW	1,250	5,733		Maciolek <i>et al.</i> , 1986.
	2,165	4,311		
	2,155	4,867		
21. Cuenca de Panamá	3,912	1,333		Grassle <i>et al.</i> , 1986.
22. Sur de Nueva Inglaterra	1,800	4,901		Grassle & Morse-Porteus, 1987.
	3,600	2,883		
23. Océano Pacífico E.	745-767	18.53		Levin <i>et al.</i> , 1991.
	788-857	84.56		
	1,316-1,790	21.64		
	2,850-3,353	16.12		
24. Atlántico Tropical NE	1,700	2,568		Sibuet <i>et al.</i> , 1993.
	3,100	1,124		
	4,600	88		
25. Trinchera de Puerto Rico	8,370	28	0.002	Richardson <i>et al.</i> , 1995.
26. Atlántico tropical NE	1,700	5,402		Cossari <i>et al.</i> , 1997.
	3,100	1,856		
	4,700	231.5		

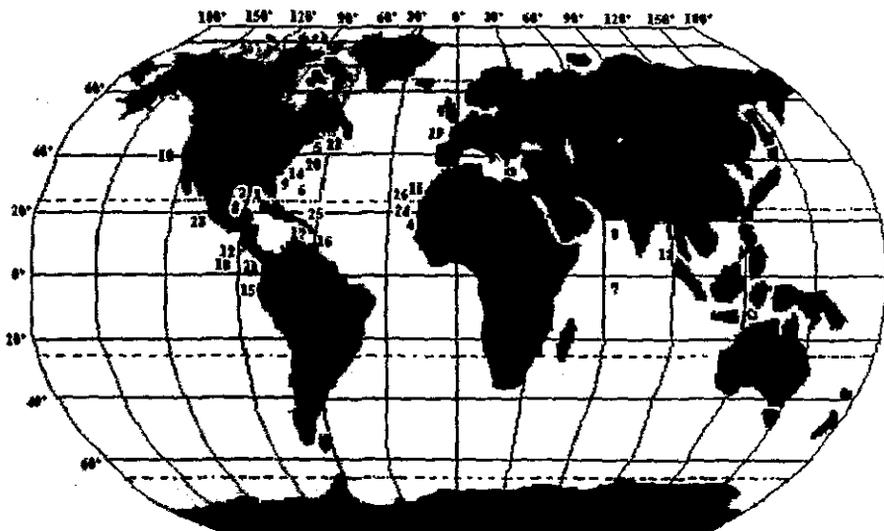


Fig. 10. Ubicación de las localidades de muestreo de infauna macrobéntica citados en la cuadro 5.

La densidad y biomasa reconocidas en este estudio muestran consistencia con otros estudios de ambientes tropicales (Neyman, 1969; Rowe *et al.*, 1982; Dinet *et al.*, 1985). Se puede observar que los valores descritos previamente para el Golfo de México son menores a los encontrados en este estudio. Un análisis de éstos nos permitió reconocer que podría existir un menor esfuerzo de colecta involucrado en los estudios previos (Rowe & Menzel, 1971; Rowe *et al.*, 1974), así como condiciones hidrodinámicas que afectarían, en el marco estacional y espacial, los valores registrados anteriormente. Estudios en la plataforma continental y el reborde en la sección occidental (Castañeda, 1996; Escobar & Soto, 1997; Escobar *et al.*, 1997) han mostrado que la depositación al fondo del material fotoautotrófico promueve elevada biomasa al término del periodo de nortes que se colapsa por la ausencia de éste al final del periodo de lluvias. Esto conlleva a proponer que se realicen más estudios en el marco estacional del mar profundo en ambientes tropicales con objeto de reconocer si existe una estacionalidad y evaluar su efecto sobre las magnitudes de cambio de la biomasa.

Dicha información permitiría reconocer la variabilidad natural del sistema y facilitar los efectos de las perturbaciones generadas por huracanes, contaminación, pesquería y diversas anomalías climáticas. La literatura señala que el efecto de las alteraciones arriba mencionadas son fácilmente percibidas en la infauna macrobéntica, debido a su rápida respuesta y ciclo de vida. Dada la estrecha dependencia del bentos hacia el sitio que habitan en el sedimento, éste ha sido estudiado para tratar de entender la respuesta de la biota marina ante la contaminación. Así, siendo que el sedimento atrapa y almacena temporalmente muchos contaminantes, la respuesta del bentos ante las perturbaciones es más fácil de asignar a un agente causal concreto, por lo que se le podría considerar como una agrupación de elementos integradores de la calidad del agua (Salazar, 1991).

Los resultados obtenidos en este estudio llevan a sugerir que las propuestas de conservación para el mar profundo necesitan tomar en cuenta la hidrodinámica del Golfo de México, ya que ésta regula algunos de los parámetros que fueron determinantes en la riqueza taxonómica, densidad y biomasa: la concentración de clorofilas en la masa de agua, la concentración de oxígeno disuelto y la materia orgánica depositada, que determina las condiciones del fondo.

Se ha reconocido que la riqueza taxonómica, la abundancia y la biomasa, pueden recuperarse con cierta facilidad y rapidez en áreas más o menos impactadas con respecto a localidades pristinas, porque la colonización es regulada por las especies oportunistas ajustadas a un ambiente continuamente fluctuante (Matson & Notini, 1985).

El bentos responde a las tendencias de cambio químico y microbiológico en periodos de tiempo mas extensos, por lo que en estos organismos se pueden evaluar los efectos de perturbaciones físicas, químicas, biológicas y antropogénicas a mediano y largo plazo (Pearson, 1980).

## Conclusiones

1. Se reconocen variaciones de los factores tanto de la columna de agua como de sedimento a lo largo del gradiente batimétrico que se asocian a la hidrodinámica de la cuenca; éstos permitieron generar una zonación vertical para el sector oeste del Golfo de México.
  - a. La temperatura y la concentración de oxígeno se relacionaron de forma directa con la profundidad.
  - b. La salinidad, el tamaño de grano y el contenido de materia orgánica en sedimento mostraron patrones variables en el gradiente de profundidad.
  - c. La concentración de clorofila disminuyó con el incremento de la distancia a la costa.
2. La riqueza taxonómica no muestra un patrón definido con el incremento de la profundidad, se reconocieron valores elevados sobre el talud medio y la zona abisal, los menores se apreciaron sobre el talud inferior. El grado de resolución que provee el nivel de Phylum, clase u orden no permite definir tendencias claras, es necesario incrementar al menos a nivel de familia.
3. Los componentes faunísticos dominantes que caracterizan el 85% de la densidad y biomasa en el sector oeste del Golfo de México fueron los poliquetos, nemátodos y crustáceos. Los phyla Annelida y Nematoda fueron mas abundantes en las zonas más someras, en tanto que Arthropoda dominó en abundancia en las localidades de la región abisal.
4. La densidad y la biomasa de la infauna macrobéntica del sector oeste del Golfo de México disminuyeron con el aumento de la profundidad, de 1,554 a 491 ind m<sup>-2</sup> y de 0.093 a 0.0012 gC m<sup>-2</sup>, respectivamente.
5. Los parámetros ambientales que regularon la densidad y la biomasa de la infauna macrobéntica fueron la concentración de oxígeno disuelto de fondo y la concentración de clorofila en la capa eufótica. La fauna macrobéntica en el ambiente del talud continental y reborde continental del sector occidental del Golfo de México está caracterizada por individuos tolerantes a concentraciones bajas de oxígeno. El predominio de poliquetos y nemátodos puede ser una respuesta a estas condiciones.
6. En comparación con otras regiones del Golfo de México, la densidad y la biomasa de la infauna macrobéntica del sector occidental fueron mayores. Con respecto a otras regiones del mundo se mantuvieron muy semejantes o ligeramente por debajo de otros valores.
7. La caracterización ambiental del fondo marino, así como el conocimiento de la variabilidad de la densidad, contribuyeron como información base para un mejor entendimiento de la respuesta de la biota marina ante futura contaminación y perturbaciones, permitiendo, así mismo, elaborar predicciones y propuestas de recuperación.

## Literatura Citada

(formato seguido : Deep-Sea Research)

- \* Allee, W.C., Emerson, A.E. Park, O, Park, T. & Schmidt, K.P. 1949. Principles of Animal Ecology. Saunders, Philadelphia, Pa. 834 pp.
- \* Ansari, Z.A. & Parulekar, A.H. 1981. Meiofauna of the Andaman Sea. Indian J. Mar. Sci.10: 285-288.
- \* Ansari, Z.A., Ingle, B.S. & Parulekar, A.H. 1986. Effect of high organic enrichment on benthic polychaete population in an estuary. Mar. Poll. Bull. 17: 361-365.
- \* Antoine, J.W. 1972. Structure of the Gulf of Mexico. In: Rezak, R. & Henry, V.I. (Eds.) Contributions on the Geological and Geophysical Oceanography of the Gulf of Mexico. Gulf Publishing Company, Houston. pp. 1-34.
- \* Antoine, J.W. & 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., Martin, R.G., Pyle, T.G. & Bryant, W.R. 1974. Continental margins of the Gulf of Mexico. In: Burk, C.A. & Drake, C.L. (Eds.). The geology of continental margins. Springer-Verlag. New York. p.p. 683-693.
- \* Behrens, E.W., Bernard, B.B., Brooks, J.M., Parker, P.L., Scalan, R.S. & Winters, J.K. 1981. Marine benthic environment. In: Environmental Studies of a Marine Ecosystem: South Texas outer continental Shelf. University of Texas Press, Austin, Texas, pp. 68-82.
- \* Bell, S. & Coull, B.C. 1978. Field evidence that shrimp predation regulates meiofauna. Oecologia, 35: 141-148.
- \* Bergantino, R.N. 1971. Submarine regional geomorphology of the Gulf of Mexico. Geol. Soc. Am. Bull., 82: 741-752.
- \* Boesch, D.F. 1979. Benthic ecological studies: macrobenthos. Special Report of Applied Marine Sciences and Oceanography Engineering. No. 194, Virginia Institute of Marine Science, Gloucester Point. Va., 301 pp.
- \* Brusca, R. & Brusca, G. 1990. Invertebrate Zoology. Sinauer Assoc. Inc. Pub. Sunderland, M.A. 922 pp.
- \* Castañeda, O. 1996. Contribución al conocimiento de la infauna del margen continental del Golfo de México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Biología. UNAM. 85 pp.
- \* Carman, K.R. & Thistle, D. 1985. Microbial food partitioning by three species of benthic copepods. Mar. Biol. 88: 143-148.
- \* Cosson, N., Sibuet, M & Galeron, J. 1997. Community structure and spatial heterogeneity of the deep-sea macrofauna at three contrasting stations in the tropical northeast Atlantic. Deep-Sea Res. 44(2): 247-269.
- \* Coull, B.C. & Bell, S.S. 1979. Perspectives of marine meiofaunal ecology in Ecological Processes in Coastal Marine Systems, Livingston, R.J. Ed. Plenum Press, N.Y. 189 pp.
- \* Coull, B.C. & Palmer, M.A. 1984. Field experimentation in meiofaunal ecology. Hydrobiol. 118: 1-19.
- \* Darnell, R.M. & Defenbaugh, R.E. 1990. Gulf of Mexico: Environmental overview and history of environmental research. Am. Zool. 30: 3-6.

- \* Dayton, P.K. & Hessler, R.R. 1972. Role of biological disturbance in maintaining diversity in the deep-sea. *Deep-Sea Res.* 19: 199-208.
- \* Decho, A.W. & Castenholz, R.W. 1986. Spatial patterns and feeding meiobenthic harpacticoid copepods in relation to resident microbial flora. *Hydrobiol.* 131: 87-96.
- \* Dinet, A., Desbruyères, D. & Khrifounoff, A. 1985. Abondance des peuplements macroet méiobenthiques dans la zone abyssale BIOGAS: Répartition et stratégie d'échantillonnage. In: *Peuplements profonds du Golfe de Gascogne- campagnes Biogas*, L. Laubier et C. Monniot (Eds.) IFREMER Publ.: 121-142.
- \* Escobar, E. & L.A. Soto. 1997. Continental shelf benthic biomass in the Western Gulf of Mexico. *Cont. Shelf Res.* 17(6): 585-604.
- \* Escobar, E., López, M., Soto, L.A. & Signoret, M. 1997. Densidad y biomasa de la meiofauna del talud continental superior en dos regiones del Golfo de México. *Ciencias Marinas.* 23: 463-489.
- \* Escobar, E., Signoret, M. & Hernández, D. 1998. Variación de la densidad de la infauna macrobentónica en un gradiente batimétrico: Oeste del Golfo de México. *Ciencias Marinas.* (sometido).
- \* Ewig, M. & Antoine, J.W. 1966. New seismic data concerning sediments and diapiric structures in Sigsbee Deep and continental slope, Gulf of Mexico. *Am. Assoc. Petr. Geol. Bull.* 50 (3): 479-504.
- \* Falcón, L. 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, Biología. UNAM. 78 pp.
- \* Fenchel, T.M. 1978. The ecology of micro and meio benthos. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 9, 99.
- \* Fenchel, T.M. & Riedl, R.J. 1970. The sulfide system: A new biotic community underneath the oxidized layer of marine sand bottoms. *Mar. Biol.* 7: 255.
- \* Flint, R.W. 1981. Gulf of Mexico outer continental shelf benthos: Macroinfaunal-environmental relationships. *Biol. Oceanogr.* 1(2): 135-155.
- \* Folk, R.P. 1968. *Petrology of Sedimentary rocks.* Hemphill's, Austin. 182 pp.
- \* Gage, J.D. & Tyler, P.A. 1991. *Deep sea biology: a natural history of organisms at the deep sea floor.* Cambridge Univ. Press. 504 pp.
- \* Garrison, L.E. & Martin, R.G. 1973. Geologic structures in the Gulf of Mexico Basin: US Geol. Survey Prof. paper 773. 85 pp.
- \* Gettleson, D.A. 1976. An ecological study of the benthic meiofauna and macroinfauna of a soft bottom area on the Texas outer continental shelf. Texas, A&M. Ph. D. Thesis. 256 pp.
- \* Glèmarec, M. 1973. The benthic communities of the European North Atlantic continental shelf. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 11: 263-289.
- \* Glover, E. 1961. *Geology of the Atlantic and Gulf Coastal Province of North America.* Harpers Geoscience Series. 663 pp.
- \* Graf, G., Gerlach, S.A., Linke, P., Queisser, W., Ritzau, W., Scheltz, A., Thomsen, L. & Witte, U. 1995. Benthic-pelagic coupling in the Greenland-Norwegian Sea and its effect on the geological record. *Geol. Rundsch.* 84: 49-58.
- \* Grassle, J.F. 1991. Deep-sea benthic biodiversity. *Biol. Sci.* 41: 464-469.

- \* Grassle, J.F. & Morse-Porteus, L. 1987. Macrofaunal colonization of disturbed deep-sea environments and the structure of deep-sea benthic communities. *Deep-Sea Res.* 34: 1911-1950.
- \* Grassle, J.F. & Macioleck, N.J. 1992. Deep-sea species richness: Regional and local diversity estimates from quantitative bottom samples. *Am. Nat.* 139: 313-341.
- \* Grassle, J.F., Brown-Leger, L.S., Morse-Porteus, L., Petrecca, R. & Williams, I. 1985. Deep-sea fauna of sediments in the vicinity of hydrothermal vents. *Biol. Soc. Washington Bull.* 6: 443-452.
- \* Grassle, J.F., Whitlatch, R.B., & Morse-Porteus, L.S. 1986. Panama basin community structure. *EOS. Transactions of the American Geophysical Union*, 67: 974.
- \* Gross, G.M. 1990. *Oceanography. A view of the earth.* 5<sup>th</sup>. Edition. Prentice Hall. USA 441 pp.
- \* Hecker, B. & Paul, A.Z. 1979. Abyssal community structure of the benthic infauna of the eastern Equatorial Pacific. *Deep-Sea Res.* 21: 185-209.
- \* Heezen, C. & Menard, H. 1963. Topography of the Deep-sea Floor. In: Hill, M.N. (Ed.) *The Sea*. Interscience, NY. pp. 233-280.
- \* Hicks, G.R.F. 1986. Distribution and behaviour of meiofaunal copepods inside and outside of seagrass beds. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 31: 159-170.
- \* Holland, A.F. 1985. Long term variation of macrobenthos in a mesohaline region of Chesapeake Bay. *Estuaries*, 8: 93.
- \* Holland, A.F., Shaughnessy, A. T. & Hiegel, M.H. 1987. Long term variation in mesohaline Chesapeake Bay macrobenthos: Spatial and temporal patterns. *Estuaries* 10, 227.
- \* Ingmanson, D.E. & Wallace, W.J. 1989. *Oceanography, an introduction.* Wadsworth Publishing Company. California. 511 pp.
- \* Jerlov, N.G. 1973. *Light. General introduction.* In: Kinne, O. (Ed.) *Marine Ecology* Vol. 1, Part 1, Ch. 2. John Wiley & Sons. pp. 95-102.
- \* Jumars, P.A. 1976. Deep-sea species diversity: does it have a characteristic scale?. *J. Mar. Res.* 34 (2): 217-246.
- \* Kennedy, E.A. 1976. A distribution study of deep-sea macrobenthos collected from the western Gulf of Mexico. Ph. D. Diss., Texas A&M. 200 pp.
- \* Kennish, M.J. 1994. *Practical handbook of Marine Science.* 2nd. Edition. CRC Press. USA.
- \* Kinne, O. 1963. The effects of temperature and salinity on marine brackish water animals. I. Temperature. *Oceanogr. Mar. Biol. A. Rev.*, 1:301-340.
- \* Kinne, O. 1973. Temperature. General introduction. In: Kinne, O. (Ed.) *Marine Ecology*, Vol. 1, Part 1, Ch. 3. John Wiley & Sons. pp. 321-346.
- \* Kojima, S. & Ohta, S. 1989. Patterns of bottom environments and macrobenthos communities along the depth gradient in the bathyal zone off Sanriku, Northwestern Pacific. *J. Oceanogr. Soc. Japan.* 45: 95-105.
- \* Levin, L.A., Thomas, C.L. & Wishner, K. 1991. Control of deep-sea benthic community structure by oxygen and organic matter gradients in the eastern tropical Pacific. *J. Mar. Res.* 49: 763-800.
- \* Levinton, J.S. 1972. Stability and trophic structure in deposit-feeding and suspension-feeding communities. *Am. Nat.* 106: 472-486.

- \* Levinton, J.S. 1982. *Marine ecology*. Prentice Hall Englewood Cliffs NJ.
- \* Longhurst, A.R. 1958. An ecological survey of the West African marine benthos. *Colon. Off. Fish. Publ.* 11: 1-101.
- \* Longhurst, A.R. 1959. Benthos densities off tropical West Africa. *J.Cons. Inst. Explor. Mer.* 25: 21-28.
- \* Longhurst, A.R. & Pauly, D. 1987. *Ecology of tropical oceans*. Ch. 4. *Biological communities of tropical oceans*. Academic Press, Inc. USA. pp. 62-104.
- \* López, M. 1996. *Meiofauna de dos ambientes: terrígeno (Tamaulipas) y carbonatado (Yucatán) del margen continental en el Golfo de México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Biología. UNAM. 32 pp.
- \* Macioleck, N.J., Grassle, J.F., Hecker, J.F., Brown, B., Boehm, P.D., Petrecca, R., Dade, B., Baptiste, E. & Ruff, R.E. 1986. Study of biological processes on the US North Atlantic slope and rise. Final report Prepared for US Department of the Interior, Minerals Management Service, Washington, D.C. 20240, 35 pp. + Appendices A-L.
- \* Matson, J. & Notini, M. 1985. Experimental recolonization by macrozoobenthos in a bay polluted by municipal sewage, oil and heavy metals compared to an unpolluted Baltic bay. *Ophelia* 24: 111-124.
- \* Menzies, R.J. 1965. Condition for the existence of life on the abyssal sea floor. *Oceanog. Mar. Biol. Annual Rev.*, 3: 195-210.
- \* Moore, G.W. & Del Castillo, L. 1974. Tectonic evolution of the southern Gulf of Mexico. *Geol. Soc. Ann. Bull.* 85 (4): 607-618.
- \* Neyman, A.A. 1969. Some data on the benthos of the shelves in the northern part of the Indian Ocean. *Oceanology*, 9: 861-866.
- \* Nichols, J.A. & Rowe, G.T. 1977. Infaunal macrobenthos off Cap Blanc, Spanish Sahara. *J. Mar. Res.* 35: 525-536.
- \* Nowlin, W.D. & McLellan, H.J. 1967. A characterization of Gulf of Mexico waters in winter. *J. Mar. Res.* 25(1): 29-59.
- \* Nybakken, J.W. 1993. *Marine ecology: An ecological approach*. 3rd Edition. Harper Collins College Publishers. U.S.A. 462 pp.
- \* Pace, M.L., Glasser, J.L. & Pomeroy, L.R. 1984. A simulation analysis of continental shelf food webs. *Mar. Biol.* 82: 47-63.
- \* Pearson, T.H. 1980. Marine pollution effects of pulp and paper industry wastes. *Helgoländer Meeresunters.* 33: 340-365.
- \* Pequegnat, W.E. 1983. The ecological communities of the continental slope and adjacent regimes of the northern Gulf of Mexico. Prepared by TerEco Corporation for Minerals Management Service, U.S. Department of the Interior. Contract AA851-CT1-12. 398 pp. + Append.
- \* Perès, J.M. 1961. *Océanographie biologique et biologie marine*. Tomo I: La Vie benthique. Presses Univ. Francia.
- \* Perès, J.M. 1982. Major benthic assemblages. In: Kinne, O. (Ed). *Marine Ecology*, Vol. V. Ocean Management. Part I Ch. 8. John Wiley & Sons, pp. 373-522.
- \* Pfannkuche, O. & Thiel, H. 1987. Meiobenthic stocks and benthic activity on the SE-Svalbard shelf and in Nansen Basin. *Polar Biol.*, 7: 253-266.
- \* Poiner, I.R. & Kennedy, R. 1984. Complex patterns of change in the macrobenthos of a large sandbank following dredging, 1. Community analysis. *Mar. Biol.* 78: 335-352.

- \* Rex, M.A. 1981. Community structure in the deep-sea benthos. *Ann. Rev. Ecol. Sys.* 12:331-353.
- \* Richardson, M.D., Briggs, K.B. & Young, D.K. 1985. Effects of biological activity by abyssal benthic invertebrates on a sedimentary structure in the Venezuela Basin. *Mar. Geol.* 68: 243-267.
- \* Richardson, M.D., Briggs, K.B., Bowles, F.A. & Tiejten, J.H. 1995. A depauperate benthic assemblage from nutrient-poor sediments of the Puerto Rico Trench. *Deep-Sea Res.* 42(3): 351-364.
- \* Rosenberg, R., Arntz, W.E., Chumán de Flores, E., Flores, L., Carbajal, G., Finger, I. & Tarazona, J. 1983. Benthos biomass and oxygen deficiency in the upwelling system off Peru. *J. Mar. Res.* 41: 263-279.
- \* Rowe, G.T. 1981. The deep-sea ecosystem. In: Longhurst, A.R. (Ed.) *Analysis of Marine Ecosystems*. Academic Press, London. pp. 235-267.
- \* Rowe, G.T. 1983. Biomass and production of the deep-sea macrobenthos. In: Rowe, G.T. (Ed.) *The Sea Vol. 8. John Wiley & Sons. USA.* pp. 97-121.
- \* Rowe, G.T. & Menzel, D.W. 1971. Quantitative benthic samples from the deep Gulf of Mexico with some comments on the measurement of deep-sea biomass. *Bull. Mar. Sci.* 21:556-566.
- \* Rowe, G.T., Polloni, P.T. & Horner, S.G. 1974. Benthic biomass estimates from the northwestern Atlantic Ocean and the northern Gulf of Mexico. *Deep-Sea Res.* 21: 641-650.
- \* Rowe, G.T., Polloni, P.T. & Haedrich, R.L. 1982. The deep-sea macrobenthos on the continental margin of the northwest Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.* 29: 257-278.
- \* Salazar, S. 1991. Contaminación marina. Centro de Investigaciones de Quintana Roo. Fondo de Publicaciones y ediciones. 193 pp.
- \* Sanders, H.L. 1960. Benthic studies in Buzzard's Bay, III. The structure of the soft-bottom communities. *Limnol. Oceanogr.* 5:138-153.
- \* Sanders, H.L. 1968. Marine benthic diversity, a comparative study. *Am. Nat.* 102: 243-282.
- \* Sanders, H.L., Hessler, R.R. & 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: 845-867.
- \* Savich, M.S. 1971. Quantitative distribution and food value of benthos from the west Pakistan shelf. *Oceanology* 11: 113-119.
- \* Sherman, K. 1994. Sustainability, biomass yields and health of coastal ecosystems: an ecological perspective. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 112: 277-301.
- \* Sibuet, M., Monniot, C., Desbruyères, D., Dinet, A., Khripounoff, A., Rowe, G.T. & Segonzac, M. 1984. Peuplements benthiques et caractéristiques trophiques du milieu dans la plaine abyssale de Demerara. *Ocean. Acta* 7: 345-358.
- \* Sibuet, M., Lambert, C.E., Chesselet, R. & Laubier, L. 1989. Density of the major size groups of benthic fauna and trophic input in deep basins of the Atlantic Ocean. *J. Mar. Res.* 47: 851-867.
- \* Sibuet, M., Albert, P., Charmasson, S., Deming, J., Dinet, A., Galeron, J., Guidi-Guilvard, L. & Mahaut, M.L. 1993. The benthic ecosystem in the three EUMELI sites in

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

- the northeast tropical Atlantic: general perspectives and initial results on biological abundance and activities. *Annales de l'Institut Océanographique*, Paris. 69(1): 21-33.
- \* Sokal, R.R. & Rohlf, F.J. 1969. *Biometry*. San Francisco; W.A. Freeman and Co., 776 p.
  - \* Soto, L.A. & Escobar, E. 1995. Coupling mechanisms related to benthic production in the SW Gulf of Mexico. In: Eleftheriou, A., Ansell, A.D. & Smith, J. (Eds). *Biology and Ecology of Shallow Coastal Waters Proc. 28<sup>th</sup> European Marine Biology Symposium, International Symposium Series*. Olsen & Olsen, Denmark. pp. 233-242.
  - \* Stetson, J.L. & Trask, P.D. 1953. The sediments of the Western Gulf of Mexico. Part II. Chemical studies of sediments of the western Gulf of Mexico. *Am. Assoc. Petr. Geol., Tulsa, Oklahoma*. 566 p.p.
  - \* Strickland, J.H.D. & Parsons, T.R. 1972. *A practical handbook of seawater analysis fisheries research Board of Canada Bull. 167*. Alger Press Ltd., Ottawa, 310 pp.
  - \* Tietjen, J.H. 1982. Potential roles of nematodes in polluted ecosystems and the impact of pollution on meiofauna. In: Mayer, G.F. (Ed.) *Ecological Stress and NY Bight: Science and Management*. Estuarine Research Federation, Columbia, SC. 225 pp.
  - \* Townsend, D.W. & Cammen, L.M. 1988. Potential importance of the timing of spring plankton blooms to benthic-pelagic coupling and recruitment of juvenile demersal fishes. *Biol. Oceanogr.* 5: 215-229.
  - \* Trask, P.D. 1953. Chemical studies of sediments of the western Gulf of Mexico. *Papers in Physical Oceanography and Meteorology*, 12: 51-120.
  - \* Tulkki, P. 1965. Disappearance of the benthic fauna from the Basin of Bornholm (southern Baltic) due to oxygen deficiency. *Cah. Biol. Mar.*, 6: 455-463.
  - \* 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 the Caribbean. Plenum Press pp. 1-64.
  - \* Valiela, I. 1984. *Marine ecological processes*. Springer-Verlag, New York. 546 pp.
  - \* Vegas, M. 1980. *Introducción a la ecología del bentos marino*. 2a. Edición. Secretaría general de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D.C. pp. 98.
  - \* Vidal, V.M., Vidal, F.V. & Pérez-Molero, J.M. 1988. *Atlas oceanográfico del Golfo de México*. Vol. 1. Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Morelos, México, 415 pp.
  - \* Vidal, V.M., Vidal, F.V. & 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., & 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. & Zambrano, L. 1994. Winter water mass distributions in the western Gulf of Mexico affected by a colliding anticyclonic ring. *J. Oceanogr.* 50:559-588.
  - \* Vinogradova, N.G. 1962. Vertical zonation in the distribution of the deep-sea benthic fauna in the ocean. *Deep-Sea Res.* 8:245-250.

- \* Walsh, J.J., Dieterle, D.A., M.B. Meyers & Müller-Kärger, F.E. 1989. Nitrogen exchange at the continental margin: A numerical study of the Gulf of Mexico. *Progr. Oceanogr.* 12: 1-86.
- \* Wassman, P. 1984. Sedimentation and benthic mineralization of organic detritus in a Norwegian fjord. *Mar. Biol.* 83: 83-94.
- \* Wigley, R.L. & McIntyre, A.D. 1964. Some quantitative comparisons of offshore meiobenthos and macrobenthos south of Martha's Vineyard. *Limnol. Oceanogr.* 9: 485-493.
- \* Wolf, W.J. 1983. Estuarine benthos. In: Ketchum, B.H. (Ed.) *Estuaries and enclosed seas*. Elsevier, Amsterdam, 151 pp.
- \* Wood, E.J.F. 1956. Diatoms in the ocean depth. *Pacific Science* 10(4): 377-381.
- \* Zenkevitch, L.A. 1961. Certain quantitative characteristics of the pelagic and bottom life of the ocean. *Publ. Am. Assoc. Adv. Sci.* 67: 323-336.
- \* Zobell, C.E. 1954. The occurrence of bacteria in the deep-sea and their significance for animal life. *I.U.B.S. Serie B*, No. 16.

**Apéndice 1. Valores de densidad promedio (ind m<sup>-2</sup>) de los grupos taxonómicos registrados.**

Estación	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E9.3	E9.1	E9.4	E9.2	E9.5	E10	E7	E8
Profundidad	200	498	1231	1698	2220	2620	3600	3620	3635	3650	3690	3700	3760	3760
Acaros	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anémonas	0	0	6.4	0	0	0	11	5	5	0	5	5	0	4
Anfípodos	26	179	106	235	341	181	379	347	123	309	272	69	283	392
Aplacóforos	19	3	6	0	0	0	0	27	0	21	5	0	0	0
Bivalvos	42	35	29	11	0	27	0	32	0	37	0	37	11	12
Briozoos	0	122	32	21	32	64	80	139	80	0	0	238	43	48
Carídeos	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cefalocáridos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	5	0	0
Copépodos	106	67	253	155	117	139	128	112	64	96	240	389	91	136
Cumáceos	0	16	0	0	0	11	0	0	0	0	0	5	0	20
Asteróideos	10	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Equinoideos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	8
Escafópodos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Eponjias	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	11	0	0
Gasterópodos	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hidroideos	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Isópodos	6	6	26	16	16	5	0	11	11	11	0	5	0	8
Leptotráceos	0	16	0	0	16	27	27	16	5	0	80	0	5	8
Mistacocáridos	0	0	3	0	0	5	0	0	0	0	0	5	0	0
Nemátodos	368	445	1226	331	235	277	91	352	149	517	453	464	123	360
Olivídeos	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Otracóidos	99	99	29	0	5	27	0	27	0	5	0	48	5	20
Picnogónidos	0	3	0	0	0	5	11	0	11	5	0	5	4	4
Poliquetos	1091	739	797	197	85	336	133	688	53	517	587	363	149	328
Sipuncúlidos	5.1	95	48	11	0	0	0	5	0	5	0	0	75	24
Taniidáceos	26	22	138	91	32	21	0	37	0	16	48	11	5	24
<b>TOTAL</b>	<b>1882</b>	<b>1850</b>	<b>2714</b>	<b>1067</b>	<b>880</b>	<b>1125</b>	<b>853</b>	<b>1808</b>	<b>491</b>	<b>1557</b>	<b>1696</b>	<b>1662</b>	<b>795</b>	<b>1400</b>

**Apéndice 2. Valores de biomasa promedio (gC m<sup>-2</sup>) de los diferentes grupos taxonómicos registrados.**

Estación	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E9.3	E9.1	E9.4	E9.2	E9.5	E10	E7	E8
Profundidad	200	498	1231	1698	2220	2620	3600	3620	3635	3650	3690	3700	3760	3760
Acaros	2E-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anémonas	0	0	2E-04	0	0	0	2E-04	1E-04	1E-04	0	1E-04	1E-04	0	8E-05
Anfípodos	0.005	0.007	0.002	0.004	0.002	0.006	0.012	0.01	0.004	0.011	0.01	0.01	0.011	0.012
Aplacóforos	4E-04	2E-04	0.001	0	0	0	0	0.005	0	9E-04	3E-04	0	0	0
Bivalvos	0.001	0.003	6E-04	2E-04	0	7E-04	0	0.002	0	0.001	0	9E-04	2E-04	3E-04
Briozoos	0	0.022	2E-04	3E-05	2E-04	8E-04	0.002	0	3E-04	0	0	0.002	3E-05	4E-04
Carídeos	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cefalocáridos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2E-04	0	2E-04	0	0
Copépodos	6E-04	0.001	0.006	0.002	0.001	0.003	0.003	0.002	7E-04	0.003	0.007	0.008	0.003	0.002
Cumáceos	0	6E-04	0	0	0	1E-04	0	0	0	0	0	1E-04	0	2E-04
Asteróideos	0.002	0	2E-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001
Equinoideos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7E-05	0	0.002
Escafópodos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002
Eponjias	0	0	0	0	0	0.004	0	0	0	0	0	2E-04	0	0
Gasterópodos	1E-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hidroideos	0	0	3E-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Isópodos	2E-04	1E-04	2E-04	3E-04	7E-04	2E-04	0	2E-04	3E-04	2E-04	0	2E-04	0	1E-04
Leptotráceos	0	5E-04	0	0	3E-04	5E-04	5E-04	4E-04	2E-04	0	0.003	0	2E-04	3E-04
Mistacocáridos	0	0	1E-04	0	0	2E-04	0	0	0	0	0	2E-04	0	0
Nemátodos	0.004	0.004	0.009	0.002	0.001	0.007	0.001	0.004	7E-04	0.01	0.007	0.008	0.003	0.004
Olivídeos	0	0	7E-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Otracóidos	5E-04	0.002	6E-04	0	2E-04	3E-04	0	3E-04	0	2E-04	0	0.002	2E-04	7E-04
Picnogónidos	0	1E-04	0	0	0	0	2E-04	3E-04	0	3E-04	2E-04	0	2E-04	1E-04
Poliquetos	0.046	0.046	0.027	0.004	0.009	0.015	0.003	0.018	0.002	0.01	0.019	0.018	0.005	0.013
Sipuncúlidos	0.002	0.006	0.001	3E-04	0	0	0	3E-04	0	3E-04	0	0	0.004	8E-04
Taniidáceos	2E-04	0.002	0.002	0.001	6E-04	3E-04	0	6E-04	0	1E-04	0.005	6E-04	6E-04	0.002
<b>TOTAL</b>	<b>0.062</b>	<b>0.093</b>	<b>0.052</b>	<b>0.013</b>	<b>0.016</b>	<b>0.038</b>	<b>0.022</b>	<b>0.044</b>	<b>0.008</b>	<b>0.037</b>	<b>0.051</b>	<b>0.05</b>	<b>0.026</b>	<b>0.042</b>

## Agradecimientos

No podía concluir este esfuerzo sin hacer mención y dar mérito a todas aquellas personas que de una u otra forma cooperaron con su granito de arena para que se viera culminado el primer escalón de mi carrera profesional.

En primer plano quiero agradecer a la Dra. Elva Escobar por haberme dado la oportunidad de sumergirme en las profundidades del mar para realizar este trabajo y comenzar a explorar un nuevo mundo hasta hace poco desconocido para mí; agradezco no solo su asesoría profesional, sino también su orientación, su motivación, su paciencia y su amistad.

Agradezco a CONACyT (proyecto 0003-V) por financiamiento para la realización de la campaña oceanográfica. A DGAPA (proyecto IN-213197) por la beca académica durante el periodo julio 1997 - junio 1998. A Fundación UNAM (PBTEL) por la beca de tesis de Licenciatura durante el periodo agosto 1998 - enero 1999.

Al Dr. Antonio Peña Díaz y administración académica y administrativa del ICML por las facilidades brindadas y a la tripulación del B/O *Justo Sierra* por el apoyo brindado durante las campañas oceanográficas.

Al Laboratorio de Ecología del Bentos, iniciando por el Dr. Luis Soto, jefe del laboratorio, por su apoyo; a Carlos Illescas por su ayuda y buen humor; a mis compañeritas (y a los escasos compañeros) por ayudarme y resolver mis dudas; a Toño Salas por hacer los ratos más amenos y ayudarme con la realización de los mapas.

A Manuel Castillo por sus valiosos comentarios y enseñanza estadística (capicci?), al resto de mi comité asesor: Biól. Angélica González, Biól. Bertha Peña y Dr. Xavier Chiappa por sus valiosos comentarios y sugerencias para el mejoramiento de este trabajo. A la Dra. M. Signoret (UAM X) por los valores de clorofila; a la Dra. A. Szmant (RSMAS) por los análisis de carbono y nitrógeno orgánicos; al Dr. A. Gallegos (ICML, Oceanografía Física) por permitirme y ayudarme a digitalizar los mapas. A Jorge Sepúlveda (IFC, Laboratorio de Microscopía Electrónica) por permitirme tomar fotografías de los sedimentos.

Finalmente, a mis hermanos y a Javier por su ayuda y amistad incondicional de siempre; a mis padres, por su puesto, orientarme y por haberme dejado su mejor herencia... mi carrera profesional. Agradezco a mi fundación particular "MRO" por tu apoyo de siempre (no sólo el económico). A Mike por motivarme y enseñarme una de las partes más bellas de la vida.

*"El sol y la luna nacen y mueren en el mar. Así de grande es."*