

81



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES IZTACALA

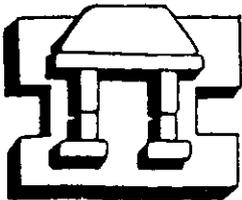
"VARIACION DE LA DENSIDAD Y LA BIOMASA DE LA INFAUNA MACROBENTICA A LO LARGO DEL GRADIENTE BATIMETRICO EN EL SW DEL GOLFO DE MEXICO"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE BIOLOGA PRESENTA PENELOPE RODRIGUEZ PLIEGO

63-1

DIRECTORA: DRA. ELVA G. ESCOBAR BRIONES



IZTACALA

LOS REYES IZTACALA, ESTADO DE MEXICO,

2000



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

*El que turba su casa heredará  
viento...*

Proverbios 11:29

*Puede haber tiempos mejores, pero éste es el  
nuestro...*

J.P. Sartre; Les Temps Modernes



A mis padres, Margarita y Antonio, por haberme enseñado a seguir adelante aún en los momentos más difíciles, por confiar en mí y ayudarme a alcanzar mis metas.

A Circe, porque sin ella la vida no hubiera sido lo mismo y la soledad sería más grande.

A Fabricio, por todos los sueños compartidos que algún día se harán realidad.

A los Omahos, porque sin ellos el desafío de superarse día con día no tendría el mismo sentido.

A mis profesores, bueno y malos, que me enseñaron lo maravilloso que es tener la oportunidad de seguirme preparando.

# Indice

• LISTA DE CUADROS	i
• LISTA DE FIGURAS	ii
• RESUMEN	iii
• ABSTRACT	iv
• INTRODUCCIÓN	1
• ANTECEDENTES	5
• AREA DE ESTUDIO	6
• HIPÓTESIS	9
OBJETIVO	9
METAS	9
• MATERIAL Y MÉTODO	11
TRABAJO DE CAMPO	11
TRABAJO DE GABINETE	11
• RESULTADOS	14
ZONACIÓN	14
PARÁMETROS AMBIENTALES	14
ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD	19
DENSIDAD	22
BIOMASA	26
• DISCUSIÓN	32
• CONCLUSIONES	39
• APÉNDICES	40
• LITERATURA CITADA	43
• AGRADECIMIENTOS	50

## Lista de cuadros

CUADRO 1. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO	18
CUADRO 2. RIQUEZA TAXONÓMICA PRESENTE EN LAS ESTACIONES DE MUESTREO	19
CUADRO 3. VALORES PROMEDIO ( $\bar{x}$ ) DEL NÚMERO DE TAXA, DENSIDAD ( $\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ) Y BIOMASA ( $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}$ )	20
CUADRO 4. PORCENTAJE DE LOS GRUPOS TAXONÓMICOS IDENTIFICADOS CON RESPECTO A LA DENSIDAD DE CADA UNA DE LAS ZONAS BATIMÉTRICAS	22
CUADRO 5. PORCENTAJE DE LOS GRUPOS TAXONÓMICOS IDENTIFICADOS CON RESPECTO A LA BIOMASA DE CADA UNA DE LAS ZONAS BATIMÉTRICAS	26
CUADRO 6. VALORES DE DENSIDAD ( $\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ) DE LA MACROINFAUNA DE DIVERSAS ZONAS DEL GOLFO DE MÉXICO Y OTRAS REGIONES DEL OCÉANO MUNDIAL	38
CUADRO 7. VALORES DE BIOMASA ( $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}$ ) DE LA MACROINFAUNA DE DIVERSAS ZONAS DEL GOLFO DE MÉXICO Y OTRAS REGIONES DEL OCÉANO MUNDIAL	38

## Lista de figuras

FIGURA 1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS LOCALIDADES DE MUESTREO DE MACROINFAUNA	10
FIGURA 2.	ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO Y VALIDACIÓN DE LAS ZONAS RECONOCIDAS DE LAS LOCALIDADES DE MUESTREO	15
FIGURA 3.	VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA, LA SALINIDAD Y EL CONTENIDO DE NITRÓGENO ORGÁNICO A LO LARGO DEL GRADIENTE BATIMÉTRICO, Y DE SALINIDAD RESPECTO A LA TEMPERATURA	17
FIGURA 4.	VARIACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO Y LA RIQUEZA TAXONÓMICA DE ACUERDO A DIVERSOS FACTORES AMBIENTALES.	21
FIGURA 5.	VARIACIÓN DE LA DENSIDAD PROMEDIO DE ACUERDO A DIVERSOS FACTORES AMBIENTALES.	23
FIGURA 6.	COMPOSICIÓN TAXONÓMICA DE LA DENSIDAD POR ZONA BATIMÉTRICA Y TRANSECTO.	25
FIGURA 7.	COMPOSICIÓN TAXONÓMICA DE LA DENSIDAD EN CADA TRANSECTO Y VARIACIÓN DE LA BIOMASA DE ACUERDO AL GRADIENTE BATIMÉTRICO Y A LA TEMPERATURA	28
FIGURA 8.	VARIACIÓN DE LA BIOMASA DE ACUERDO AL CONTENIDO DE LODOS Y NITRÓGENO EN EL SEDIMENTO EN CADA ZONA BATIMÉTRICA Y TRANSECTO	29
FIGURA 9.	COMPOSICIÓN TAXONÓMICA DE LA BIOMASA EN CADA TRANSECTO GEOGRÁFICO.	31

## Resumen

La variabilidad de la densidad ( $\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ) y la biomasa ( $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}$ ) de la macroinfauna béntica se describe en el presente trabajo a partir de 29 muestras de sedimento superficial recolectadas a borde del B/O Justo Sierra en septiembre de 1997 a lo largo del gradiente batimétrico (21 a 2,300) en cuatro transectos desde la plataforma continental hasta la zona abisal de SW de Golfo de México. Un análisis de clasificación agrupó las estaciones en cinco zonas con base en su profundidad, temperatura y contenido de materia orgánica. Estas zonas nos permitieron describir patrones de densidad y biomasa. Esta zonación es consistente con modelos de zonación previos para los sectores norte y oeste del Golfo de México. Los taxa dominantes, con más de 90% de la abundancia fueron tres: los artrópodos, los anélidos y los nemátodos. Los moluscos contribuyeron como cuarto taxon, en el caso de la biomasa. La densidad media mayor ( $19,903 \pm 197 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ) se registró en la plataforma continental, mientras que la más baja ( $222 \pm 44 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ) se reconoció en el reborde continental. La biomasa media mayor ( $1,010 \pm 197 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}$ ) se registró así mismo en la plataforma continental, mientras que los valores más bajos ( $10 \pm 1 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}$ ) ocurrieron en las cinco zonas de profundidad. El tamaño de grano y el contenido de materia orgánica en sedimento superficial determinan, al parecer, los patrones observados en densidad y biomasa a lo largo del gradiente batimétrico. Tanto la densidad como la biomasa se compararon, siguiendo el esquema de zonación, con valores de la literatura del Golfo de México y del océano mundial. Nuestros valores del SW del Golfo de México se encuentran entre los más bajos reconocidos para las comunidades bentónicas en la búsqueda bibliográfica.

Palabras clave: macroinfauna, esquema de zonación.

## Abstract

The variability of the density ( $\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ) and biomass ( $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}$ ) of macrobenthic infauna is described from 29 surficial sediment samples obtained along a depth gradient (21 to 2,300 m) in four transects including the continental shelf to the abyssal plain (2,230m) in the SW Gulf of Mexico in September 1997. A cluster analyses grouped the stations into five zones based on depth, temperature and organic matter content. These zones allowed us to describe the patterns in density and biomass. This zonation is consistent with previous zonation models described for the northern and western Gulf of Mexico. The dominant infaunal taxa, with more than 90% of the abundance, were three, namely the arthropods, the annelids and the nematodes. Molluscs contributed as a fourth taxon to the biomass. Largest mean density ( $19,903 \pm 197 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ) was recorded on the continental shelf whilst the lowest ( $222 \pm 44 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ) was recorded on the shelf break. Largest mean biomass ( $1,010 \pm 197 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}$ ) was recorded on the continental shelf as well, whilst the lowest values ( $10 \pm 1 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}$ ) occurred in all five depth zones. The grain size and the organic matter content in surficial sediment seem to determine the patterns observed in density and biomass along the depth gradient. Both density and biomass were compared, following this zonation scheme, with values in the literature for the Gulf of Mexico and the world ocean. Our values from the SW Gulf of Mexico are among the lowest encountered for the benthic communities in the literature search.

Keywords: Macroinfauna, zonations scheme.

## Introducción

Los océanos del mundo cubren aproximadamente 361 millones de km<sup>2</sup>, alrededor del 71% de la superficie de la Tierra, con una profundidad promedio de cerca de 4 km y zonas con profundidades mayores que alcanzan hasta los 10 km (McConaughey 1978).

La parte submarina del continente se ha subdividido en tres grandes regiones: 1) la plataforma continental que se encuentra cercana a la tierra, poco profunda y que desciende gradualmente desde las costas hasta alcanzar unos 200 m, 2) el talud continental que está señalado por la ruptura violenta de la plataforma y que alcanza hasta los 2,000 m de profundidad (Tait 1987); y 3) la cuenca oceánica que comprende la zona abisal, es decir, planicies que continúan por lo general al talud (Vegas 1980). Las características biológicas específicas del ambiente de plataforma están dadas por su posición entre las masas de tierra y los océanos, por su profundidad reducida, la textura variable del piso marino y la influencia que ejercen los continentes por el aporte de agua dulce, el cual incrementa la fertilidad de las aguas cercanas a la costa beneficiando la productividad de los organismos del ecosistema marino (Nybakken 1993).

El ambiente marino está conformado por el fitoplancton, el zooplancton, el necton y el bentos (Brusca & Brusca 1990), éste último se clasifica por su talla en: bacterias (1 µm), meiofauna (>63 µm) y macrofauna (>0.5 mm) (Thiel 1975), y 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. Con base en su posición con respecto al sedimento, el bentos puede dividirse en dos grupos: la epifauna, que comprende organismos que viven sobre la superficie del fondo y la infauna, aquellos organismos que viven dentro del substrato (Nybakken 1993).

El bentos 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 (Perès 1961). Se ha observado que el bentos presenta un patrón característico de disminución exponencial cuando sus valores de densidad y biomasa son comparados a lo largo de un gradiente de profundidad (Rowe 1983) y con la distancia a la línea de costa (Escobar *et al.* 1997; Gage & Tyler 1991). En cuanto a la diversidad de la macrofauna se ha reportado que ésta es baja en la zona de plataforma continental, incrementándose rápidamente conforme desciende el talud continental hasta un máximo en las profundidades de talud medio y decreciendo nuevamente en la zona de planicie abisal (Gage 1996).

La disminución de la biomasa y densidad bentónica con la profundidad muestran una alta variabilidad geográfica, la cual puede deberse a las condiciones

locales cambiantes como la hidrodinámica, la disponibilidad de alimento, condiciones de hipoxia e interacciones biológicas (Escobar & Soto 1997).

Otros factores importantes en el control de la distribución y diversidad de la vida en el bentos a lo largo de un gradiente desde la costa al mar profundo son la naturaleza del fondo, la disponibilidad de alimento, la temperatura y el nivel de luz (Perès 1961, Flint 1981, Palma *et al.* 1982).

El tipo de sedimento en el que habita la infauna va a tener influencia sobre la comunidad, ya que éste no sólo varía en el tamaño de las partículas y de espacios intersticiales, sino también en factores como el contenido de materia orgánica, la concentración de oxígeno disuelto en agua intersticial y su composición química. La relación entre el individuo y el sustrato envuelve una selección de la larva o del adulto para establecer sitios adecuados para el desarrollo de las poblaciones (Gray 1974). Conforme incrementa la profundidad hacia la zona abisal, la heterogeneidad de la composición del tamaño de grano disminuye y se convierte paulatinamente en un sustrato cada vez más homogéneo y fino, hasta predominar las arcillas. Los fondos finos generalmente no son adecuados para los organismos que se alimentan de materia orgánica en los intersticios; comúnmente benefician a aquellos que no son selectivos en su alimentación. La hidrodinámica en columna de agua y en el fondo es también un factor importante que modifica la distribución y naturaleza del sedimento, ya que comúnmente las corrientes alteran las condiciones oceanográficas superficiales y determinan el transporte de la materia orgánica hacia el fondo (Vegas 1980). Las tasas de sedimentación son variadas para las diversas regiones del fondo siendo éstas mayores en las plataformas continentales, con un contenido orgánico de 2 a 5 %, y bajas en las porciones más profundas oceánicas, sobre los abismos (McLusky & McIntyre 1988; Levinton 1995).

El principal aporte calorífico que tiene el agua del mar está representado por las radiaciones energéticas que le llegan del sol. Las radiaciones solares penetran en el agua alcanzando generalmente una profundidad promedio de 100 m, restringiendo la fotosíntesis de los productores primarios a los 40 ó 50 m superficiales del mar, por lo que a profundidades mayores el bentos depende en gran medida de la exportación de las partículas de origen fotosintético en forma de detrito (Jerlov 1973). La penetración de estas radiaciones depende principalmente de la turbiedad, es decir, de la cantidad de materia sólida que se encuentra en suspensión. La cantidad de materia orgánica suspendida en el agua hace que la intensidad de la luz disminuye en el sentido de su propagación, debido a que es absorbida por estas partículas, lo que conlleva a que a profundidades mayores de 200 m el bentos permanezca en total oscuridad (Ingmanson & Wallace 1989). Conforme la profundidad va aumentando y penetra menor radiación la temperatura disminuye.

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 capa de mezcla (temperaturas idénticas a diferentes profundidades), un estrato con un decremento máximo de temperatura o termoclina y un estrato inferior con temperaturas ligeramente descendentes. 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 el decremento de la temperatura (Kinne 1963). Este último factor puede afectar a la distribución batimétrica de los invertebrados marinos por la exclusión de las aguas profundas con temperaturas bajas, por migraciones en el gradiente vertical o por transporte pasivo, acumulación o disipación asociados a las condiciones hidrográficas, densidad y turbulencia entre otros (Kinne 1973).

La comunidad bentónica está sostenida en gran medida por el aporte de energía alóctona, fotoautotrófica o terrígena (Rowe 1981). Cerca de la costa, en la plataforma continental, el aporte terrígeno de materia orgánica y la producción de las macrofitas aumentan la producción primaria hasta niveles de 100 a 300  $\text{gCm}^{-2}\text{a}^{-1}$  (Mann 1982), mientras que en mar abierto ésta es reducida por la concentración baja de nutrientes y estratificación de las masas de agua. La profundidad de la columna de agua influye en la cantidad y calidad de la materia orgánica que llega al fondo (Levinton 1995). El aporte de material alimenticio a las comunidades bentónicas del mar profundo consiste en la exportación de materia orgánica de origen fotoautotrófico (Graf 1989), transporte vertical de la producción primaria superficial de fitoplancton, transporte horizontal de material terrestre, las migraciones verticales activas de los organismos así como la hidrodinámica (van der Spoel & Schalk 1988; Kojima & Ohta 1989).

La naturaleza y variabilidad de la materia orgánica aportada al piso del mar profundo puede ser una clave para determinar la estructura y función de la comunidad (Cosson *et al.* 1997). Así mismo, la sedimentación de depósitos estacionales de partículas orgánicas del fondo del mar profundo a la superficie provee otro recurso alimenticio para los organismos (Gage 1996). Dentro de los materiales que se aportan, hasta en un 30 por ciento por debajo de la zona eufótica, podemos mencionar organismos del fitoplancton vivos o muertos, las heces fecales de copépodos y peces pelágicos, las mudas del zooplancton y los cadáveres de animales planctónicos o nectónicos (McLusky & McIntyre 1988; Marshall 1973).

Una razón específica para la disminución de la densidad y la biomasa en el bentos con el incremento de la profundidad es la baja cantidad y calidad de alimento disponible para la comunidad, ya que a mayor distancia de la costa habrá una

producción primaria más baja, un alcance del aporte terrígeno menor y, por consiguiente, una depositación menor en el fondo (McConauhey 1978).

La composición de especies y su abundancia tiene variaciones temporales y espaciales (Holland 1985; Holland *et al.* 1987; Gage & Tyler 1991). 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). Se han podido establecer diversos esquemas de zonación del bentos profundo basados en la composición taxonómica, donde se reconocen diferencias entre la fauna béntica del margen continental y la del mar profundo. Estos esquemas muestran la existencia de una reducción en el número de individuos y el reemplazo de especies desde la zona del margen continental, a lo largo del talud continental, hasta la planicie abisal (Vinogradova 1962).

La alta diversidad de los organismos bentónicos podría atribuirse a la consistencia de las condiciones por largos periodos de tiempo en el fondo marino (Sanders 1968). En éste se reconoce el predominio de los organismos de alimentación generalista (Dayton & Hessler 1972); la distribución en parches en áreas orgánicamente enriquecidas; la ocurrencia de eventos de perturbación en pequeña escala y la falta de barreras para la dispersión entre grupos taxonómicos (Grassle & Morse-Porteous 1987). En los lugares donde los organismos se alimentan de detrito depositado en abundancia se ha reconocido que aquellos que se alimentan por filtración son escasos (Gross 1990).

La comunidad infaunal utiliza en gran medida el carbono orgánico particulado (COP) de origen fotoautotrófico que convierte a su vez en tejido, el cual constituye el alimento para peces demersales e invertebrados de importancia comercial para el hombre como, por ejemplo, los crustáceos, moluscos y equinodermos (McLusky & McIntyre 1988; Longhurst & Pauly 1987). Provee también sustancias xenobióticas remineralizadas por bacterias en el sedimento, las cuales a manera de nutrientes ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{SiO}_4$ , etcétera), son transportados vía surgencias a la superficie, promoviendo la producción de fitoplancton (Edwards 1973).

Además de su importancia como alimento de organismos de consumo humano, la infauna tiene relevancia en la estimación del grado de contaminación antropogénica; ya que el enriquecimiento orgánico del sedimento, principalmente en la zona costera, tiene efectos adversos sobre la comunidad y sus cambios funcionan como indicadores del nivel de contaminación (McIntyre 1977; Andrade *et al.* 1986).

## Antecedentes

En la actualidad el estudio de las comunidades bentónicas ha sido delineado con base en los parámetros ambientales, como las propiedades físicas del sedimento de fondo (Jones 1950), biológicas (Tietjen 1984) y de acuerdo a las adaptaciones biológicas derivadas de las interacciones específicas en ambientes relativamente estables (Sanders 1968). Los cambios en la estructura de las comunidades de la infauna han sido asociados a gradientes continuos de profundidad y distancia a la costa (Sanders *et al.* 1965), la intensidad de las corrientes (Warwick & Uncles 1980), el tipo de substrato (Gray 1974), el enriquecimiento orgánico (Pearson & Rosenberg 1978) y la concentración de oxígeno (Levin *et al.* 1991), entre otros.

Con relación al abastecimiento de alimento Kojima y Ohta (1989) encontraron que en la zona noroeste del Pacífico entre 120 y 2,600 m de profundidad (noreste de Sanriky), la biomasa bentónica presenta dos zonas con patrones propios: 1) la primera comprende de la plataforma al margen continental (120 -1,750 m) y 2) la segunda abarca por debajo del declive continental (1,750 - 2,600 m) donde la biomasa decrece exponencialmente con la profundidad. Estos patrones responden a mecanismos de abastecimiento de los materiales alimenticios, por ejemplo la exportación de producción primaria de la zona eufótica y transporte horizontal.

Cosson *et al.* (1997) estudiaron la respuesta bentónica en regímenes contrastantes de suministro de carbono orgánico en zonas eutróficas y mesotróficas (1,700 y 3,100 m respectivamente). La alta densidad observada en la estación eutrófica es respuesta al elevado flujo de materia orgánica y a la profundidad relativamente baja; el decremento a casi una tercera parte en la densidad de la estación mesotrófica se relacionó con el aumento de la profundidad.

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). 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), ya que las tallas más pequeñas del bentos dependen de la cantidad y calidad de la materia orgánica del fondo.

Se han reconocido variaciones temporales y espaciales para diversas zonas del Golfo de México que se relacionan con los pulsos estacionales de producción primaria en columna de agua. Tanto los efectos de cercanía a la costa como la presencia de ríos se han vinculado a los valores más elevados de densidad y biomasa (Soto & Escobar 1995; Escobar *et al.* 1997; Perès 1982; Pace *et al.* 1984); los frentes y surgencias se han asociado a los valores menores pues se relacionan

con condiciones de anoxia en el sedimento y aguas suprayacentes (Escobar *et al.* 1999). Así mismo la materia lábil en el sedimento superficial depende de factores como la herbivoría (Valiela 1984) y la tasa de hundimiento (Wassman, 1984), lo que conlleva a que exista una variabilidad a lo largo de gradientes ambientales diversos.

Flint (1981) observó en la costa de Texas una gradación en la densidad y biomasa con respecto a la profundidad y en especial con respecto al tamaño de grano. Esta gradación produce variabilidad tanto en el recurso alimenticio como en las condiciones hidrológicas. Escobar y Soto (1997) observaron que la biomasa de la infauna en la parte oeste del Golfo de México decrece con la profundidad y distancia de la costa. La biomasa elevada en la primavera y el verano se relacionaron con la sedimentación del fitodetrito generada por el florecimiento en invierno. Hacia el mes de septiembre se da un segundo aumento en la biomasa en la parte interna y externa de la plataforma relacionado a los aportes fluviales y los frentes de río.

Otros estudios realizados sobre la infauna macrobéntica en el Golfo de México son un estudio ecológico sobre la meiofauna y macrofauna del talud de Veracruz y Tamaulipas (Gettleson 1976); los de Kennedy (1976) y Falcón (1998) en la porción suroccidental del Golfo y los trabajos de López (1996), Castañeda (1996) y Hernández (1999) sobre la macrofauna y meiofauna del margen continental, talud superior y planicie abisal de los sectores occidental y sur del Golfo de México.

La estructura comunitaria y la variación con respecto al gradiente de profundidad de la fauna bentónica del Golfo de México ha sido pobremente estudiada en comparación con otras regiones del mundo, razón por la cual resulta importante el desarrollo de este tipo de estudios para reconocer las variaciones estacionales y los impactos antropogénicos sobre estas comunidades.

## Área de estudio

El Golfo de México es uno de los mayores mares regionales, rodeado por masas continentales, se encuentra conectado con el Atlántico occidental por el estrecho de Florida al norte y con el Caribe al sur a través del canal de Yucatán, entre Cuba y la península de Yucatán. Forma parte del mar Intra-Americano (Mooers & Maul 1998).

Fisiográficamente el Golfo de México se divide en dos provincias, una terrígena al oeste y una carbonatada al este (Uchupi 1975). Antoine (1972) lo dividió en siete provincias geológicas; el área de estudio se localiza en la provincia de la Bahía de Campeche y corresponde al área este de la República Mexicana (Fig. 1).

Existen diversas masas de agua en el Golfo de México: 1) de mezcla, que ocupa los primeros 100 ó 150 m, afectada en sus características físicas y circulación por fenómenos atmosféricos; 2) agua subtropical que abarca hasta los 250 m de

con condiciones de anoxia en el sedimento y aguas suprayacentes (Escobar *et al.* 1999). Así mismo la materia lábil en el sedimento superficial depende de factores como la herbivoría (Valiela 1984) y la tasa de hundimiento (Wassman, 1984), lo que conlleva a que exista una variabilidad a lo largo de gradientes ambientales diversos.

Flint (1981) observó en la costa de Texas una gradación en la densidad y biomasa con respecto a la profundidad y en especial con respecto al tamaño de grano. Esta gradación produce variabilidad tanto en el recurso alimenticio como en las condiciones hidrológicas. Escobar y Soto (1997) observaron que la biomasa de la infauna en la parte oeste del Golfo de México decrece con la profundidad y distancia de la costa. La biomasa elevada en la primavera y el verano se relacionaron con la sedimentación del fitodetrito generada por el florecimiento en invierno. Hacia el mes de septiembre se da un segundo aumento en la biomasa en la parte interna y externa de la plataforma relacionado a los aportes fluviales y los frentes de río.

Otros estudios realizados sobre la infauna macrobéntica en el Golfo de México son un estudio ecológico sobre la meiofauna y macrofauna del talud de Veracruz y Tamaulipas (Gettleson 1976); los de Kennedy (1976) y Falcón (1998) en la porción suroccidental del Golfo y los trabajos de López (1996), Castañeda (1996) y Hernández (1999) sobre la macrofauna y meiofauna del margen continental, talud superior y planicie abisal de los sectores occidental y sur del Golfo de México.

La estructura comunitaria y la variación con respecto al gradiente de profundidad de la fauna bentónica del Golfo de México ha sido pobremente estudiada en comparación con otras regiones del mundo, razón por la cual resulta importante el desarrollo de este tipo de estudios para reconocer las variaciones estacionales y los impactos antropogénicos sobre estas comunidades.

## Área de estudio

El Golfo de México es uno de los mayores mares regionales, rodeado por masas continentales, se encuentra conectado con el Atlántico occidental por el estrecho de Florida al norte y con el Caribe al sur a través del canal de Yucatán, entre Cuba y la península de Yucatán. Forma parte del mar Intra-Americano (Mooers & Maul 1998).

Fisiográficamente el Golfo de México se divide en dos provincias, una terrígena al oeste y una carbonatada al este (Uchupi 1975). Antoine (1972) lo dividió en siete provincias geológicas; el área de estudio se localiza en la provincia de la Bahía de Campeche y corresponde al área este de la República Mexicana (Fig.1).

Existen diversas masas de agua en el Golfo de México: 1) de mezcla, que ocupa los primeros 100 ó 150 m, afectada en sus características físicas y circulación por fenómenos atmosféricos; 2) agua subtropical que abarca hasta los 250 m de

profundidad, con salinidad de 36.4 ups<sup>1</sup> en el oeste del Golfo, 3) de oxígeno mínimo hasta los 900 m de profundidad, y que en el oeste del Golfo alcanza hasta los 500 m y los 17°C. Esta es de gran importancia por la captación y distribución de nutrientes que suelen quedar atrapados en ella; 4) de agua antártica intermedia, entre los 900 hasta los 1,050 m de profundidad con salinidad de 34.86 ups y menos de 6.2°C; 5) la norteamericana profunda con un decremento paulatino en la temperatura y un ligero aumento en la salinidad y 6) el agua de fondo con 34.96 ups y 4°C a partir de una profundidad de 1,500 m (Pineda & Pica 1991).

La densidad del agua de la Bahía de Campeche presenta los valores más elevados hacia la región litoral y la formación de dos núcleos de afloramiento frente a la Isla del Carmen, Campeche (Pineda & Pica 1991). Se forma un anillo anticiclónico acompañado de giros ciclónicos; durante abril y mayo los ciclones existentes en la Bahía se originan como respuesta a la presencia de giros anticiclónicos en el oeste del Golfo (Shirazago 1991). Las condiciones locales y el viento, cuyo efecto de tensión sobre la superficie de las aguas, mantienen un área de circulación ciclónica en la Bahía, sobre todo a finales del invierno y principios de la primavera (Pineda & Pica 1991).

El incremento de aguas más oxigenadas provenientes de ríos como el Alvarado y el Coatzacoalcos ubican la oxiclina entre los 60 y 100 m de profundidad, donde se alcanza una concentración de 3.2 ml.l<sup>-1</sup> de oxígeno disuelto. La influencia del río Coatzacoalcos ha podido ser observada desde la superficie hasta los 200 m de distancia a la línea de costa (Ponce *et al.* 1991). También se relaciona a esta descarga la producción primaria de la Bahía ya que la sobreproducción de fitoplancton (1.3 gC.m<sup>-2</sup>) está especialmente restringida a estas áreas (Escobar & Soto 1997). El valor de carga estimada de producción primaria en la plataforma de la Bahía (44.8 gC.m<sup>-2</sup>.a<sup>-1</sup>) tiende a indicar oligotrofia. La fertilidad puede tener una escala de variabilidad tanto espacial como temporal, cambiando de eutrófica a oligotrófica dentro de la misma estación generada por frentes asociados a los grandes giros (Escobar & Soto 1997).

Los ríos de mayor aporte fluvial al Golfo de México son: el Mississippi, el Colorado, el Bravo, Purificación, Tecolutla, Grijalva, Candelaria; y en la zona específica de estudio podemos citar los ríos Coatzacoalcos y Alvarado (Pica & Pineda 1991).

En el Golfo de México, el contenido de sólidos totales y de material orgánico suspendido (MOS) es abundante sobre la plataforma continental, presenta valores de 54.6%, en aguas superficiales de mar abierto posee valores cercanos al 49.5%. El

<sup>1</sup> ups= unidades prácticas de salinidad

contenido decrece más allá de los 100 m de profundidad, siendo del 22.7% (Ponce *et al.* 1991).

El presente estudio se llevó a cabo en la Bahía de Campeche entre los 18° 38' y 21° 00' de latitud norte y 94° 27' y 96° 65' de longitud oeste a lo largo de un gradiente batimétrico entre los 30 y los 2,230 m (Fig.1). La Bahía de Campeche se encuentra al oeste del Banco de Campeche y es considerada por Antoine (1972) como una extensión de la cuenca Tabasco-Campeche. La plataforma y talud continental del sur de Veracruz y parte de Campeche se encuentran en esta bahía; la primera termina entre los 110 y 130 km frente a Punta Frontera, el segundo presenta domos salinos que se orientan en dirección al centro del Golfo de México. La plataforma en la zona este de México se angosta en su trayectoria hacia el sur, donde el talud es disectado por valles submarinos que configuran un relieve irregular. La Bahía de Campeche presenta arenas limosas terrígenas cercanas a la costa, arenas gruesas terrígenas y lodos terrígenos hacia la zona central del Golfo; existe un contenido de carbonatos <25 % en la zona costera y entre un 25 y 50% hacia la zona central del Golfo; la zona del este de México está dominada por lodos terrígenos y un contenido de carbonato menor a 25% (Pica & Pineda 1991).

El ecosistema de la plataforma de la Bahía de Campeche está modulado por dos periodos climáticos en el año: el de lluvias y el de secas. Hay un incremento significativo de la biomasa de la infauna durante la estación de lluvias atribuido a la producción primaria depositada antes de su inicio. Aunque durante las tormentas de invierno la inestabilidad del sedimento en el interior de la plataforma causa una reducción en la biomasa de la infauna  $0.42 \pm 0.26 \text{ gC.m}^{-2}$  (Escobar & Soto 1997). Estos valores bajos son así mismo atribuidos a la cantidad reducida de materia orgánica restante para esta época del año.

La piconclina ubicada a <20m restringe el uso de nutrientes y obstaculiza el flujo de materia orgánica particulada (MOP) por debajo de la capa eufótica. El modelo trófico descrito por Escobar & Soto (1997) considera que el carbono orgánico particulado (COP) contribuye de manera significativa a los valores bajos de biomasa béntica y la baja disponibilidad de nitrógeno a la reducida producción primaria reconocida ( $2.7 \text{ gC.m}^{-2}$ ) en esta área (Soto & Escobar 1995).

Los ríos Coatzacoalcos y Alvarado se constituyen como una fuente importante de COP y descargas antropogénicas, e influye las zonas inmediatas a sus desembocaduras (Ponce *et al.* 1991). Por consiguiente, la dinámica compleja en el área de estudio requiere de la descripción detallada de los parámetros que influyen sobre la infauna a lo largo del gradiente batimétrico y de la distancia a la costa. Los estudios que contemplan el cambio en el plano espacial de gran escala (plataforma, margen, talud continental y zona abisal) son limitados, razón por la cual el presente estudio pretende contribuir con este conocimiento del suroeste del Golfo de México.

## **Hipótesis**

Los valores de densidad y biomasa de la infauna macrobéntica disminuyen en el gradiente batimétrico, esto es atribuido a que el aporte potencial de la materia orgánica disminuye de la plataforma y margen continental hacia la zona abisal.

## **Objetivo**

Describir el patrón de distribución de la densidad y biomasa de la infauna macrobéntica a lo largo del gradiente batimétrico en el suroeste del Golfo de México.

## **Metas**

- Proponer la zonación para el área de estudio con base en los factores ambientales de temperatura, profundidad, salinidad de fondo, tamaño de grano y contenido de materia orgánica en el sedimento superficial.
- Describir los principales componentes faunísticos de la infauna macrobéntica.
- Caracterizar el patrón de variación espacial a partir de la composición al nivel de filo.
- Establecer los patrones batimétrico y de distribución espacial de la densidad y la biomasa.
- Reconocer el efecto de los factores ambientales sobre el patrón de distribución de la densidad y la biomasa.

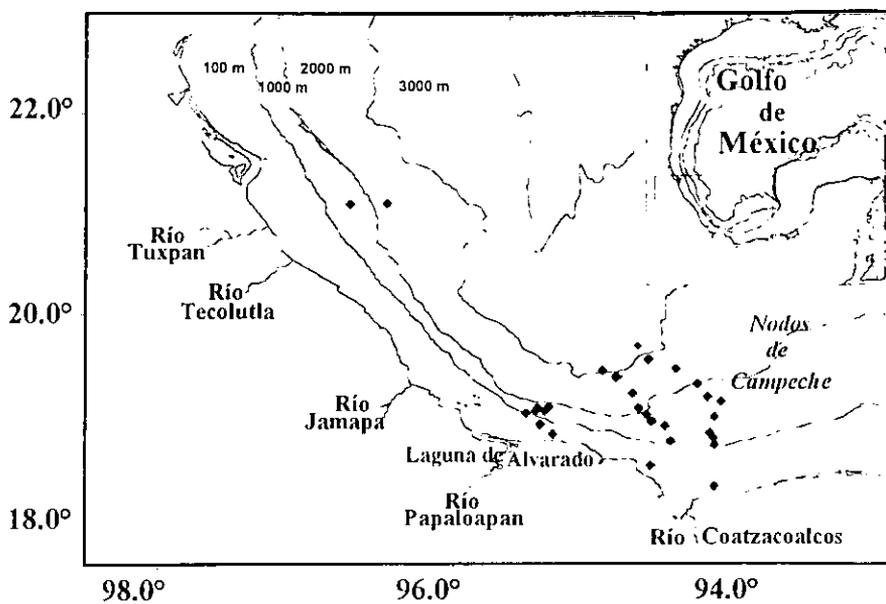


Fig. 1 Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo de la campaña oceanográfica OGMEX-XVI.

## Material y Método

### 1. Trabajo de campo

El material de estudio se recolectó en septiembre de 1997 durante la Campaña Oceanográfica OGMEX-XVI a bordo del B/O *Justo Sierra*. Las 29 estaciones de muestreo se ubicaron a lo largo de cuatro transectos (T) perpendiculares a la costa en un gradiente batimétrico entre los 21 y los 2,230 m (Fig. 1) en el área comprendida entre Coatzacoalcos Veracruz y Tuxpan; entre los 18° 38' y 21° 00' de latitud norte y los 94° 27' y 96° 65' de longitud oeste. Los transectos se ubicaron frente al río Coatzacoalcos (T1); frente a Punta San Juan (T2); frente a la laguna y boca de Alvarado (T3) y frente al río Tuxpan (T4).

En cada una de las localidades de muestreo se registraron la temperatura y salinidad de la columna de agua con una sonda CTD (*General Oceanics Mark III WOOCE*). El sedimento superficial se recolectó con un nucleador de caja US-NEL (0.16m<sup>2</sup> de área) submuestreando a la vez éste para obtener material para el análisis del tamaño del grano, contenido de nitrógeno y de carbono orgánicos en el sedimento superficial.

La infauna macrobéntica se obtuvo por submuestreo con tres réplicas en cada localidad con un área de 0.040 m<sup>2</sup> en los 10 cm superiores del sedimento, esta área se constituyó como una unidad que se pudo comparar con las de estudios sobre la densidad y biomasa en el océano mundial; posteriormente se llevo a 1 m<sup>2</sup>. Por separado cada réplica se tamizó a través de mallas con 1 mm, 0.5 mm y 0.25 mm de abertura de poro. Los organismos retenidos en el tamiz de 1 mm se preservaron con etanol en frascos etiquetados. El resto del sedimento retenido en los tres tamices se colocó en bolsas de plástico etiquetadas y fue fijado con solución de formaldehído al 10% y Rosa de Bengala como tinción vital.

### 2. Trabajo de gabinete

El análisis granulométrico del sedimento superficial se realizó pesando una porción de éste ( $\pm 100$  gr) y secándolo a 60°C para después rehidratarlo y tamizarlo a través de una malla de abertura de poro de 4 *phi* ( $\phi$ ), éste se volvió a secar para reconocer las proporciones de lodo y arenas a partir de la diferencia en peso reconocida con el peso seco inicial de cada muestra. Las determinaciones de nitrógeno y carbono orgánico elemental requirieron de 3 mg de sedimento seco a 60°C y acidificación con solución 0.3N de HCl. La muestra se calcinó por triplicado (1,040°C) en presencia de oxígeno en viales de latón, en un analizador elemental Carlo Erba, modelo 1106. La

calibración se hizo con soluciones estándar de acetanilido y blancos y se expresó en porcentaje del peso seco de sedimento. El contenido de materia orgánica se realizó de acuerdo con el procedimiento y constantes de conversión de Stetson & Trask (1953).

En el laboratorio las muestras se enjuagaron con agua corriente para quitar el exceso de formaldehído y se filtraron a través de un tamiz de abertura de poro de 125  $\mu\text{m}$  para eliminar el sedimento más fino. Ya enjuagadas, se revisó el sedimento bajo un microscopio estereoscópico y se clasificó a los organismos encontrados en grandes grupos (filo, subfilo, clase, orden e infraorden), basados en la clasificación propuesta por Brusca & Brusca (1990). Los organismos se cuantificaron (abundancia) y se pesaron en una balanza analítica Sartorius, modelo H160 (0.001g de precisión), para obtener los valores de peso húmedo fijado (phf). El peso de los organismos, que por su pequeño tamaño no fue registrado por la balanza, se consideró sobre la base de los valores de biomasa propuestos por Gettleson (1976). Los organismos se conservaron separados por taxón en viales de vidrio rotulados y preparados con etanol al 70%, cada uno se identificó al nivel taxonómico más específico posible. La información obtenida se registró en bitácoras de laboratorio y se integró en una base de datos correspondiente a la campaña oceanográfica.

La densidad se calculó a partir de los valores de abundancia (de un área inicial de 0.040  $\text{m}^2$ ) para cada taxon por réplica y se expresó como  $\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ . La biomasa se obtuvo transformando los valores de phf a biomasa como carbono orgánico y fue expresada en unidades de  $\text{mgC}$  con base en las constantes propuestas por Rowe (1983) para componentes de la macrofauna. Se realizaron cuadros de resultados con los datos obtenidos para la riqueza de taxones, la abundancia, la densidad ( $\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ) y la biomasa ( $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}$ ).

Por medio de un análisis de agrupamiento de *unión total y distancia euclidiana*, para todas las localidades y por transecto, se reconocieron cinco zonas en el gradiente batimétrico.

Estas zonas fueron la base para la elaboración de gráficas e interpretación de las tendencias batimétricas del promedio y desviación estándar de los parámetros ambientales, de la densidad y de la biomasa.

La validación de las agrupaciones se realizó graficando los factores determinantes en un diagrama de ordenación que permitió apreciar la separación de cada grupo conforme las estrategias de validación propuestas por Legendre & Legendre (1998). La validación permitió que los grupos reconocidos por este análisis de clasificación fueran considerados como zonas batimétricas.

Los datos de densidad y biomasa se transformaron siguiendo los criterios propuestos por Legendre & Legendre (1998) en  $\log$ ,  $\log(n+1)$ ,  $\ln$  y raíz cuadrada,

buscando un mejor ajuste de acuerdo a la zonación existente; dichos ajustes no mostraron diferencia alguna con los datos originales, por lo que se utilizaron éstos mismos para los análisis realizados. Un análisis de correlación múltiple se aplicó para establecer el grado de vinculación entre las variables y entre éstas y la densidad y la biomasa.

Se realizó un análisis de varianza para detectar la presencia de diferencias significativas entre los valores encontrados por zonas y transectos.

Los datos obtenidos se analizaron en forma comparativa con registros para el océano mundial y el Golfo de México. Este análisis se basó en la zonación de éste estudio para compararlo con la región de la Bahía de Campeche.

## Resultados

### Zonación

Las 29 localidades se agruparon en tres grandes grupos a una línea de corte de 1000 (Fig. 2a). El primer grupo incluyó las estaciones ubicadas en la plataforma continental y el talud (hasta los 600 m de profundidad); el segundo grupo abarcó las estaciones del talud continental (a más de 600 m de profundidad) y el tercer grupo las estaciones de la zona de elevación continental y la planicie abisal (a más de 1500 m de profundidad).

A la vez, a una línea de corte de 500, cada grupo se subdividió reconociéndose un total de cinco subgrupos:

- Primer subgrupo o zona I entre los 21 y los 214 m de profundidad en la plataforma y margen continental (estaciones 2, 3, 4, 19, 22, 23, 24, 25, 26, 28);
- Segundo subgrupo o zona II entre los 302 y 600 m de profundidad en la transición entre el margen continental y el talud (estaciones 5, 6, 7, 18, 27, 29 y 33);
- Tercer subgrupo o zona III entre los 818 y 1,059 m de profundidad en el talud continental medio (estaciones 8, 9, 16, 17 y 30)
- Cuarto subgrupo o zona IV entre los 1,265 y 1,478 m de profundidad en el talud continental inferior (estaciones 10, 15 y 32);
- Quinto subgrupo o zona V entre los 1,820 y 2,230 m de profundidad en la elevación continental y la planicie abisal superior (estaciones 11, 12, 13 y 14).

Estos grupos se designarán de aquí en adelante con sus siglas (Cuadro 3). Con base en esta zonación se interpretaron las tendencias de la densidad y la biomasa. Al graficar los factores principales en un diagrama de ordenación se pudo constatar la agrupación de las estaciones (Fig 2b).

### Parámetros ambientales

**Profundidad.** La profundidad de las estaciones varió de 21 a 2,230m. Las estaciones más profundas se encontraron entre los 19° 22' y los 19° 34' de longitud oeste (estaciones 13 y 12 respectivamente, zona V) y las más someras entre los 18° 27' y los 18° 50' de latitud norte (estaciones 24 y 23 respectivamente, zona I)

**Temperatura.** La temperatura de fondo disminuyó con el incremento de profundidad de 29°C a 5°C (Fig. 3a). Existe una correlación inversa entre ambos factores ( $r=0.94$ ,  $p=0.0000$ ). Las temperaturas más elevadas se ubicaron en las localidades menores a los 45 m de profundidad (estaciones 24, 23 y 2). La isoterma de los 10°C se reconoció a partir de los 47 m de profundidad, la isoterma de los 5°C se reconoció a partir de los 1,000 m de profundidad (Cuadro 1).

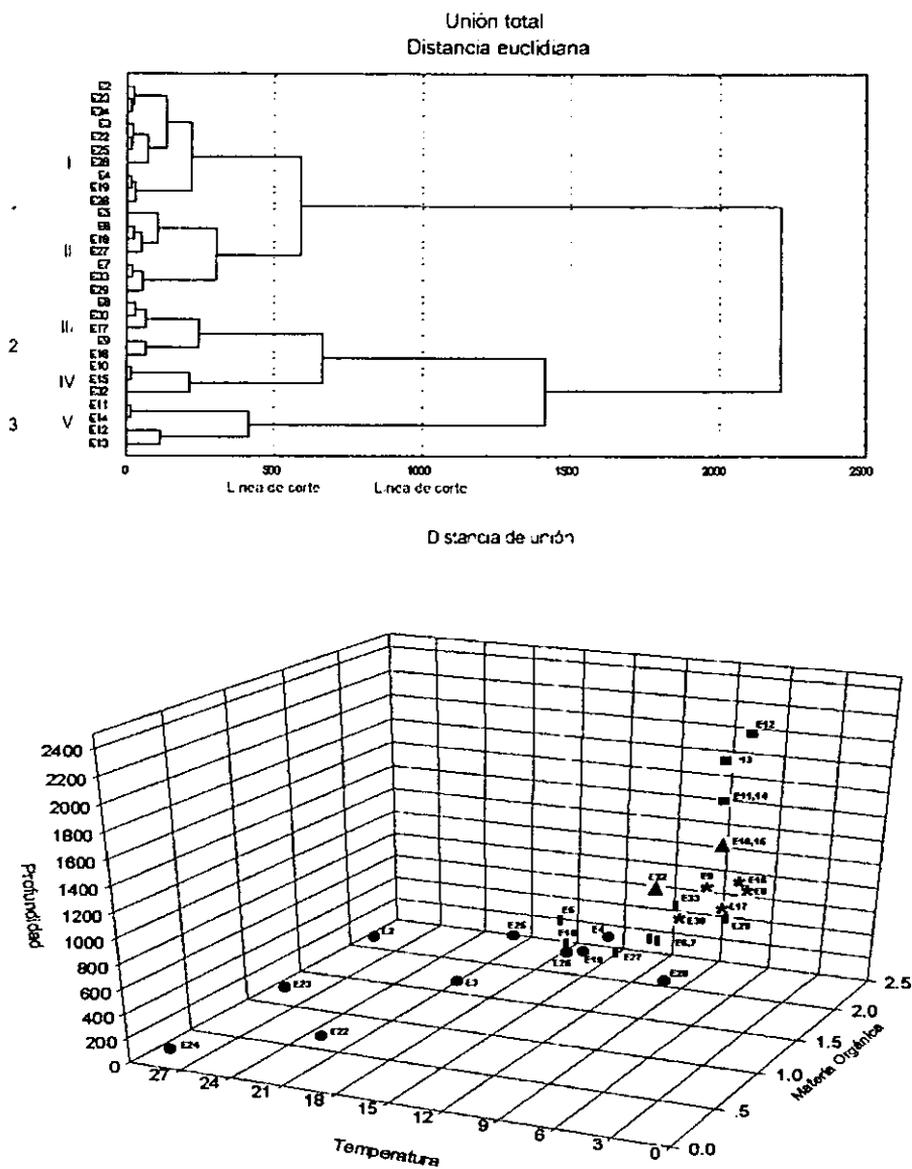


Fig. 2 a) Análisis de agrupamiento de las localidades del cruceo OGMEX-XVI; b) diagrama de validación de las zonas reconocidas en el análisis de agrupamiento. Simbología: ● zona I; ■ zona II; ★ zona III; ▲ zona IV; ■ zona V.

**Salinidad.** La salinidad promedio de fondo aumentó de la zona de plataforma-margen continental (I) (35.28 ups) a la zona de transición margen continental-talud superior (II)(35.59) disminuyendo con el incremento de profundidad (Fig. 3b). A partir de la temperatura y la salinidad se reconocieron cinco masas de agua en el área de estudio (Fig. 3c): 1) la capa superficial o de mezcla, con una salinidad que va de los 36 a los 35.6 ups y una temperatura de entre 18 y 26 °C, presentándose entre los 21 y 116 m de profundidad; 2) la capa de agua subtropical subsuperficial, con una salinidad de los 36.7 a los 36.4 ups y una temperatura de 17 °C, se presentó entre 185 y 380 m de profundidad; 3) la capa de mínimo oxígeno, con una salinidad de 36 a 35 ups y una temperatura entre los 18 y 6 °C, presentándose entre los 390 y 700 m de profundidad; 4) la capa de agua antártica intermedia, con una salinidad que va de los 34.89 a 34.86 ups y una temperatura menor a los 6°C, presentándose entre los 800 y los 900 m de profundidad y 5) la capa de agua profunda norteamericana, con una salinidad de 34.96 ups y una temperatura menor o igual a 5 °C, presentándose a más de 1,000 m de profundidad.

**Porcentaje de carbono.** El contenido de carbono orgánico en el sedimento superficial varió de 0.1 a 2.6% (Cuadro 1). La concentración menor se presentó a 21 m de profundidad (estación 24, zona I) y la mayor a 102 m de profundidad (estación 25, zona I). No se presentó una correlación significativa entre ambos factores. Se observó un incremento en el porcentaje de carbono orgánico con el aumento de la profundidad; este incremento también se presentó relacionado a una mayor concentración en el porcentaje de lodos.

**Porcentaje de nitrógeno.** El contenido de nitrógeno orgánico en el sedimento superficial varió de 0.01 a 0.15% (Cuadro 1). La concentración menor se presentó a 21 m de profundidad (estación 24) y la mayor entre 106 y 550 m de profundidad; zonas de plataforma-margen continental (I) y zona de transición margen continental-talud superior (II). La concentración de nitrógeno orgánico no presentó una correlación significativa con la profundidad. Se observó un aumento de 0.11 a 0.13 %, en el porcentaje promedio de nitrógeno orgánico hacia la zona de transición margen continental-talud superior (II), disminuyendo a 0.09 % con el incremento de la profundidad y aumentando ligeramente a 0.10 % en la zona más profunda (Fig. 3d). Esta tendencia también se relacionó a una mayor concentración (86 %) en el porcentaje de lodos.

**Tamaño de grano.** Con respecto a los valores promedio del sedimento, por zonas, el tamaño de grano estuvo dominado por lodos (86 %) en las localidades del talud medio (III); entre los 818 y los 1,059 m de profundidad. La zona de plataforma-margen continental (I), entre los 21 y 214 m de profundidad, presentó el menor porcentaje promedio de lodos (67 %); las tres zonas restantes variaron su porcentaje

de lodos entre el 76 y 80 % (Fig. 4a).

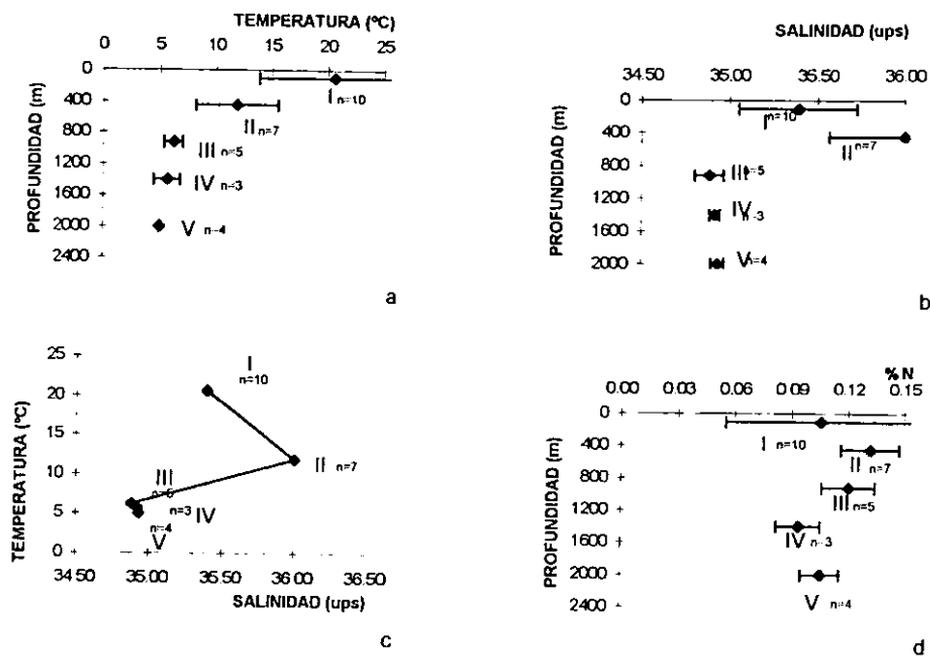


Fig. 3 Variación a lo largo del gradiente batimétrico de: a) la temperatura de fondo; b) la salinidad de fondo; c) la salinidad con relación a la temperatura de fondo; d) el contenido de nitrógeno orgánico en el sedimento superficial.

E	n	Transecto	Latitud (N)	Longitud (W)	Prof. (m)	Temp. (°C)	Lodos (%)	Arenas (%)	Salinidad (ups)	C (%)	N (%)	M.O. (%)	Zona batimétrica
2	3	1	18° 38'	94° 27'	44	29	2	98	36.08	1.3	0.14	2.1	I
3	3	1	18° 96'	94° 27'	106	21	78	22	36.29	1.3	0.15	2.3	I
4	3	1	18° 68'	94° 27'	200	15	91	9	36.17	1.4	0.15	2.3	I
5	3	1	18° 73'	94° 28'	302	18	45	55	36.24	1.3	0.15	2.3	II
6	3	1	18° 73'	94° 32'	400	11	71	29	36.16	1.6	0.13	2.0	II
7	3	1	18° 96'	94° 27'	550	11	88	12	35.70	1.3	0.15	2.3	II
8	3	1	19° 13'	94° 32'	854	6	87	13	36.50	1.6	0.14	2.1	III
9	3	1	19° 28'	94° 40'	1,000	7	96	4	35.77	1.5	0.12	1.8	III
10	3	1	19° 04'	94° 47'	1,478	5	74	26	35.55	2.0	0.10	1.5	IV
11	3	1	19° 05'	94° 63'	1,820	5	77	23	35.53	2.1	0.10	1.5	V
12	3	1	19° 62'	94° 77'	2,230	5	70	30	35.60	1.5	0.12	1.8	V
13	3	2	19° 38'	95° 00'	2,120	5	93	7	35.19	2.2	0.10	1.5	V
14	3	2	19° 36'	94° 85'	1,830	5	65	35	35.53	1.5	0.10	1.5	V
15	3	2	19° 02'	94° 77'	1,470	5	66	34	35.25	1.3	0.10	1.5	IV
16	3	2	18° 98'	94° 73'	1,059	5	74	26	35.00	1.2	0.12	1.8	III
17	3	2	18° 92'	94° 70'	818	6	96	4	34.95	1.3	0.12	1.8	III
18	3	2	18° 82'	94° 70'	381	15	81	19	36.20	1.5	0.12	1.8	II
19	3	2	18° 76'	94° 70'	214	15	97	3	34.97	1.9	0.13	2.0	I
22	3	2	18° 66'	94° 06'	116	22	96	4	34.90	0.2	0.03	0.5	I
23	3	3	18° 45'	94° 72'	25	29	14	86	34.90	1.1	0.08	1.2	I
24	3	3	18° 83'	94° 87'	21	29	2	98	34.90	0.1	0.01	0.2	I
25	3	3	18° 96'	95° 52'	102	20	96	4	34.75	2.6	0.10	1.5	I
26	3	3	19° 02'	95° 48'	185	16	98	2	34.95	2.3	0.13	2.0	I
27	3	3	19° 06'	95° 48'	352	12	80	20	34.90	1.4	0.12	1.8	II
28	3	3	18° 83'	95° 47'	47	10	96	4	34.90	1.1	0.13	2.0	I
29	3	3	19° 00'	95° 45'	600	7	97	3	34.96	2.5	0.14	2.1	II
30	3	3	19° 08'	95° 38'	878	7	76	24	34.90	2.4	0.10	1.5	III
32	3	4	21° 00'	96° 47'	1,265	7	91	9	34.90	1.8	0.08	1.2	IV
33	3	4	21° 00'	96° 65'	564	9	96	4	34.97	0.9	0.11	1.7	II

Cuadro 1. Ubicación de las estaciones de muestreo y características ambientales por estación. Abreviaturas. E: Estación de muestreo; n: número de réplicas; Prof: profundidad; Temp: temperatura de fondo; % N: Nitrógeno orgánico; % C: Carbono orgánico; M.O.: contenido de materia orgánica en sedimento superficial.

## Estructura de la comunidad

**Composición taxonómica.** Se reconocieron 18 taxones agrupados en cinco filos (Cuadro 2). En virtud de la dificultad de identificar a los organismos hasta nivel específico sólo fue posible identificarlos en dos infraordenes (Thalassinidea y Brachyura), siete ordenes (Acari, Cumacea, Mysida, Tanaidacea, Isopoda, Amphipoda y Decapoda), cuatro subclases (Aracnida, Ostracoda, Copepoda y Eumalacostraca), siete clases (Sipunculida, Aplacophora, Gastropoda, Bivalvia, Scaphopoda, Polychaeta y Oligochaeta) y un filo (Nematoda).

Filo	Subfilo	Clase	Subclase	Superorden	Orden	Suborden	Infraorden	Nombre común
Nematoda								1. Nemátodo
Sipuncula		Sipunculida						2. Sipuncúlido
Mollusca		Aplacophora						3. Aplacóforo
		Gastropoda						4. Gasterópodo
Annelida		Bivalvia						5. Bivalvo
		Scaphopoda						6. Escafópodo
Arthropoda	Chelicerata	Polychaeta						7. Poliqueto
		Oligochaeta						8. Oligoqueto
		Chelicerata	Aracnida		Acari			9. Acaro
		Maxillopoda	Ostracoda					10. Ostrácodo
	Crustacea		Copepoda					11. Copépodo
		Malacostraca	Eumalacostraca	Peracarida				12. Cumáceo
					Cumacea			13. Misidáceo
					Mysida			14. Tanaidáceo
					Tanaidacea			15. Isópodo
					Isopoda			16. Anfípodo
					Amphipoda			17. Talasínido
					Decapoda	Pleocyemata	Thalassinidea	18. Leucócido
							Brachyura	

Cuadro 2. Riqueza taxonómica de los organismos presentes en las estaciones de muestreo. (Clasificación según Brusca & Brusca, 1990)

La riqueza taxonómica mayor, al nivel de filo, se presentó en la estación 24 (16 taxones) a 21 m de profundidad. La menor se reconoció en diferentes localidades ubicadas en las zonas de plataforma-margen continental (I) y transición margen continental-talud superior (II) a profundidades entre los 102 y 354 m (cuatro taxones). Las demás estaciones oscilaron entre cinco y 15 taxones (Cuadro 3).

El número de taxones no presentó, en promedio, variación con relación al incremento en la profundidad, a excepción de la zona de transición margen continental-talud superior (II) la cual presentó una disminución, de ocho taxones, con respecto a la zona de plataforma-margen continental (I), de 10 taxones (Fig. 4b). Esta relación también se mantuvo con la disminución de la temperatura (Fig. 4c) y la salinidad.

E	n	Prof. (m)	Zona Batimétrica	Transecto	Núm. Taxa	Densidad (ind.m <sup>-2</sup> )		Biomasa (mgC.m <sup>-2</sup> )	
						$\bar{x}$	(d.e.)	$\bar{x}$	(d.e.)
2	3	44	I	1	15	10508	(10739)	140	(12)
3	3	106	I	1	10	1814	(223)	140	(25)
4	3	200	I	1	10	939	(95)	30	(3)
19	3	214	I	2	5	222	(44)	70	(13)
22	3	116	I	2	8	1319	(133)	20	(4)
23	3	25	I	2	14	7814	(835)	50	(6)
24	3	21	I	3	16	19903	(2175)	20	(1)
25	3	102	I	3	4	1683	(264)	40	(5)
26	3	185	I	3	4	936	(149)	20	(3)
28	3	47	I	3	8	1142	(130)	10	(1)
<b>Promedio Zona I</b>						<b>4628</b>	<b>(6363)</b>	<b>(160)</b>	<b>(30)</b>
5	3	302	II	1	7	1142	(138)	10	(1)
6	3	400	II	1	8	1067	(107)	20	(2)
7	3	550	II	1	10	1208	(125)	10	(1)
18	3	381	II	2	6	483	(67)	30	(3)
27	3	354	II	3	4	461	(59)	10	(1)
29	3	600	II	3	11	1722	(197)	90	(16)
33	3	564	II	4	11	1269	(144)	10	(2)
<b>Promedio Zona II</b>						<b>1050</b>	<b>(448)</b>	<b>80</b>	<b>(100)</b>
8	3	854	III	1	13	1531	(146)	10	(1)
9	3	1,000	III	1	12	1383	(150)	20	(2)
16	3	1,059	III	2	8	1986	(385)	1010	(197)
17	3	818	III	2	12	2053	(192)	150	(13)
30	3	878	III	3	9	2314	(294)	20	(3)
<b>Promedio Zona III</b>						<b>1853</b>	<b>(386)</b>	<b>90</b>	<b>(130)</b>
10	3	1,478	IV	1	9	1461	(183)	10	(2)
15	3	1,470	IV	2	10	2475	(263)	20	(5)
32	3	1,265	IV	4	8	225	(21)	100	(19)
<b>Promedio Zona IV</b>						<b>1387</b>	<b>(1127)</b>	<b>20</b>	<b>(10)</b>
11	3	1,820	V	1	8	1058	(147)	310	(64)
12	3	2,230	V	1	10	947	(104)	320	(64)
13	3	2,120	V	2	10	1478	(171)	10	(1)
14	3	1,830	V	2	8	1194	(123)	70	(13)
<b>Promedio Zona V</b>						<b>1169</b>	<b>(229)</b>	<b>10</b>	<b>(5)</b>

Cuadro 3. Valores promedio ( $\bar{x}$ ) de número de taxa, densidad (ind.m<sup>-2</sup>) y biomasa (mgC.m<sup>-2</sup>) para cada una de las estaciones (E) de la campaña OGMEX -XVI. Abreviaturas. d.e.: Desviación estándar, n= número de réplicas, prof.= profundidad.

Con relación a los factores de por ciento de lodos, de carbono orgánico y de nitrógeno orgánico presentes en el sedimento superficial se observó en todos ellos una ligera disminución del número de taxones con el incremento de cada factor. En los tres casos la zona de talud medio (III) presentó los valores mayores (11) en el número de taxones, mientras que la zona de transición margen continental-talud superior (II) presentó los menores (8) (Fig. 4d). El número de taxones no mostró correlación significativa alguna con estos factores.

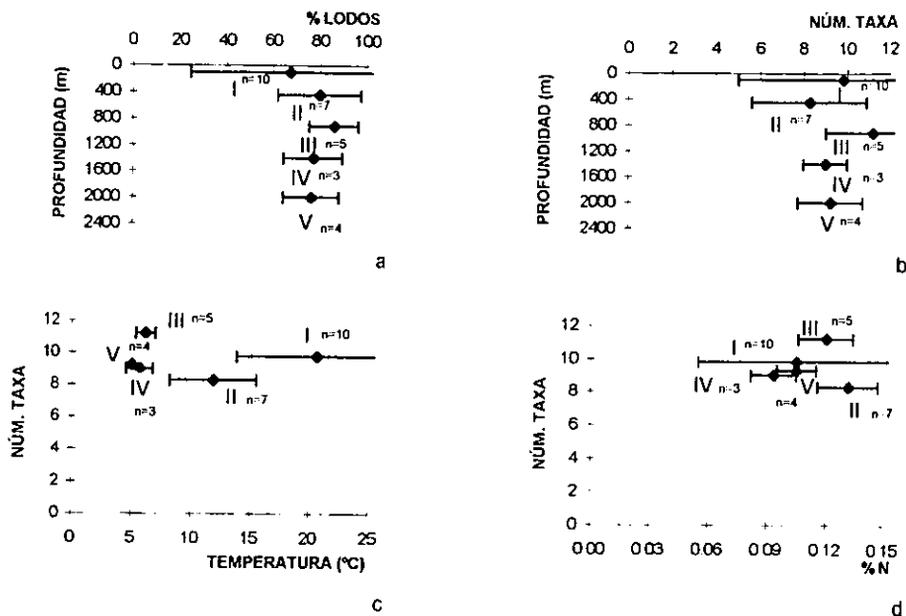


Fig. 4 Variación a lo largo del gradiente batimétrico de: a) el porcentaje de lodos en el sedimento superficial; b) del número de taxa a nivel Phylum; c) relación de la temperatura de fondo y el número de taxa; d) el porcentaje de lodos en el sedimento superficial y el número de taxa.

**Densidad.** La densidad de la macrofauna varió de  $19,903 \pm 2,175 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$  a 21 m de profundidad (estación 24, zona I), frente a la laguna y boca de Alvarado, hasta  $222 \pm 44 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$  a 214 m de profundidad (estación 19, zona I) frente a Punta San Juan (Cuadro 3). La tendencia de la densidad fue a disminuir con el incremento de la profundidad, los valores promedio más altos por zona ( $4,628 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ) se reconocieron en la zona de plataforma-margen continental (I) y fueron 3.4 veces mayores a los de las demás zonas en conjunto (Cuadro 4). Así mismo esta zona mostró la variabilidad mayor. Se apreció un incremento ligero hacia la zona del talud medio (III) ( $\bar{x} 1,853 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ) (Fig. 5a). Este mismo patrón se apreció con relación a temperatura menor (Fig. 5b) y con el incremento de la salinidad.

n	Zona Batimétrica	Transecto	Densidad promedio (Ind.m <sup>-2</sup> )	Moluscos (%)	Nemátodos (%)	Sipuncúlidos (%)	Anélidos (%)	Artrópodos (%)
10	I	1	4628	1	23	3	33	40
		2		3	9	3	39	47
		3		1	17	1	31	50
7	II	1	1050	0	19	2	37	42
		2		0	26	0	16	58
		3		0	23	1	41	35
		4		3	18	1	46	32
5	III	1	1853	1	27	2	35	34
		2		1	15	1	20	62
		3		0	22	1	53	24
3	IV	1	1387	1	16	0	20	64
		2		2	17	2	23	58
		4		0	23	7	21	48
4	V	1	1169	2	16	3	17	62
		2		2	25	3	23	47

Cuadro 4. Porcentaje que representan los grupos taxonómicos identificados con respecto a la densidad de cada una de las zonas batimétricas y en cada uno de los transectos. Abreviaturas: n= Número de estaciones que conforman a cada zona.

Para cada una de las zonas reconocidas se encontraron diferencias significativas entre transectos para las zonas de plataforma-margen continental (I) [ H ( 9, N= 30) = 24.81 p = 0.003] y talud inferior (IV) [ H ( 2, N= 9) = 5.95 p = 0.05]. Así mismo, se presentaron diferencias significativas en el transecto 1, frente al río Coatzacoalcos, entre las zonas de talud inferior (IV) y elevación continental-planicie abisal superior (V) [ H (1, N = 9) = 4.26 p = 0.03]; en el transecto 2, frente a Punta San Juan, entre las zonas de transición margen continental-talud superior (II) y talud medio (III) [ H ( 1, N = 9) = 5.40 p = 0.02]; entre las zonas de transición margen continental-talud superior (II) y talud inferior (IV) [ H ( 1, N=6) = 3.85 p = 0.04]; las zonas de transición margen continental-talud superior (II) y elevación continental-planicie abisal superior (V) [ H (1, N = 9) = 5.40 p = 0.02] y entre las zonas de talud

inferior (IV) y elevación continental-planicie abisal superior (V) [H (1, N = 9) = 3.26 p = 0.07].

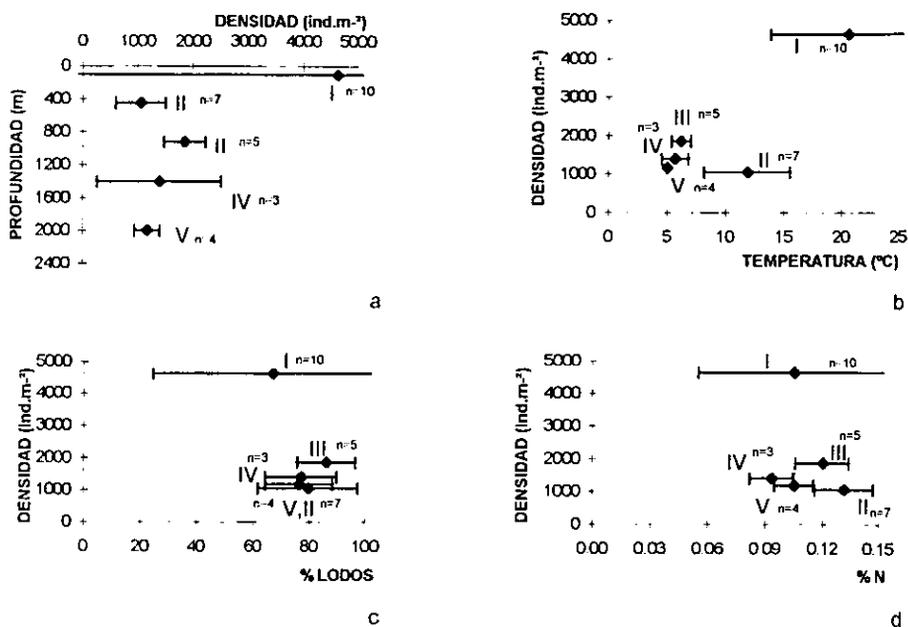


Fig. 5 Variación de la densidad promedio: a) a lo largo del gradiente batimétrico; b) con la temperatura de fondo; c) con el porcentaje de lodos presente en el sedimento superficial; d) el contenido de nitrógeno orgánico en el sedimento superficial.

En la zona de plataforma-margen continental (I) la densidad promedio fue significativamente más elevada conforme disminuía la concentración de lodos con valores tres veces más elevados a los observados en las cuatro zonas restantes (Fig. 5c; Cuadro 4). Así mismo, la mayor densidad se asoció a un bajo porcentaje de carbono orgánico y de nitrógeno orgánico en el sedimento superficial en la zona de plataforma-margen continental (I) (Fig. 5d). Estos parámetros no presentaron una correlación significativa con la densidad.

La densidad estuvo dominada en las cinco zonas batimétricas por el filo Arthropoda (40 a 57 %), seguido por el filo Annelida (20 a 36 %) y por el filo Nematoda (16 a 22 %). Estos tres grupos taxonómicos aportaron más del 90% de la densidad total en cada zona. Véase que los artrópodos siempre contribuyeron con menos del 50 % en las primeras tres zonas, mientras que en las zonas IV y V excedieron el 50 %, principalmente representados por peracáridos. Los anélidos poliquetos siempre tuvieron una densidad mayor a los nemátodos en las zonas I a III, mientras que en las zona IV y V contribuyeron en proporción similar. Las zonas II, III y IV tienen una menor contribución de organismos del filo Mollusca (Fig. 6a; Cuadro 4).

En los transectos se observaron variaciones pequeñas en la proporción promedio con la cual contribuyó cada filo en cada zona batimétrica. La zona de plataforma-margen continental (I) se encontró dominada en los tres transectos por el filo Arthropoda (40 a 50 %), la proporción fue menor frente al río Coatzacoalcos (T1) y mayor frente a la laguna y boca de Alvarado (T3), seguida por el filo Annelida (31 a 39 %), la proporción más baja de anélidos se reconoció frente a la laguna y boca de Alvarado (T3) (Fig. 6b).

La densidad en la zona de transición margen continental-talud superior (II) mostró dos patrones: frente a la laguna y boca de Alvarado (T3) y el río Tuxpan (T4) ésta estuvo dominada por organismos del filo Annelida (41 a 46%), seguidos por los del filo Arthropoda (35 a 32%); mientras que en los transectos 1 y 2, frente a Coatzacoalcos y Punta San Juan, respectivamente, dominó el filo Arthropoda (58 a 42%). En el primer transecto le siguió el filo Annelida (37%) mientras que en el segundo transecto siguió el filo Nematoda (26%) (Cuadro 4). Los transectos 1, 2 y 3 de esta zona de transición margen continental-talud superior (II) no presentaron organismos del filo Mollusca; en el transecto 2 estuvieron ausentes inclusive organismos del filo Sipunculida (Fig. 6c). En la zona del talud medio (III) tanto en el transecto 1, frente al río Coatzacoalcos, como en el transecto 3, frente a la Laguna y boca de Alvarado, el filo Annelida (35 y 53%) sobrepasó la densidad del filo Arthropoda (34 y 24%). Los artrópodos fueron significativamente dominantes en el transecto 2, frente a Punta San Juan, con valores tres veces mayores a los

Observados para los anélidos. Los moluscos estuvieron ausentes frente a la laguna de Alvarado (T3) (Fig. 6d).

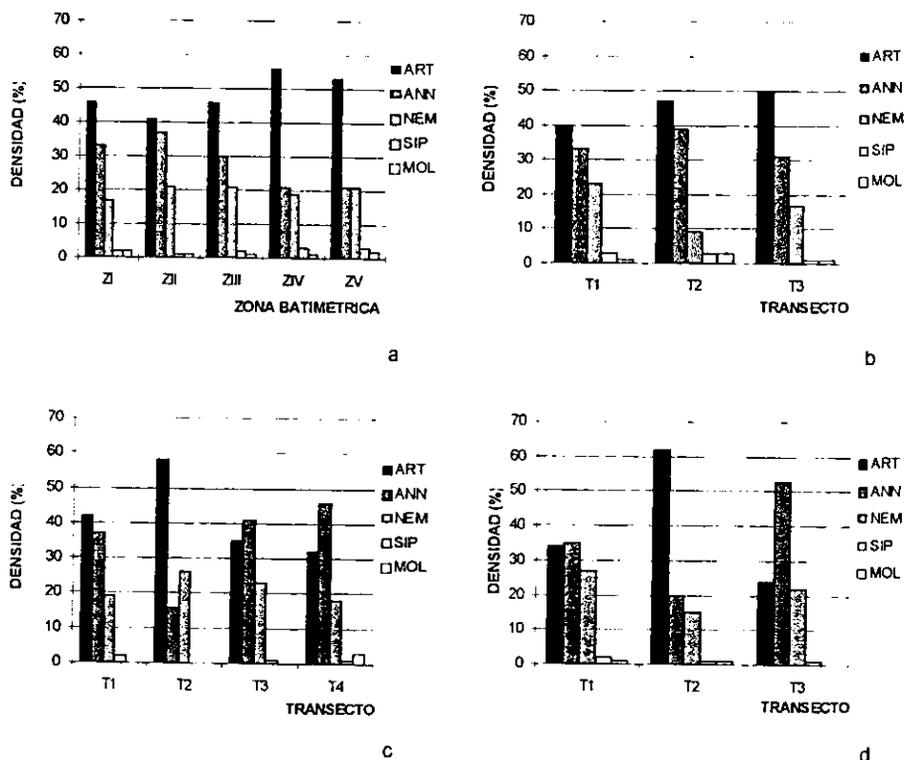


Fig. 6 Porcentaje de densidad que representa cada filo en: a) cada zona batimétrica. Por transecto en: b) la zona de plataforma-margen continental (I); c) la zona de transición margen continental-talud superior (II); d) la zona de talud medio (III).

En la zona de talud inferior (IV), el transecto 4, frente al río Tuxpan y en la zona de elevación continental-planicie abisal superior (V) (T2), frente a Punta San Juan, los organismos del filo Arthropoda (47 a 48 %) fueron dominantes, pero presentaron una mayor densidad de nemátodos (23 a 25 %) que de anélidos (21 a 23 %) (Fig. 7a, 7b; Cuadro 4).

**Biomasa.** Los valores de biomasa promedio por estación variaron de  $1010 \pm 200 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}$  a 25 m de profundidad (estación 23) a  $10 \pm 10 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}$ , en diversas estaciones de los cuatro transectos en las cinco zonas (Cuadro 3). Se observó una disminución de la biomasa promedio por zona batimétrica con el aumento de la profundidad (Fig. 7c). Los valores promedio por zona más elevados de biomasa ( $160 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}$ ) correspondieron a la zona de plataforma-margen continental (I) y fueron tres veces mayores a los reconocidos en las cuatro zonas restante (Cuadro 5). Un patrón similar de disminución de la biomasa se encontró a menor temperatura (Fig. 7d) la salinidad. La biomasa en la zona de plataforma-margen continental (I) presentó diferencias significativas [  $H(9, N = 30) = 26.14$   $p = .0019$ ] entre los tres transectos; el mayor valor se localizó en el transecto 1 frente a Coatzacoalcos ( $103 \pm 13 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}$ ); el menor en el transecto 3 frente a la laguna y boca de Alvarado ( $23 \pm 3 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}$ ) (Cuadro 3). No se presentaron diferencias significativas entre las otras cuatro zonas en los transectos.

n	Zona Batimétrica	Transecto	Biomasa promedio ( $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Moluscos (%)	Nemátodos (%)	Sipuncúlidos (%)	Anélidos (%)	Artrópodos (%)
10	I	1	160	20	3	7	23	47
		2		1	3	2	43	51
		3		5	5	3	47	40
7	II	1	80	0	2	1	62	36
		2		0	8	0	58	34
		3		0	1	0	48	50
		4		2	3	1	11	84
5	III	1	90	8	4	3	69	17
		2		1	5	1	24	69
		3		0	2	0	6	92
3	IV	1	20	2	3	1	16	79
		2		12	6	8	13	61
		4		0	11	6	56	27
4	V	1	10	9	13	7	18	54
		2		18	9	2	36	36

Cuadro 5. Porcentaje que representan los grupos taxonómicos identificados con respecto a la biomasa de cada una de las zonas batimétricas y en cada uno de los transectos. Abreviaturas. n= Número de estaciones que conforman a cada zona.

El valor más elevado de biomasa promedio por zona ( $160 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}$ ) se asoció a los valores más bajos de lodos (67%) observados en la zona de plataforma-margen continental (I) (Fig. 8a). Las demás zonas presentaron valores promedio más bajos de biomasa a concentraciones mayores de lodos (77 y 86%). Con relación al porcentaje de nitrógeno orgánico en el sedimento superficial la tendencia fue de tener valores intermedios de biomasa a mayores concentraciones de nitrógeno orgánico superficial en las zonas de plataforma-margen continental (II) y talud medio (III) (Fig. 8b).

A excepción de la zona de transición margen continental-talud superior (II), la biomasa en las zonas del gradiente batimétrico estuvo dominada por organismos del filo Arthropoda (44 a 65 %). Los anélidos rebasaron la proporción de los artrópodos en esta zona, mostrando biomasa similares a las de éstos en las zonas de plataforma-margen continental (I) y de transición margen continental-talud superior (II). En las zonas de talud medio (III) y talud inferior (IV), sin embargo, su proporción fue de la mitad o menos de los artrópodos. La zona de elevación continental-planicie abisal superior (V) se caracterizó por que la proporción más uniforme de nemátodos, moluscos y sipuncúlidos. Estos cuatro grupos taxonómicos: artrópodos, anélidos, nemátodos y moluscos, aportaron más del 90% de la biomasa total en las cinco zonas (Fig. 8c).

La zona de plataforma-margen continental (I), en su transecto 3, frente a la laguna y boca de Alvarado presentó dominancia del filo Annelida (47 %) sobre el filo Arthropoda (40%), mientras que en los otros dos transectos dominaron los artrópodos. Los artrópodos fueron dos veces más dominantes que los anélidos frente a Coatzacoalcos (T3) (Fig. 8d). El filo Annelida (58 a 62 %) dominó sobre el filo Arthropoda (34 a 35 %) en los transectos 1, frente al río Coatzacoalcos, y 2, frente a Punta San Juan, en la zona de transición margen continental-talud superior (II). Los artrópodos dominaron en los transectos 3 y 4, frente a la laguna y boca de Alvarado y el río Tuxpan, respectivamente, en este último alcanzaron valores ocho veces más elevados que los de anélidos. Esta zona sólo presentó al filo Mollusca en su transecto 4, frente al río Tuxpan y al filo Sipunculida en sus transectos 1, frente al río Coatzacoalcos, y 4, frente al río Tuxpan. El transecto 3, frente a la laguna y boca de Alvarado, no presentó ni moluscos ni sipuncúlidos (Fig. 9a; Cuadro 5). El filo Annelida (69%) dominó sobre el filo Arthropoda (17%) en el transecto 1 frente al río Coatzacoalcos de la zona de talud medio (III). El transecto 3, frente a la laguna y boca de Alvarado, no presentó ni moluscos ni sipuncúlidos (Fig. 9b; Cuadro 5).

Los artrópodos predominaron en las dos zonas más profundas, talud inferior (IV) y elevación continental-planicie abisal superior (V). En los transectos 1 y 2, frente al río Coatzacoalcos y Punta San Juan respectivamente, los artrópodos mostraron biomasa mayores que los anélidos; en proporción de tres y cuatro veces. En la zona

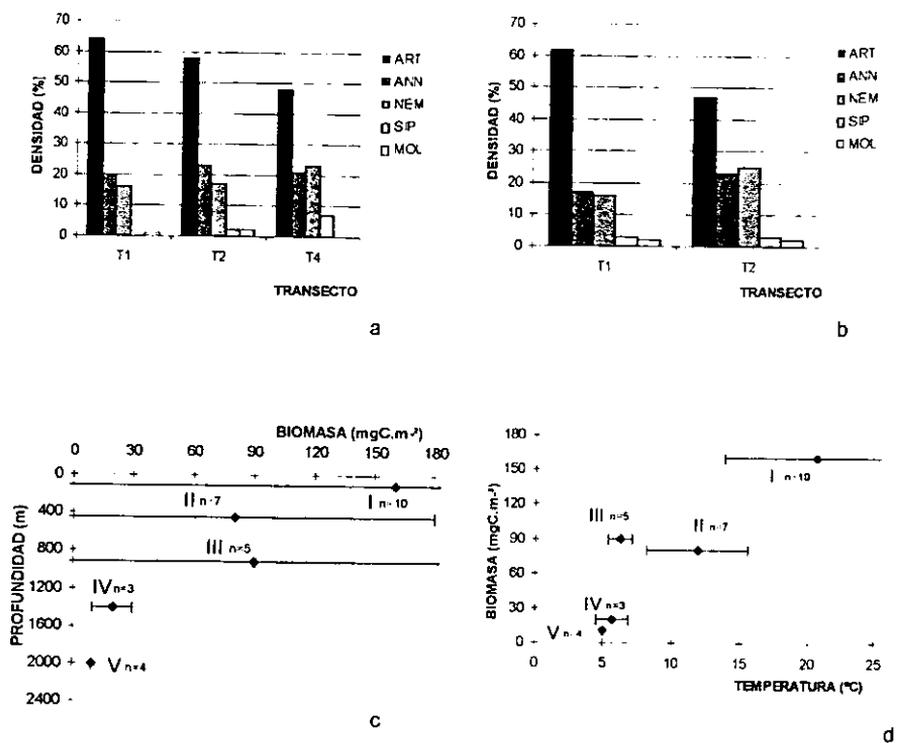


Fig. 7 a) Porcentaje de densidad que representa cada filo en la zona de taludinferior; b) zona de elevación continental-planicie abisal superior. Variación de la biomasa de la macroinfauna: c) a lo largo del gradiente batimétrico; d) con la temperatura de fondo.

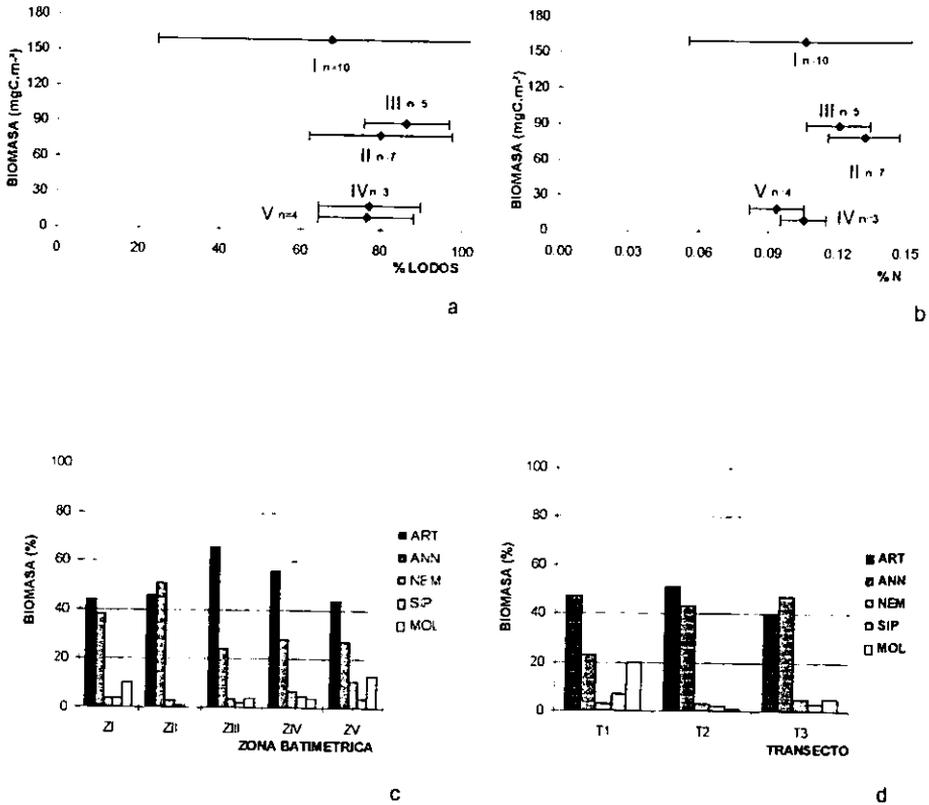


Fig. 8 Variación de la biomasa de la macroinfauna: a) con el porcentaje de lodos en el sedimento superficial; b) con el contenido de nitrógeno orgánico en el sedimento superficial. Porcentaje de biomasa que representa cada filo en: c) cada zona batimétrica; por transecto en: d) la zona de plataforma-margen continental.

de talud inferior (IV) en el transecto 4, frente al río Tuxpan, se presentó dominancia del filo Annelida (56 %) sobre el filo Arthropoda (27 %) y no presentaron moluscos (Fig. 9c; Cuadro 5).

Los artrópodos excedieron en biomasa por casi tres veces a los anélidos en el transecto 1, frente al río Coatzacoalcos, en la zona de elevación continental-planicie abisal superior (V), mientras que en el transecto 2, frente a Punta San Juan, sus valores de biomasa fueron prácticamente similares a los registrados para el filo Annelida. El filo Mollusca aportó hasta un 13% del porcentaje promedio de la biomasa total en la zona de elevación continental-planicie abisal superior (V) (Fig. 9d). El transecto 2 (frente a Punta San Juan) de ésta zona se encontró dominado por organismos del filo Annelida (36%) sobre los del filo Arthropoda (35%)(Fig. 9d; Cuadro 5).

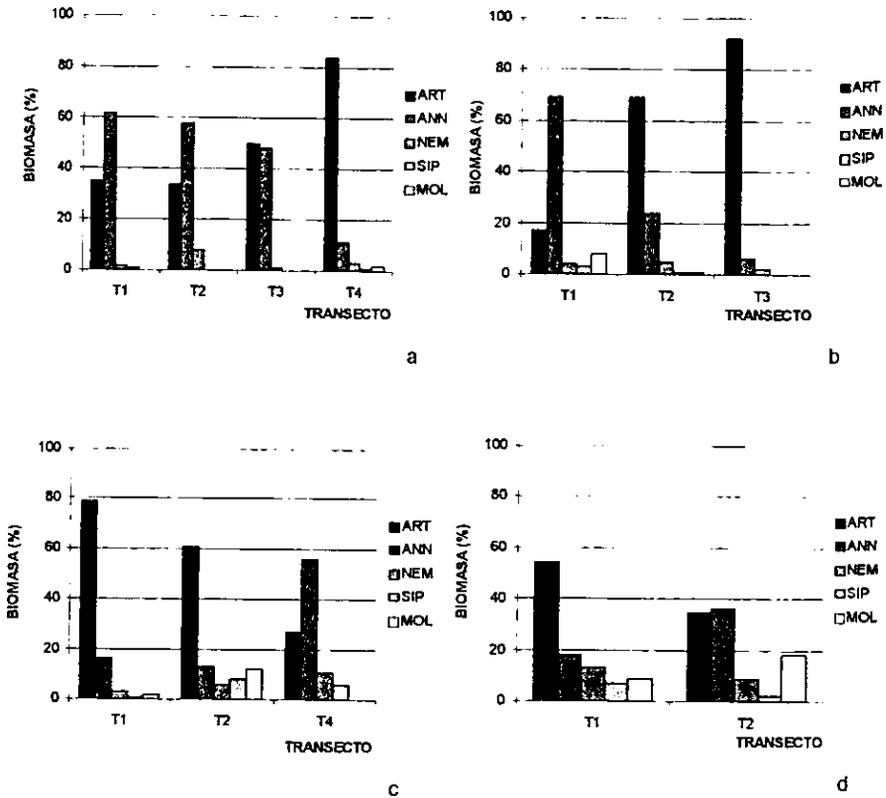


Fig. 9 Porcentaje de biomasa que representa cada filo en cada transecto en: a) la zona de transición plataforma-talud; b) la zona de talud medio; c) la zona de talud inferior; d) la zona de elevación continental-planicie abisal superior.

## Discusión

Muchos investigadores han delimitado a las comunidades bentónicas sobre la base de los parámetros ambientales; como son las propiedades físicas en el sedimento de fondo (Jones 1950), las adaptaciones biológicas derivadas de las interacciones específicas en ambientes relativamente estables (Sanders 1968) y las variables hidrológicas (Molander 1928). Sin embargo, es el gradiente batimétrico el parámetro que influye de manera importante en el número de especies y en la densidad y distribución de los organismos, puesto que muchos de los componentes bióticos dependen de su reclutamiento de columna de agua al sedimento.

La profundidad limita la distribución de los organismos al actuar como barrera en la dispersión de éstos; asociados a ésta se reconocen cambios en la temperatura, la presión y la cantidad de carbono orgánico particulado que se deposita en el sustrato. Todos estos factores determinan patrones en la comunidad bentónica a lo largo del gradiente batimétrico (Cognetti-Varriale & Zunarrelí-Vandimi 1978). Los estudios realizados a lo largo del gradiente batimétrico han dado como resultado diversos esquemas de zonación basados en la composición faunística y la abundancia de los componentes comunitarios (Pequegnat 1983).

La rápida reducción en la densidad y biomasa de la macrofauna con respecto a la profundidad se encuentra generalizada en el océano mundial. El promedio de la biomasa en las diversas profundidades varía geográficamente ya que ésta depende de la producción local de la superficie y cuánta de ésta contribuye a la comunidad de fondo (Rowe 1971). El promedio de biomasa está dado entonces en función de la profundidad en relación con la superficie (Rex 1983).

En el presente estudio se observó una disminución en la riqueza taxonómica con el incremento de la profundidad, con un aumento hacia la zona del talud medio para posteriormente volver a disminuir hacia las zonas más profundas. Este mismo patrón se reconoció con relación a los valores de densidad y biomasa. Cabe aclarar que los valores de densidad para la zona de plataforma-margen continental (I) fueron mayores con respecto a otros estudios realizados en el Golfo de México (Castañeda 1997; Escobar *et al.* 1999; Hernández 1999).

La distribución de los organismos bentónicos está relacionada con la concentración de materia orgánica, ya que ésta es la fuente principal de alimento para los heterótrofos en el bentos. Con relación a esto se ha propuesto que las variaciones en la densidad de la macrofauna se deben al suministro de la producción del fitoplancton y a su exportación hacia el sedimento (Kojima & Otha 1989), ya que el contenido de materia orgánica está determinado por los valores de producción primaria (PP) que hay en la superficie, por el control hidrodinámico y biológico, que ejerce el zooplancton, los cuales van a regular en gran medida el porcentaje que

enriquecerá el piso marino (Hofmann *et al.* 1981), éste según Davies (1975) llega a ser hasta un 30% del carbón biogénico que es fijado anualmente por los productores primarios en columna de agua.

El contenido de materia orgánica de origen pelágico en el sedimento es afectado por la topografía del ambiente de depositación, la textura de los sedimentos, la temperatura y el tiempo de residencia en la columna de agua (Hicks 1986). En las zonas más someras de este estudio se encontraron valores elevados de densidad y biomasa, esto debido a que una proporción considerable de materia orgánica cae al fondo antes de que pueda ser aprovechada o descompuesta en columna de agua (Berner 1982). A mayor profundidad el aporte de materia orgánica tiende a ser menor, lo que se ha explicado a partir de la baja producción primaria y los períodos extensos de estratificación térmica. Esto es más evidente en aguas tropicales debido a la insolación y consecuente calentamiento de la superficie y el aporte de lluvias en el verano. Los huracanes y depresiones tropicales son eventos que permiten la exportación rápida del carbono biogénico por debajo de la termoclina. Los bajos valores de densidad y biomasa encontrados en las zonas más profundas de este estudio se deben a la descomposición mayor que sufre la materia orgánica por efecto de la lenta depositación que permite la degradación de los compuestos más reactivos. La materia orgánica remanente es menos activa y los niveles de descomposición más bajos, esto explica él por qué hacia las zonas más profundas los valores de densidad y biomasa para éste estudio, fueron menores. En casos inusuales y en zonas de elevado depósito de materia orgánica el agua de fondo es anóxica y la materia orgánica depositada en el sedimento del agua profunda no es destruida tan rápidamente, dando como resultado la acumulación de mayor cantidad de sedimento (Berner 1982).

Se ha sugerido que el ambiente de mar profundo es más estable que el de aguas someras, esto debido a que la variación estacional de la temperatura muestra cambios con la profundidad, por lo tanto las diferencias en la luz y el clima de la superficie tienen una influencia indirecta y menor en las zonas profundas. Por su parte las corrientes y la estabilidad del sedimento han permitido la generación de microhábitats (Jumars 1976; Sanders 1977), lo cual permitió sugerir que el ambiente se uniformiza con el incremento de la profundidad.

Al existir aportes moderados de materia orgánica la producción bentónica se incrementa (Poiner & Kennedy 1984; Ansari *et al.* 1986), pero si estos aportes son altos hay una tendencia a la reducción del número de taxones y especies y hacia el aumento en el número de individuos como es posible observar en la zona de transición margen continental-talud superior (II), la cual presentó la menor riqueza taxonómica asociada a los mayores valores de materia orgánica en el sedimento superficial.

Las variaciones en la riqueza de especies, la distribución y la abundancia de los organismos bentónicos se encuentran también relacionadas a los cambios del sedimento a lo largo del gradiente de profundidad, ya que estos organismos se encuentran asociados al sedimento en la parte más importante de su vida (Sanders 1968; Nichols 1970) y éste determina el número de especies dentro de la comunidad por medio de la selección de las partículas que realizan los organismos con diversos mecanismo de alimentación (Glèmerac 1973; Flint 1981; Cosson *et al.* 1997). Así, la diversidad en el tamaño de grano del sedimento puede reflejar la complejidad de hábitats y por ende el tipo de organismos asociados (Etter & Grassle 1992). Los estudios realizados en la selección del sustrato sugieren que el tipo de sedimento modifica hasta en un 5% la composición específica (Gray 1974), la abundancia y la distribución de la infauna.

El tamaño de grano va a controlar características importantes para los organismos como la porosidad y permeabilidad del sedimento, lo cual delimita de manera importante la distribución vertical de la fauna (Jensen *et al.* 1992). Sheldon *et al.* (1972) sugieren que el promedio en el tamaño de las partículas del sedimento decrece con la profundidad, lo cual produce un incremento aparente en el número relativo de partículas pequeñas. Esto modifica los patrones encontrados de la infauna ya que los sedimentos finos, como los lodos, limitan la presencia de fauna intersticial por el empaquetamiento de los granos, la pobre circulación que presentan y el bajo contenido de oxígeno disuelto; razón por la cual las estaciones en las cuales los lodos fueron dominantes presentaron bajos valores de densidad y de biomasa en comparación con aquéllas en donde los porcentajes de arenas fueron mayores. Estas últimas, al tener mejor circulación, tienen abundante meiofauna y bacterias, las cuales forman parte de la dieta de la macrofauna.

La disminución en los valores de densidad y biomasa con relación al gradiente batimétrico encontrada en éste estudio se encuentra apoyada en trabajos similares realizados en diversas zonas del Golfo de México (Pequegnat *et al.* 1990; Cruz-Kaegi & Rowe/ 1992; Soto & Escobar 1995; Rowe & Menzel 1971). Así mismo la composición taxonómica y la riqueza de taxones en esta área fueron consistentes con las de profundidades similares en otras regiones (Kojima & Otha 1989; Escobar & Soto 1997; Cosson *et al.* 1997; Nichols & Rowe 1977; Grassle & Maciolek 1992; Jensen *et al.* 1992; Levin *et al.* 1991). Las zonas de plataforma-margen continental (I) y de talud medio (III), localizadas a profundidades promedio de 106 y 921 m respectivamente, presentaron una riqueza taxonómica, densidad y biomasa elevadas; la primera debido a la gran cantidad de alimento disponible y a que en el sedimento predominaron las arenas, lo que permite la presencia de una gran variedad de organismos. Por otra parte la zona de talud medio presentó un aumento en este tipo de valores debido a que la concentración de materia orgánica en esta

zona es menor que en la porción transicional entre el margen continental-talud superior, lo que permite el establecimiento de una comunidad más estable. Algunos estudios presentan a los poliquetos como el taxón dominante en diversas regiones del Golfo de México debido a las estrategias de alimentación que incluyen el consumo de material depositado (Brown 1991; Flint 1981 & Carney 1983). A diferencia de éstos encontramos que en este estudio hubo una dominancia de peracáridos desde las zonas más someras.

La tendencia general de la densidad y la biomasa bentónica es a disminuir con el aumento de la profundidad (Rowe *et al.* 1974), pero éste no es el único factor que afecta a los organismos; la temperatura ha sido considerada como uno de los factores reguladores de la comunidad bentónica (Kinne 1973) ya que afecta directamente la tasa de actividad, funciones metabólicas (Childress *et al.* 1990), reproducción y tasa de crecimiento de los organismos (Poag 1981). En este caso la temperatura influyó directamente en los patrones encontrados de densidad y biomasa pues su relación con la cantidad de alimento disponible, determinada por la calidad de las enzimas metabólicas, explica en parte los patrones batimétricos de los animales en el ambiente oceánico (van der Spoel & Schald 1988).

Otro de los factores ambientales que también modifica de manera importante a la distribución, la composición específica y la abundancia de las especies de invertebrados bentónicos es la distancia a la costa (Carey 1981). Parte de la alta concentración de materia orgánica en las zonas someras es debida a la producción generada por la descarga de nutrimentos de origen fluvial (Chester 1990; Ogura 1975) y a la materia particulada de origen continental acarreada por los ríos (Rowe *et al.* 1975), la cual constituye una fuente importante para el desarrollo de la comunidad (Zenkevitch 1961).

El transporte lateral y hundimiento del material terrígeno y detrito costero en forma de restos de microalgas y macroalgas y mudas de invertebrados, constituyen una fuente rápida de materia y energía hacia el fondo marino (Pfanckuche y Thiel 1987) y crean un sistema dinámico que produce patrones espaciales. El aporte de los ríos sólo se extiende en una región limitada siendo ésta mayor cerca de la costa y disminuyendo hacia mar adentro (Escobar *et al.* 1997), por lo que en las aguas profundas el flujo de materia orgánica varía. Al ser menor la cantidad de alimento disponible que llega al fondo es de esperarse que los organismos de menor tamaño jueguen un papel importante en el metabolismo total de la comunidad (Houston & Headrich 1984).

La importancia que representa la descarga de material particulado por parte de los ríos a las zonas de la costa explica los valores tan altos encontrados en las zonas más someras, al alejarnos el aporte se reduce y vamos encontrando paulatinamente valores menores tanto de densidad como de biomasa. Se han

llegado a reconocer zonas en las cuales el sedimento fino presenta concentraciones altas de materia orgánica, principalmente en el talud continental y margen del piso marino, debido a una alta productividad de aguas neríticas y costeras y a una extensa sedimentación de material autóctono y alóctono (Gray 1981; Rowe *et al.* 1982; Sokolova 1972).

Los valores promedio de densidad y biomasa de este estudio fueron comparados con valores obtenidos para otras regiones del Golfo de México (Cuadro 6 y 7), un análisis de éstos datos nos muestra que algunos valores encontrados en tales regiones son menores que los del presente estudio, mientras otros son mucho mayores. Esto podría atribuirse a diferentes factores hidrodinámicos que afectan de manera estacional y espacial a las comunidades en cada una de las regiones del Golfo de México (Rowe & Menzel 1971; Rowe *et al.* 1974). El suroeste del Golfo de México podría ser caracterizado, con base en estos resultados, como una región igualmente rica. Es necesario considerar las variaciones latitudinales y el efecto de los factores ambientales diversos que se presentan en el Golfo de México.

La diferencia observada en los valores de densidad y biomasa para las diversas regiones del Golfo de México puede deberse a la variación geográfica de los diferentes tipos de sedimentos encontrados en las zonas terrígena y carbonatada. En la primera existe un acarreo masivo de sedimentos de ríos cuyo tamaño de grano disminuye progresivamente con la profundidad y, en la segunda, el aporte continental es insignificante sobre la plataforma y el talud continental por lo cual la materia particulada que presenta es de origen alóctono, generada en el ambiente oceánico (Pica & Pineda 1991; Antoine *et al.* 1974; Escobar *et al.* 1997). Otro de los factores que influye es la productividad primaria variable asociada a los frentes de río, giros y otras estructuras de mesoescala.

Una comparación entre los valores de densidad y biomasa del Golfo de México con otras regiones a escala mundial (Cuadros 6 y 7) es posible observar que éste presenta valores muy bajos, esta pobreza puede ser atribuida a los bajos niveles de productividad primaria que hay en la superficie y al rápido reciclamiento del carbono orgánico dado por las altas temperaturas y los procesos de circulación y mezcla que se presentan en el Golfo (Rowe & Menzel 1971). Debido a su baja producción el Golfo de México ha sido comparado con el Mar Mediterráneo aunque en el primero se ha registrado una densidad de la macroinfauna hasta seis veces mayor (Escobar *et al.* 1999).

La estacionalidad en Bahía de Campeche está influida por las condiciones físicas generadas por el patrón general de circulación que se presenta, creándose un sistema dinámico que produce variaciones temporales y espaciales (Escobar & Soto 1997; Rowe *et al.* 1974). Es posible observar un período de homogenización de la columna de agua y otro de estratificación. El primero está fuertemente influenciado

por las tormentas de invierno, las cuales provocan una mezcla vertical en la columna de agua de más de 100 m de profundidad permitiendo el paso de los nutrientes hacia el fondo, los cuales son utilizados para los florecimientos del fitoplancton en los meses de enero a marzo. En el segundo se genera un gradiente horizontal marcado que impide el uso de nutrientes de la capa del fondo y genera el predominio del circuito microbiano en zonas tropicales debida al calentamiento del agua superficial y cambio de densidad por lluvias de mayo a octubre.

Debido a que la tendencia dismínutiva de la densidad y de la biomasa fue consistente con otras zonas de estudio, es necesario reconocer el efecto estacional que se presenta en el Golfo de México en las comunidades asociadas al sedimento. Dicha información permitirá reconocer la variabilidad natural del sistema y facilitar el conocimiento que tienen las perturbaciones generadas por fenómenos naturales, como los huracanes, o por actividades antropogénicas como es la eutroficación por la contaminación y las pesquerías. Para tener un patrón más claro de las variaciones de densidad y biomasa a lo largo del gradiente batimétrico es necesario intensificar los estudios taxonómicos, esto para conocer en detalle cómo se da el cambio específico a lo largo de dicho gradiente y cuáles serían los grupos dominantes.

Región/Profundidad (m)	< 300	300-700	700-1100	1100-1500	1500-2300	Referencia
<b>Golfo de México</b>						
Noroeste	370	446	ND	ND	ND	Castañeda, 1997
Noroeste	1888	1850	ND	2714	973	Hernández, 1999
Suroeste	4628	1050	1853	1387	1169	Este estudio
<b>Otras regiones</b>						
Atlántico Noroeste	6614	2561	668	2534	1238	Rowe <i>et al.</i> , 1974
Transecto Gay Head-Bermuda	ND	ND	14500	ND	2250	Rex, 1973
Atlántico Noroeste	ND	ND	ND	5733	4589	Maciolek <i>et al.</i> , 1986
Pacífico este	ND	ND	5156	ND	1889	Levin <i>et al.</i> , 1991
Bahía de NY y Cañón de Hudson	121440	9820	ND	ND	3320	Rowe <i>et al.</i> , 1982
Martha's Vineyard	2794	1213	ND	ND	ND	Wigley & McIntyre, 1988
San Diego y Sta. Catalina	ND	ND	ND	2066	ND	Jumars, 1976
Sahara Española	9898	5052	ND	ND	1635	Nichols & Rowe, 1977

Cuadro 6. Valores de densidad ( $\text{ind. m}^{-2}$ ) para macroinfauna en diversas zonas del Golfo de México y otras regiones del océano mundial. Abreviatura: ND= no disponible

Región/Profundidad (m)	< 300	300-700	700-1100	1100-1500	1500-2300	Referencia
<b>Golfo de México</b>						
Norte (este y oeste)	2645	3226	1030	750	5329	Rowe <i>et al.</i> , 1974
Noroeste	54	58	ND	ND	ND	Castañeda, 1997
Noroeste	62	93	ND	52	15	Hernández, 1999
Suroeste	160	80	90	20	10	Este estudio
<b>Otras regiones</b>						
Perú	87500	7000	ND	ND	ND	Rosenberg <i>et al.</i> , 1983
Bahía de NY y Cañón de Hudson	407000	46200	ND	10400	9200	Rowe <i>et al.</i> , 1982
Martha's Vineyard	58124	26535	ND	ND	ND	Wigley & McIntyre, 1988
Sahara Española	27243	25248	ND	ND	10900	Nichols & Rowe, 1977.

Cuadro 7. Valores de biomasa ( $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2}$ ) para macroinfauna en diversas zonas del Golfo de México y otras regiones del océano mundial. Abreviatura: ND= no disponible

## Conclusiones

- Se reconocieron y validaron cinco zonas batimétricas en el suroeste del Golfo de México con base en los factores ambientales de profundidad, temperatura de fondo, salinidad de fondo y contenido de materia orgánica en el sedimento superficial, las cuales fueron
 

I.	Zona de plataforma-margen continental	< 300 m
II.	Zona de transición plataforma-talud superior	301 a 700 m
III.	Zona de talud medio	701 a 1,100 m
IV.	Zona de talud inferior	1,100 a 1,500 m
V.	Zona de elevación continental-planicie abisal superior	1,501 a 2,230 m
- Los componentes faunísticos que presentaron más del 90% de la densidad en la comunidad de infauna macrobéntica fueron los artrópodos, los anélidos y los nemátodos. En la biomasa fueron los artrópodos, los anélidos, los nemátodos y los moluscos. El filo Arthropoda fue dominante a lo largo de todo el gradiente batimétrico seguido por el filo Annelida.
- La zona de la laguna y boca de Alvarado estuvo dominada por los anélidos (41 a 53%) mientras que las demás zonas presentaron dominancia de los artrópodos (24 a 64%) seguidos por los anélidos (16 a 53%).
- Tanto la densidad como la biomasa promedio de la infauna macrobéntica del suroeste del Golfo de México disminuyó con el incremento de la profundidad de  $4,628 \pm 6,363 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$  a  $1,169 \pm 229 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$  y de  $160 \pm 30 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}$  a  $10 \pm 5 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}$ . La variabilidad fue mayor en las zonas someras con una desviación estándar grande mientras que a mayor profundidad esta variabilidad fue significativamente menor.
- Los factores ambientales que regularon la densidad y la biomasa de la infauna macrobéntica fueron el tamaño de grano y el contenido de materia orgánica en el sedimento superficial.

	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E22	E23	E24	E25	E26	E27	E28	E29	E30	E32	E33
Profundidad (m)	44	106	200	302	400	550	854	1000	1478	1823	2233	2120	1830	1470	1059	818	381	214	116	25	21	102	185	354	47	600	878	1265	564
Nematoda	6700	917	833	658	883	333	1508	792	692	400	575	950	1050	1233	300	1558	363	33	658	1097	25542	283	308	300	642	1292	1517	153	687
Sipuncula	1425	150	58	75	103	0	192	17	0	103	83	233	0	117	0	150	0	0	58	1658	3550	0	0	0	0	67	42	50	50
Aplicophora	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gastropoda	42	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	233	500	0	0	0	0	0	0	0	0
Bivalvia	858	0	8	0	0	42	75	17	42	25	87	117	33	117	0	125	0	0	0	1533	2187	0	0	0	8	8	33	0	117
Scaphopoda	33	0	0	0	0	0	25	8	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	83	87	0	0	0	0	0	0	0	0
Polychaeta	8983	958	442	592	817	1117	1150	258	258	258	442	403	350	1175	158	1058	200	33	858	10600	9658	1292	600	517	1587	2325	3858	67	1692
Oligochaeta	1733	583	808	425	433	883	375	825	608	150	133	250	775	500	158	1087	25	17	887	4433	3533	0	0	0	0	0	0	75	50
Acanthoecidae	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ostracoda	200	33	0	0	0	187	25	192	275	0	0	50	83	733	183	42	0	0	50	625	487	0	0	0	300	287	275	33	83
Copepoda	10350	2733	783	1883	908	1167	808	1758	2325	1933	1258	2125	1133	3217	5067	1783	800	575	1250	1350	13350	3330	1883	558	600	550	742	233	558
Thalassandria	250	17	17	0	0	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	25	242	0	0	0	0	0	0	0	0
Leucoidea	125	0	0	8	0	0	17	0	0	0	17	0	0	0	17	0	0	0	0	50	250	150	0	0	0	0	0	0	0
Mysida	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	17	0	0	0
Cumacea	217	8	8	33	0	0	0	42	0	0	42	25	0	0	0	0	0	0	0	92	83	0	0	0	0	17	0	0	50
Tanaidacea	17	0	0	0	0	25	0	17	17	0	0	0	0	125	0	33	8	0	0	42	42	0	0	0	42	50	8	0	8
Isopoda	492	25	33	50	142	25	350	58	100	183	142	200	92	142	17	217	0	0	0	700	67	0	0	0	208	467	383	25	25
Amphipoda	100	17	25	0	8	33	42	187	87	117	50	75	87	87	33	92	33	8	42	950	187	25	17	8	58	108	283	33	203

Apéndice I. Valores de densidad promedio (ind.m<sup>-2</sup>) por estación para cada uno de los grupos taxonómicos.

	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E22	E23	E24	E25	E26	E27	E28	E29	E30	E32	E33
Profundidad (m)	44	106	200	302	400	550	854	1000	1478	1820	2230	2120	1830	1470	1069	818	381	214	116	25	21	102	185	354	47	600	878	1265	564
Nematoda	9	7	3	3	2	2	3	4	2	3	3	6	2	6	3	4	3	1	2	6	42	4	2	2	6	5	17	3	6
Sipuncula	7	16	16	3	2	0	3	1	0	1	2	3	0	8	0	3	0	0	2	15	47	0	0	0	0	3	1	2	2
Aplacophora	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gastropoda	7	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	44	52	0	0	0	0	0	0	0	0
Blivalvia	140	0	16	0	0	1	4	1	1	1	3	18	1	12	0	4	0	0	0	48	34	0	0	0	1	4	4	0	4
Scaphopoda	28	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	8	73	0	0	0	0	0	0	0	0
Polychaeta	67	33	28	168	57	20	19	5	4	4	2	6	6	10	10	19	20	2	29	237	150	38	25	63	23	66	52	12	24
Oligochaeta	17	5	11	13	2	4	7	15	6	1	1	1	10	3	2	7	1	1	8	44	10	0	0	0	0	0	0	4	1
Acaridae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ostracoda	9	1	0	0	1	9	1	2	1	0	0	1	1	6	1	1	0	0	1	10	3	0	0	0	2	3	3	1	1
Copepoda	11	17	4	3	6	5	4	5	6	6	4	13	2	8	10	7	2	2	6	6	19	10	6	5	4	5	7	4	8
Thalassinidae	10	8	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Leucocidae	10	0	0	10	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	9	5	0	0	0	0	0	0	0
Mysida	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
Cumacea	19	4	6	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	1	0	0	1
Tanaidacea	2	0	0	0	0	41	0	1	1	0	0	0	0	3	0	1	7	0	0	1	1	0	0	0	2	1	4	0	1
Isopoda	13	1	6	2	1	1	3	1	1	1	4	2	1	2	1	3	0	0	0	8	1	0	0	0	2	5	11	1	4
Amphipoda	70	334	3	0	1	70	5	69	43	3	3	2	3	44	3	211	2	1	2	2583	3	1	1	1	251	834	847	2	170

Apéndice II. Valores de biomasa promedio (mgC.m<sup>-2</sup>) por estación para cada uno de los grupos taxonómicos.

## Literatura consultada

(Formato referencias: Ciencias Marinas)

- Andrade, V.H.; Gutierrez, S.S. & Salinas, G.A. (1986). Efectos del vertimiento de desechos orgánicos no tratados sobre la macroinfauna bentónica en un sector de la Bahía de Valparaíso (Chile). *Cienc. y Tec. del Mar. CONA*, 10:21-49.
- Ansari, Z.A.; Ingole, B.S. & Parulekar, A.H. (1986). Effect of high organic enrichment on benthic polychaeta population in an estuary. *Mar. Poll. Bull.* 17: 361-365.
- Antoine, J.W. (1972). Structure of the Gulf of Mexico. In: R. Rezac & V.J. Henry (Eds.). *Contributions on the geological and geophysical oceanography of the Gulf of Mexico*. Vol. 3. Texas A&M University, pp 1-34.
- Berner, R.A. (1982). Chemistry of biogenic matter at the deep-sea floor, In: Ernest, W.G. and Morin, J.G. (Eds.) *The environment of the sea*. Prentice-Hall. USA. pp 154-176.
- Brusca, D.S. & Brusca, G.J. (1990). *Invertebrates*. Sinauer Ass. Inc. Pub. Sunderland, MA., 922 pp.
- Carey, A.G. (1981). A comparison of benthic infaunal abundance on two abyssal plains in the northeast Pacific Ocean. *Deep-Sea Res.* 28A : 467-479.
- Castañeda, O. (1996). Contribución al conocimiento de la infauna del margen continental del Golfo de México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. 85 pp.
- Chester, R. (1990). The transport of material to the oceans: relative flux magnitudes. In: *Marine Geochemistry*. Union Hyman Ltd. Ch. 6; pp 149-191.
- Childress, J.J.; Cowles, D.L.; Favuzzi, J.A. & Mickel, T.J. (1990). Metabolic rates of benthic deep-sea decapod crustaceans decline with increasing depth primarily due to the decline in temperature. *Deep-Sea Res.* 37: 929-949.
- Cognetti-Varriale, A.M. & Zunarelli-Vandini. (1978). Distribution des polychaètes sur les fonds meubles infralittoraux du molise (Adriatique). *Extrait Cah. Biol. Mar.* Tome XIX : 37-45.
- Cosson, N.; Sibuet, M. & Galeron, J. (1997). Community structure and spatial heterogeneity of the deep-sea macrofauna of three contrasting stations in the tropical northeast Atlantic. *Deep-Sea Res.*, 44: 247-269.
- Cruz-Kaegi, M.E. & Rowe, G.T. (1992). Benthic biomass gradients on the Texas-Louisiana shelf. *Nutrient enhanced coastal ocean productivity workshop proceedings*. Texas A&M University Sea Grant Publication, Texas. pp 145-149.
- Davis, J.M. (1975). Energy flow through the benthos in a Scottish Sea Loch. *Mar. Biol.* 31: 353-362.

- Dayton, P.K. & Hessler, R.R. (1972). Role of biological disturbance in maintaining diversity in the deep-sea. *Deep-Sea Res.* 19: 199-208.
- Edwards, R. (1973). Production ecology of two Caribbean marine ecosystems. II Metabolism and energy flow. *Est. Coast. Mar. Sci.* 1: 319-333.
- Escobar, E. & Soto, L.A. (1997). Continental shelf benthic biomass in the western Gulf of Mexico. *Cont. Shelf. Res.*, 17: 585-604.
- Escobar, E.; Soto, L.A.; López, M. & 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. (1999). Variación de la densidad de la infauna macrobéntica en un gradiente batimétrico: Oeste del Golfo de México. *Ciencias Marinas* 25: 193-212.
- Etter, R.J. & Grassle, J.F. (1992). Patterns of species diversity in the deep sea as a function of sediments particle size diversity. *Nature* 360: 576-578.
- 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. Universidad Nacional Autónoma de México. 78 pp.
- Flint, W.R. (1981). Gulf of Mexico outer continental shelf benthos : Macrofaunal-environmental relationships. *Biol. Ocean.* 1: 135-155.
- Flint, W.R. & Rabalais, N.N. (1981). Environmental studies of a marine ecosystem; South Texas outer continental shelf. University of Texas Press. 240 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.
- Gage, D.J. (1996). Why are there so many species in deep-sea sediments?. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 200: 257-286.
- Gattleson, 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.
- Glèmerac, M. (1973). The benthic communities of the European North Atlantic continental shelf. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 11: 263-289.
- Gray, J.S. (1974). Animal-sediment relationships. *Ocean. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 12: 223-261.
- Gray, J.S. (1981). The ecology of sediments. Cambridge University Press. pp 11-20.
- Grassle, J.F. & Morse-Porteous, L.S. (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. & Maciolek, N.J. (1992). Deep-Sea species richness: regional and local diversity estimates from quantitative bottom samples. *Am. Nat.* 139: 313-341.
- Gross, G.M. (1990). *Oceanography. A view of the earth.* 5th. Edition. Prentice Hall. USA. 441 pp.
- Hernández, R.D. (1999). Riqueza taxonómica, densidad y biomasa de la infauna macrobéntica a lo largo de un gradiente batimétrico en el sector occidental del Golfo de México. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza. Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. 43 pp.
- Hicks, G.R.F. (1986). Distribution and behavior of meiofaunal copepods inside an outside or seagrass beds. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 31: 159-170.
- Hofmann, E.E.; Klinck, J.M. & Paffenhöfer, G.A. (1981). Concentrations and vertical fluxes of zooplankton fecal pellets on a continental shelf. *Mar. Biol.* 61: 327-335.
- 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.
- Houston, K.A. & Haedrich, R.L. (1984). Abundance and biomass of macrobenthos in the vicinity of Carson Submarine Canyon, northwest Atlantic Ocean. \*\*\*
- Ingmanson, D.E. & Wallace, W.J. (1989). *Oceanography, an introduction.* Wadsworth Publishing Company. California. 511 pp.
- Jensen, P.; Rumohr, J. & Graf, G. (1992). Sedimentological and biological differences across a deep-sea ridge exposed to advection and accumulation of fine-grained particles. *Oceanol. Acta.* 15: 287-296.
- Jones, J.S. (1950). Bottom fauna communities. *Biol. Rev.* 25: 283-318.
- Jerlov, N.G. (1973). Light. General introduction. In: Kinne, O. (Ed.). *Marine Ecology, Vol. I, 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: 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. Ann. Rev.* 1: 301-340.
- Kinne, O. (1973). Temperature. General introduction. In: Kinne, O. (Ed.) *Marine Ecology, Vol. I, Part 1, Ch. 3.* John Wiley & Sons. pp 321-340.

- Kojima, S. & Ohta, S. (1989). Patterns of bottom environments and macrobenthos communities along the deep gradient in the bathyal zone off Sauriky, Northwestern Pacific. *J. Ocean. Soc. Japan* 45: 95-105.
- Legendre, P. & Legendre, L. (1998). Numerical ecology. Development in environmental modelling, 20. Elsevier. 853 pp.
- Levin, A.L.; Huggett, L.C. & Wishner, F.K. (1991). Control of deep-sea benthic gradients in the eastern Pacific Ocean. *Mar. Res.* 49: 763-800.
- Levinton, S.J. (1995). Marine biology. Function, biodiversity, ecology. Oxford University Press, Oxford, 400 pp.
- 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. Universidad Nacional Autónoma de México. 32 pp.
- Mann, K.H. (1982). Ecology of coastal waters. Blackwell. Oxford, 322 pp.
- Marshall, N. (1973). Food transfer through the lower trophic levels of the benthic environment. In: J.H. Steele (Ed.). Marine food chains. Oliver & Boyd. Edimburgo. pp 52-66.
- McConaughey, B.H. (1978). Introduction to marine biology. Third edition. The C.U. Mosby Company. USA. 624 pp.
- McIntyre, A.D. (1977). Effects of pollution on inshore benthos. In: B.C. Coull (Ed.). Ecology of marine benthos. Univ. of South Carolina Press, Columbia, S.C. pp 301-318.
- McLusky, D.S. & McIntyre, A.D. (1988). Characteristics of the benthic fauna. In: H. Postman & J.J. Zijlstra (Eds.). Ecosystems of the world; continental shelves. Amsterdam. 421 pp.
- Mooers, C.N.K. & Maul, G.A. (1998). Intra-american sea circulation. Chpt. 7. pp: 183-208. In: A.R. Robinson & K.H. Brink (eds). The Sea, Vol.11. 345 pp.
- Nichols, F.H. (1970). Infaunal biomass and production on a mudflat, San Francisco Bay, California. In: Coull, B.C. (Ed.). Ecology of marine benthos. University of South Carolina Press. pp 339-357.
- Nichols, J. & Rowe, G.T. (1977). Infaunal macrobenthos off Cap Blanc, Spanish Sahara. *J. Mar. Res.* 35: 525-536.
- Nybakken, J.W. (1993). Marine biology. An ecological approach. Third edition. Harper Collins College Publishes. N.Y. 462 pp.
- Ogura, N. (1975). Further studies on decomposition of dissolved organic matter in coastal seawater. *Mar. Biol.* 31: 101-111.

- Pace, M.L.; Glasser, J.L. & Pomeroy, L.R. (1984). A simulation analysis of continental shelf food webs. *Mar. Biol.* 82: 47-63.
- Palma, W.; Carrasco, F.; Aracena, O. & López, E.I. (1982). Macroinfauna de playas arenosas de la Bahía de Concepción, Chile. *Cienc. y Tec. Mar. CONA.*, 6: 101-115.
- Pearson, T.H. & Rosenberg, R. (1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution on the marine environment. *Ocean. Mar. Biol. Ann. Rev.* 16: 229-311.
- 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.
- Pequegnat, W.E.; Gallaway, B.J. & Pequegnat, L.H. (1990). Aspects of the ecology of the deep-water fauna of the Gulf of Mexico. *Amer. Zool.* 30: 45-64.
- Perès, J.M. 1961. *Océanographie biologique et biologie marine*. Tomo I: La Vie bentique. 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.
- Pica, G.Y. & Pineda, L.R. (1991). Oceanografía geológica. In: G.E. de la Lanza (comp.), *Oceanografía de mares mexicanos*. Golfo de México y Mar Caribe. AGT De. México, D.F. pp 3-29.
- Pineda, R.L. & Pica, Y.G. (1991). Oceanografía física. In: G.E. de la Lanza (comp.), *Oceanografía de mares mexicanos*. Golfo de México y Mar Caribe. AGT De. México, D.F. pp 31-77
- Poag, C.N. (1981). Ecological atlas of benthic foraminifera of the Gulf of Mexico. *Mar. Sci. Rev. Inter.* Woods Hole Massachussets. USA. pp 1-16.
- 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.
- Ponce, V.G.; Pica, G.Y. & Pineda, L.R. (1991). Oceanografía química. In: G.E. de la Lanza (comp.), *Oceanografía de mares mexicanos*. Golfo de México y Mar Caribe. AGT (Ed.). México, D.F. pp 79-113.
- Rex, M.A. (1983). Geographic patterns of species diversity in deep-sea benthos. In: Rowe G.T. (Ed.). *Deep-Sea Biology*. The Sea. Vol. 8. Wiley-Interscience Publication. pp 453-472

- 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. ; Clifford, C.H. & Smith, K.L. (1975). Benthic nutrient regeneration and its coupling to primary productivity in coastal waters. *Nature* 255: 215-217.
- Rowe, G.T. (1981). The deep-sea ecosystem. In: A.R. Longhurst (Ed.). *Analysis of marine ecosystems*. Academic Press. London. pp 235-267.
- Rowe, G.T.; Polloni, P.T. & Haedrich, L. (1982). The deep-sea macrobenthos on the continental margin of the northwest Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.* 29: 257-278.
- Rowe, G.T. (1983). Biomass and production of the deep-sea macrobenthos. In: G.T. Rowe (Ed.). *Deep-sea biology, The sea. Vol. 8*. Wiley, N.Y. 560 pp.
- 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.
- Sanders, H.L. (1968). Marine benthic diversity: a comparative study. *Amm. Nat.* 102: 243-282.
- Sanders, H.L. (1977). Evolutionary ecology and the deep-sea benthos. In: Goulden, C.E. (Ed.). *The changing scenes in nature sciences. Academy of natural sciences special publ.* Philadelphia. pp 223-243.
- Sheldon, R.W., Prakash, A. & Sutcliffe, W.H. (1972). The size distribution of particles in the ocean. *Limn. and Oceanog.* 3: 327-340.
- Sherman, K. (1994). Sustainability, biomass yields and health of coastal ecosystems: an ecological perspective. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 112: 277-301.
- Shirazago, G.B. (1991). *Hidrografía y análisis frontogenético en el sur de la Bahía de Campeche*. Tesis Maestría, UACP y P-CCH, Universidad Nacional Autónoma de México. 145 pp.
- Stetson, J.L. & Trask, P.D. (1953). The sediments of the Gulf of Mexico. Part. II. Chemical studies of sediments of the western Gulf of Mexico. *Am. Assoc. Petroleum Geologists, Tulsa. Oklahoma.* 566 pp.
- Sokolova, M.N. (1972). Trophic structure deep-sea macrobenthos. *Mar. Biol.* 16: 1-12.
- Soto, L.A. & Escobar, E. (1995). Coupling mechanisms related to benthic production in the southwestern Gulf of Mexico. In: Eleftheriou, A., Ansell, A.D. & Smith, J. (Eds.). *Biology and Ecology of Shallow Coastal Waters Proc.* 28th

- European Marine Biology Symposium, International Symposium Series. Olsen & Olsen, Denmark, pp 233-242.
- Tait, R.V. (1987). Elementos de ecología marina, 2da. Edición. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 356 pp.
  - Thiel, H. (1975). The size of the deep-sea benthos. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 60: 575-606.
  - Tietjen, H.J. (1984). Distribution and species diversity of deep-sea nematodes in the Venezuela Basin. *Deep-Sea Res.* 31: 119-132.
  - Uchupi, E. (1975). Physiography of the Gulf of Mexico and Carribean Sea. In: A.E.M. Nairn & F.G. Stehli (Eds.). *The oceans basins and margins*. Vol. 3. Plenum Press, London. 706 pp.
  - Valiela, Y. (1984). *Marine ecological processes*. Springer-Verlag, N.Y. 546 pp.
  - Van der Spoel, S. & Schalk, P.H. (1988). Unique deviations in depth distribution of the deep-sea fauna. *Deep-Sea Res.* 35: 1185-1193.
  - 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. 98 pp.
  - Vinogradova, N.G. (1962). Vertical zonation in the distribution of the deep-sea benthic fauna in the ocean. *Deep-Sea Res.* 8: 245-250.
  - Warwick, R.M. & Uncles, R.J. (1980). Distribution of benthic macrofauna associations in the Bristol Cannel in relation to tidal stress. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 3: 97-103.
  - Wassman, P. (1984). Sedimentation and benthic mineralization of organic detritus in a Norwegian Fjord. *Mar. Biol.* 83: 83-94.
  - Zenkevithc, L.A. (1961). Certain quantitative characteristics or the pelagic and bottom life of the ocean. *Publ. Am. Assoc. Adv. Sci.* 67: 323-336.

## Agradecimientos

Quisiera concluir mencionando y dando mérito a todas aquellas personas que de alguna u otra forma contribuyeron en la realización de éste trabajo.

A la Dra. Elva Escobar Briones por la oportunidad de trabajar bajo su asesoría, por su invaluable labor en la dirección del presente trabajo y por toda la confianza que ha depositado en mi.

A DGAPA (proyectos IN 213197 e IN 217298) y a CONACYT (proyecto G-27777B) por las becas académicas que apoyaron ésta tesis. A CONACYT, proyecto 050PN-1297, por el financiamiento para el análisis y materiales de este estudio.

Al Dr. Antonio Peña Díaz, director del ICMyL y a las secretarías Académica y administrativas del mismo, por las facilidades brindadas para el desarrollo de esta tesis. A la tripulación del B/O *Justo Sierra* por el apoyo de campo durante la campaña oceanográfica OGMEX-XVI.

Al Dr. Luis Soto, responsable del laboratorio de Ecología del Bentos del ICMyL, por el espacio y la infraestructura facilitadas y a todos los compañeros que hacen de las largas horas de trabajo momentos más interesantes.

A los biólogos Mario Chávez Arteága, Felipe de Jesus Cruz López, a los M. en C. Jonathan Franco López y Alfonso Lugo Vázquez por la revisión y acertados comentarios realizados al presente trabajo.

Al P. de B. Fabricio González Soriano por su invaluable corrección de estilo, asesoría editorial y técnica y por todos los comentarios, buenos y malos, que hizo a este trabajo.

Al P. de B. Juan Antonio Salas Hernández por su desinteresado trabajo y ayuda en la edición digital del mapa de la zona de estudio.

A la Biol. Diana R. Hernández Robles por su apoyo y asesoría en los momentos de grandes dudas.

Al Biol. Luis. A. Oseguera Pérez por su asesoría en el tratamiento gráfico de los datos y la enorme paciencia que tiene.

En este sentido cabe la aclaración tradicional sobre los errores que yo haya pasado por alto.

Al Sr. Jose Luis González y la Sra. Lourdes Soriano por aguantarme en su casa hasta altas horas de la noche y permitir mi seguro regreso a casa.

Un muy especial agradecimiento a Margarita, Circe y Antonio por su apoyo incondicional, moral y económico, aún en los momentos de mayor desesperanza.