



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA**

**ESTUDIO ESPACIAL DE LA MEIOFAUNA DE AGUAS PROFUNDAS EN EL
CENTRO DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS
(BIOLOGÍA MARINA)**

PRESENTA:

DÍAZ ALVAREZ KAREN ALEJANDRA

TUTOR PRINCIPAL:

DR. SAMUEL GÓMEZ NOGUERA

INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA (UNIDAD MAZATLÁN)

COMITÉ TUTOR:

DR. ADOLFO GRACIA GASCA

INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

DR. MICHEL EDMOND HENDRICKX RENERS

INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA (UNIDAD MAZATLÁN)

DR. EDUARDO SUÁREZ MORALES

ECOSUR (UNIDAD CHETUMAL)

DR. ALBERTO DE JESÚS NAVARRETE

ECOSUR (UNIDAD CHETUMAL)

MAZATLÁN, SINALOA, MÉXICO, ENERO DEL 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



**ESTUDIO ESPACIAL DE LA MEIOFAUNA DE AGUAS PROFUNDAS
EN EL CENTRO DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTROA EN CIENCIAS

(BIOLOGÍA MARINA)

PRESENTA:

KAREN ALEJANDRA DÍAZ ALVAREZ

TUTOR PRINCIPAL:

DR. SAMUEL GOMEZ NOGUERA

INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA (U.A. MAZATLAN)

COMITÉ TUTOR:

DR. ADOLFO GRACIA GASCA

INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

DR. MICHEL EDMOND HENDRICKX RENERS

INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA (UNIDAD MAZATLÁN)

DR. EDUARDO SUÁREZ MORALES

ECOSUR (UNIDAD CHETUMAL)

DR. ALBERTO DE JESÚS NAVARRETE

ECOSUR (UNIDAD CHETUMAL)

MAZATLÁN, SINALOA, MEXICO, ENERO DEL 2018

AGRADECIMIENTOS

A mi *alma mater* la Universidad Nacional Autónoma de México por ser desde hace años mi casa de estudio y de formación profesional.

Al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología Unidad Académica de Mazatlán por permitirme seguir siendo parte de la comunidad puma universitaria, por la financiación para asistir a congresos y cursos, vitales en mi desarrollo académico.

A mi director de tesis Dr. Samuel Gómez Noguera, a quien agradezco el apoyo, la orientación, paciencia y disponibilidad durante la realización de mi proyecto de investigación. Además de despertar mi interés en la meiofauna del mar profundo.

A mi Comité Tutorial, Dr. Michel Edmond Hendrickx Reners por sus guía y excelentes comentarios en apoyo a ésta tesis y al Dr. Eduardo Suárez Morales, Dr. Alberto De Jesús Navarrete, Dr. Adolfo Gracia Gasca por su contribución al enriquecimiento de este trabajo.

A los apoyos recibidos Proyecto IN202116 “Distribución y riqueza de comunidades de microinvertebrados bentónicos poco conocidos del Golfo de California”.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPPIIT-DGAPA) de la UNAM por su apoyo económico a la investigación al Proyecto IN217306-3 “Biocenosis de invertebrados bentónicos y pelágicos en aguas profundas del Pacífico Mexicano en relación con las condiciones ambientales”

AL PCMyL, al CONACYT y al proyecto TALUD por brindarme el apoyo económico para asistir a cursos y congresos.

A la Dra. Nuria Méndez Ubach y a la Dra. Beatriz yáñez por recibirme en el laboratorio y en el grupo de trabajo de Invertebrados Bentónicos, así como, por el apoyo y orientación otorgada.

A todo el equipo y tripulación del B/O el “PUMA” de la campaña TALUD X por la obtención de las muestras.

A la Biol. Lucía Alvarez Castillo por su instrucción en las primeras identificaciones de los organismos, a la M. en C. Zaira por su colaboración para la revisión y obtención de organismos y la Biol. M. Yosahandy Vázquez por su inmensurable apoyo técnico.

A Margarita Cordero, Gabriela Almaraz, Diana Juárez, Chantal G. Ruiz y Guadalupe Godoy, por su disposición y su colaboración en trámites del Posgrado.

A todos los miembros de la Unidad Académica Mazatlán, académicos, técnicos y los que hacen posible que la unidad funcione cada día, porque de una u otra forma colaboraron para proporcionarme una agradable estadía en ésta institución.

A mis amigos y compañeros de maestría José Carlos, Ana, Salvador, Manuel, a las “Chidlas” Raquel, Julieta, Any, Odette, Cinthia y Yosa por el apoyo, por los momentos divertidos y por hacer mi estadía en “Maza” más amena.

A la M. en C. Laura R. Álvarez Cerrillo por su amistad y asesoría en mi primer acercamiento en el análisis de datos ecológicos.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A mi mamá por siempre creer en mí, fortalecerme con tus consejos y motivarme siempre para seguir trabajando y así lograr mis sueños y objetivos.

A toda mi familia, y hermanos que aún con la distancia siempre me apoyan. De nuevo a todos mis “viejos” y recientes amigos, particularmente a Raquel por ser siempre mi confidente, mi apoyo y darme ánimos siempre.

Agradecer también al M. en C. David L. Tafolla por sus valiosos comentarios y sugerencias sobre los detalles finales de ésta tesis y por concederme la posibilidad de nuevas posibilidades.

A Martha, Jesús y “bebe” por permitirme habitar y finiquitar este proyecto en su morada.

Productos derivados de la tesis

Artículos:

Gómez, S., & Díaz, K. (2017). On some new species of Ancorabolidae Sars, 1909 from the Gulf of California: the genera *Ceratonotus* Sars, 1909, and *Dendropsyllus* Conroy-Dalton, 2003 (Crustacea, Copepoda, Harpacticoida). *ZooKeys*, (657), 43.

Congresos y cursos:

Asistencia al curso de Análisis de datos Multivariados para Biología, Ecología y Ciencias Ambientales usando PRIMER v7 & PERMANOVA+ add on. Parque Científico Tecnológico de Yucatán, Sierra, Papacal, Mérida, Yucatán, México. Agosto, 2017.

Asistencia a la Cátedra Magistral en ciencias del Mar “Margarita Lizárraga”. Cambio global y climático en la zona costera mexicana. ICMYL, U.A. Mazatlán, Sinaloa, México, 2017.

Asistencia en el curso Writing Scientific Papers for Publication in English. ICMYL, U.A. Mazatlán, Sinaloa, México, 2017.

Participación en la X Reunión Nacional Alejandro Villalobos. Póster. “Biomasa de la meiofauna y su relación con algunos parámetros ambientales del talud en el golfo de California”. Ex sanatorio Rendón Peniche del CEPHCIS. Mérida, Yucatán, México, 2016.

Participante en el XIV Congreso de la Asociación de Investigadores del Mar de Cortés, A. C., y VII Simposium Internacional sobre el Mar de Cortés. Póster. “Análisis de la meiofauna y su relación con algunos parámetros ambientales del talud del golfo de California”. UABCS, La Paz, Baja California, México, 2016.

Asistencia en el curso “Modelos generales lineales en R”, con 40 horas efectivas ICMYL, U. A. Mazatlán, Sinaloa, México. Diciembre, 2015.

Asistencia al “5° Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático”. ICMYL, U. A. Mazatlán, Sinaloa, México Octubre, 2015.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	10
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
I. INTRODUCCIÓN	3
II. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Definición y clasificación de la meiofauna	5
2.2 Estructura comunitaria	6
2.3 Importancia ecológica.....	8
2.4 Composición de la meiofauna	8
2.5 Golfo de California: Zona del Mínimo Oxígeno.....	9
III. ANTECEDENTES	12
IV. JUSTIFICACIÓN	15
V. OBJETIVOS	16
VI. ÁREA DE ESTUDIO	17
6.1 Golfo de California	17
6.2 Ubicación del área de estudio	19
VII. MÉTODOS	21
7.1 Trabajo de campo	21
7.2 Trabajo de laboratorio	21
7.2.1 Análisis faunístico	21
7.2.2 Concentración de materia orgánica.....	22
7.2.3 Análisis granulométrico	22
7.3 Análisis de datos y elaboración de figuras	23
7.3.1 Parámetros ambientales.....	23
7.3.2 Estructura y composición de la meiofauna.....	23
7.3.2.1 Biomasa	25
7.3.2.2 Análisis ecológico	28
VIII. RESULTADOS	31
8.1 Descripción de las variables ambientales registradas en la zona de estudio	31
8.1.1 Variables físicas y químicas del agua de fondo.....	31
8.1.2 Composición sedimentaria.....	33
8.1.3 Correlación de variables ambientales	35
1.2 Estructura de la meiofauna	37
8.2.1 Abundancia, densidad y biomasa	37
8.2.3 Relación de la meiofauna con los factores ambientales	43
8.2 4 Densidad de copépodos bentónicos e hiperbénticos	43
.....	45
8.2.5 Variación en la composición taxonómica de copépodos bentónicos e hiperbénticos en el área de estudio	45

8.2.6 Diversidad y riqueza de copépodos.....	47
8.2.7 Relación de los harpacticoides con los factores ambientales	49
8.3 Nuevos registros	50
IX. DISCUSIÓN	51
9.1 Caracterización ambiental del área de estudio	51
X. CONCLUSIONES	62
XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
1	Grupo de organismos de la meiofauna asociados a los granos de sedimento (Modificado de Higgins & Thiel, 1988)	7
2	Distribución mundial de las Zonas del Mínimo Oxígeno. En rojo se indica la extensión de la ZMO de acuerdo con la WOD (World Ocean Database 2005). La escala de colores corresponde a $1 \pm 2 \mu\text{M}$ intervalo entre 0 and $20 \mu\text{M}$, y a $20 \pm 2 \mu\text{M}$ intervalo entre 20 and $340 \mu\text{M}$ (modificado de Paulmier & Pino-Ruiz, 2009).	10
3	Sección longitudinal de oxígeno disuelto (ml/L^{-1}) para tres cruceros a) TALUD X, b) TALUD VII y c) TALUD XI. Las oxílineas se indican con líneas blancas (de 0.5 y 0.2 ml/L^{-1}) (Para más detalles de la figura consultar Hendrickx & Serrano, 2010).	12
4	Ubicación de las estaciones muestreadas durante la campaña TALUD X (febrero 2007) (seaturtle.org/maptool Projection, 2017).	20
5	Contornos de las formas del cuerpo de copépodos harpacticoides con factores de conversión C). Tomado de Warwick & Gee (1984).	27
6	Distribución horizontal de las variables en el fondo de cada estación muestreada durante el crucero TALUD X A) profundidad B) temperatura C) salinidad D) oxígeno disuelto (Software Ocean Data View, 2017).	32
7	Composición y distribución de los sedimentos (% de arenas, limos y arcillas) en el área de estudio (Ocean Data View).	33
8	Contenido de materia orgánica (gris claro) y de carbono orgánico (negro) en las profundidades analizadas	34
9	Análisis de componentes principales en el plano de correlación para oxígeno (OD), salinidad, sedimentos, materia orgánica (MO) y profundidad. En número romano se señala el cuadrante	36
10	Composición y abundancia relativa de los diferentes grupos de la meiofauna encontrados en muestras del Talud X	37
11	Densidad ($\text{ind}/10\text{cm}^2$) total de la meiofauna por estación (datos transformados a raíz cuarta).	38
12	MDS no métrico de sitios/estaciones con mayor densidad, con un mínimo de estrés de 0.08 en combinación con un clúster de la MO. La distancia entre grupos creados por el clúster se representa con círculos. Las figuras geométricas indican el nivel batimétrico al que pertenece la estación.	39

13	MDS's + clúster con datos de densidad por estación y estrato batimétrico combinados con análisis de clúster de oxígeno disuelto (OD), temperatura, limos y arcillas; los círculos de colores representan la distancia/similitud entre grupo de estaciones.	40
14	Biomasa ($\mu\text{g}/10\text{cm}^2$) total entre estaciones muestreadas.	41
15	Variación batimétrica de la biomasa ($\mu\text{g}/10\text{cm}^2$) por grupo taxonómico entre estratos batimétricos S – superior; MS – medio superior; MI – medio inferior; I –inferior	42
16	Densidad de órdenes de copépodos bentónicos e hiperbénticos en las estaciones muestreadas del Talud X.	44
17	Densidad de las todas familias de copépodos bentónicos e hiperbénticos por estación muestreada.	44
18	MDS's no métricos + clúster a partir de la densidad de géneros de Harpacticoida por estación, los círculos de colores representan la similitud. Los medios círculos de colores muestran los géneros más frecuentes y dominantes. Nivel de confianza (estrés = 0.11).	46
19	MDS's de la densidad de géneros bentónicos e hiperbénticos de Harpacticoida por estación y por estrato batimétrico. S, superior; MS, medio superior; MI, medio inferior; I, inferior.	46
20	Curvas de acumulación de la riqueza según los estimadores no paramétricos, Chao 1 y 2, Jack 1, Jack 2 y el valor de S_{obs} . Se observa el número de especies estimado tras 999 remuestreos con reemplazamiento.	49
21	Biplot de la ordenación de los géneros y las variables ambientales en el plano definido por los ejes 1 y 2 del Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) de las muestras/sitios del centro del golfo de California.	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Descripción	Página
1	Ubicación y profundidad de las estaciones muestreadas durante la campaña oceanográfica TALUD X. Para más detalles de las estaciones y muestreos consultar (Zamorano <i>et al.</i> , 2014).	21
2	Constantes de Warwick & Gee (1984).	28
3	Biomasa total por grupo taxonómico.	42
4	Distribución taxonómica de copépodos bentónicos e hiperbentónicos.	43
5	Índices de diversidad y riqueza aplicados a los órdenes de copépodos hallados en muestras del Talud X. El índice de riqueza de especies de Margalef (d), índice de equidad (Pielou) J' , índice de diversidad (Shannon – Wiener) J' , índice de dominancia (Simpson) λ .	47
6	Diversidad de géneros bentónicos e hiperbentónicos de Harpacticoida por estrato batimétrico del talud para las estaciones en donde se registraron copépodos, se muestra el índice de riqueza de especies de Margalef (d), índice de equidad (Pielou) J' , índice de diversidad (Shannon – Wiener) J' , índice de dominancia (Simpson).	48

RESUMEN

Esta tesis aportó información sobre la ecología de la meiofauna, diversidad de copépodos harpacticoides y su relación con distintas variables ambientales de aguas profundas. Las muestras de sedimento se recolectaron en el talud del centro del golfo de California; hallándose nuevas especies de copépodos harpacticoides.

Se observó una disminución de la temperatura al incrementar la profundidad, la salinidad fue relativamente constante debajo de la capa de mezcla, la materia orgánica disminuyó al incrementar la profundidad por procesos oxidativos. Los sedimentos estuvieron dominados por limos y arcillas, como típicamente se ha encontrado en los fondos marinos de zonas profundas.

El oxígeno disuelto disminuyó al incrementar la profundidad, y aumenta de nuevo por debajo de la Zona del Mínimo Oxígeno, se observó que ésta zona presenta concentraciones igual o menores que 0.5 mililitros por litro; se localiza desde los 250 metros hasta los 1386 metros de profundidad, el núcleo de esta zona está entre 360 metros y 1055 metros de profundidad donde la concentración de oxígeno es igual o menor que 0.2 mililitros por litro.

La meiofauna encontrada en el talud estuvo representada por seis grupos taxonómicos. El grupo dominante fue Foraminifera, seguido de Nematoda, Harpacticoida, Polychaeta, Kinorincha y Ostracoda. Los grupos taxonómicos encontrados, el orden de abundancia y la densidad fueron menores que los registrados en otras investigaciones en el mar profundo.

Los grupos taxonómicos mostraron un amplio intervalo de profundidad desde los 379 metros a 1836 metros. Se encontró que la riqueza de géneros aumentó con la profundidad. La densidad y biomasa de la meiofauna estuvo influenciada por el tamaño de grano, materia orgánica y la concentración de oxígeno disuelto, principalmente.

Se observaron diferencias entre estratos batimétricos, en el talud inferior (1400 – 1900 metros de profundidad) se observó la mayor densidad y biomasa de la meiofauna asociada a sedimentos limosos, a la presencia de materia orgánica, a temperaturas menores a los 3°C y a condiciones de hipoxia severa (entre 0.2 - 0.5 mililitros por litro) o hipoxia moderada (entre 0.5 y 1.0 mililitros por litro).

ABSTRACT

This study provides some data and information about the ecology of meiofauna. Here I describe and discuss some issues about the diversity of benthic harpacticoids and how it is related to some environmental variables in the deep sea. The sediment samples were taken at several sampling sites in the southern trough of the Central Gulf of California. Also, new species of harpacticoid copepods were described from this region.

Temperature, salinity, organic matter content and dissolved oxygen decreased with depth, as has been observed in other semi-enclosed ocean basins. As in other regions, lime and clay are the major constituents of deep-sea sediments. With regard to the distribution of the Oxygen Minimum Zone observed for the Central Gulf of California. The zone (0.5 milliliter per liter) extends from 250 m to 1386 m depth, and the core of the OMZ (0.2 milliliter per liter) can be observed between 360 m and 1055 m depth.

Meiofauna was represented by six taxonomic groups. Foraminifera was the most abundant group, followed by Nematoda, Harpacticoida, Polychaeta, Kinorincha, and Ostracoda. The number of meiofaunal groups, their abundance and density values are lower than in other deep-sea sites. Differences in meiofauna density and biomass was due to sediment type, organic matter content, and dissolved oxygen.

The different taxonomic groups found in this study showed to occupy a wide depth range from ~379 m to ~1836 m. The genera richness increased with depth.

In this study I analyze the relationships between some environmental variables and the density of meiofauna. Statistically differences of meiofauna density and biomass were observed between the different bathymetric strata considered herein. The highest values of meiofauna density and biomass were observed in the lower slope (1400 – 1900 meters depth) and seem to be related to limish sediments, organic matter content, temperatures below 3°C, and severe (0.2-0.5 milliliter per liter) to moderate (0.5 y 1.0 milliliter per liter) hypoxia.

I. INTRODUCCIÓN

Los océanos desempeñan un papel importante en la geodinámica planetaria y cubren el 71% de la superficie terrestre, del cual 90% corresponde a aguas con profundidades mayores a >200 m (Duarte, 2006). En este sentido, el mar profundo es el ecosistema más grande del mundo, posee una gran diversidad biológica y una vasta riqueza de recursos de importancia ecológica y económica (Escobar-Briones, 2000; 2013). Este ecosistema se caracteriza por la ausencia de luz, incremento en la presión con la profundidad y bajas temperaturas (Lodra & Billett, 2006 en Duarte, 2006).

El Pacífico Mexicano presenta una elevada biodiversidad por la confluencia de faunas de zonas templadas, tropicales y subtropicales que provienen de la provincia de California, del golfo de California y del suroeste de México (Hendrickx *et al.*, 2012). Esta diversidad es también muy alta en el mar profundo debido a la variedad de estructuras geológicas que constituyen diversos hábitats (Aguilar *et al.*, 2008; Escobar-Briones, 2013; Zamorano *et al.*, 2014).

La mayoría de los estudios realizados en zonas profundas se han enfocado en determinar patrones de zonación de la fauna (de manera general) o en la zonificación de algunos grupos taxonómicos específicos (Alongi, 2003; Brandt *et al.*, 2007; Hendrickx, 2012; Rex & Etter, 1998; Rowe & Menzies 1969; Sibuet *et al.*, 1998). En general se ha observado que los factores que regulan el cambio en la composición de especies con la profundidad son variados y complejos (Cartes *et al.*, 2004; Carney, 2005; Olabarria 2005; Papiol *et al.*, 2016; Wei *et al.*, 2010).

El conocimiento actual de la fauna asociada al sedimento o fauna bentónica está basado en ciertos grupos, principalmente macroinvertebrados, que se caracterizan por una alta diversidad originada por los altos grados de especialización (Dayton & Hessler, 1972; Rex & Etter, 1998; Thiel 1975) y mucho endemismo (Aguilar 2008; Brandt *et al.*, 2007; Grassle, 1989; Hessler & Sanders 1967; Smith *et al.*, 1998; Solís-Marín *et al.*, 2013; Zamorano *et al.*, 2007a, b; 2013).

La diversidad de la macrofauna del golfo de California es relativamente bien conocida. Se estima que este importante ecosistema alberga alrededor de 4916 especies descritas de

macroinvertebrados, i.e. alrededor del 70% de la fauna de invertebrados del golfo de California, siendo el mar abierto y el mar profundo los ambientes menos conocidos (Brusca & Hendrickx, 2012). Una búsqueda rápida en The Gulf of California Invertebrate Database (Brusca & Hendrickx, 2008) indica que alrededor de 508 especies de macroinvertebrados bentónicos han sido reportadas a profundidades mayores a 200 m.

La biodiversidad de la meiofauna, i.e. organismos bentónicos cuyas tallas varían entre 500 μm y 44 μm (Giere, 2009), del golfo de California es menos conocida, y solo se dispone de algunos trabajos acerca de la diversidad de estas comunidades, la mayoría de los cuales han sido desarrollados en ecosistemas sublitorales (e.g. Álvarez-Castillo *et al.*, 2015 para kinorincos, Holovachov *et al.*, 2008, 2009; Mundo-Ocampo *et al.*, 2007 y Pereira *et al.*, 2010 para nemátodos; Gómez & Morales-Serna, 2014 para copépodos harpacticoides; solo se tiene la descripción de algunas especies halladas a profundidades mayores a los 200 m (e.g. Álvarez-Castillo *et al.*, (2015) para kinorincos, Gómez & Conroy-Dalton (2002) y Gómez & Díaz (2017) para harpacticoides; ver también Gómez & Morales-Serna (2014).

A pesar del importante papel que juegan estas comunidades (Bik Porazinska *et al.*, 2012; Bik Sung *et al.*, 2012; Brannock *et al.*, 2014; Coull, 1990, 1999; Creer & Sinniger, 2012; Danovaro & Pusceddu, 2007; Danovaro *et al.*, 2008; Snelgrove, 1997) actualmente se tiene muy poca información acerca de la diversidad de la meiofauna del mar profundo del golfo de California. Esto se debe principalmente a la taxonomía complicada de los grupos que componen estas comunidades, a las técnicas de muestreo y a la preservación particular para los diferentes grupos de organismos y principalmente al poco conocimiento y escasez de expertos en la taxonomía de, cuando menos, los grupos más comunes y abundantes de la meiofauna (Álvarez-Castillo *et al.*, 2015; Gómez & Morales-Serna, 2014; Pereira *et al.*, 2010).

En la última década se ha realizado una serie de cruceros oceanográficos en el golfo de California, en la costa oeste de la Península de Baja California y en el Pacífico Este tropical - cruceros TALUD IV-XVI-, con el objeto de conocer la diversidad del mar profundo (Zamorano *et al.*, 2014). Estos muestreos incluyeron entre otros componentes, a la meiofauna. El análisis de muestras de sedimentos recolectadas durante el desarrollo del crucero oceanográfico Talud X en la zona centro del golfo de California ha revelado la

presencia de una diversidad importante de grupos pertenecientes a la meiofauna tales como copépodos bentónicos (harpacticoides, ciclopoides y misofrioides), nemátodos, kinorincos y poliquetos, entre otros. Análisis preliminares han revelado la presencia de cuando menos 40 géneros de copépodos bentónicos, con un número elevado de especies aún por describir. A resultado de particular interés la biota en zonas con concentraciones mínimas de oxígeno disuelto ($<0.5 \text{ ml/L}^{-1}$) o Zonas de Mínimo Oxígeno (ZMO).

Dada la escasez de estudios acerca de los factores que regulan la abundancia, la densidad, la diversidad y la biomasa de la meiofauna, el presente estudio pretende analizar la variación espacial de estas comunidades en función de algunos parámetros ambientales, con especial énfasis en la población de copépodos bentónicos e hiperbénticos de zonas profundas y su relación con la ZMO.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Definición y clasificación de la meiofauna

La clasificación biológica de la fauna bentónica es amplia. De acuerdo a su talla se puede dividir en megabentos ($>3 \text{ cm}$), macrobentos ($>500 \mu\text{m}$), meiobentos ($>44 \mu\text{m}$) y microbentos ($<100 \mu\text{m}$) (Giere, 2009). Mare (1942), acuñó el término “meio” del griego *meion* que significa “más pequeño” y definió a la meiofauna como el conjunto de animales acuáticos móviles y haptosésiles que habitan en el sedimento, entre ellos los copépodos, cumáceos, poliquetos pequeños, nemátodos y foraminíferos (Fig. 1). Giere (2009) definió a la meiofauna como aquellos organismos que pasan a través de un tamiz de $500 - 1000 \mu\text{m}$ de luz de malla, pero son retenidos en un tamiz de $44 - 63 \mu\text{m}$. Recientemente, los meiobentólogos de aguas profundas han definido el tamaño mínimo de la meiofauna en $30 \mu\text{m}$ con el fin de retener a organismos más pequeños o delgados principalmente los nemátodos.

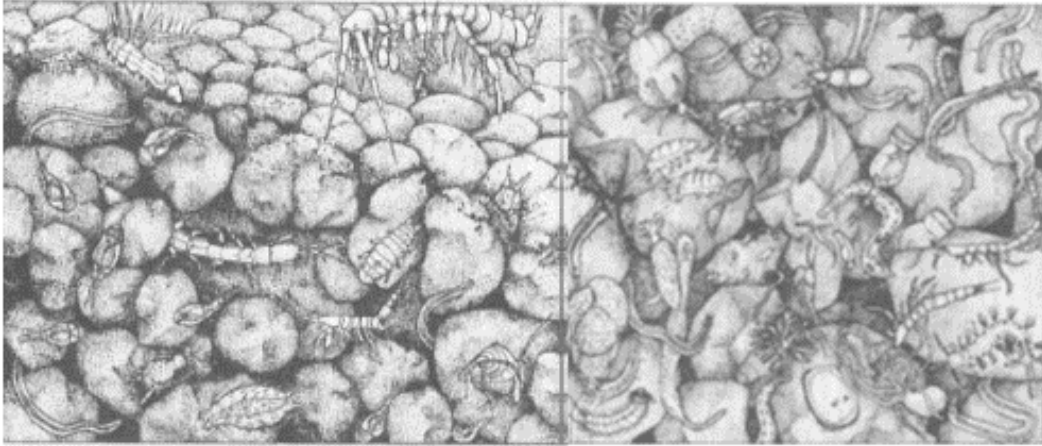


Figura 1. Grupo de organismos de la meiofauna asociados a los granos de sedimento (Modificado de Higgins y Thiel, 1988).

Además, se puede clasificar a la meiofauna de acuerdo con el tipo de requerimientos metabólicos que presenta. Así, hay organismos que se alimentan del detritus, de la materia orgánica particulada y disuelta, de las excreciones mucosas de otros organismos y de las películas microbianas; también se pueden clasificar de acuerdo con los requerimientos de respiración, al hábitat que ocupan y al tiempo durante el cual forman parte de la meiofauna en términos de sus tallas (Giere, 2009).

Este último autor, define a la “meiofauna temporal” como aquellos organismos que sólo forman parte de la meiofauna durante sus estadios juveniles, pero que al crecer pasan a ser integrantes de la macrofauna, como los oligoquetos, anfípodos y otros. Por otro lado, la “meiofauna permanente” se refiere a grupos cuyos estadios juveniles y adultos son exclusivos de la meiofauna, como los nemátodos, copépodos harpacticoides, ostrácodos, tardígrados y kinorrrincos, por mencionar algunos (Higgins & Thiel, 1988; Giere, 2009).

2.2 Estructura comunitaria

En general, la meiofauna tiene una capacidad alta para ocupar varios habitats (se considera cosmopolita) permitiéndoles diversificarse aún sin el efecto de las barreras geográficas, es decir, se caracterizan por tener patrones simpátricos de distribución y especiación (Giere, 2009). La meiofauna se caracteriza, entre otras cosas, por presentar una distribución en parches. A pequeña escala (mm – cm), esta distribución está dada por la especialización en su alimentación, las interacciones tróficas y las características del sedimento. Las corrientes

y las mareas son los principales factores que definen la estructura de la comunidad a escalas mayores (m – km) al suspender y transportar a los organismos (Findlay, 1981; Fleeger *et al.*, 1990; Giere, 2009; Higgins & Thiel, 1988; Lazier & Mann, 1989).

VARIABLES COMO EL TIPO DE SEDIMENTO, LA LUZ Y LA TEMPERATURA JUEGAN UN PAPEL IMPORTANTE EN LA ESTRUCTURA COMUNITARIA DE LA MEIOFAUNA (VEGAS, 1980). Sin embargo, estas variables se comportan de manera relativamente homogéneas a profundidades mayores a 200 m (Gage & Tyler, 1991; Sverdrup *et al.*, 1942). Otras variables como la salinidad, el oxígeno y el pH sólo son limitantes en condiciones extremas, como en zonas polares, zonas volcánicas, etc. (Baguley *et al.*, 2006; Boeckner & Sharma, 2009; Giere, 2009).

Los valores más altos de densidad de la meiofauna han sido encontrados en zonas litorales y van disminuyendo al aumentar la profundidad. Por el contrario, los valores de diversidad más altos se han registrado en sedimentos submareales (Alvarez-Castillo, 2014; Danovaro *et al.*, 2000; Fabiano & Danovaro, 1999; Giere, 2009; Gómez & Morales-Serna, 2012; Shimanaga *et al.*, 2007; Tietjen 1984, 1989, 1992).

Este patrón de disminución de la densidad con la profundidad se ha observado en algunos grupos como los nemátodos, copépodos, kinorincos y tardígrados. Sin embargo, la densidad de otros grupos de la meiofauna puede aumentar (Gómez & Morales Serna, 2012). Por ejemplo, la densidad de la meiofauna en el mar profundo oscila entre 75 ind/10cm² y 2731 ind/10cm² a 3597 m y 2290 m de profundidad, respectivamente (Danovaro *et al.*, 2000; Gutzman *et al.*, 2004), y entre 4 ind/10cm² y 40 ind/10cm² a 2883 y 987 m, respectivamente (Gómez & Morales-Serna, 2012). Comparativamente, la densidad de copépodos harpacticoides en ambientes sublitorales oscila entre 200 y 300 ind/10 cm² (Huys & Boxshall, 1991), Sharma *et al.*, (2012) registraron abundancias de 297 ind/10 cm², también Baguley *et al.*, (2006) registraron abundancias relativas de 172 ± 94 organismos/ 10 cm².

Se ha observado una reducción en la densidad, y biomasa de la macrofauna y la megafauna, a diferencia de la meiofauna, cuyas abundancias son normalmente más altas en el núcleo de la zona del mínimo oxígeno, donde la concentración de oxígeno oscila entre 0.15 a 0.27 ml/L⁻¹ (Hendrickx *et al.*, 1984; Hendrickx, 2001; Rosenberg *et al.*, 1983; Levin & Gage, 1998; Levin *et al.*, 2003). Estas zonas son interesantes, por las implicaciones tanto bioquímicas, climáticas y ecológicas.

2.3 Importancia ecológica

En primer lugar, la meiofauna favorece la fijación y el metabolismo bacteriano, representando un importante eslabón de la cadena trófica (Vincx, 1996; Coull & Chandler, 1992; Coull, 1999; Radziejewska, 2014). En segundo lugar, la meiofauna tiene la capacidad de procesar (mineralizar) materia orgánica generada por la producción primaria en la superficie del mar. Esta no es degradada por completo en la columna de agua, y finalmente se sedimenta (Coull, 1988; Eila *et al.*, 1988; Huys & Boxshall, 1991).

La meiofauna es considerada como un importante indicador de enriquecimiento orgánico, contaminación por hidrocarburos, metales pesados y pesticidas (Bejarano *et al.*, 2005; Bongers & Ferris, 1999; Coull & Chandler, 1992; Lee & Correa, 2005; Millward *et al.*, 2004; Morales-Serna, 2006; Warwick, 1981).

2.4 Composición de la meiofauna

La meiofauna está compuesta por 39 grupos de metazoarios, como los Protista, Cnidaria, Platyhelminthes, Gnathifera, Nemertinea, Nematelmita, Tardigrada, Crustacea, Chelicerata, Annelida, Siponcula, Mollusca, Tentaculata, Entoprocta, Holothuroidea, Chaetognatha y Tunicata. La mayoría tienen representantes que por sus tallas pertenecen a la macrofauna, y solo unos cuantos grupos taxonómicos son exclusivamente meiobentónicos: Gastrotricha, Gnathostomulida, Kinorhyncha, Loricifera y Tardigrada (Giere, 2009).

La subclase Copepoda es generalmente el segundo grupo más abundante, después del phylum Nematoda (Alongi & Pichon, 1988; Snider *et al.*, 1984; Tietjen, 1984). Los copépodos bentónicos e hiperbentónicos son micro crustáceos acuáticos que se encuentran en una gran variedad de hábitats, desde agua dulce hasta ambientes hipersalinos, desde ambientes tropicales hasta los polos, desde zonas litorales hasta el mar profundo, en cuevas, cavernas, cenotes y en ambientes semiterrestres (hojarascas, musgos, oquedades de árboles, etc.) (Giere, 2009). Algunas especies son de vida libre, pero otras se encuentran asociados a peces, mamíferos marinos y a una gran variedad de invertebrados (Hendrickx & Fiers, 2010; Higgins & Thiel, 1988; Huys & Boxshall, 1991; Ortíz *et al.*, 1992; Suárez - Morales, 2015). Son consumidores de detrito, materia orgánica, organismos autótrofos y heterótrofos (Huys *et al.*, 1996; Wells, 1976), y miden entre 0.2 y 2.5 mm de longitud (Huys & Boxshall, 1991).

2.5 Golfo de California: Zona del Mínimo Oxígeno

El océano posee múltiples variables abióticas que son interesantes de analizar no sólo por sus implicaciones físicas y químicas intrínsecas, si no por las repercusiones en el ambiente. Una variable determinante es la presencia y cantidad de oxígeno.

La Zona del Mínimo de Oxígeno se define como un área en la columna de agua en donde la concentración de oxígeno disuelto se agota hasta tener valores $\leq 0.5 \text{ ml L}^{-1}$ (Levin, 2003). La ZMO se forma en áreas que presentan una alta producción primaria en la superficie del agua, una pobre circulación y la degradación de materia orgánica consume el oxígeno disponible (Levin, 2003).

Se han identificado varias zonas de mínimo de oxígeno (ZMO), unas permanentes y otras estacionales. Las primeras se encuentran en el Sureste del Pacífico, el Sureste del Pacífico Norte Tropical, el Sureste del Pacífico Norte sub-tropical, en el mar Árabe y en la Bahía de Bengala. Las zonas de mínimo oxígeno estacionales se encuentran en el mar de Bering y en el golfo de Alaska (Fig. 2) (Paulmier & Ruiz-Pino, 2009).

Entre las pocas evaluaciones de la extensión de este fenómeno en aguas mexicanas, existe un trabajo publicado en los años 60's por Parker (1964) quien utilizó toda la información disponible a partir de cruceros para proponer un mapa de distribución de la ZMO en el golfo

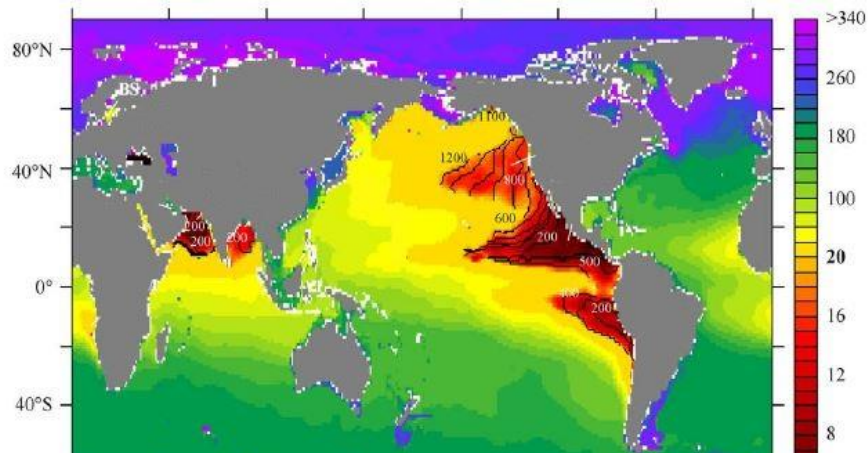


Figura 2. Distribución mundial de las Zonas del Mínimo de Oxígeno (ZMO). En rojo se indica la extensión de la ZMO.

de California (GC). Datos posteriores hacen referencia a diversos transectos basados en hidrocalas, y a perfiles establecidos desde la superficie hasta varias profundidades (Gaxiola-Castro *et al.*, 2002; Hendrickx & Serrano, 2010; Sánchez-Velázquez *et al.*, 2004).

El Pacífico oriental se caracteriza por tener la ZMO más grande del mundo. Ésta se extiende desde el hemisferio norte (estrecho de Bering) hasta el hemisferio sur (costas chilenas), y desde 25 m hasta casi 1,500 m de profundidad (Díaz & Rosenberg, 1995; Hendrickx *et al.*, 2012). En el Pacífico mexicano, las profundidades en las que las concentraciones de oxígeno disuelto son menores a 0.5 ml L^{-1} varían según la latitud (Zamorano *et al.*, 2014). En la zona central del GC los valores de oxígeno disuelto $\leq 0.5 \text{ ml/L}^{-1}$ se encuentran ~250 m de profundidad, en el noroeste (frente a las costas de Sonora y Sinaloa) los valores de oxígeno disuelto $\leq 0.5 \text{ ml/L}^{-1}$ se encuentran ~75 m de profundidad y frente a las costas de Jalisco, Colima, Michoacán y Guerrero se encuentra ~50 m de profundidad (Hendrickx & Serrano, 2010; Zamorano *et al.*, 2014). Es decir, el registro de las oxilíneas desde el centro del GC hasta la zona sureste de México va de menor a mayor espesor (Fig. 3).

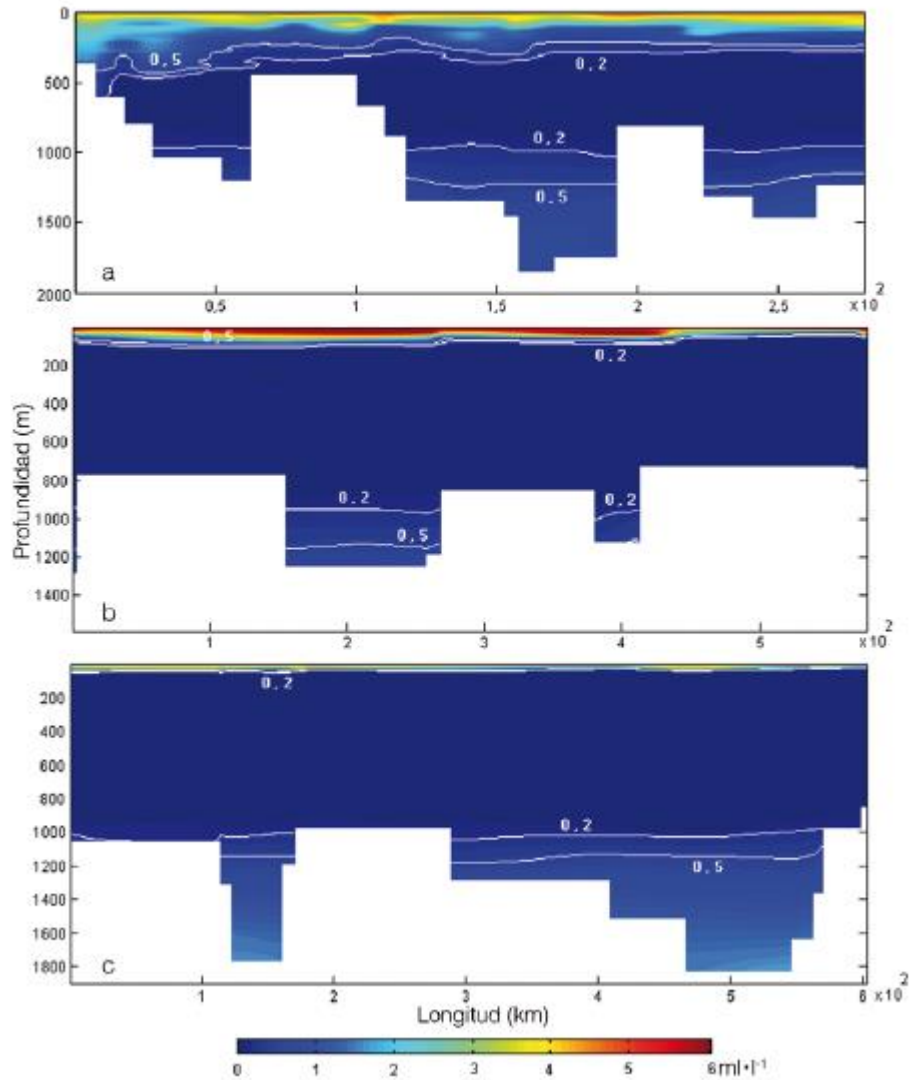


Figura 3 Sección longitudinal de oxígeno disuelto ($\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$) observada durante el desarrollo de tres cruceros a) TALUD X, b) TALUD VII y c) TALUD XI. Las oxíneas se indican con líneas blancas (de 0.5 y 0.2 $\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$) (Para más detalles de la figura consultar Hendrickx y Serrano, 2010).

La ZMO influye en la composición, biomasa y distribución de los organismos actuando como una barrera física y geográfica para las especies (Helly & Levin, 2004; Hendrickx & Serrano, 2014; Wishner *et al.*, 1990, 1995).

La concentración de oxígeno disuelto por arriba del límite superior de la ZMO, es mayor debido al intercambio de gases atmósfera- océano y a la fotosíntesis del fitoplancton, principalmente. El aporte de oxígeno por debajo del límite inferior de la ZMO se debe a la presencia de masas de agua con baja temperatura y mayor densidad, provenientes de los polos

y de la superficie marina (Hendrickx & Serrano, 2010). Ésta última zona, es de particular interés ya que el incremento progresivo del oxígeno ha permitido que una gran cantidad de organismos bentónicos puedan habitar (Helly & Levin, 2004; Hendrickx & Serrano, 2014; Levin, 2003; Oliver & Levin, 2006; Serrano, 2012; Wishner *et al.*, 1995; Zamorano *et al.*, 2014).

III. ANTECEDENTES

El conocimiento de la meiofauna en el golfo de California es muy limitado y aún más tratándose de zonas profundas como el talud continental. No obstante, esfuerzos recientes han permitido un mejor conocimiento de la diversidad de la meiofauna del Pacífico mexicano.

La mayoría de los registros taxonómicos existentes de varios grupos de invertebrados en el golfo de California provienen principalmente de estudios realizados por investigadores extranjeros y desde finales de la década de los noventa por mexicanos permitiendo la descripción de muchas especies nuevas para la ciencia.

La literatura disponible acerca de la meiofauna del golfo de California, incluye a especies de aguas someras o costeras principalmente, y en menor cantidad de mar profundo. A continuación los trabajos de mar profundo que se han realizado se encuentran organizados en orden cronológico y por grupo biológico:

Foraminifera:

- Bandy (1961) estudió la distribución y abundancia de foraminíferos, radiolarios y diatomeas en el golfo de California.
- Calvert (1964) analizó la estructura de la comunidad de diatomeas de sedimentos de las cuencas de Guaymas y San Pedro Martir y su interacción con la ZMO.
- Phleger (1964) analizó los patrones de distribución e identificó 220 especies de foraminíferos bentónicos en el golfo de California.
- Streeter (1972) analizó los datos del trabajo anterior y concluyó que los foraminíferos bentónicos del golfo de California se agrupan en nueve asociaciones faunísticas.

- Pettit *et al.*, (2013) determinaron la respuesta de los foraminíferos a condiciones de pH bajo registradas en dos cuencas del golfo de California.

Acoelomorpha:

- Crezée (1975) describió cuatro especies de acoelomorfos.

Kinorhyncha:

- Álvarez-Castillo *et al.*, (2015) analizaron la relación de la meiofauna, particularmente Kinorhyncha, y algunos factores ambientales como el pH, de las cuencas Wagner y Consag, ubicadas en el norte de del golfo de California. Estos ambientes se caracterizan por ser respiraderos activos de CO₂. Álvarez-Castillo *et al.*, (2015) presentaron los primeros registros de cuatro géneros y 10 especies nuevas de kinorrincos.

Copepoda:

- Gómez (2000a, b, c, 2003) describió un género y seis especies, y redescubrió tres especies e hizo el primer registro de tres especies de un sistema lagunar. Se tiene un registro de 1656 copépodos, ±78 especies descritas (harpacticoides, ciclopoideos, y parásitos) en una serie amplia de publicaciones.
- Gómez & Conroy-Dalton (2002) describieron al harpacticóide *Ancorabolus hendrickxi* hallado en muestras de sedimentos recolectadas a 1985 m de profundidad frente a las costas de Sinaloa.
- Rodríguez-Soberanes (2007) analizó la variación espacial y temporal de la densidad y diversidad de los copépodos bentónicos recolectados frente a las costas de Sinaloa durante el desarrollo del crucero oceanográfico TALUD IV, y su relación con algunas variables ambientales.
- Hendrickx & Fiers (2010) realizaron un listado de 40 especies, 20 géneros y nueve familias de harpacticoides asociados a crustáceos decápodos, de los cuales dos especies del género *Robustunguis* se encontraron en aguas del Pacífico mexicano,
- Gómez & Morales-Serna (2012) estudiaron la distribución y la abundancia de copépodos del mar profundo del golfo de California frente a las costas de Sinaloa

(crucero Talud IV). En este trabajo se menciona la presencia de los géneros *Amphiascoides*, *Limameira*, *Moraria*, *Parargestes*, *Sicameira*, *Cletodes*, *Fladenia*, *Marsteinia*, *Neobradylidae*, *Peresime*, *Tachidiella*, *Argestigens*, *Dactylopodopsis*, *Halectinosoma*, *Mesochra*, *Normanella*, *Pseudobradyla*, *Zosime*.

- Gómez & Morales-Serna (2014) enlistaron 151 especies/subespecies de copépodos harpacticoides, distribuidas en 85 géneros y 31 familias en los sistemas marinos y de agua dulce de México. De los cuales 78 géneros distribuidos en 25 familias se encontraron en las costas de Sinaloa y frente a a Península de Baja California.

Los trabajos sobre Harpacticoida en el Pacífico de México son principalmente descriptivos, tales como registro, descripción de nuevas especies y redescipción de especies, éstos se han enfocado principalmente al conocimiento de su diversidad taxonómica en sistemas costeros del centro y sur de Sinaloa (Gómez 1993; Gómez & Hendrickx, 1997; Gómez & Fiers 1997, Gómez, 2001a, b, 2002a, b, 2003, 2004; Gómez & Seifried 2001, Gómez *et al.*, 2004a, b, 2008; Gómez & Rocha 2005, Morales-Serna *et al.*, 2006, 2012; Gómez & Vargas-Arriaga 2008, Morales-Serna & Gómez 2008, Gómez & Morales-Serna 2012, 2013a, b; Gómez & Varela, 2013). Poco se conoce sobre aspectos ecológicos, como su relación con variables ambientales.

Por el contrario, el golfo de México cuenta con trabajos sobre la biodiversidad meiobentónica de aguas profundas. Por ejemplo, Baguley *et al.*, (2006) describen las tendencias espaciales y batimétricas de la comunidad de Harpacticoida. También se han realizado estudios sobre la distribución de la comunidad meiobentónica (Baguley *et al.*, 2008; Landers *et al.*, 2012), y la variación de su biomasa (Escobar *et al.*, 1999; Sharma *et al.*, 2012) así como trabajos descriptivos (Sorensen *et al.*, 2015) y su relación con variables ambientales (Escobar – Briones *et al.*, 2000; Murrell & Fleeger, 1989).

IV. JUSTIFICACIÓN

Hasta ahora la meiofauna ha sido relativamente más estudiada en los mares de Europa, en el Atlántico y en el Indo- Pacífico (Hendrickx y & Fiers, 2010; Huys *et al.*, 1996). Por el contrario, la meiofauna es menos conocida en regiones tropicales y subtropicales del Pacífico, (Hendrickx & Fiers, 2010). Por otra parte, la literatura relacionada con la meiofauna de sistemas marinos y salobres de México se ha limitado en su mayoría al descubrimiento, descripción y redesccripción de nuevas especies, géneros y familias de sólo algunos grupos de la meiofauna. En consecuencia, se sabe poco acerca de los patrones ecológicos y biogeográficos de las estas comunidades, particularmente del golfo de California.

Por otra parte, determinar la cantidad de biomasa que la meiofauna aporta al ecosistema es un importante componente de la línea base sobre la transferencia de energía en zonas poco exploradas como es el talud del golfo de California.

Por tales motivos, es importante llevar a cabo las investigaciones de esta fauna en el territorio mexicano. Así, este estudio contribuirá al conocimiento de los patrones de diversidad y abundancia de la meiofauna del golfo de California en general, y de los harpacticoides bentónicos e hiperbentónicos.

V. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es analizar la variación espacial de la abundancia, densidad, biomasa y diversidad de la meiofauna en función de algunas variables ambientales medidas en aguas profundas en el centro del golfo California.

Los objetivos particulares derivados del anterior son los siguientes:

1. Reconocer la composición de la meiofauna a nivel de grandes grupos taxonómicos
2. Determinar y analizar la abundancia, densidad y biomasa de la meiofauna hallada en muestras de sedimentos colectados durante el desarrollo del crucero Talud X.
3. Identificar los copépodos bentónicos e hiperbentónicos hasta el nivel de familia y género.
4. Describir la relación de la densidad de la meiofauna en general y de los copépodos bentónicos e hiperbentónicos con la variación de las variables ambientales medidas (la concentración de oxígeno disuelto, salinidad, temperatura, materia orgánica, granulometría y profundidad)

VI. ÁREA DE ESTUDIO

6.1 Golfo de California

El golfo de California (GC), ubicado en el noroeste de México, es un mar marginal y semicerrado, alargado (~1,000 km) y estrecho (~200 km), ubicado entre los 23° - 32°N y 107° - 117°W, y se caracteriza por su riqueza biológica (Alvarez-Borrogo, 2008; Fernández-Barajas, 1994). Está limitado al Oeste por la península de Baja California y al Este por el macizo continental con los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit (Alvarez-Borrogo, 2010; Lonsdale, 1989). En su extremo sur se comunica abiertamente con el océano Pacífico oriental, a través del cual se establecen los intercambios de calor y masas de agua.

Dentro del GC pueden definirse convencionalmente dos áreas geográficas (Norte y Sur) que tienen como frontera las islas Ángel de la Guarda y la isla Tiburón (Fernández-Barajas, 1994). En relación con su batimetría se conocen diez cuencas alineadas de norte a sur, cuya profundidad incrementa en el mismo sentido. En la parte norte las profundidades son apenas mayores a 250 m, mientras que en la porción sur la profundidad puede ser mayor a 3000 m. La frontera sur o boca del golfo es una línea imaginaria que va de Cabo San Lucas a Cabo Corrientes (De la Lanza- Espino, 1991; Fernández – Barajas, 1994; Roden & Groves, 1959). También, es notable la extensión de la plataforma continental en el margen oriental del golfo y su fuerte reducción en el lado opuesto (Amador- Buenrostro *et al.*, 2003).

En las zonas profundas (>200 m) se conocen diversos accidentes topográficos como los escarpes, las paredes verticales en el canal de las ballenas, los cañones submarinos, los arrecife de profundidad, los volcanes submarinos, las ventilas hidrotermales, y algunas características físicas y químicas como las zonas de mínimo oxígeno (De la Lanza-Espino, 1991). Por el contrario en la superficie, el GC se caracteriza por sus 102 islas, la mayoría de origen volcánico, y en la porción continental por sus bahías, playas arenosas y lagunas costeras (De la Lanza-Espino, 1991; Wilkinson *et al.*, 2009). Esta complejidad topográfica es debida al desplazamiento de las fallas situadas en el piso oceánico (De la Lanza-Espino, 1991).

El clima es árido subtropical, por tanto la tasa de evaporación y de precipitación es alta (Álvarez-Borrogo, 2010). La intensidad de los vientos es máxima en invierno y primavera, y vienen del noroeste; en verano, el viento es del sureste y a menudo produce lluvias, debido a

que lleva aire húmedo al interior del golfo (Álvarez-Borrego, 2010; Fernández-Barajas *et al.*, 1994).

Seis masas de agua intervienen en los patrones de circulación, mezcla y evaporación del GC: (1) el Agua Profunda del Océano Pacífico (APP) con salinidad $S > 34.5$ ups y temperatura $T < 4.0$ °C, (2) el Agua Intermedia del Pacífico (AIP) con $34.5 < S < 34.8$ ups y $4 < T < 9$ °C, (3) el Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt) con $34.5 < S < 35.0$ ups y $9.0 < T < 9$ °C, (4) el Agua Superficial Tropical (AST) con $S < 35.0$ ups y una $T > 18.0$ °C, (5) el Agua de la Corriente de California (ACC) con $S < 34.5$ ups y $12.0 > T < 18.0$ °C. (Lavín & Marinone, 2003).

La circulación de las masas de agua en el GC está dominada por los giros estacionales ciclónicos de junio a septiembre y anticiclónico de noviembre a abril, generando fuertes corrientes (velocidades de 1.5 a 3 m/s) y mareas altas en la porción norte (Álvarez-Borrego, 2010). Estos giros provocan valores altos de nutrientes, clorofila-a, diatomeas y alta productividad primaria (Álvarez-Borrego, 2010; Lavín *et al.*, 1997).

Durante los meses de invierno el agua es transportada por la corriente de California, agua transicional, agua Subsuperficial- subtropical y agua intermedia antártica; durante el verano, además de la corriente de California, se incorpora agua tropical superficial (Fernández Barajas *et al.*, 1994).

En aguas profundas, durante febrero, se observan flujos de agua que van hacia afuera del golfo, cerca a la costa de la península de Baja California, y flujos de agua que van hacia adentro cerca a la costa continental (Fernández- Barajas *et al.*, 1994).

6.2 Ubicación del área de estudio

El área de muestreo se encuentra ubicado entre las latitudes $28^{\circ}16'$ - $26^{\circ}15'N$ y las longitudes $110^{\circ}15'$ - $112^{\circ}25'W$ en el GC (Fig. 4).

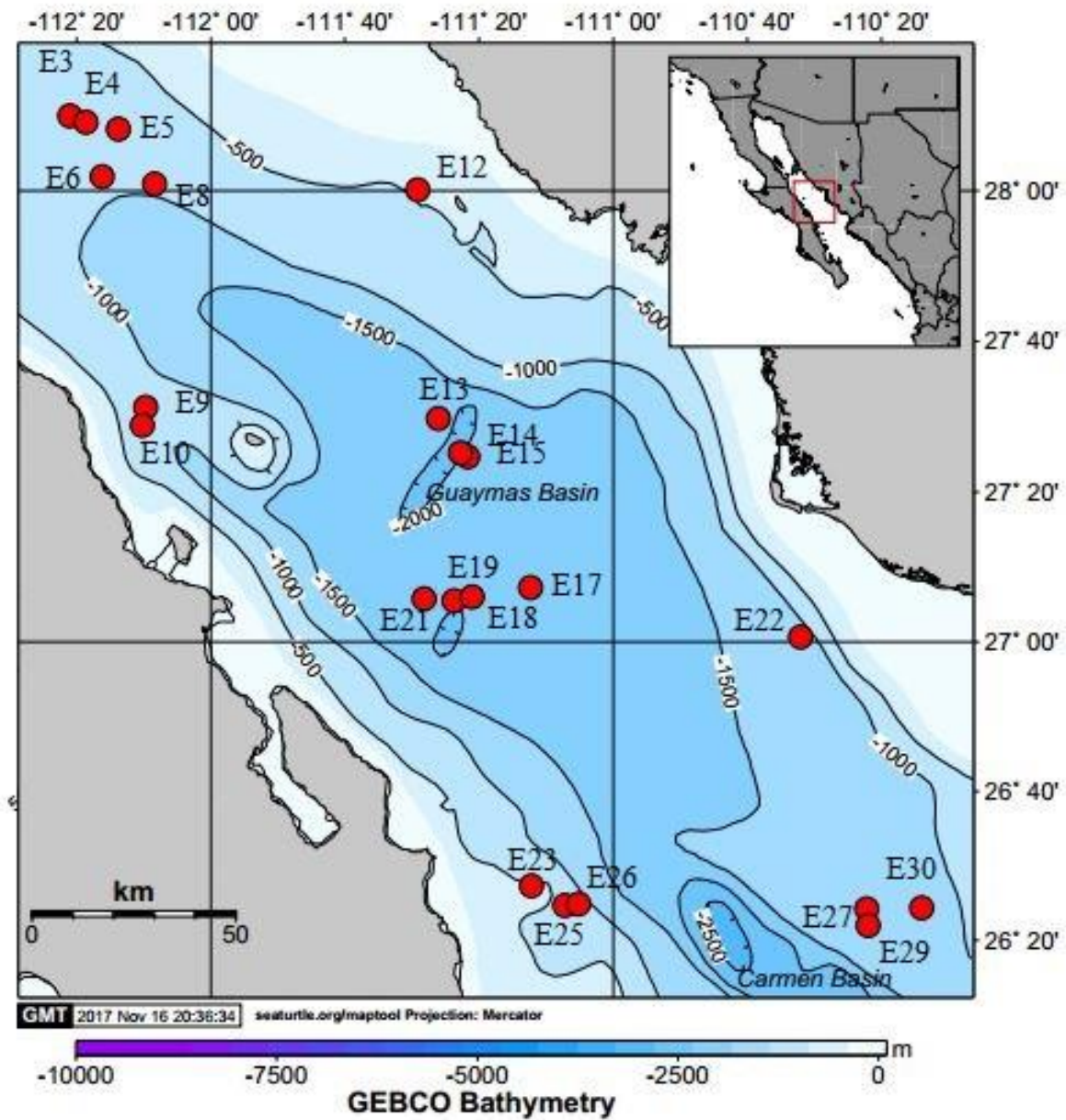


Figura 4. Ubicación de las estaciones muestreadas durante la campaña TALUD X (febrero 2007) (seaturtle.org/maptool Projection, 2017).

Tabla 1 Ubicación y profundidad de las estaciones muestreadas durante la campaña oceanográfica TALUD X. Para más detalles de las estaciones y muestreos consultar (Zamorano *et al.*, 2014).

Fecha	Estación	Latitud (N)	Longitud (O)	Profundidad (m)
09/02/07	3	28°16'52"	112°35'01"	379
09/02/07	4	28°15'07"	112°31'03"	625
09/02/07	5	28°13'55"	112°23'04"	803
09/02/07	6	28°01'47"	112°14'02"	1096
10/02/07	8	28°03'09"	112°27'03"	1036
10/02/07	9	27°52'14"	112°16'12"	1204
10/02/07	10	27°48'05"	112°17'02"	1426
10/02/07	12	28°00'22"	111°48'52"	460
10/02/07	13	27°49'60"	111°43'48"	673
10/02/07	14	27°41'08"	111°36'10"	901
10/02/07	15	27°42'00"	111°38'00"	1570
10/02/07	17	27°09'52"	111°47'03"	1332
10/02/07	18	27°09'08"	111°39'57"	1440
10/02/07	19	27°10'00"	111°35'00"	1836
10/02/07	21	27°12'10"	111°20'50"	1902
10/02/07	22	27°01'00"	110°53'40"	1642
10/02/07	23	26°41'06"	111°12'00"	1759
10/02/07	25	26°45'45"	111°20'35"	834
10/02/07	26	26°41'45"	111°08'57"	1324
10/02/07	27	26°40'30"	110°37'00"	1474
15/02/07	29	26°36'60"	110°36'20"	1439
15/02/07	30	26°40'59"	110°23'29"	1100

VII. MÉTODOS

7.1 Trabajo de campo

El muestreo de la meiofauna se realizó en 26 estaciones (Fig. 4, Tabla 1) a bordo del Buque Oceanográfico “El Puma” durante la campaña TALUD X, del 9 al 15 de febrero del 2007 a cargo del Dr. Michel E. Hendrickx.

En cada estación se midió la profundidad con un ecosonda digital SIMRAD. Los valores de los parámetros epibénticos (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto) fueron medidos con un CTD SEA-BIRD ELECTRONIC modelo 19 equipado con sensor de oxígeno, éstas lecturas no son del fondo (para no dañar el equipo), sino de unos ~10 m por encima del fondo.

En cada estación se recolectaron muestras de sedimentos con un nucleador de caja USNEL de 50 cm x 50 cm (2500 cm² de superficie de muestreo). En cada muestreo se tomaron tres submuestras con nucleadores de acrílico de 9.3 cm de diámetro (superficie de muestreo de 67.9 cm²), recuperando sólo los tres centímetros más superficiales. Tres submuestras se destinaron al análisis faunístico, una muestra se destinó a la determinación del contenido de carbono orgánico y materia orgánica y la tercer submuestra para el análisis granulométrico.

Las submuestras para el análisis faunístico se depositaron en frascos de vidrio con alcohol etílico al 96% y rosa de bengala. Las submuestras para la determinación del contenido de carbono orgánico y granulometría se colocaron en bolsas de plástico y se congelaron hasta su posterior análisis.

7.2 Trabajo de laboratorio

7.2.1 *Análisis faunístico*

La meiofauna de cada submuestra se separó usando tamices de 500 μm y 40 μm . En este estudio solo se analizó el material retenido en el tamiz de 40 μm .

Cada submuestra se colocó en una caja de petri cuadrículada y los organismos de cada grupo taxonómico fueron separados manualmente usando un microscopio estereoscópico marca Olympus SZX12 a un aumento mínimo de 50x. Posteriormente, se contabilizaron, y se colocaron en viales de vidrio de 1 ml de capacidad con alcohol etílico al 96%.

Los copépodos bentónicos e hiperbénticos se separaron hasta su posterior identificación, la cual se realizó mediante la observación de organismos completos y disectados utilizando un

microscopio LEICA mod. DME equipado con contraste de fases y un tubo de dibujo, a un aumento de 1000x. Las partes disectadas se montaron en preparaciones semipermanentes con lactofenol como medio de montaje y sellados con barniz de uñas comercial. Para la identificación se emplearon las claves de Huys *et al.*, (1996), Boxshall & Halsey (2004), y Wells (1976 y 2007).

7.2.2 Concentración de materia orgánica

La determinación de la concentración de materia orgánica se realizó en el Laboratorio de Geoquímica Isotópica y Geocronología del ICMYL-Mazatlán. Para el análisis de materia orgánica, se molió una alícuota de sedimento seco (4 g) en un mortero de porcelana hasta conseguir un tamaño de partícula <100 µm.

El análisis de la concentración de materia orgánica (MO) en sedimentos se realizó por titulación inversa, utilizando el método de Walkley & Black (1934), modificado por El Rayis (1985). El método utilizó calentamiento exotérmico y oxidación del carbono orgánico fácilmente oxidable mediante la adición de una mezcla oxidante de dicromato de potasio, sulfato de plata y ácido sulfúrico. El excedente de la mezcla que no se utilizó al oxidar la muestra, se valoró con una solución de sulfato ferroso amoniacal (Loring & Rantala, 1992). Los valores de concentración de carbono orgánico (Corg) se obtuvieron por interpolación en una curva de calibración preparada con una solución de dextrosa. Los valores de concentración de carbono orgánico fácilmente oxidable se transformaron a concentración de materia orgánica (MO) multiplicando por 1.72 (la constante de van Bemmelen; Beaudoin, 2003). La repetibilidad del método se realizó con tres réplicas de una muestra esperando un coeficiente de variación menor a 2%.

7.2.3 Análisis granulométrico

La composición granulométrica del sedimento se realizó en el mismo laboratorio de Geoquímica Isotópica y Geocronología. Las muestras se descongelaron ligeramente para poder separar una alícuota de aproximadamente 20 g. Las alícuotas se congelaron nuevamente y se secaron por liofilización.

Se tomó una alícuota de aproximadamente 2 g de cada muestra, la cual fue tratada con peróxido de hidrógeno (30%) para eliminar la materia orgánica. Se evaporó el exceso de agua

sobre una plancha caliente (a una temperatura controlada $<60\text{ }^{\circ}\text{C}$) y el residuo se resuspendió en agua destilada.

Las muestras con contenido de arena mayor a 5% fueron tamizadas (luz de malla de $63\text{ }\mu\text{m}$) y la fracción fina se analizó por separado. El análisis de distribución de tamaño de grano se realizó por el método de difracción láser, utilizando un equipo Malvern 2000E. Los resultados se expresaron en porcentajes del contenido de arcillas ($<2\text{ }\mu\text{m}$), limos ($>2\text{ }\mu\text{m}$ a $<63\text{ }\mu\text{m}$) y arenas ($>63\text{ }\mu\text{m}$).

El resultado del porcentaje de las fracciones de tamaño de grano representa la media de tres determinaciones sobre cada muestra.

7.3 Análisis de datos y elaboración de figuras

7.3.1 Parámetros ambientales

Con el fin de explorar la distribución de las variables ambientales se realizó un análisis de correlación de variables. Posterior al pretratamiento (transformación y normalización) de los datos se realizó un análisis de componentes principales (PCA) para determinar el grado de asociación entre pares de variables (oxígeno, temperatura, salinidad, materia orgánica y carbono orgánico, porcentajes de arenas, limos y arcillas) y así descartar variables redundantes. En el PCA se representan las variables en un número reducido de ejes o componentes principales que son el conjunto de combinaciones lineales de las variables (Legendre & Legendre, 1998). Este análisis de ordenamiento brinda la información necesaria para comprender las relaciones entre las variables medidas en el espacio. En el plano de correlación cada variable aparece asociada a un vector cuya magnitud representa su importancia en términos de variabilidad. El ángulo formado entre vectores y variables muestra la asociación entre ellos.

7.3.2 Estructura y composición de la meiofauna

Para el análisis de variación de la estructura, composición y diversidad de la meiofauna, se definieron cuatro estratos batimétricos: a) el talud superior ($\geq 200\text{ m} - 730\text{ m}$), b) el talud medio superior ($\geq 730\text{ m} - 1000\text{ m}$), c) el talud medio inferior ($\geq 1000 - 1400\text{ m}$) y d) el talud inferior ($\geq 1400 - 1900$) (Emig, 1997; Sellanes *et al.*, 2010; Suárez-Mozo, 2016).

Se calculó la abundancia relativa, la densidad (ind/10 cm²) y la biomasa (µgC_{org}/10 cm²) por estrato batimétrico. Para la meiofauna y los copépodos harpacticoides se evaluó la diversidad según sus componentes alfa (α) se utilizó la riqueza (i.e. número de especies por estación), equidad y dominancia de géneros y familias.

Para el caso de algunos anélidos como los poliquetos los cuales se rompen con facilidad, se consideró solo el conteo de cabezas o la parte posterior en cada submuestra, es decir, por cada cabeza o cada parte posterior se contabilizó un organismo.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) no paramétrico de Kruskal-Wallis (Zar, 1996) para determinar las posibles diferencias significativas de densidad de la meiofauna entre estaciones. Cuando los resultados fueron significativos se realizaron pruebas *a posteriori* de comparación múltiple de medias de Student-Newman-Keuls (SNK). Para el orden Harpacticoida se realizó también un análisis de varianza de su densidad, y el resto de los análisis se concentraron en el mismo grupo.

Como parte de la investigación ecológica multivariada se realizaron matrices de similitud Bray-Curtis con los datos de densidad y biomasa de la meiofauna a partir de una transformación de datos (raíz cuarta). Se construyeron ordenaciones de sitios/estaciones con base en la densidad de meiofauna, utilizando la técnica de Escalado Multidimensional No Métrico (nmMDS, en inglés). En el MDS se construyó así una configuración de grupos en un número específico de dimensiones. Este método en particular busca la mejor posición de n entidades en k dimensiones (ejes) minimizando el estrés (grado de distorsión entre los intervalos de similitud y distancias correspondientes en el gráfico que se genera) de la configuración dimensional de k. Este análisis se combinó con un clúster (por cada variable ambiental), éste agrupó las muestras similares a distintos niveles jerárquicos a partir de matrices de distancia Euclidiana de datos transformados.

Se realizaron dos análisis de similitud ANOSIM (*Analysis of Similarities*) para calcular el promedio de las similitudes entre los valores de densidad y biomasa, entre estratos batimétricos. Se utilizaron las matrices de similitud respectivas generadas para el análisis de MDS/clúster, considerando la hipótesis nula (H₀) de que no hay diferencia en la composición de las comunidades estudiadas.

El valor del estadístico R usa la información de la matriz de disimilitud y relaciona las diferencias observadas entre las estaciones con las diferencias observadas dentro de cada estación (Clarke & Warwick, 1994). Este valor puede ir desde -1 a +1. De tal forma que un valor de R=1 representa que todos los promedios de rangos de disimilitud intergrupos (e entre sitios/estaciones) son mayores que los promedios intragrupos. Un valor de R=0 significa que hay igual variabilidad dentro de estaciones que entre las estaciones, lo cual indicaría que no hay diferencias significativas entre ellas.

Se realizó un análisis de porcentaje de similitud (SIMPER). Éste análisis se utilizó para identificar los grupos taxonómicos de la meiofauna, y los géneros y/o familias de Harpacticoida, que proveen la discriminación entre las muestras, es decir examina la contribución de cada variable (grupo taxonómico) a la similitud promedio dentro de grupos de muestras, permitiendo así identificar el porcentaje de aportación de cada grupo a la similitud dentro de cada estación y a las disimilitudes entre estaciones.

7.3.2.1 Biomasa

La contribución de la meiofauna al flujo de energía través del ecosistema bentónico e hiperbentónico y sus relaciones con otros elementos de comunidades asociadas-red trófica-puede ser evaluada midiendo su densidad, abundancia y biomasa.

Para calcular la biomasa, se midió el largo y el ancho de cada organismo con un microscopio estereoscópico Zeiss Discovery V12, equipado con una cámara Canon Power Shot A620 y el software Axiovision.

La biomasa expresada en $\mu\text{gC}_{\text{org}}$ de cada individuo se calculó de la siguiente forma:

Copéodos harpacticoides: El volumen (V) en nl (nanolitro) se calculó de acuerdo a Warwick & Gee (1984) a través de la fórmula.

$$V = (L)(W^2)(C)$$

en donde L es la longitud total en mm, W es la anchura máxima en mm, y C es un factor de conversión específico para copéodos y depende la forma del cuerpo del individuo, siendo de 750 para copéodos cilíndricos, 630 para semicilíndricos comprimidos, 560 para semicilíndricos, 490 para semicilíndricos deprimidos, 485 para fusiformes, 400 para

piriformes, 260 para piriformes deprimidos y 230 para escutiformes (Feller & Warwick, 1988; Warwick & Gee, 1984; Fig.5).

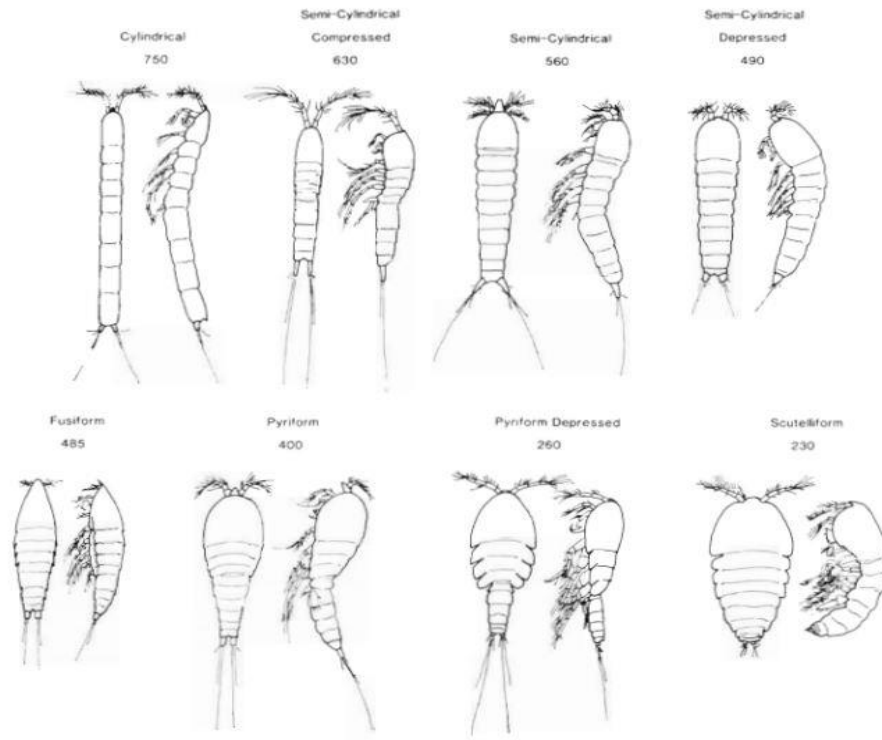


Figura 5. Contornos de las formas del cuerpo de copépodos harpacticoides con factores de conversión (C). Tomado de Warwick & Gee (1984).

La longitud total se consideró como la longitud desde el borde anterior del rostro hasta el borde posterior de las ramas caudales.

El peso húmedo en μg (WW) se calculó de acuerdo a Riemann *et al.*, (1990) con la

$$\text{fórmula: } WW = (0.9)(V)(1.13)$$

en donde 0.9 es un factor de conversión, V es el volumen en nl, y 1.13 es la gravedad específica ($\mu\text{g nl}^{-1}$). El peso seco se estimó asumiendo que este corresponde al 22.5% del peso húmedo (WW) de acuerdo a Gradinger *et al.*, (1999). El contenido de carbono orgánico (C_{org}) se calculó como el 40% del peso seco de acuerdo con Feller & Warwick (1988).

Se usaron las constantes de transformación de biomasa para cada grupo expresándose en μg (Tabla 2). Nemátodos: El peso húmedo (WW en μg) se calculó de acuerdo a Weiser (1960) y Warwick & Price (1979) y Rachor (1975), a través de la fórmula:

$$WW = (530)(L)(W^2) (1.13).$$

en donde 530 es un factor de conversión específico para nemátodos, L es la longitud total del individuo en mm, W es la anchura máxima (mm), y 1.13 es la gravedad específica ($\mu\text{g nl}^{-1}$) (Weiser, 1960). El contenido de carbono orgánico (C_{org}) se calculó asumiendo que $C_{\text{org}}= 12.4$ % del peso húmedo (WW) (Jensen, 1984).

Para el resto de los grupos taxonómicos (poliquetos y oligoquetos, tardígrados, loricíferos, kinorricos, isópodos y tanaidáceos etc.), el peso húmedo en μg (WW) se calculó de acuerdo con Warwick & Price (1979) y Weiser (1960) con la fórmula

$$WW= (C)(L)(W^2)(1.13).$$

En donde C es un factor de conversión (Tabla 2), L es la longitud en mm, W es la anchura en mm y 1.13 es la gravedad específica en $\mu\text{g nl}$. El peso seco y el contenido de carbono se calcularon de la misma forma que para los copépodos. La longitud total de los kinorricos se midió desde la parte anterior del cuello (sin considerar la cabeza, ni cono bucal o boca) hasta la parte posterior del cuerpo sin considerar las espinas terminales.

Tabla 2 Constantes de Warwick y Gee (1984)

Grupo	Constante
Nematoda	530
Polycheta	530
Oligochaeta	530
Tanaidacea	400
Isopoda	230
Tardigrada	614
Kinorhyncha	295
Loricifera	295

Se realizó también un análisis de varianza (ANOVA) no paramétrico de Kruskal-Wallis (Zar, 1996) para determinar las posibles diferencias de la biomasa entre sitios/ estaciones. Cuando los resultados fueron significativos se realizaron pruebas a *posteriori* de comparación múltiple de medias de Studet-Newman-Keuls (SNK).

7.3.2.2 Análisis ecológico

Se calcularon los siguientes índices de diversidad para harpacticoides

- Índice de Simpson (D_{si}) Éste índice mide la probabilidad de que, al seleccionar a dos individuos al azar, pertenezcan al mismo género, es decir obtiene la dominancia.

$$\lambda = \sum (P_i)^2$$

P_i es la proporción del género i en la comunidad.

Un género se consideró dominante (D_m) cuando $D_m \geq 1$.

- Índice de Shannon (H'). Éste índice determina la equidad y es especialmente sensible a cambios en los organismos más raros de la comunidad en términos de abundancia (Shannon & Wiener 1963). La fórmula aplicada fue:

$$H' = -\sum_{i=1}^S (p_i)(\log_2 p_i)$$

en donde: S es el= número de géneros, y p_i es el= número de individuos para el género i .

- Índice Pielou (J') que indica qué tan uniformemente se encuentran repartidos los individuos entre los diferentes géneros. De este modo, una equitatividad alta indica una baja dominancia y viceversa (Pielou, 1969). La fórmula empleada fue:

$$J' = H' / \text{Log}_2 S$$

en donde: H' es el valor de diversidad y S es el número de géneros.

Como complemento se utilizaron estimadores de riqueza como Chao2 (variante de Chao1), que utiliza datos de incidencia, toma en cuenta la distribución de los géneros entre las muestras y el estimador de Jacknife 1 que se basa en el número de géneros que ocurren solamente en una muestra (Magurran, 2004). Ambos estimadores se utilizaron ya que no

asumen el tipo de distribución del conjunto de datos y no los ajustan a un modelo determinado (Palmer, 1990).

Con el fin de encontrar la relación entre patrones comunitarios y variables ambientales se utilizó la rutina BEST- BIOENV que selecciona las variables ambientales que mejor explican el patrón comunitario multivariado analizando la correlación entre rangos de similitud de sus respectivas matrices (biota y ambiente). El análisis incluyó una correlación de rangos de Spearman y 999 permutaciones de los datos, el grado de coincidencia refleja el grado en que los datos seleccionados explican el patrón biótico.

Como parte del análisis multivariado de la ecología de comunidades, se realizó la vinculación de las variables ambientales y la asociación de los organismos de la comunidad, con la prueba BEST, que se aplica a cualquier medida de similitud/disimilitud. Esta utiliza únicamente las diferencias de datos ordenados y opera por permutaciones, suponiendo que no existe una distribución específica o una expresión paramétrica para los enlaces bióticos o abiótico (Clarke *et al.*, 2008). Selecciona las variables ambientales que “mejor explican” el patrón comunitario multivariado analizando la correlación entre rangos de similitud de sus respectivas matrices (biota y ambiente).

Una de las ventajas de esta prueba es que en lugar de hacer coincidir subconjuntos de variables ambientales a un patrón fijo de semejanzas para comunidades enteras, se puede conocer si los subconjuntos de especies muestran un patrón significativamente coincidente con las muestras de un gradiente ambiental fijo.

Para conocer la relación entre copépodos y variables ambientales se realizó un análisis de correlación de Spearman y un Análisis Canónico de Correspondencia con los géneros de harpacticoides.

El Análisis de Correspondencia Canónico (Canonical Correspondence Analysis, CCA) es un análisis multivariado que permite relacionar la abundancia de las especies con variables ambientales (Legendre & Legendre, 1998). Dado que el CCA es una técnica de ordenación restringida de los objetos, se representa solamente la estructura de los datos maximizando la relación con una segunda matriz de variables predictoras. Estas dos matrices (sitios x especies y variables ambientales) se relacionan por medio de técnicas de regresión multivariada, con

el objetivo de producir un mapa donde estén representados los objetos (Legendre & Legendre, 1998).

La proporción de la variabilidad queda explicada por cada uno de los ejes del CCA, y habrá tantos ejes como variables predictoras se incluyan en el modelo, la mayor parte de la variabilidad queda resumida en los 2 o 3 primeros ejes

Los análisis estadísticos básicos se llevaron a cabo con los software XLSTAT complemento de Excel, para el análisis multi-variable de la comunidad (MDS, clúster, ANOSIM, SIMPER, índices de diversidad, CCA) se realizó con el programa PRIMER 7 con el complemento PERMANOVA (Anderson *et al.*, 2008) y el software PAST.

VIII. RESULTADOS

8.1 Descripción de las variables ambientales registradas en la zona de estudio

8.1.1 Variables físicas y químicas del agua de fondo

El intervalo de profundidad registrada de las estaciones muestreadas durante la campaña TALUD X fue de 379 m en la estación 3 (est. de aquí en adelante) hasta 1902 m (est.21) (Fig. 6A). En base a la clasificación batimétrica previamente realizada se observó que el 40.9% de las estaciones se encuentran en el Talud Inferior y el 31.8% de las estaciones estuvieron representadas dentro de los límites del Talud Medio Inferior.

La temperatura de fondo osciló entre 10.5 °C (est. 3, 379 m) hasta 2.6 °C (est. 21, 1902 m). La temperatura disminuyó de manera regular con el incremento en la profundidad (Fig. 6B). La salinidad del agua de fondo en la zona de muestreo fluctuó desde un mínimo 34.0 ups (est. 4, 625 m), hasta un máximo de 34.9 ups (est. 22, 1642 m) (Fig. 6C).

El intervalo general de oxígeno de fondo fue desde 0.012 ml/L⁻¹ (est. 13, 673 m) hasta un máximo de 1.2 ml/L⁻¹ (est. 3, 379 m; Fig. 6D).

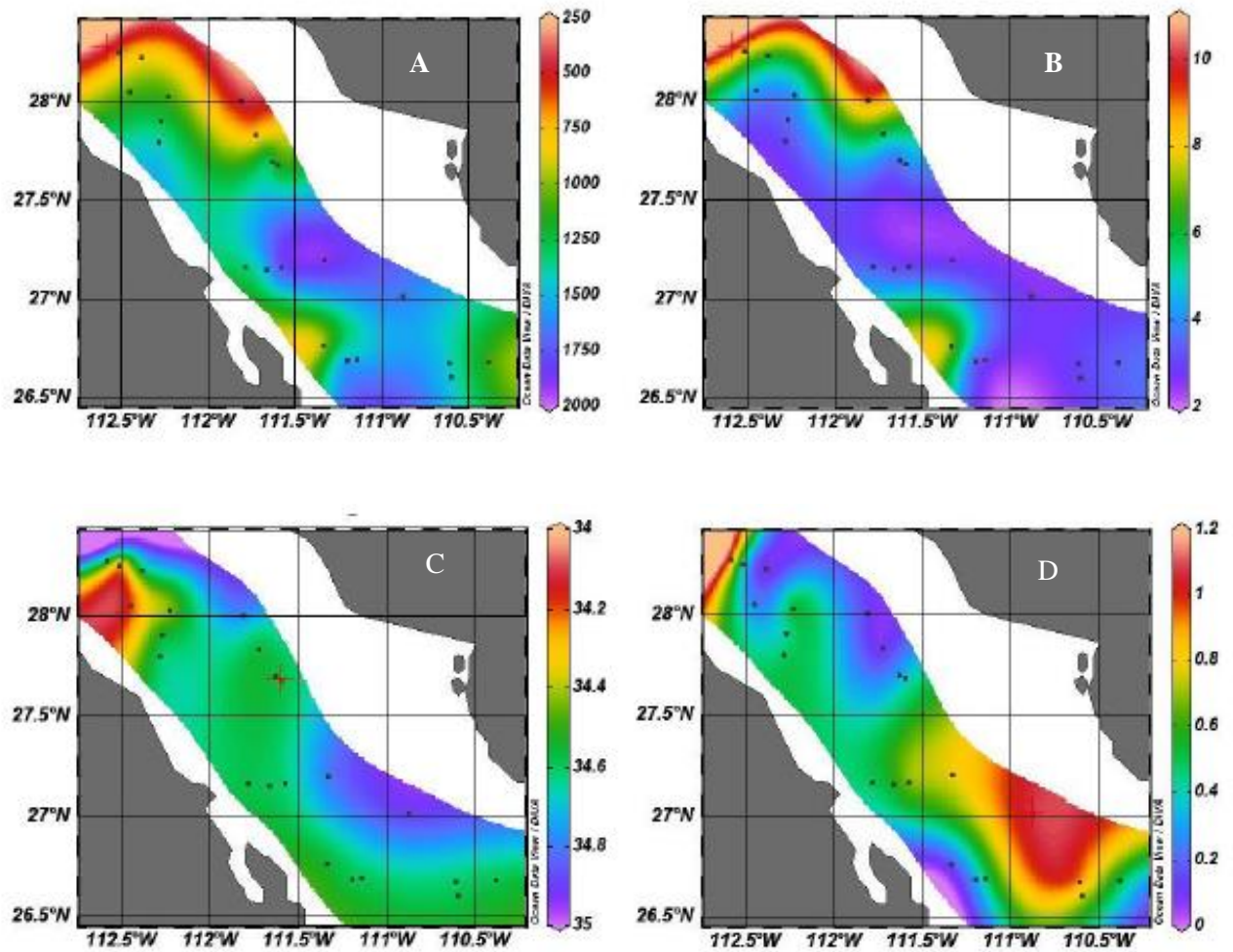


Figura 6. Distribución horizontal de las variables ambientales del fondo en cada estación muestreada durante el cruceo TALUD X A) profundidad B) temperatura C) salinidad D) oxígeno disuelto (Software Ocean Data View, 2017).

8.1.2 Composición sedimentaria

La composición de los sedimentos fue muy heterogénea en las 16 estaciones donde se obtuvo muestra para el análisis de sedimentos. La textura de sedimento estuvo dominada por limos, y en menor medida por arenas, excepto en la est. 8 (1036 m), donde dominaron las arenas. El intervalo de contenido de limos osciló entre 11.96% (est. 8) y 88.08 % (est. 17, 1332 m). El contenido de arenas fluctuó entre 0.41% (est. 17) y 85.96% (est. 8). El contenido de arcillas en los sedimentos osciló entre 2.06% (est. 8) y 19.51% (est. 3, 379 m) (Fig. 7). En el caso de la materia orgánica, el valor más bajo fue de 3.81% (est.3) y el valor más alto fue de 8.36% (est.15, - 1570 m) (Fig. 8).

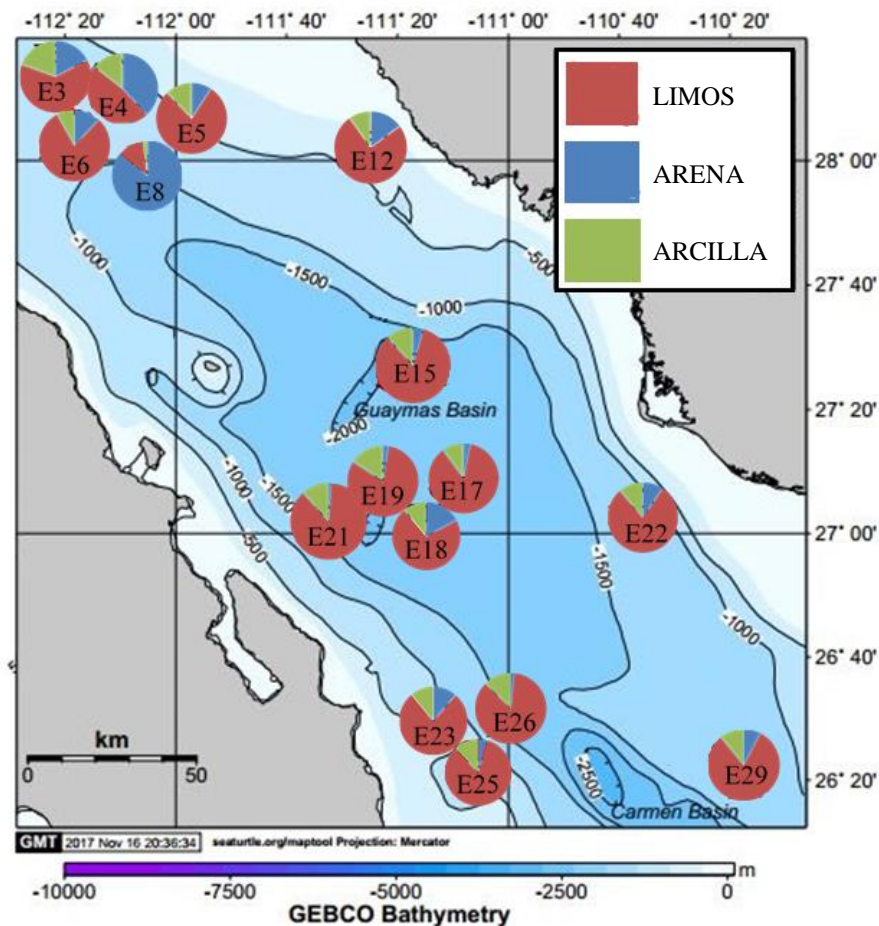


Figura 7. Composición y distribución de los sedimentos (% de arenas, limos y arcillas) en el área de estudio (Ocean Data View).

El porcentaje de MO es relativamente mayor al de carbono orgánico en todas las profundidades; el menor porcentaje (0.4% C_{org} y 0.7% MO) de ambas variables se registró en la estación 8 (1036 m de profundidad). Por el contrario, los mayores porcentajes de ambas variables 4.4% C_{org} y 8.3% MO se encontraron a una profundidad de 1570 m (est.15)

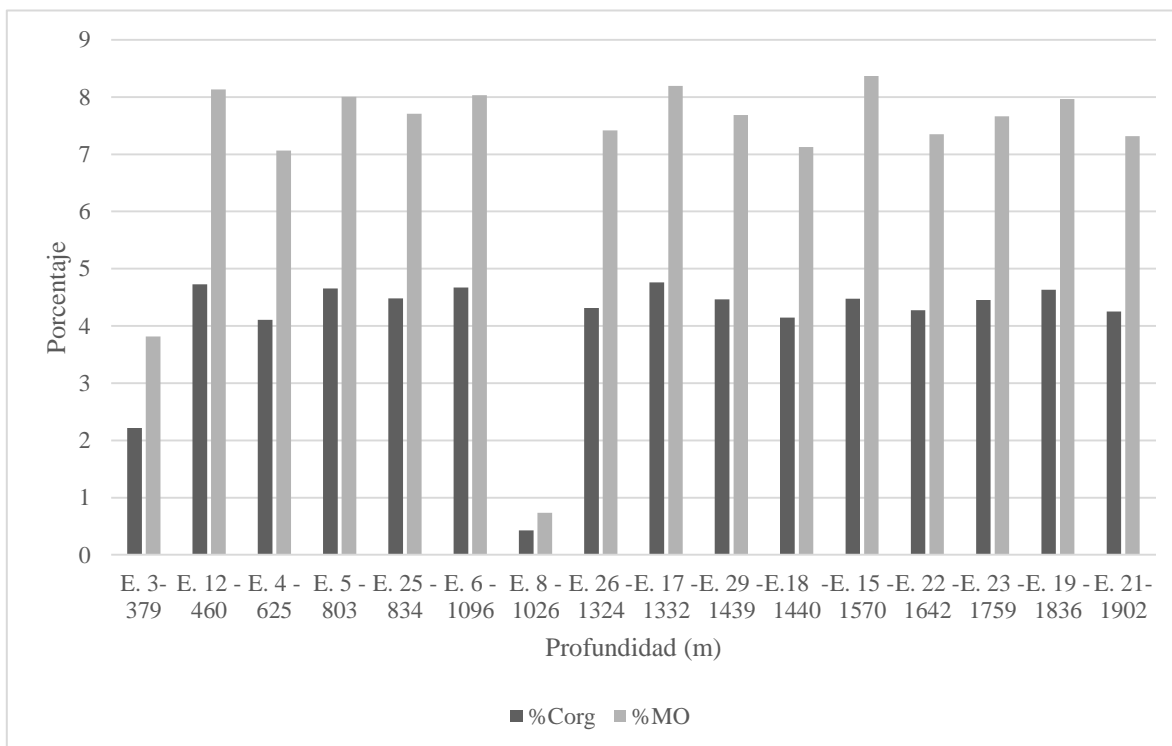


Figura 8. Contenido de materia orgánica (gris claro) y de carbono orgánico (negro) en las profundidades analizadas

8.1.3 Correlación de variables ambientales

Como medida exploratoria de la distribución y grado de covarianza entre pares de variables ambientales se realizó un análisis de correlaciones lineales múltiples, utilizando el coeficiente de Pearson.

El oxígeno disuelto (OD) mostró una correlación positiva con la profundidad (0.261, $p < 0.241$). La salinidad mostró correlación positiva con la profundidad y OD (0.243 $p < 0.276$ y 0.433 $p < 0.044$). La temperatura mostró una correlación negativa con la profundidad (-0.895 $p < 0.0001$), con el oxígeno disuelto (OD) y salinidad de -0.348 y -0.406, respectivamente.

Los sedimentos limosos y arcillosos presentaron correlaciones significativas con la materia orgánica (0.718, $p = 0$ y 0.492, $p < 0.021$, respectivamente). Dado que la materia orgánica y el carbono orgánico presentaron una correlación positiva y alta. (0.975, $p < 0.0001$) se optó por utilizar solamente la variable materia orgánica (MO) en resultados posteriores.

Los resultados del PCA arrojaron valores de porcentaje de variación de 51.7% para el primer componente y 23.1% para el segundo componente. La ordenación de las variables representadas por vectores en los ejes principales, mostró que la profundidad y la temperatura fueron las variables más influyentes al definir el eje 1 y las variables que definieron el eje 2 fueron los sedimentos finos, limos y arcillas (Fig. 9).

El eje 1 se interpreta como un gradiente definido por la temperatura y la profundidad. En la parte superior aparecen las estaciones más someras asociadas con temperaturas más cálidas, y en la parte inferior aparecen las estaciones con mayores profundidades y con temperaturas menores.

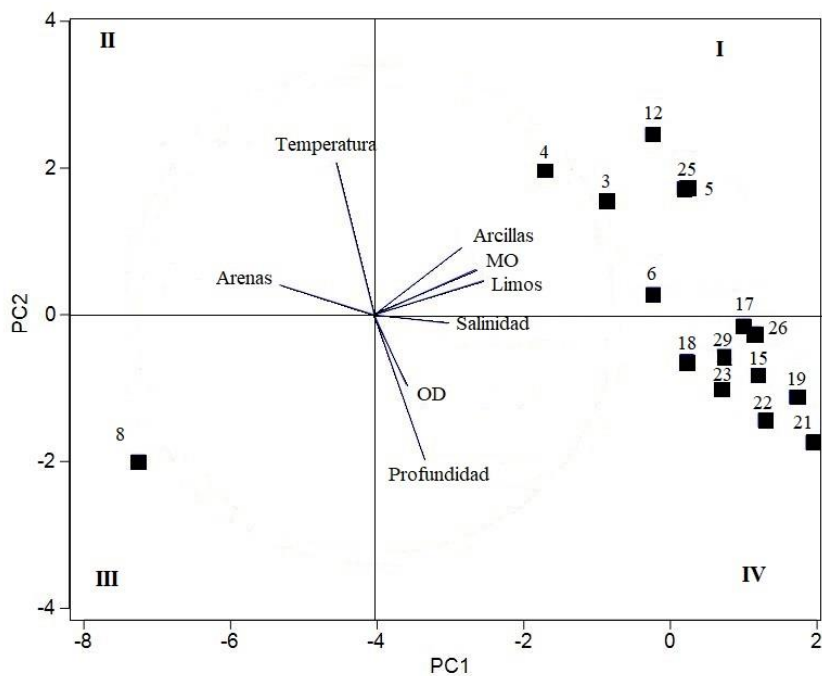


Figura 9. Análisis de componentes principales en el plano de correlación para las variables ambientales registradas: oxígeno (OD), salinidad, sedimentos, materia orgánica (MO) y profundidad. En número romano se señala el cuadrante

1.2 Estructura de la meiofauna

8.2.1 Abundancia, densidad y biomasa

En 17 estaciones se encontró un total de 5584 organismos pertenecientes a seis grupos taxonómicos. Los grupos encontrados mostraron un amplio intervalo de profundidad desde los ~379 m hasta ~1836 m. La comunidad estuvo dominada por Nematoda (55%, 2716 organismos), seguida de Foraminifera (36%, 2350 organismos), Copepoda (4%, 323 organismos), Polychaeta (3%, 165 organismos), Ostracoda (1%, 56 organismos) y Kinorhyncha (1%, 51 organismos) Fig. 10.

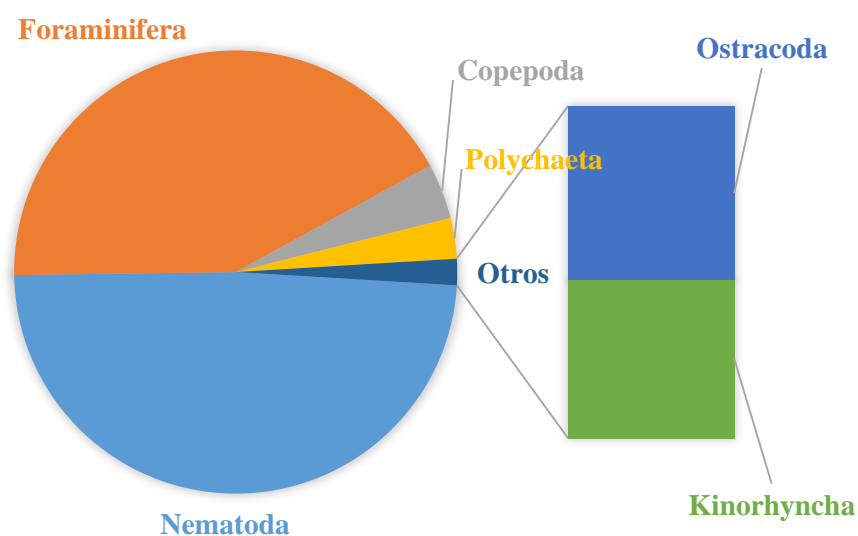


Figura 10. Composición y abundancia relativa de los diferentes grupos de la meiofauna encontrados en muestras del Talud X

El número de grupos taxonómicos por estación varío de uno a seis grupos. El 16.66% de las estaciones presentaron los seis grupos mientras que el 5.55% presentó sólo un grupo taxonómico. El mayor porcentaje de las estaciones 77.79% presentaron de dos a seis grupos. Los nemátodos y foraminíferos estuvieron presentes en casi todas las estaciones (excepto en la est. 5 y 3). Los copépodos harpacticoides también fueron un grupo común presentándose en el 66.66% de las estaciones.

La densidad de los grupos que componen la meiofauna fue heterogénea, en orden de mayor a menor densidad se encontró a Nematoda > Foraminifera > Copépoda > Polychaeta > Kinorhyncha > Ostracoda. La densidad promedio de la meiofauna varió de 3 ind/10cm² en la estación 5 (803 m de profundidad) hasta 338 ind/10cm² en la est. 15 (1570 m de profundidad) (Fig. 11). La prueba de Kruskal – Wallis, indicó que existen diferencias significativas ($H = 54.15$, $p < 0.05$) entre las densidades de meiofauna de cada estación. La prueba a posteriori (SNK) permitió ubicar las estaciones que presentaron diferencias significativas (est. 5 – 830 m, 6–1096 m, 10 – 1426 m, y 30-1100 m). Éstas se caracterizaron por presentar de uno a dos grupos taxonómicos.

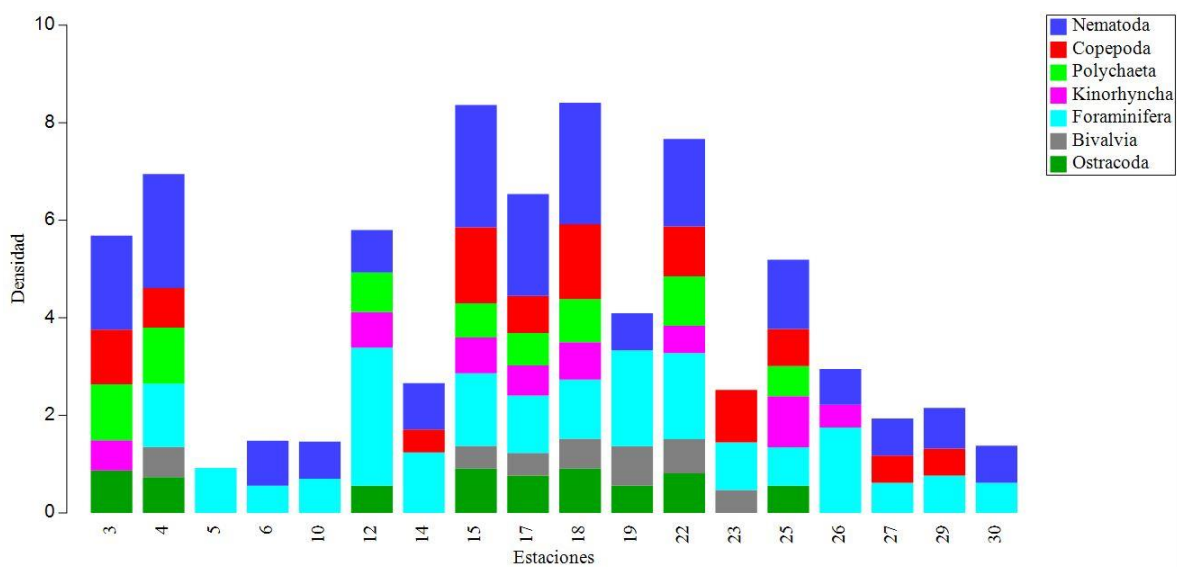


Figura 11. Densidad (ind/10cm²) promedio de la meiofauna por estación (datos transformados con raíz cuarta).

El análisis de MDS no métrico (Fig. 12) mostró que las est. 5, 6, 10 y 30 se agruparon por su semejanza al presentar las menores densidades entre 2 - 50 ind/10cm² (Fig. 11). Por otra parte, en la fig 12 se observa que las est.15, 17, 18, 22, 25, 4 y 3 se encuentran agrupadas, analizando esta agregación se encontró que dichas estaciones presentan altas densidades observadas en éste estudio (>50 a 308 ind/10cm²). Éste mismo análisis de MDS se combinó con un cluster, la primer variable analizada fue la materia orgánica (Fig. 12) se observó que casi todas las estaciones se concentraron en un solo grupo con 0.7 de distancia, la est. 3 presentó una distancia de 1.4 respecto al grupo anterior, ésta diferencia se debió a que el

porcentaje de MO fue de 3.81% por el contrario las demás estaciones tuvieron en promedio 7.74% de MO (Fig. 8).

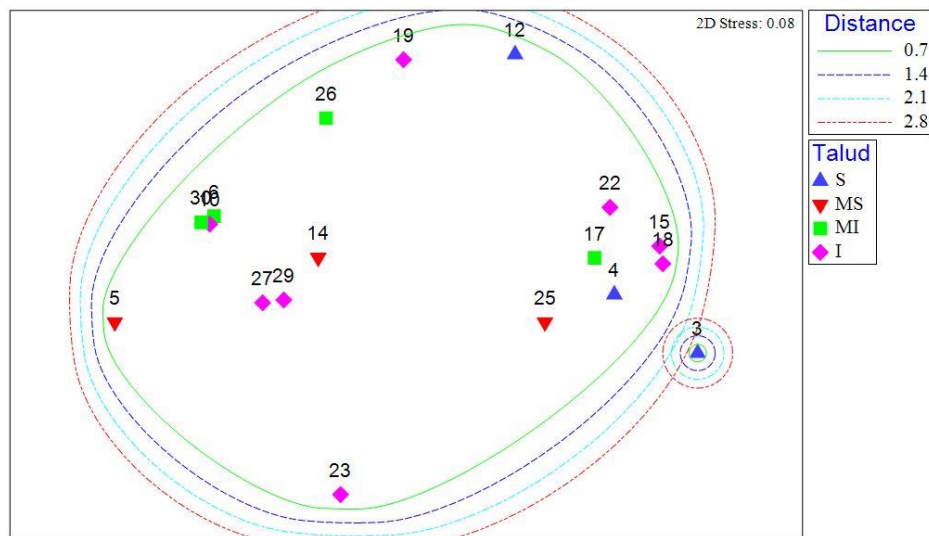


Figura 12. Plot de ordenación de muestras/sitios (MDS) basadas en similitudes Bray Curtis calculado a partir de densidades de meiofauna transformadas a raíz cuarta; éste plot se complementa con un clúster de la MO estandarizada basado en distancias euclídeas. La distancia entre grupos se representa con círculos. Las figuras geométricas indican el nivel batimétrico al que pertenece la estación.

El MDS combinado con el clúster de OD (Fig. 13) mostró tres grupos, se observó que un primer grupo mostró agrupadas a las estaciones con mayores densidades (con 0.89 dist) éstas estaciones mostraron concentraciones de oxígeno que van desde los 0.38 a 1.05 ml/L⁻¹. Un segundo grupo relacionó a las est. 5, 6, 10, 12, 14, 19, 25, 26, 27, 29 y 30. La estación 23 quedó en un tercer grupo. El MDS y el cluster de la variable temperatura asignó a las estaciones de acuerdo con su similitud en un grupo, un subgrupo y dos valores atípicos (1.1 dist). En éste mismo análisis pero utilizando el cluster de limos se encontraron dos grupos (0.6 dist), el grupo formado con las est. 15, 17, 22, 25, 26 de acuerdo con resultados previos se encontró que estas estaciones dominó el sedimento limoso. Con el cluster de arcillas (0.56) se formó un grupo y un subgrupo, en éste último la proporción de arcillas fue relativamente mayor comparada con otras estaciones.

El valor del estadístico $R_{(Global)}$ fue de 0.009 y la significancia fue de 42.2%. Las mayores densidades se encontraron en el talud inferior y talud medio.

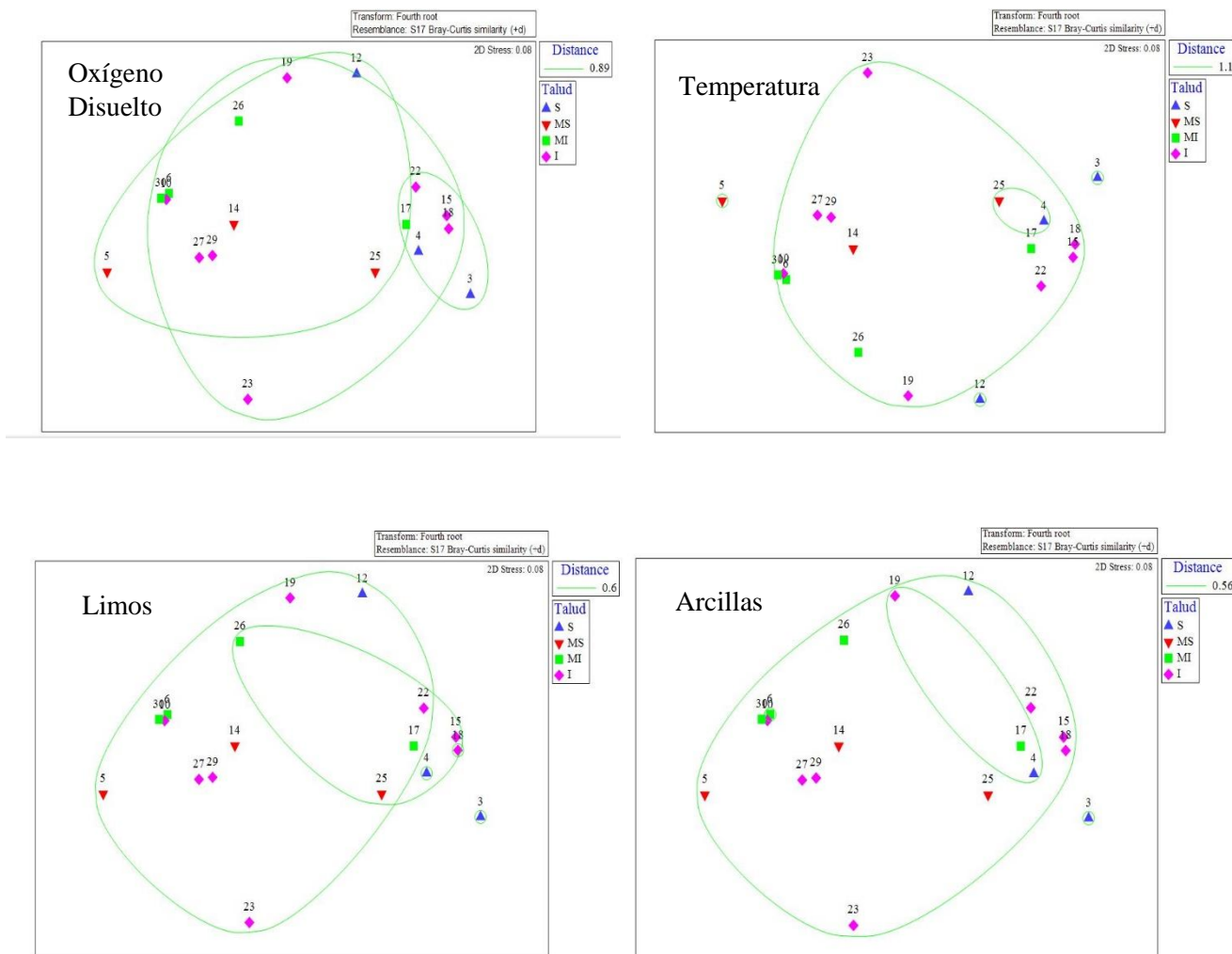


Figura 13. MDS's + clúster con datos de densidad por estación y estrato batimétrico combinados con análisis de clúster de oxígeno disuelto (OD), temperatura, limos y arcillas. Los círculos de colores representan la distancia/similitud entre grupo de estaciones.

Polychaeta proporcionó el mayor porcentaje en biomasa total, seguido de Harpacticoida y Nematoda. Por el contrario Kynorchyncha obtuvo el valor más bajo de biomasa (Tabla 3).

Tabla 3. Biomasa total por grupo taxonómico.

Grupo Taxonómico	Biomasa ($\mu\text{g}/10\text{cm}^2$)
Polychaeta	8.91
Harpacticoida	4.53
Nematoda	3.49
Kynorchyncha	0.74

La biomasa total de cada grupo taxonómico varió 0.067 $\mu\text{g}/10\text{cm}^2$ (est. 19 - 18366 m) hasta 2.659 $\mu\text{g}/10\text{cm}^2$ (est. 18 a 1440 m de profundidad) (Fig.14).

La prueba de Kruskal – Wallis (H) mostró la existencia de diferencias significativas de la biomasa entre las estaciones ($H = 24.914$ $p < 0.05$). La prueba a posteriori (SNK) indicó que las estaciones 6–1096 m, 10–1426 m, 14–901 m, 19–1836 m y 30–1100 m de profundidad fueron las que presentaron diferencias con respecto a las demás y se caracterizaron por presentar sólo nemátodos.

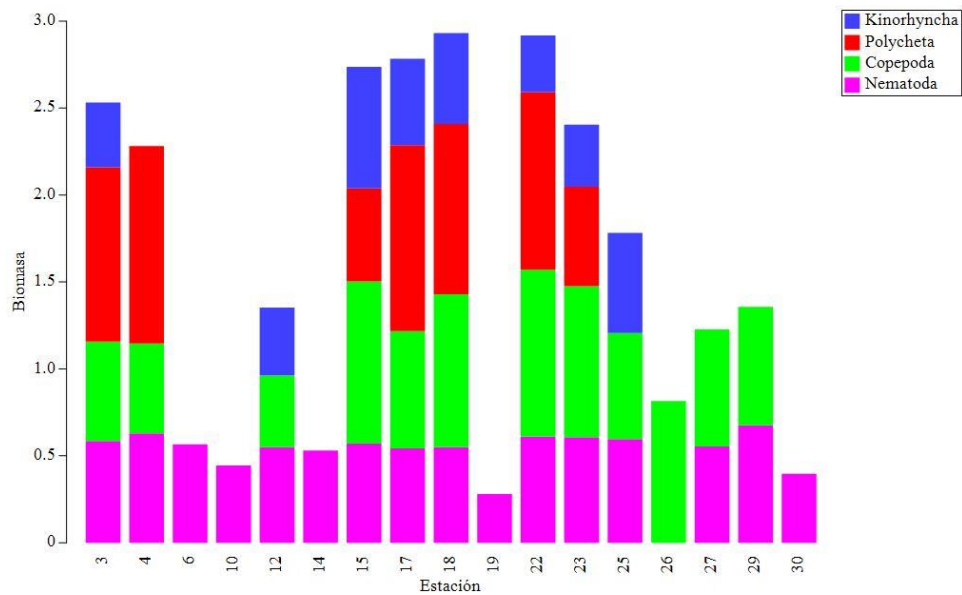


Figura 14. Biomasa ($\mu\text{g}/10\text{cm}^2$) total de cada grupo taxonómico por estación

Los resultados del ANOSIM mostraron un valor del estadístico R de -0.027 y la significancia fue de 53.8%, indicando que hay igual variabilidad de la biomasa entre estratos batimétricos. Los resultados mostraron que en el orden Harpacticoida incrementó su biomasa al aumentar la profundidad. Los valores más altos de biomasa de éste grupo taxonómico se encontraron en el talud inferior (≥ 1492 m hasta 1900 m de profundidad) (Fig.15).

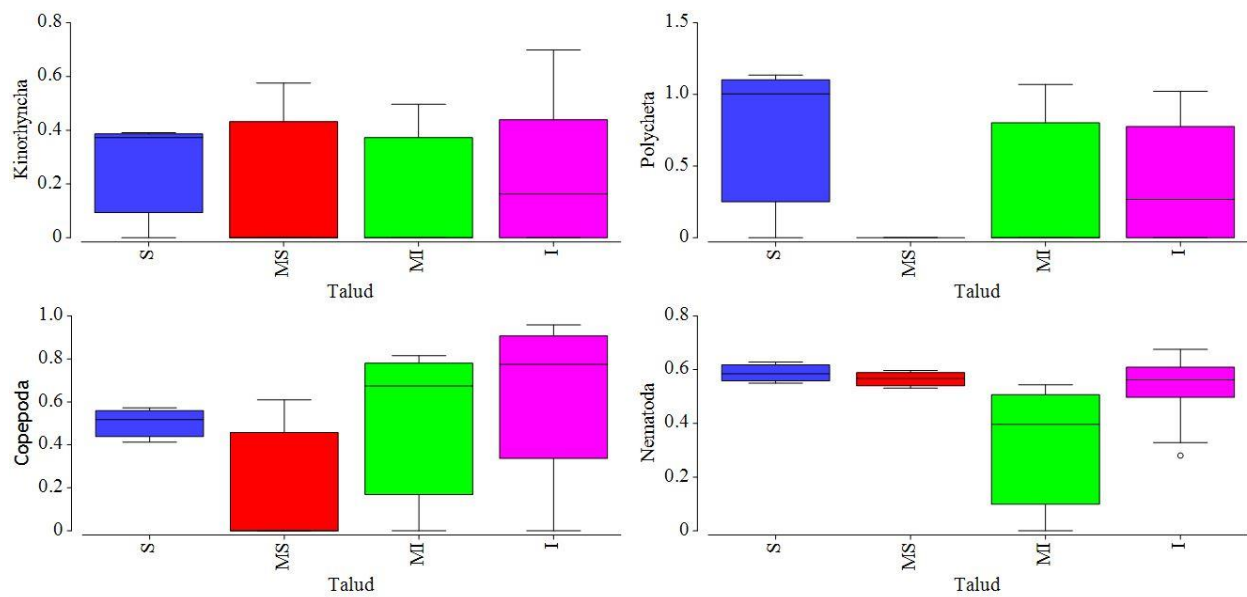


Figura 15. Variación batimétrica de la biomasa ($\mu\text{g}/10\text{cm}^2$) por grupo taxonómico entre estratos batimétricos S – superior, MS – medio superior MI – medio inferior I –inferior

8.2.3 Relación de la meiofauna con los factores ambientales

Los resultados de la prueba BEST, utilizada para la correlación de variables ambientales con la densidad de la meiofauna (correlaciones matriciales), mostraron que ρ (rho) se maximiza (en 0.15) para las variables materia orgánica (MO), oxígeno disuelto (OD) salinidad, temperatura, profundidad y tamaño de grano (limos, arcillas y arenas), la prueba obtuvo un nivel de significancia de 65.7%. Las tres principales variables (OD, MO, limos) presentaron una ρ de 0.098, éstas podrían estar actuando como un conjunto “explicativo” de las variables abióticas determinantes para la presencia, composición y abundancia de la meiofauna de zonas profundas en la zona central del Golfo de California.

8.2.4 Densidad de copépodos bentónicos e hiperbénticos

Se contabilizó un total de 225 copépodos bentónicos. Algunos individuos no pudieron ser identificados, debido a que se trataba de estadios juveniles y no fue posible asignarlos a ninguna familia/género conocido, o el material estaba dañado. El material no identificado no fue incluido en los análisis de diversidad, patrones de distribución, etc. Así mismo se asignó el sufijo Gen 1, Gen 2, en aquellos casos en que el material fue identificado solo a nivel de familia. En los análisis de densidad no se consideraron a los ciclonoides, calanoides, misophrioides y poecilostomatoides, por tanto, los análisis siguientes se enfocan en el orden Harpacticoida.

Las mayores densidades de ordenes y familias se encontraron en las estaciones 15 – 1570 m de profundidad, 23 – 1759 m de profundidad, 18 – 1440 m de profundidad. Éstas estaciones están ubicadas en el talud Inferior (Fig. 16 y Fig. 17, respectivamente). El orden con mayor densidad fue Harpacticoida con 16 familias y 46 géneros (Tabla 4).

Tabla 4. Distribución taxonómica de copépodos bentónicos e hiperbentónicos

Orden	Familias	Géneros
Harpacticoida	16	46
Cyclopoida	3	3
Misophrioida	1	1
Poecilostomatoida	1	1

Las familias de harpacticoides con mayores densidades fueron Ectinosomatidae (0.480 ind/10cm² – 16%), Miraciidae (0.141 ind/10cm² – 9%) y Normanellidae (0.144 ind/10cm² – 7%).

Los géneros del orden Harpacticoida que presentaron mayores densidades fueron *Halectinosoma* (0.183 ind/10cm²– 16%), *Haloschizopera* (0.131 ind/10cm² – 11%) y *Pseudomesochra* (0.091 ind/10cm² – 8%).

El análisis de varianza no paramétrico de Kruskal – Wallis (H) no detectó diferencias significativas de la densidad de géneros y familias de copépodos entre las estaciones (H = 36.96, p<0.05).

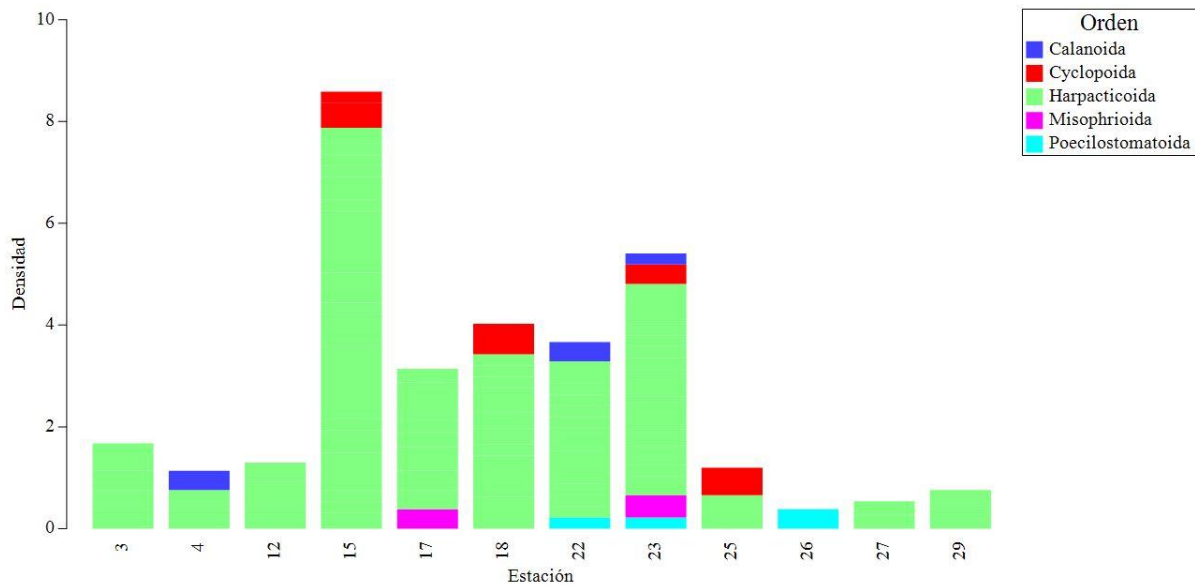


Figura 16. Densidad de órdenes de copépodos bentónicos e hiperbentónicos en las estaciones muestreadas del Talud X.

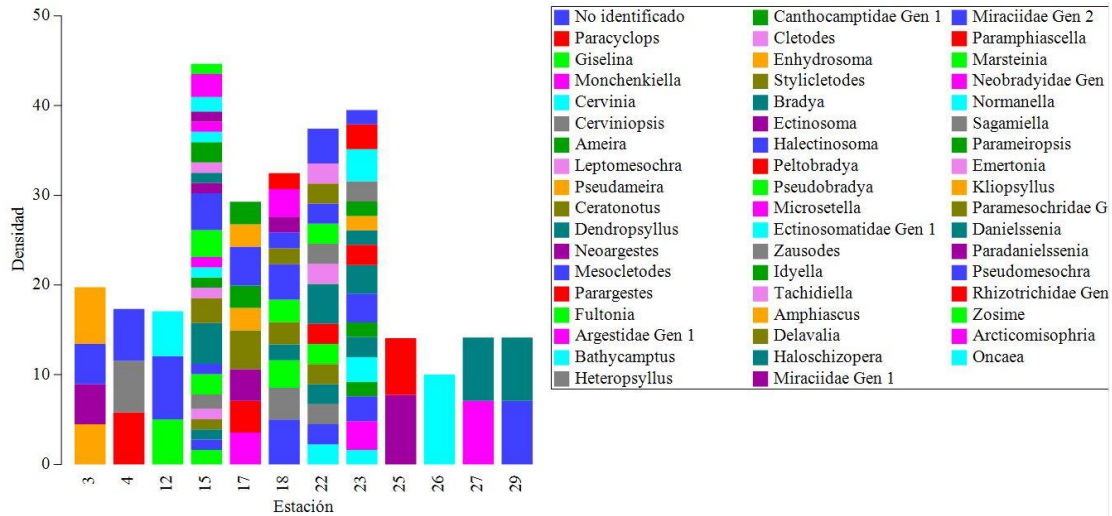


Figura 17. Densidad de las todas familias de copépodos bentónicos e hiperbénticos por estación muestreada.

8.2.5 Variación en la composición taxonómica de copépodos bentónicos e hiperbénticos en el área de estudio

El análisis combinado de clasificación (cluster) y de ordenación (MDS) aplicados a las densidades de los todos los géneros permitieron separar o agrupar a las estaciones con base en su composición taxonómica. Este análisis, también muestra que los géneros más dominantes y frecuentes fueron *Bradya*, *Halectinosoma*, *Pseudobradya*, *Delavalia*, *Haloschizopera* y *Pseudomesochra*.

El análisis de clasificación junto con la prueba SIMPROF detectó tres grupos y un valor aislado. El primer grupo está formado por las estaciones 15 y 18 tienen 40% de similitud, mientras que el segundo grupo esta formado por las estaciones 22 y 23 con 40% de similitud, el tercer grupo formado por las est. 3, 12, 25, 4, 26, 27 y 29. Dentro de este grupo se obtuvieron cuatro subgrupos y un valor aislado, en el primer subgrupo se agruparon las estaciones 27 y 29 con un 70% de similitud, estos con la estación 26 se agrupan con un 60%; las estaciones 25 y 4 se agrupan con las antes mencionadas con un 50% de similitud; las estaciones 3 y 12 comparten también 50% de similitud, y finalmente todas estas estaciones comparten un 40% de similitud (Fig. 18).

MDS - no métrico

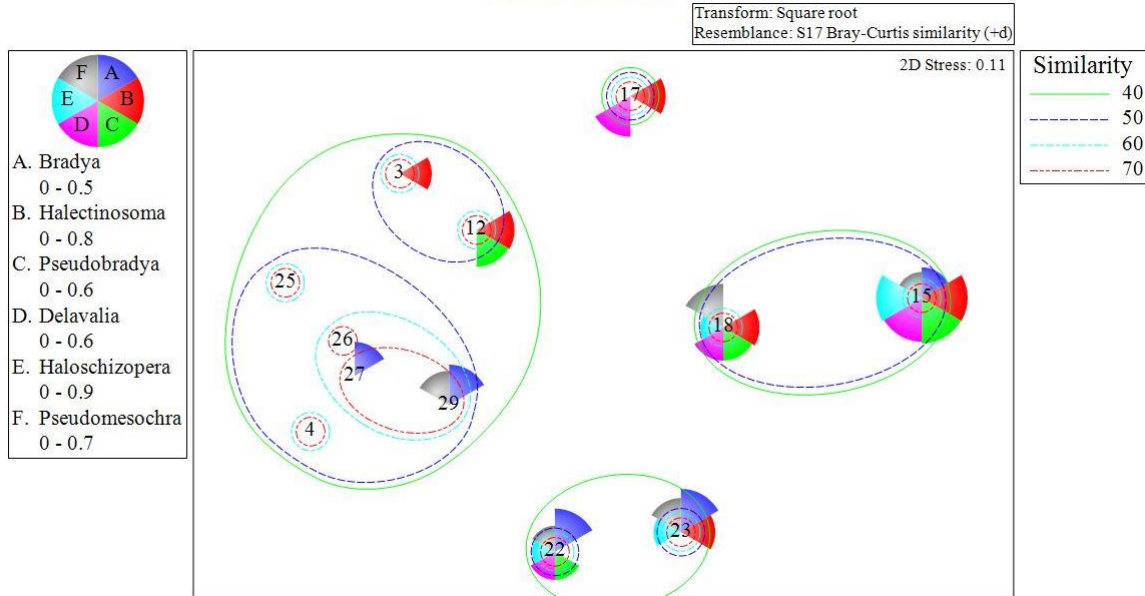


Figura 18 MDS's no métricos + clúster a partir de la densidad de géneros de Harpacticoida por estación, los círculos de colores representan la similitud. Los medios círculos de colores muestran los géneros más frecuentes y dominantes.

El análisis de porcentaje de similitud SIMPER indicó que los géneros responsables de la mayor parte de la similitud entre estratos batimétricos fueron *Halectinosoma* (100%), *Bradya* (36%), *Pseudomesochra* (27.72%) y *Haloschizopera* (8.10%).

El porcentaje de disimilitud entre los estratos batimétricos superior e inferior fue de 95.5%. Los géneros que más contribuyeron a la disimilitud fueron *Bradya* (8.95%), *Halectinosoma* (8.53%), *Pseudomesochra* (7.51%), *Pseudobradya* (4.99%) y *Pseudameira* (4.93%).

El porcentaje de disimilitud entre estratos batimétricos superior y medio superior fue de 100%. Los géneros que más contribuyeron a la disimilitud fueron *Ectinosoma* (25.83%), *Paracyclops* (21.09%) y *Halectinosoma* (11.09%).

El porcentaje de disimilitud entre estratos batimétricos Superior y Medio inferior fue de 93.88%, los géneros que más contribuyeron a la disimilitud fueron *Halectinosoma* (11.50%) y *Pseudameira* (6.62%).

El porcentaje de disimilitud entre estratos batimétricos medio inferior e inferior fue de 92.09%. Los géneros que más contribuyeron a la disimilitud fueron *Bradya* (10.31%) y *Pseudomesochra* (8.12%).

8.2.6 Diversidad y riqueza de copépodos

Se evaluó la riqueza y diversidad de los órdenes de copépodos y se obtuvo que el valor más alto del índice de diversidad y riqueza de géneros lo registró el orden Harpacticoida con un valor de $d = 2.171$ y $H' = 2.966$ bits (Tabla 5).

Tabla 5. Índices de diversidad y riqueza aplicados a los órdenes de copépodos hallados en muestras del Talud X. El índice de riqueza de especies de Margalef (d), índice de equidad (Pielou) J' , índice de diversidad (Shannon – Wiener) H' , índice de dominancia (Simpson) λ .

Orden	d	J'	H'	λ
Calanoida	0.4343	0.9141	1.449	0.3878
Cyclopoida	0.6514	0.972	1.944	0.2687
Harpacticoida	2.171	0.8574	2.966	0.1689
Misophrioida	0.2171	0.9852	0.9852	0.5102
Poecilostomatoida	0.4343	0.865	1.371	0.44

Se evaluó también la diversidad, riqueza, equidad y dominancia de los géneros de harpacticoides en las estaciones muestreadas, por estrato batimétrico del talud. El valor más alto ($H' = 4.5195$ bits) del índice de diversidad de Shannon –Wiener (H') se registró en el talud inferior a 1570 m (est. 15). El valor más elevado del índice de Shannon-Wiener en el talud superior fue de $H' = 1.982$ bits a 379 m (est. 3); en el talud medio fue de $H' = 3.4902$ bits en 1440 m (est. 18). El valor más bajo se presentó en el talud medio superior con $H' = 0.9926$ bits a 834 m (est. 25). El grado de uniformidad 1 calculado con el índice de Pielou (J') se observó en 625 m (est. 4), 1439 m (est. 29) y 1474 m profundidad (est. 27), registradas en el talud superior y talud medio. En el resto de las estaciones se obtuvieron valores <1 (para mayor detalle de los índices de calculados consultar Tabla 6).

Tabla 6. Diversidad de géneros bentónicos e hiperbentónicos de Harpacticoida por estrato batimétrico del talud para las estaciones en donde se registraron copépodos. Se muestra el índice de riqueza de especies de Margalef (d), índice de equidad (Pielou) J' , índice de diversidad (Shannon – Wiener) H' , índice de dominancia (Simpson) λ

Estratos batimétricos	Profundidad (m)	d	J'	H'	λ
Talud superior	379	1.005	0.990	1.982	0.256
	460	0.704	0.987	1.564	0.343
	625	0.701	1	1.585	0.333
Talud medio superior	834	0.378	0.992	0.992	0.505
Talud medio inferior	1332	2.369	0.988	3.133	0.116
	1439	0.377	1	1	0.5
	1440	3.161	0.973	3.490	0.094
	1474	0.377	1	1	0.5
Talud inferior	1570	6.581	0.961	4.519	0.050
	1642	3.865	0.988	3.863	0.071
	1759	4.351	0.984	4.023	0.064

Las curvas de acumulación de especies obtenidas con éstos mostraron una baja tendencia a la asíntota, es decir una baja representatividad de la muestra o muestreo. La pendiente S_{obs} y de los estimadores Chao1 y Jacknife1 disminuyó gradualmente al incrementar el número de unidades de muestreo, tendiendo hacia una asíntota próxima a 53 géneros (Fig.20). En general, todos los estimadores no paramétricos evaluados estuvieron siempre por encima de los valores de riqueza observada. Los estimadores Chao 2 y Jacknife 2 se aproximaron suavemente a la riqueza asíntótica con esfuerzos de muestreo creciente con valores de exactitud de 96 y 98, respectivamente, con un esfuerzo de muestreo de aproximadamente 12 unidades.

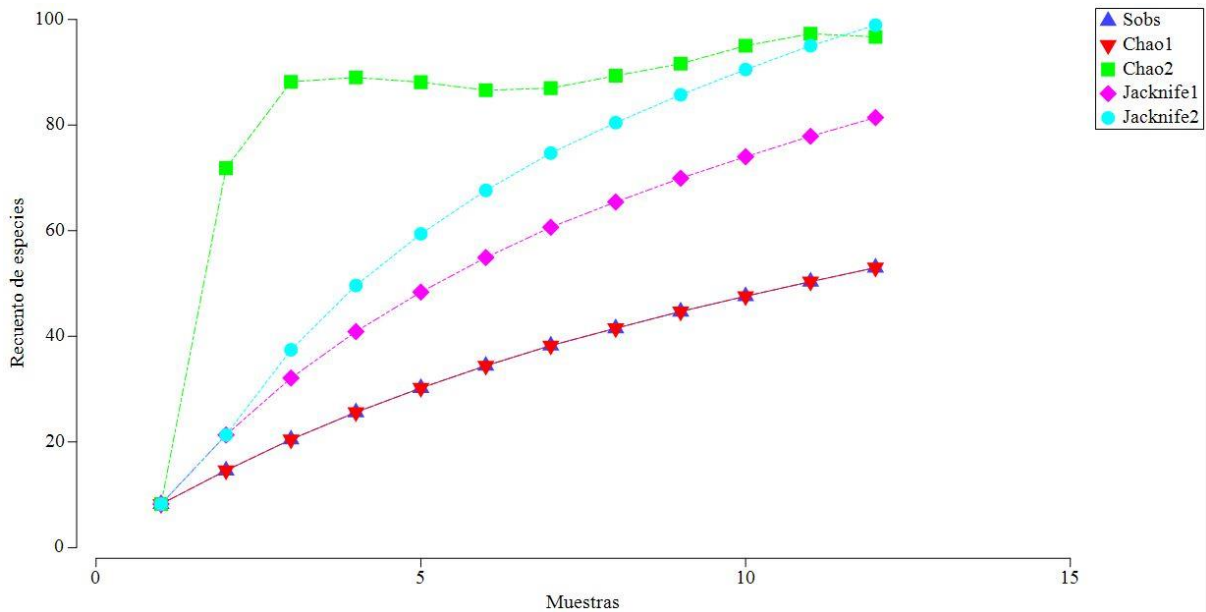


Figura 20 Curvas de acumulación de la riqueza según los estimadores no paramétricos, Chao 1 y 2, Jack 1, Jack 2 y el valor de S_{obs} . Número de especies estimado tras 999 remuestros con reemplazamiento.

8.2.7 Relación de los harpacticoides con los factores ambientales

Los resultados del CCA mostraron una ordenación de los sitios, y una ordenación de los géneros dominantes de harpacticoides en función de las variables ambientales analizadas (Fig. 21). Los valores propios para el primer y segundo eje son de 0.3749 (36.08 % de la variación explicada) y 0.2158 (20.77 % de la variación explicada) respectivamente.

En términos de la ordenación propuesta, se observa un primer grupo conformado por los géneros *Marsteinia*, *Bradya*, *Neoargestes*, *Sagamiella*, *Mesocletodes*, *Pseudameira* y *Cervinia* presentan afinidad con sedimentos limosos y a la materia orgánica, esto se observa por su proximidad a los vectores de dichas variables, ordenados mayoritariamente en el cuadrante III (Fig. 21). Por otra parte, un segundo grupo conformado por los géneros *Idyella*, *Delavia*, *Haloschizopera*, *Halectinosoma* y *Cletodes* se encuentran también asociados a sedimentos limosos y al contenido de oxígeno disuelto (OD) ordenados principalmente paralelos al eje 1, cuadrante I y II. Finalmente, el género *Pseudobradya* se encontró asociado a variables como la temperatura, salinidad y arenas, cuadrante IV. El largo del vector de cada variable ambiental nos indica cuanto del componente

(eje) está relacionado con dicha variable. El eje 1 esta asociado al oxígeno disuelto ya que se presenta sobre dicho eje. El eje 2 está asociado a sedimentos, dado que los cuadrantes II y IV están asociados a limos y arenas, respectivamente.

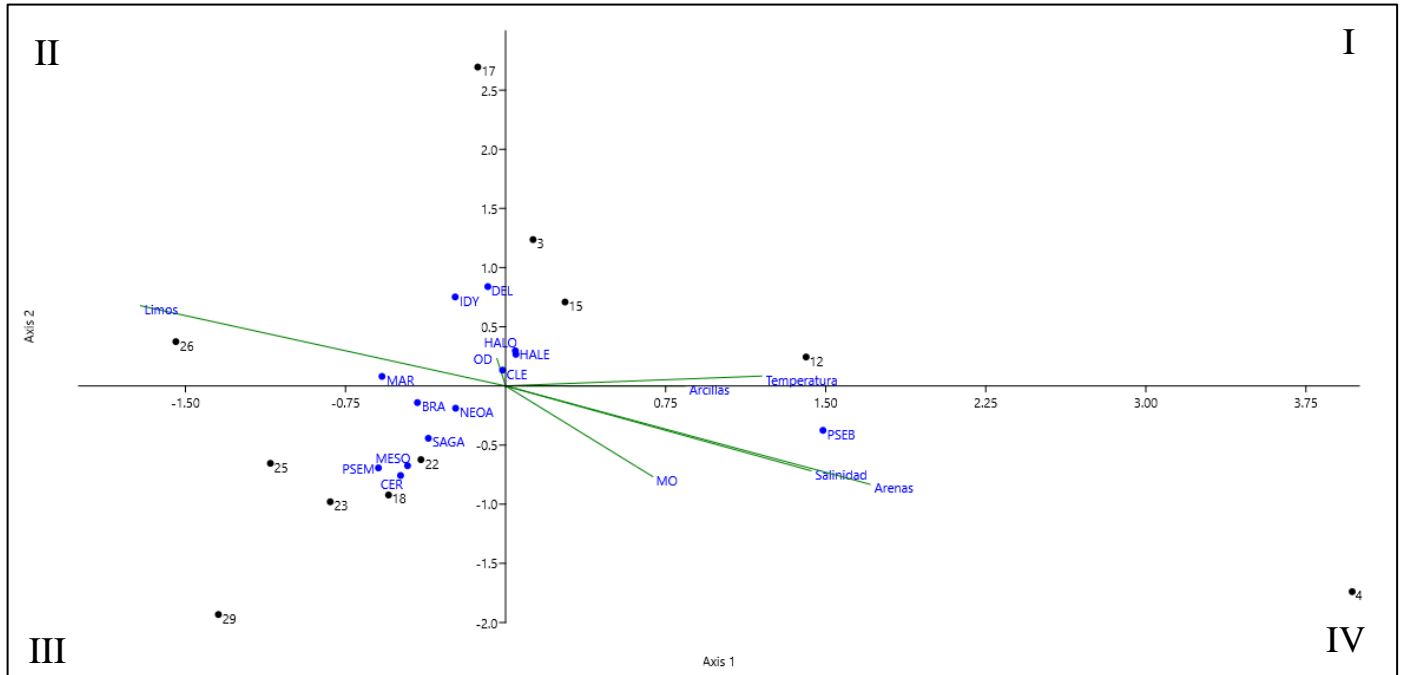


Figura 20. Triplot del Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) con los géneros dominantes de Harpacticoides y las variables ambientales (oxígeno disuelto – OD, materia orgánica – MO) en el plano definido por los ejes 1 y 2. Las claves de los géneros son: CER - *Cervinia*, NEOA - *Neoargestes*, MESO - *Mesocletodes*, CLE - *Cletodes*, BRA - *Bradya*, HALE - *Halectinosoma*, PSEB - *Pseudobradya*, IDY - *Idyella*, DEL - *Delavia*, HALO - *Haloschizopera*, MAR - *Marteinia*, SAGA – *Sagamiella*, PSEM – *Pseudomesochra*. El número romano indica el cuadrante

8.3 Nuevos registros

Los resultados de este estudio permitieron incrementar nuestro conocimiento acerca de la diversidad de copépodos harpacticoides del talud continental del centro del golfo de California. Se registró la presencia de dos especies nuevas de dos géneros de la familia Ancorabolidae, *Ceratonotus elongatus* Gómez & Díaz, 2017 y *Dendropsyllus californiensis* Gómez & Díaz, 2017, encontradas a 1,642 m y 1,759 m de profundidad, respectivamente en la parte sur de la cuenca de Guaymas.

Ceratonotus elongatus se atribuyó a este género por una serie de caracteres, tales como la falta de procesos dorsales dendroideos en el somita de la pata 6 y la presencia de tales procesos en el primer somita abdominal. Esta especie está relacionada con *C. thistlei* Conroy-Dalton, 2003, de la Cuenca de San Diego. *Dendropsyllus californiensis* se ha colocado dentro de ese género dada la presencia de cuatro setas geniculadas en el segundo segmento del exópodo de la pata 1, una seta en el segundo segmento del endópodo de la pata 1, una seta interna en el tercer segmento del exópodo de la pata 3, y ausencia de setas internas en el tercer segmento del exópodo de la pata 4. *Dendropsyllus californiensis* parece estar más estrechamente relacionado con *D. thomasi* (Conroy-Dalton, 2003) y *D. magellanicus* (George y & Schminke, 1998) en base a la presencia de una espínula de la base del maxilípodo, el endópodo bisegmentado de la pata 4 y la fusión del basoendópodo y exópodo de la pata 5. *Dendropsyllus californiensis* parece estar aún más estrechamente relacionada con *D. thomasi* por el grado de desarrollo de los procesos lateroventrales del cefalotórax. *Dendropsyllus californiensis* puede separarse de sus congéneres por la longitud relativa del primer segmento antenular, la longitud relativa de las ramas caudales y por la fórmula de setas y espinas del segundo segmento del endópodo de la pata 3.

Para más detalle de su descripción y taxonomía consultar Gómez S. & Díaz K. 2017.

Otros géneros y especies que están por publicarse son, una especie nueva del género *Rhizothrix* de la familia Rhizothrichidae, de la familia Argestidae los géneros nuevos *Dorsornatomesocletodes*, *Bicornumesocletodes*, *Protomesocletodes*, *Paramesocletodes*, *Argestes* y *Eurycletodes*, de los seis géneros una especie cada uno.

IX. DISCUSIÓN

9.1 Caracterización ambiental del área de estudio

El conocimiento geológico y las características físicas y químicas del GC han sido relativamente más estudiados que las comunidades biológicas de zonas profundas (Álvarez Borrego, 2002, 2010; Curray *et al.*, 1979; Hendrickx & Serrano, 2010; Svedrup, 1941). El presente estudio fue diseñado para analizar la diversidad y la variación espacial de la meiofauna así como determinar qué variables ambientales influyen en su estructura y composición.

Una de las variables determinantes en este estudio para el análisis de la variación de la densidad y biomasa de la meiofauna, entre otros, fue la variación de la profundidad. En el área de estudio (GC) se registró un perfil batimétrico que va de menor profundidad (norte) a mayor profundidad (sur). Los resultados subrayan las conclusiones obtenidas en gran parte de los trabajos previos acerca de este tópico, es decir, los datos de isobatas registradas en este estudio corresponden con registros de estudios previos sobre la batimetría del GC (e.g., Alvarez Borrego, 2002, 2008, 2010; Lonsdale, 1989) (Fig. 6A). Así mismo, en el área de estudio se localiza una serie de cuencas oceánicas estrechas y alargadas en dirección noroeste que aumentan en profundidad hacia la boca del golfo (Alvarez Borrego, 2010; Lonsdale, 1989).

Los resultados de este estudio mostraron que la temperatura disminuye con el aumento de la profundidad (Fig. 6B), tal como lo refieren Serrano (2012) y Sverdrup (1941).

Se observó que la salinidad aumenta con la profundidad, variando desde 34.0 a 34.9 ups (Fig. 6C). La variación de la salinidad con la profundidad observada en este estudio concuerda con los hallazgos de Alvarez-Borrego *et al.* (1983) quienes mencionan que en todo el golfo la salinidad a profundidades entre los 300 y 3000 m presenta valores en un intervalo de 34.0 a 34.9. De acuerdo con Bray (1988) las salinidades del GC son relativamente mayores (1 a 2%) que las registradas en el Océano Pacífico adyacente por ser una cuenca evaporativa.

De acuerdo a Sverdrup (1942), existe un movimiento convectivo de las masas de agua en invierno en el extremo norte del GC, donde el agua fría y salina se hunde desde la superficie al fondo y se desplaza con dirección al sureste. Gaxiola-Castro *et al.* (1978) encontraron que los mínimos y máximos de salinidad a lo largo del GC están influenciados por las seis masas de agua, donde el mínimo profundo de salinidad se detectó en la parte sur del GC. Lavín & Marinone (2003) determinaron que a partir de la cuenca San Pedro Martir predomina el Agua Intermedia del Pacífico, y más hacia al sur (a partir de la cuenca de Guaymas) domina el Agua Profunda del Pacífico.

El análisis de la variación espacial de la concentración de oxígeno del fondo reveló que la estación ubicada a 379 m de profundidad tuvo el mayor contenido de oxígeno disuelto (1.2ml/L^{-1}), y disminuye con la profundidad a concentraciones mínimas en la cuenca de

Guaymas (0.12 ml/L^{-1}). Aguirre-Villaseñor & Salas-Singh (2012) registraron una masa de agua hipóxica (0.14 ml/L^{-1}) en la porción central del GC entre 450 m y 500 m de profundidad.

La concentración de $\text{OD} \leq 0.5 \text{ ml/L}^{-1}$ se encontró entre 379 m a 1332 m de profundidad (est. 4, 10, 15, 17, 18, 23, 29 y 30). Las concentraciones de $\text{OD} \leq 0.2 \text{ ml/L}^{-1}$ se encuentran entre 673 m a 1036 m (est. 5, 6, 8, 12, 13, 14, y 25). Hendrickx & Serrano (2010) encontraron que para el TALUD X el intervalo medio de profundidad de $\text{OD} \leq 0.5 \text{ ml/L}^{-1}$ se encuentra entre 255 m y 1386 m de profundidad, y las concentraciones de $\text{OD} \leq 0.2 \text{ ml/L}^{-1}$ se encuentran entre 366 m y 1055 m de profundidad y la oxilínea más somera de 0.5 ml/L^{-1} se encuentra entre los 407 m y 124 m de profundidad. El espesor medio entre ambas oxilíneas (0.5 y 0.2 ml/L^{-1}) en aguas con profundidad < 800 m es de 75 m de profundidad.

La composición de sedimentos fue relativamente variable entre las estaciones, sin embargo dominó el sedimento limoso, segundo lugar arcillas y en menor porcentaje arenas. Gage & Tyler (1991) mencionan que los fondos marinos están dominados principalmente por sedimentos finos (limos y arcillas). En la estación 8 (1036 m de profundidad) se observó el mayor contenido de arenas (Fig. 7).

Además, se conoce que en ambos márgenes continentales del golfo ocurren procesos de surgencia oceánica que ocasionan altas tasas de sedimentación, que aunado a la intersección de la ZMO que está por debajo de la zona eutrófica superficial, favorece el depósito de fangos lodosos con diatomeas, y ricos en materia orgánica sobre todo en la parte central del golfo. Cabe destacar que la Cuenca de Guaymas (donde se situaron la mayoría de las estaciones muestreadas) acumula una rica carga de sedimentos biogénicos derivados esencialmente de detritus terrígeno (Calvert 1964).

López (2017) analizó la influencia de los procesos hidrodinámicos (mezcla- estratificación, advección, difusión, vórtices) sobre la distribución, abundancia, densidad y biomasa zooplantónica en la bahía de la Paz. López (2017) menciona que los vórtices juegan un papel importante en el transporte de materiales suspendidos y nutrientes, en las diferentes capas del océano, así se puede incrementar el flujo de las tasas de sedimentación de partículas al fondo marino. Figueroa, Marinone & Lavín (2003) modelaron el sentido de rotación de los giros en la parte central y sur del golfo de California, observaron que el sentido de los giros es variable en esa región y que en la vertical alcanzan entre 500 y 1000 metros. Figueroa, Marinone &

Lavín (2003) en los meses de enero – abril los giros son anticiclónicos desde la cuenca Pescadero, hasta Guaymas y Carmen, en verano (julio) los giros se invierten (cyclónicos) con menor intensidad. Esta combinación de giros durante el año le da la circuación al agua, a las partículas y algunos organismos en el centro del GC.

El análisis de correlación de variables ambientales arrojó una fuerte correlación entre el tamaño de grano del sedimento y la concentración de MO (0.718, $p=0.00$). Las concentraciones más elevadas aparecieron en las estaciones donde el limo y/o arcilla fueron el componente principal. De acuerdo con Lamberson *et al.* (1992) esto ocurre porque la MO se adhiere más fácilmente a partículas más finas (limos/arcillas) que a las partículas más gruesas (arena y grava) debido a que las partículas finas tienen más área superficial por volumen y, así, más sitios de adhesión.

9.2 Estructura de la comunidad de meiofauna y su relación con los factores ambientales

9.2.1 Composición

Uno de los objetivos de este estudio fue la caracterización biológica de la comunidad de meiofauna. Se identificaron seis grupos taxonómicos pertenecientes a la meiofauna (Nematoda, Kinorhyncha, Foraminifera, Polychaeta, Copepoda y Ostracoda) con un total de 5584 organismos. El grupo dominante en la mayoría de las estaciones muestreadas fueron los nemátodos, seguido por los foraminíferos y los copépodos harpacticoides, poliquetos, kinorincos y otros. Los grupos taxonómicos encontrados y el orden de abundancia de éstos (Fig. 10) fueron menores que los registrados en otras investigaciones en el mar profundo del GC a diferencia de Álvarez-Castillo (2015) y Montagna *et al.* (1989) que registraron 13 y 12 taxones asociados a ventilas hidrotermales, respectivamente. Los nemátodos también fueron el grupo dominante en ambos estudios, seguidos por los copépodos harpacticoides. Escobar *et al.* (1999) mencionan que en el talud continental superior del golfo de México la meiofauna encontrada fue de 5 a 6 órdenes, siendo los foraminíferos el grupo dominante en términos de densidad y biomasa, seguidos por los nemátodos y copépodos harpacticoides tanto en la zona oeste como en la zona sur del golfo de México.

Los resultados de este estudio muestran que la composición, densidad y biomasa de la meiofauna por estrato batimétrico fue variable (Fig. 11). Investigaciones previas indican que la profundidad es un factor que afecta en gran medida los patrones de distribución de los

copépodos harpacticoides (Gómez & Conroy-Dalton, 2002; Gómez & Morales-Serna, 2012; Rodríguez-Soberanes, 2007) y foraminíferos (Pérez-Cruz & Machain-Castillo, 1990; Streeter, 1942). Además, la profundidad está asociada con la concentración de oxígeno (Rodríguez-Soberanes, 2007; Streeter, 1942), con el tamaño de grano (Guzmán-Rodríguez, 2015; Rodríguez-Soberanes, 2007), y con el contenido de materia orgánica y/o carbono orgánico (Escobar *et al.* 2000; Rodríguez-Soberanes, 2007). También se sabe que otras variables como el pH es un factor que estructura a la meiofauna (Álvarez-Castillo, 2015 con kinorricos).

9.2.2 Densidad de la meiofauna y su relación con factores ambientales

Los resultados de este estudio indican una variación espacial significativa de la densidad (de 3 a 338 ind/10cm²). Estos valores son menores a los registrados en otros estudios de meiofauna en zonas profundas en el GC donde la densidad varió 19.12 a 742 ind/10cm² (Alvarez-Castillo, 2015).

Escobar *et al.* (1997) reportaron una densidad promedio de meiofauna de 1,829,216 ind/m² (1.829e¹⁰ ind/ cm²) \pm 489,005 ind/m² (4.890e⁹ ind/10cm²) y 344707 ind/m² (3.447e⁹ ind/10cm²) \pm 143091 ind/m² (1.431e⁹ ind/10cm²) para el talud de la zona oeste y zona sur del golfo de México.

Los valores de densidad de este estudio están muy por debajo de los valores generalmente encontrados en el mar profundo que oscilan desde 2731 ind/10cm² a 2290 m de profundidad hasta 75 ind/10cm² a 3597 m de profundidad (Danovaro *et al.* 2000) y entre 4 ind/10cm² y 40 ind/10cm² a 2883 y 987 m (Gutzmann *et al.* 2004).

Estudios previos han señalado que la abundancia y densidad total del meiobentos tiende a disminuir con la profundidad (Danovaro *et al.* 2000; Fabiano & Danovaro 1999; Gutzmann *et al.* 2004; Lampadariou 2004; Tietjen 1992; Tselepides & Shimanaga *et al.* 2007), probablemente como un reflejo de la disminución del flujo de materia orgánica particulada con la profundidad (Turley *et al.* 1995). Sin embargo, no todos los taxa responden de la misma manera. Este patrón de disminución de la densidad con la profundidad ha sido observado para el caso de los nemátodos y copépodos al igual que para los kinorricos y tardígrados (Danovaro *et al.* 2000; Fabiano & Danovaro 1999; Gutzmann *et al.* 2004; Tietjen,

1992). Por otro lado, la densidad de otros taxa puede aumentar (Gómez & Morales Serna, 2012; Gutzmann *et al.* 2004).

La prueba Kruskal-Wallis y la prueba *a posteriori* SNK mostraron que las est. 5 –780 m de profundidad–, 6 –1096 m de profundidad–, 10 –1426 m de profundidad– y 30 –1100 m de profundidad– se diferenciaron por presentar menores densidades de meiofauna, con uno a dos grupos taxonómicos (foraminíferos y nemátodos) (Fig. 11). Éstos resultados son inesperados ya que la literatura existente ha encontrado una fuerte relación entre meiofauna y un contenido elevado de MO, siendo el contenido orgánico del sedimento un factor decisivo en la densidad y abundancia de los organismos (Escobar *et al.* 2000; Fleeger *et al.* 1990; Giere, 2009; Higgins & Thiel, 1988). Sin embargo, se conoce que los nemátodos son muy resistentes a la carga orgánica y a las condiciones hipóxicas derivadas de ésta (Armenteros, 2002).

El MDS de densidad + cluster de cada una de las variables ambientales (Fig.13) permitió distinguir que las estaciones 5 y 10 presentaron sedimentos predominantemente limosos, con una concentración de MO de 8.01% de MO; en la estación 30 no fue posible tomar muestras de sedimento para la determinación de MO y granulometría. La concentración de oxígeno disuelto fue relativamente bajo en todas estas estaciones, variando de 0.10 ml/L⁻¹ a 0.43 ml/L⁻¹. Es interesante observar que, a pesar de que el contenido de MO fue el más elevado en las est. 5 y 10, la densidad de meiofauna fue baja (Fig.12). En general, se observó una relación positiva entre la MO y la densidad de meiofauna. En relación a esto, se conoce que la disponibilidad de materia orgánica (MO) como alimento esta asociado con el incremento de la densidad de los nemátodos, y en general, de la meiofauna (Heip *et al.* 1985). Las condiciones estacionales de la zona eufótica de la columna de agua y su productividad primaria determinan la densidad y biomasa béntica (Ryther, 1967). Alvarez – Castillo (2014) encontró que el carbono orgánico total es un factor condicionante en la distribución de la meiofauna en Alto golfo de California, registrando las mayores densidades de meiofauna en sitios con elevadas concentraciones de carbono orgánico.

Por otra parte, en este estudio se registraron las mayores densidades de meiofauna en la zona norte y sur de la cuenca de Guaymas (est. 12 – 460 m de profundidad–, 15 – 570 m de profundidad–, 17 –1332 m de profundidad–, 18 –1440 m de profundidad–, 22 –1642 m de

profundidad–, 25 –834 m de profundidad–). Estas estaciones se caracterizan por presentar sedimentos predominantemente limosos y concentraciones anóxicas justo en el núcleo de la ZMO (0.1445 y 0.1057 ml/L⁻¹, en las estaciones 12 y 25, respectivamente), e hipóxicas en el límite inferior de la ZMO (0.4651 ml/L⁻¹, est. 17). Las mayores densidades de meiofauna se encontraron en el talud inferior y talud medio (superior e inferior) por debajo de la ZMO donde la concentración de oxígeno aumentó de 0.5074 a 0.8844 ml/L⁻¹.

El oxígeno disuelto alcanzó valores de 0.5 ml/L en la ZMO (Levin, 2003), y ésta ocupa alrededor del 7% del volumen total de los océanos (Paulmier & Ruiz-Pino, 2009). La ZMO más extensa del mundo se localiza en el Pacífico oriental, abarcando casi por completo la costa occidental de América (Díaz & Rosenberg, 1995; Helly & Levin, 2004; Serrano, 2012; Zamorano *et al.* 2014); es muy amplia al sur del Golfo de California y a lo largo de la costa sureste de México, encontrándose a aproximadamente 250 m de profundidad en la zona central del Golfo de California, y a una profundidad aproximada de 75 m frente a las costas de Sonora y Sinaloa (Hendrickx & Serrano, 2010). Este fenómeno es provocado, por un lado, por la depositación paulatina de MO producida por una alta productividad en la superficie del mar, cuya descomposición consume importantes cantidades de oxígeno disuelto a medida que alcanza las zonas intermedias de la columna de agua y por otro lado, por patrones de circulación lentos.

Se ha observado una reducción en las densidades y biomasa de la macrofauna y la megafauna en el núcleo de la ZMO. A diferencia de esas comunidades, la abundancia de la meiofauna es normalmente más altas en ésta zona donde la concentración de oxígeno oscila entre 0.15 y 0.27 ml/L (Hendrickx *et al.* 1984; Hendrickx, 2001; Levin y Gage, 1998; Levin *et al.* 2003; Rosenberg *et al.* 1983).

La prueba BEST, utilizada para vincular las variables ambientales con la meiofauna, indicó que las tres variables abióticas que podrían estar influyendo en la abundancia y composición de la meiofauna de las estaciones de la zona profunda muestreadas en el GC son la concentración de oxígeno disuelto, el contenido de materia orgánica, y la presencia de sedimentos finos (limos/arcillas). Éstas variables obtuvieron un valor de p de 0.098, y la prueba mostró un nivel de significancia de 65.7%.

9.2.3 Biomasa

La biomasa entre grupos taxonómicos y entre estaciones fue variable (Tabla 3 y Fig. 14). La variación entre estaciones fue de $0.067 \mu\text{g}/10\text{cm}^2$ en la est. 14 – 901 m a $1.459 \mu\text{g}/10\text{cm}^2$ en la est. 4-625 m (Fig.14). El análisis de Kruskal–Wallis indicó que las estaciones se diferenciaron por el número de grupos por estación.

Estos resultados fueron mayores a los registrados por Escobar *et al.* (1997) en el oeste ($0.304 \pm 0.082 \text{ gC}/\text{m}^2$) y en la zona sur ($0.06 \pm 0.024 \text{ gC}/\text{m}^2$) del golfo de México.

Los resultados mostraron que los poliquetos fueron el grupo con mayor biomasa, principalmente en el talud superior, medio inferior y talud inferior. Copepoda incrementó su biomasa al aumentar la profundidad y aumenta con la profundidad. Los valores más altos de biomasa de este grupo taxonómico se encontraron en el talud inferior (≥ 1492 m a 1900 m de profundidad). La biomasa de los kinorincos fue constante entre estratos batimétricos. Finalmente, los nemátodos, a pesar de sus elevadas abundancias, fueron el grupo que presentó menor biomasa, excepto en el talud medio inferior (Fig. 15).

La elevada biomasa pero baja densidad de poliquetos se puede deber a su mayor tamaño en comparación con otros grupos taxonómicos. También se ha encontrado que una elevada abundancia de poliquetos se debe a la resistencia de este grupo al enriquecimiento orgánico y a la capacidad de mantener una mayor agregación comparada con otros taxa (Armenteros, 2002).

9.3 Copépodos Harpacticoides de aguas profundas del golfo de California

9.3.1 Densidad y composición

En este estudio se encontró que el orden de copépodos con mayor densidad fue Harpacticoida (Fig. 16) con un total de 225 copépodos bentónicos e hiperbénticos distribuidos en 16 familias y 46 géneros. Las mayores densidades se encontraron en el talud inferior (estaciones 15 –1570 m de profundidad–, 23 –1759 m de profundidad–, 18 –1440 m de profundidad–) (Fig. 17). Esto es congruente con Huys & Boxshall (1991) quienes mencionan que la densidad de copépodos harpacticoides en ambientes sublitorales oscila entre 200 y 300 ind/10 cm^2 . Sharma *et al.* (2012) registraron abundancias de 297 ind/10 cm^2 , Baguley *et al.* (2006) registraron abundancias relativas de 172 ± 94 ind/10 cm^2 y Gómez & Morales-Serna (2012)

registraron densidades 0 ind/10cm² hasta 2.37 ind/10cm² en profundidades desde 500 m hasta 745 m, y desde 0 ind/10cm² hasta 47.47 ind/10cm² a profundidades desde 800 m hasta 2120 m. Gómez & Morales-Serna (2012) registraron densidades de copépodos bentónicos desde 0 ind/10cm² hasta 7.25 ind/10cm² en profundidades desde los 379 m hasta 1642 m en el GC.

Danovaro *et al.* (2000) registraron densidades de copépodos desde 8.3 ind/10cm² hasta 27.3 ind/10cm² a 500 m de profundidad, desde 5.7 ind/10cm² hasta 17.9 ind/10cm² a 700 m de profundidad, desde 4.5 ind/10cm² hasta 14.2 ind/10cm² a 940 m de profundidad y desde 4.2 ind/10cm² hasta 5.5 ind/10cm² a 1540 m de profundidad en la costa noreste de Mar Mediterráneo. Las densidades observadas en el golfo de California son inferiores a las reportadas por Danovaro *et al.* (2000). Estas diferencias se deben, probablemente, a los equipos de muestreo empleados.

En el presente estudio se observó que las familias de harpacticoides con mayores densidades fueron Ectinosomatidae (0.480 ind/10cm² -16%-), Miraciidae (0.141 ind/10cm² -9%-) y Normanellidae (0.144 ind/10cm² -7%-) (Fig. 17). Los géneros del orden Harpacticoida que presentaron mayores densidades fueron *Halectinosoma* (0.183 ind/10cm² -16%-), *Haloschizopera* (0.131 ind/10cm² -11%-) y *Pseudomesochra* (0.091 ind/10cm² -8%-).

La densidad de copépodos bentónicos del centro del GC presenta una correlación positiva con la profundidad. La densidad tiende a incrementarse a partir de 834 m hasta 16042 m de profundidad, a diferencia de lo encontrado por Gómez & Morales-Serna (2012) quienes mencionan que la densidad de harpacticoides se incrementa a partir de los 1050 m punto a partir del cual permanece relativamente constante, con excepción de una estación ubicada a 2020 m en donde se registró un máximo de 47.47 ind/10cm².

El aumento de la densidad de los harpacticoides con la profundidad puede atribuirse como sugiere Levin (2003), a un incremento en la disponibilidad de alimento en sitios con bajas concentraciones de oxígeno, como ocurrió en el talud medio (superior e inferior), coincidente con el núcleo de la ZMO. Esta alta disponibilidad de alimento en sitios con bajas concentraciones de oxígeno puede ser favorecida por la ineficiente descomposición microbiana anaeróbica, resultando en sedimentos con altas concentraciones de carbono orgánico particulado (Cowie *et al.* 1999; Fenchel & Finlay 1995; Levin & Gage 1998; Levin, 2003; Pfannkuche *et al.* 2000. Rosenberg *et al.* 1983).

Por el contrario, en el talud inferior ubicado por debajo de la ZMO, se registraron mayores densidades con un incremento progresivo de la concentración de oxígeno. A diferencia de lo encontrado por Gómez & Morales-Serna (2012) que sugieren que la densidad total de copépodos bentónicos, así como el número de especies halladas en las muestras recolectadas en el sur del GC durante el crucero oceanográfico TALUD IV, no se relacionan con la concentración de oxígeno disuelto. En el presente estudio se observó que este factor es determinante en la variación de la densidad y de la diversidad de este grupo de crustáceos.

El análisis de porcentaje de similitud SIMPER corroboró los resultados anteriores indicando que los géneros responsables de la mayor parte de la similitud entre estratos batimétricos fueron *Halectinosoma* (100%), *Bradya* (36%), *Pseudomesochra* (27.72%), y *Haloschizopera* (8.10%), pertenecientes a las familias Ectinosomatidae, Miraciidae, y Pseudotachidiidae. Estos resultados coinciden con Gheerardyn *et al.* (2009, 2010) quienes encontraron que las familias Ectinosomatidae, Miraciidae, y Pseudotachidiidae son las más abundantes en sitios del mar profundo. Rose *et al.* (2005) señala como las más abundantes a las familias Pseudotachidiidae, Argestidae, Ameiridae, Ectinosomatidae y Neobryidae en una cuenca 5400 m de profundidad. Ahnert & Schriever (2001) encontraron que las más abundantes son Ameiridae, Ectinosomatidae, Argestidae, Zosimidae y Neobryidae en el océano Pacífico sureste. Shimanaga *et al.* (2004) registraron como las más abundantes a Miraciidae, Ectinosomatidae, Ameiridae, Idyanthidae y Zosimidae a 1430 m de profundidad. En el golfo de California Gómez & Morales-Serna (2012) encontraron que las familias Ameiridae, Argestidae, Canthocamptidae, Cerviniidae, Cletodidae, Pseudotachidiidae, Ectinosomatidae, Miraciidae, Neobryidae y Tisbidae son las más abundantes y frecuentes.

9.3.2 Diversidad

Se evaluó la riqueza y diversidad de los órdenes de copépodos encontrados es probable que los hábitos bénticos e hiperbénticos pueden ser indicio de ésta diversidad, al ocupar distintos niveles en el hábitat bentónico.

Como ya se mencionó anteriormente, la densidad es mayor en zonas litorales y disminuye al aumentar la profundidad, y contrariamente, la diversidad aumenta. (Alvarez-Castillo, 2014; Danovaro *et al.* 2000; Fabiano & Danovaro, 1999; Giere, 2009; Gómez & Morales-Serna, 2012; Shimanaga *et al.* 2007; Tietjen 1984, 1989, 1992).

9.3.3 Relación de los harpacticoides con los factores ambientales

Los resultados del análisis del CCA (Fig. 20) coinciden con los reportados por Gómez & Morales-Serna (2012), y con lo reportado por Heip *et al.* (1990) quienes encontraron a los géneros epibénticos *Halectinosoma*, *Pseudobradya*, *Ectinosomatidae* en sedimentos fangosos. Estos resultados también coinciden con lo reportado por Rodríguez-Soberanes (2007) menciona que la densidad del género *Pseudobradya* no estuvo asociado con la concentración de oxígeno disuelto, pero sí con contenido de carbono orgánico. La densidad de *Marsteinia*, *Haloschizophera*, *Cerviniidae*, *Cletodes* y *Delavia* están determinados principalmente por sedimentos limosos y la concentración de oxígeno disuelto.

Los sedimentos finos favorecieron la presencia de la meiofauna en la zona de estudio del presente trabajo. Varios trabajos (e.g., Tietjen, 1984; Coull, 1988) han mencionado que los valores más elevados de meiofauna se registran en ambientes con sedimentos finos (limos y arcillas), mientras que los valores más bajos están relacionados a ambientes con sedimentos gruesos (arenas).

Estos resultados difieren de los encontrados por Rodríguez-Soberanes (2007) quien no observó correlación entre el número de especies, géneros y familias y la concentración de oxígeno, contenido de arenas, limos y arcillas en el sedimento.

Diversos autores (i.e. Gheerardyn *et al.* 2009) han observado que, en general, géneros como *Bradya*, *Marsteinia*, *Mesocletodes*, *Pseudomesochra* y *Zosime* son típicos del mar profundo, y la diversidad de especies, así como la estructura de la comunidad, está regulada por el tipo de fondo que causa diferentes grados de heterogeneidad ambiental (Eckman y Thistle 1988; Gambi & Danovaro, 2006; Gheerardyn *et al.* 2009, 2010; Eckman 1983; Thistle *et al.* 1999; Vincx *et al.* 1996), por las características geoquímicas del sedimento y la epifauna presente (Van Gaever *et al.* 2009).

En este estudio se observó que la distribución espacial de la meiofauna estuvo principalmente influenciada por el tamaño de grano. De acuerdo con Giere (2009) este factor condiciona la distribución y la densidad, y estructura la condición espacial, física y química del sedimento.

X. CONCLUSIONES

Las muestras colectadas se encontraron distribuidas en un gradiente latitudinal delimitado en el centro del talud del GC caracterizado por cuencas oceánicas y montes submarinos desde la cuenca San Pedro Martir hasta la cuenca de Guaymas, distinguiéndose así la heterogeneidad del hábitat bentónico.

Los resultados de temperatura, salinidad, materia orgánica y concentración de oxígeno mostraron un patrón común con el incremento en la profundidad, como se ha visto en otras cuencas oceánicas semicerradas del mundo. Los sedimentos estuvieron dominados por sedimentos finos (limos y arcillas), como típicamente se ha encontrado en los fondos marinos de zonas profundas.

La meiofauna encontrada en el talud estuvo representada por seis grupos taxonómicos. Los grupos dominantes fueron los foraminíferos, nemátodos, harpacticoides. Los grupos taxonómicos encontrados, su abundancia y densidad fueron más bajos que los registrados en otras investigaciones en el mar profundo.

Se encontró que el grupo Polychaeta proporcionó la mayor biomasa, seguido de Harpacticoida, Nematoda y Kynorchyncha; la biomasa reportada en éste estudio fue mayor a la reportada en otras investigaciones de zonas profundas en océanos mexicanos.

La biomasa del orden Harpacticoida se incrementó al aumentar la profundidad, y los valores más altos se registraron en el talud inferior. Las mayores densidades se encontraron en el talud inferior, y la densidad tiende a incrementarse desde 834 m hasta 16042 m de profundidad.

Las familias de harpacticoides con mayores densidades fueron Ectinosomatidae, Miraciidae y Normanellidae. Los géneros del orden Harpacticoida que presentaron mayores densidades fueron *Halectinosoma*, *Haloschizopera*, *Pseudomesochra* y *Bradya*. Esto coincide con lo encontrado en el mar profundo de otros océanos del mundo.

La diversidad y riqueza, de los harpacticoides se registró en el talud inferior a 1570 m de profundidad.

Los géneros *Marsteinia*, *Bradya*, *Neoargestes*, *Sagamiella*, *Mesocletodes*, *Pseudameira* y *Cervinia* presentan afinidad con sedimentos limosos y a la materia orgánica. Los géneros *Idyella*, *Delavia*, *Haloschizopera*, *Halectinosoma* y *Cletodes* se encuentran también asociados a sedimentos limosos y al contenido de oxígeno disuelto. El género *Pseudobradya* se encontró asociado a variables como la temperatura, salidad y arenas.

Finalmente, se encontró que la materia orgánica total, el tipo de sedimento, y la concentración de oxígeno disuelto fueron los factores que condicionan la varación de la densidad y biomasa de la meiofauna.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, V. M. Kolb, D. Hernández, T. Urquiza, P. Koleff (2008) Prioridades de conservación de la biodiversidad marina de México. CONABIO. *Biodiversitas* 79:1-15.
- Aguirre-Villaseñor, H., & C Salas-Singh., (2012). New records of the lollipop catshark *Cephalurus cephalus* (Scyliorhinidae) from the Gulf of California, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(1), 298-300
- Alongi, D. M. & Pichon, (1988). Bathyal meiobenthos of the western Coral Sea: distribution and abundance in relation to microbial standing stocks and environmental factors. *Deep Sea Research Part A*. 35(4), 491-503.
- Alongi, D. M. (2003). The ecology of tropical soft-bottom benthic ecosystems. *Oceanography and Marine Biology. An Annual Review* 28: 381-496.
- Álvarez-Borrego, S. (1983). Gulf of California. *Ecosystems of the World*, 26, 427-449.
- Álvarez-Borrego, S. (2002). Physical oceanography. A new island biogeography of the Sea of Cortes. Oxford University Press, New york, 41-59.
- Álvarez-Borrego, S. (2010). Physical, chemical, and biological oceanography of the Gulf of California. En: *The Gulf of California: biodiversity and conservation*. Brusca R. (Ed.). University Arizona Press. Arizona, 400.
- Álvarez-Castillo L, Hermoso-Salazar M, Estradas-Romero A, Prol-Ledesma RM, Pardos F. (2015) First records of Kinorhyncha from the Gulf of California : Horizontal and vertical distribution of four genera in shallow basins with CO2 venting activity. *Cahiers de Biologie Marine* 56: 271–281.
- Anderson, M., Gorley, R. N., & Clarke, R. K. (2008). *Permanova+ for Primer: Guide to Software and Statistical Methods*. Primer-E Limited.
- Armenteros, M., González-Sansón, G., & Lalana, R. (2003). Composición y abundancia del meiobentos en un sector sublitoral de Ciudad de la Habana, Cuba. *Rev. Invest. Mar*, 24(1), 3-10.

Baguley JG, P.A. Montagna, W. Lee, L.J. Hyde, G.T. Rowe, (2006) Spatial and bathymetric trends in Harpacticoida (Copepoda) community structure in the northern Gulf of Mexico deep-sea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 330: 327-341.

Baguley, J. G. P. A. Montagna, L. J. Hyde, & G. T. Rowe, (2008). Metazoan meiofauna biomass, grazing, and weight-dependent respiration in the Northern Gulf of Mexico deep sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 55(24), 2607-2616.

Bandy, O. L. (1961). Distribution of foraminifera, radiolaria and diatoms in sediments of the Gulf of California. *Micropaleontology*, 1-26.

Beaudoin, A. (2003) A comparison of two methods for estimating the organic content of sediments. *Journal of Paleolimnology*, 29(3), 387-390.

Bejarano, A. C. K. A. Maruya, & G. T. Chandler, (2005). Toxicity assessment of sediments associated with various land-uses in coastal South Carolina, USA, using a meiobenthic copepod bioassay. *Marine Pollution Bulletin*, 49(1), 23-32.

Bik H. M., D. L. Porazinska, S. Creer, J. G. Caporaso, R. Knight & W. K. Thomas (2012). Sequencing our way towards understanding global eukaryotic biodiversity. *Trends in Ecology and Evolution*, 27, 233–243. doi: 10.1016/j.tree.2011.11.010

Bik H. M., W. Sung, P. De Ley, J. G. Baldwin, J. Sharma, A. Rocha-Olivares & W. K. Thomas (2012). Metagenetic community analysis of microbial eukaryotes illuminates biogeographic patterns in deep-sea and shallow water sediments. *Molecular Ecology*, 21, 1048–1059. doi: 10.1111/j.1365-294X.2011.05297.x

Boeckner, M. J., J. Sharma & H. C. Proctor (2009). Revisiting the meiofauna paradox: dispersal and colonization of nematodes and other meiofaunal organisms in low-and high-energy environments. *Hydrobiologia*, 624(1), 91-106.

Bongers, T. & H. Ferris (1999). Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *Trends in Ecology and Evolution*. (14) 6, 224-228.

Boxshall, G. A. & S. H. Halsey (2004). An introduction to copepod diversity. Ray Society.

- Bandy, O. L. 1961. Distribution of foraminifera, radiolarian and diatoms in sediments of the Gulf of California. *Micropaleontology*, 1(7), 1-26.
- Brannock P. M., D. S. Waits, J. Sharma & K. M. Halanych (2014). High-throughput sequencing characterizes intertidal meiofaunal communities in Northern Gulf of Mexico (Dauphin Island and Mobile Bay, Alabama). *Biological Bulletin*, 227, 161–174
- Brandt, A. C. De Broyer, I De Mesel, K. E. Ellingsen, A. J. Gooday, B. Hilbig & P. A. Tyler (2007). The biodiversity of the deep Southern Ocean benthos. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 362(1477), 39-66.
- Bray, N. A. (1988). Thermohaline circulation in the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 93(C5), 4993-5020.
- Brusca R. C. & M. E. Hendrickx (2008). The Gulf of California Invertebrate Database: The invertebrate portion of the Macrofauna Golfo Database. Available from: <http://www.desertmuseum.org/center/seaofcortez/database.php>. (September 30, 2016).
- Brusca R. C. & M. E. Hendrickx (2012). Invertebrate biodiversity and conservation in the Gulf of California. En: Brusca, R. C. (Ed), *The Gulf of California, biodiversity and conservation*. The University of Arizona Press and The Arizona-Sonora Desert Museum, Tucson, 72–95.
- Buenrostro, A. A., Castro, A. T., Melo, A. F. M., & Espinoza, M. L. A. (2003). Influence of EBES seamount and Farallon basin on coastal circulation in the Gulf of California, Mexico. *Geofísica internacional*, 42(3), 407-418.
- Calvert, S. E. (1964). Factors affecting distribution of laminated diatomaceous sediments in Gulf of California.
- Carney, R. S. (2005) Zonation of deep biota on continental margins. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev* 43:211–278.
- Cartes, J. E. Maynou, F. Moranta, J. Massuti, E. Lloris, D. y Morales-Nin, B. (2004). Patterns of bathymetric distribution among deep-sea fauna at local spatial scale: comparison of mainland vs. insular areas. *Progress in Oceanography*, 60(1), 29-45.

- Clarke, K. R. & R. M. Warwick, (1994). Similarity-based testing for community pattern: the two-way layout with no replication. *Marine Biology*, 118(1), 167-176.
- Clarke, K. R., P. J., Somerfield, & R. N. Gorley, (2008). Testing of null hypotheses in exploratory community analyses: similarity profiles and biota-environment linkage. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 366(1), 56-69.
- Coull, B. C. (1988) The ecology of the marine meiofauna. En: Introduction to the study of meiofauna. Higgins R. P. & Thiel, H. (Eds.). Smithsonian Institute Press, Washington, D.C. 485
- Coull B.C. (1990) Are members of the meiofauna food for higher trophic levels? *Transactions of the American Microscopical Society* 109: 233–246.
- Coull, B. C. & G. T. Chandler (1992) Pollution and meiofauna: field, laboratory, and mesocosm studies. *Oceanography and Marine Biology. An Annual Review*, 30:191-271.
- Coull, B. C. (1999) Role of meiofauna in estuarine soft-bottom habitats. *Australian Journal of Ecology* 24: 327-343.
- Creer S. & F. Sinniger (2012) Cosmopolitanism of microbial eukaryotes in the global deep seas. *Molecular Ecology* 21: 1033–1035.
- Crezée, M. 1975. Monograph of the Solenofilomorphae (Turbellaria: Acoela). *International Review*, 60: 769–845.
- Curry, J. R., Moore, D. G., Lawver, L. A., Emmel, F. J., Raitt, R. W., Henry, M., & Kieckhefer, R. (1979). Tectonics of the Andaman Sea and Burma: convergent margins.
- Danovaro, R. A. Tselepides, A. Otegui, & N. Della Croce, (2000). Dynamics of meiofaunal assemblages on the continental shelf and deep-sea sediments of the Cretan Sea (NE Mediterranean): relationships with seasonal changes in food supply. *Progress in Oceanography*, 46(2), 367-400.
- Danovaro R, C. Gambi, A. Dell'Anno, C. Corinaldesi, S. Fraschetti, A. Vanreusel, M. Vincx, A.J. Gooday (2008) Exponential Decline of Deep-Sea Ecosystem Functioning Linked to Benthic Biodiversity Loss. *Current Biology* 18: 1–8.

- Danovaro R, A. Pusceddu (2007) Biodiversity and ecosystem functioning in coastal lagoons: Does microbial diversity play any role Estuarine, Coastal and Shelf Science 75: 4–12.
- Dayton, P. K. y R. R. Hessler (1972). Role of biological disturbance in maintaining diversity in the deep sea. In Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts (19) 3
- De la Lanza-Espino, G. E. (1991) Oceanografía de Mares Mexicanos. AGT Editores. México, 569.
- Díaz-Aguilar, C. (2001) Patrón de distribución de la riqueza taxonómica, densidad y biomasa de la epifauna en un gradiente batimétrico del sector occidental del Golfo de México. Tesis de Licenciatura. UNAM. Facultad de Ciencias.
- Diaz, R. J., & R. Rosenberg (1995). Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. Oceanography and marine biology. An annual review, 33, 245-03.
- Díaz, R.J. and R. Rosenberg. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. Science 321:926-928.
- Duarte, C. M. (2006) The exploration of marine biodiversity: Scientific and technological challenges. Fundación BBVA, ed. 5745, 158pp.
- Eckman, J. E. (1983). Hydrodynamic processes affecting benthic recruitment. Limnology and Oceanography, 28(2), 241-257.
- Eila, L. & J. Leppänen (1988). Role of meiofauna in estuarine soft-bottom habitats. Institute of Marine Research No. 25519-35. Helsinki, Finland.
- Emig, C. C. (1997). Ecology of inarticulated brachiopods. Treatise on Invertebrate Paleontology, Part H, Brachiopoda (revised), 1, 473-495.
- Escobar-Briones, E. (1999) Variación de la densidad de la infauna en un gradiente batimétrico; oeste del Golfo de México.
- Escobar-Briones, E. (2000) La biodiversidad del mar profundo en México. Biodiversitas, 29, 2-6.

- Escobar-Briones, E. (2013) ¿Qué es el mar profundo? p. 1-10 en A. Low Pfeng, y E.M. Escobar-Briones, E. Soto, L. Salazar-Vallejo, S. I. y Gonzáles, N. (1993). Bentos del mar profundo en México. Salazarvallejo, Si, Gonzáles, Ne Biodiversidad marina y costera de México. México, Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO.
- El Rayis, O. A. (1985). Re-assessment of the titration method for determination of organic carbon in recent sediments. *Rapp Comm Int Mer Medit*, 29(7).
- Fabiano, M. P. Povero, R. Danovaro, y C. Misic (1999). Particulate organic matter composition in a semi-enclosed Periantarctic system: the Straits of Magellan. *Scientia Marina*, 63(S1), 89-98.
- Fernández Barajas, M. E. A. Molina Cruz, y M. A. Monreal Gómez (1994). Estructura termohalina y flujo geostrofico, en el Golfo de California, durante 1992. *Ciencias Marinas*, 20(2).
- Findlay, S. E. (1981). Small-scale spatial distribution of meiofauna on a mud-and sandflat. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 12(4), 471-484.
- Fleeger, J. W., D. Thistle, y H. Thiel (1988). Sampling equipment. Introduction to the study of meiofauna. Smithsonian Institution Press, Washington, DC, 115-125.
- Feller, R. J. and R. M. Warwick. (1988) Energetics, p.181-196. In R. P. Higgins and H. Thiel [eds.], Introduction to the study of meiofauna. Smithsonian.
- Fleeger, J. W. M. A Palmer & E. B. Moser (1990). On the Scale of Aggregation of Meio-benthic Copepods on a Tidal Mudflat. *Marine Ecology*, 11(3), 227-237.
- Gage, J. D., & P. A. Tyler (1991). Deep-sea biology: a natural history of organisms at the deep-sea floor. Cambridge University Press.
- Gambi, C., & R. Danovaro, (2006). A multiple-scale analysis of metazoan meiofaunal distribution in the deep Mediterranean Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 53(7), 1117-1134.

- Gaxiola-Castro, G. Álvarez-Borrego, S. Nájera-Martínez, y A. R. Zirino (2002). Efecto de las ondas internas en el fitoplancton del Golfo de California Internal waves effect on the Gulf of California phytoplankton. *Ciencias Marinas*, 28(3), 297-309
- Gheerardyn, H., M., Troch, M., Vincx, & A. Vanreusel, (2009). Diversity and community structure of harpacticoid copepods associated with cold-water coral substrates in the Porcupine Seabight (North-East Atlantic). *Helgoland Marine Research*, 64(1), 53.
- Gheerardyn, H., & George, K. H. (2010). New representatives of the genus *Ancorabolina* George, 2006 (Copepoda, Harpacticoida, Ancorabolidae) including remarks on ancorabolid phylogeny. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 158(1), 16-55.
- Giere, O. (2009) *Meiobenthology. The microscopic motile fauna of aquatic sediments.* 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 527
- Gómez, S. (2000) Redescription of *Pseudostenheli wellsi* Coull y Fleeger, 1977 (Copepoda, Harpacticoida) from a tropical coastal lagoon in South Eastern Gulf of California (Mexico). *Crustaceana*. 73 (1): 69-82.
- Gómez, S. (2000) b. A new genus, a new species, a new record of the family Darcythompsoniidae Lang, 1936 (Copepoda, Harpacticoida), from the Gulf of California, Mexico. *Zoological Journal of the Linnean Society*. 129: 515-536.
- Gómez, S. (2000) c. *Cletodes confusum* sp. nov. *C. pseudodissimilisoris* sp. nov. and *Stylicletodes longicaudatus* (Copepoda, Harpacticoida, Cletodidae) from a coastal lagoon in Southeastern Gulf of California (Mexico). *Cahiers de Biologie Marine*. 41: 265-280.
- Gómez, S. (2003) Three new species of *Enhydrosoma* and a new record of *Enhydrosoma lacunae* (Copepoda Harpacticoida) from the Eastern Tropical Pacific. *Journal of Crustacean Biology*. 23: 94-118.
- Gómez S, Conroy-Dalton S (2002) Description of *Ancorabolus hendrickxi* sp. nov. (Copepoda: Harpacticoida: Ancorabolidae) from the neotropics and notes on caudal ramus development within oligarthran harpacticoids. *Cahiers de Biologie Marine* 43: 111–129.

Gómez, S. & Fiers, F. (1997) Two new species of *Mesochra* Boeck, 18654 (Copepoda: Harpacticoida) from a coastal lagoon in Sinaloa State, Mexico. *Biologie*. 67:39-56.

Gómez, S. E. & Hendrickx, M. E. (1997) Distribution and Abundance of meiofauna in a subtropical coastal lagoon in the South Eastern Gulf of California, México. *Marine Pollution Bulletin*, 7(34): 582-587.

Gómez, S. & Morales-Serna, F. N. (2012) Meiofauna de mar profundo del Golfo de California: algunos aspectos acerca de la distribución y abundancia de Copepoda. En: P. Zamorano, M. E. Hendrickx y M. Caso (Eds.). *Biodiversidad y comunidades del talud continental del Pacífico mexicano*. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 123-144.

Gómez S, Morales-Serna FN (2014) Updated checklist of published and unpublished records of harpacticoid copepods (Crustacea: Copepoda: Harpacticoida) from Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 127: 99–121. doi: 10.2988/0006-324X-127.1.99.

Gómez, S., & Díaz, K. (2017). On some new species of Ancorabolidae Sars, 1909 from the Gulf of California: the genera *Ceratonotus* Sars, 1909, and *Dendropsyllus* Conroy-Dalton, 2003 (Crustacea, Copepoda, Harpacticoida). *ZooKeys*, (657), 43.

Grassle, J. F. (1989). Species diversity in deep-sea communities. *Trends in Ecology and Evolution*, 4(1)

Gutzmann, E. P. Martínez Arbizu, A. Rose, & G. Veit-Köhler (2004) Meiofauna communities along an abyssal depth gradient in the Drake Passage. *Deep-Sea Research II*, 51, 1617–1628.

Guzmán –Rodríguez L.O. (2015) Estructura comunitaria del meiofauna abisal asociado al volcán de asfalto “Chapopote”, ubicado al suroeste del golfo de México. TESIS-Licenciatura UNAM

Heip, C. A. R. L. O., & P. M. Herman (1985). The stability of a benthic copepod community. In *Proceedings 19th European Marine Biology Symposium*. Cambridge University Press, Cambridge 255-263.

Heip, C., Huys, R., Vincx, M., Vanreusel, A., Smol, N., Herman, R., & Herman, P. M. J. (1990). Composition, distribution, biomass and production of North Sea meiofauna. *Netherlands Journal of Sea Research*, 26(2-4), 333-342.

Helly, J. L. Levin (2004) Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins. *Elsevier Deep-Sea Research I* 51 (2004) 1159–1168

Hendrickx, M.E. (2001) Occurrence of a continental slope decapod crustacean community along the edge of the minimum oxygen zone in the southeastern Gulf of California, Mexico. *Belgian Journal of Zoology* 131 (Suppl. 2): 95-109.

Hendrickx, M. E. A. M. Van der Heiden, y A. Toledano-Granados (1984). Resultados de las campañas SIPCO (Sur de Sinaloa, México) a bordo del B/O “El Puma”. *Hidrología y composición de las capturas efectuadas en los arrastres. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM*, 11 (1), 107-122.

Hendrickx, M.E. & Fiers, F. (2010) Copépodos Harpacticoida asociados con crustáceos decápodos. *Ciencia y Mar*, 14, 3–30.

Hendrickx, M. E., & Serrano, D. (2010) Impacto de la zona de mínimo de oxígeno sobre los corredores pesqueros en el Pacífico mexicano. *Interciencia*, 35(1).

Hendrickx M.E. (2012) Operaciones oceanográficas en aguas profundas: los retos del pasado, del presente y del proyecto TALUD en el Pacífico mexicano (1989-2009). Pp. 23-104 In: *Biodiversidad y comunidades del talud continental del Pacífico mexicano*. P. Zamorano, M.E. Hendrickx y Caso M. (eds.), Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología (INE). <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/690/operaciones.pdf>

Hendrickx, M. E., & Serrano, D. (2014) Influencia de la Zona del Mínimo de Oxígeno sobre la distribución de *Stereomastis pacifica* (Faxon, 1893) y primer registro para México de *Pentacheles laevis* Spence Bate, 1878 (Crustacea; Decapoda; Polychelidae). *Ciencia y Mar*, 46(2012), 29-36.

Hessler, R. R. & Sanders, H. L. (1967). Faunal diversity in the deep-sea. In *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts* (14): 1- 65

Higgins, R. P. & Thiel H. (1988) Introduction to study of Meiofauna.

Holovachov O, Tandingan De Ley I, Mundo-Ocampo M, Baldwin JG, Rocha-Olivares A, De Ley P (2008) Nematodes from the Gulf of California. Part 1. The genera *Ceramonema* Cobb, 1920, *Pselionema* Cobb in Cobb, 1933 and *Pterygonema* Gerlach, 1954 (Nematoda: Ceramonematidae). *Nematology* 10: 347–373.

Holovachov O, De Ley IT, Mundo-Ocampo M, Gingold R, De Ley P (2009) Nematodes from the Gulf of California. Part 3. Three new species of the genus *Diplopeltoides* Gerlach, 1962 (Nematoda: Diplopeltoididae) with overviews of the genera *Diplopeltis* Gerlach, 1962 and *Diplopeltula* Gerlach, 1950. *Russian Journal of Nematology* 17: 43–57.

Huys, R. & Boxshall, G. A. (1991) Copepod evolution. The Ray Society. London. 468

Huys, R. Gee, J. M, Moore, C. G. Hamond, R. (1996) Marine and brackish water harpacticoid copepods. Part 1. Published for the Linnean Society of London and The Estuarine and Coastal Science Association by Field Council. Great Britain. 352

Jensen, A. (1984). Excretion of organic carbon as function of nutrient stress. In *Marine phytoplankton and productivity*. Springer Berlin Heidelberg. Pp 61-72

Lamberson, J O. DeWitt, T.H. Swartz, R.C. (1992) Assessment of sediment toxicity to marine benthos. Pp. 183-211. In: Burton, G.A. (ed.) *Sediment toxicity assesment*. Lewis Publishers, Inc. USA. 457

Lampadariou, N., Tselepides, A., & Hatziyanni, E. (2009). Deep-sea meiofaunal and foraminiferal communities along a gradient of primary productivity in the eastern Mediterranean Sea. *Scientia Marina*, 73(2), 337-345.

Landers, S. C., Romano III, F. A., Stewart, P. M., & Ramroop, S. T. E. V. E. (2012). A multi-year survey of meiofaunal abundance from the northern Gulf of Mexico continental shelf and slope. *Gulf of Mexico Science*, 1(2), 20-29.

Lavín, M. F. Beier, E. y Badan, A. (1997). Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual. *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*, 41-171.

- Lavín, M. F., & Marinone, S. G. (2003). An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. In *Nonlinear processes in geophysical fluid dynamics*. Springer Netherlands. Pp 173-204.
- Lazier, J. R. N. & Mann, K. H. (1989). Turbulence and the diffusive layers around small organisms. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 36(11), 1721-1733.
- Lee, M. R. & Correa, J. A. (2005). Effects of copper mine tailings disposal on littoral meiofaunal assemblages in the Atacama region of northern Chile. *Marine Environmental Research*, 59(1), 1-18.
- Legendre, P. & Legendre, L. (1998). *Numerical ecology: second English edition*. Developments in environmental modelling, 20.
- Levin, L. A. & Gage, J. D. (1998) Relationships between oxygen, organic matter and the diversity of bathyal macrofauna. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 45(1), 129-163.
- Levin, L.A. (2003) Oxygen minimum zone benthos: adaptations and community response to hypoxia. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 41: 1-45.
- Lonsdale, P. 1989. Geology and tectonic history of the Gulf of California. En: *The eastern Pacific Ocean and Hawaii*. Winterer L. E. Hussong D. M. y R. W. (Eds.). Geological Society of America, *The geology of North America*. Boulder, CO, 521.
- Loring, D. H. & Rantala, R. T. T. (1992) Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth-science reviews*,32(4), 235-283.
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell, Oxford, UK.
- Mare, M.F. (1942) A study of a marine benthic community with special reference to the micro-organisms. *Journal of the Marine Biology Association of the United Kingdom* 25: 517-554. Méndez, 2011

- Millward, R. N. Carman, K. R. Fleeger, J. W. Gambrell, R. P. & Portier, R. (2004). Mixtures of metals and hydrocarbons elicit complex responses by a benthic invertebrate community. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 310(1), 115-130.
- Montagna, P. A., Bauer, J. E., Hardin, D., & Spies, R. B. (1989). Vertical distribution of microbial and meiofaunal populations in sediments of a natural coastal hydrocarbon seep. *Journal of Marine Research*, 47(3), 657-680.
- Morales-Serna, F. N. Gómez, S. & Bustos-Hernández, I. M. (2006) Spatial and temporal variation of taxonomic composition and species richness of benthic copepods (Cyclopoida and Harpacticoida) along a polluted coastal system from North-Western Mexico during two contrasting months. En: Contributions to the study of East Pacific Crustaceans. Hendrickx, M. E. (Ed.). Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México, pp 41-59.
- Mundo-Ocampo M, Lamshead PJD, Debenham N, King IW, De Ley P, Baldwin JG, De Ley IT, Rocha-Olivares A, Waumann D, Thomas WK, Packer M, Boucher G (2007) Biodiversity of littoral nematodes from two sites in the Gulf of California. *Hydrobiologia* 586: 179–189.
- Murrell, M. C., & Fleeger, J. W. (1989). Meiofauna abundance on the Gulf of Mexico continental shelf affected by hypoxia. *Continental Shelf Research*, 9(12), 1049-1062.
- Olabarria, C. (2005) Patterns of bathymetric zonation of bivalves in the Porcupine Seabight and adjacent Abyssal plain, NE Atlantic. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 52(1), 15-31.
- Oliver, P. G. & Levin, L. (2006). A new species of the family Thyasiridae (Mollusca: Bivalvia) from the oxygen minimum zone of the Pakistan Margin. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 86(02), 411-416
- Ortíz, M. Lalana, R. & Torres-Fundora, O. (1992). Un nuevo género y una nueva especie de copépodo Harpacticoida asociada al manatí *Trichechus manatus* en aguas cubanas. *Revista de Investigaciones Marinas*, 13, 117-127.

- Palmer, M. A. (1990). Temporal and spatial dynamics of meiofauna within the hyporheic zone of Goose Creek, Virginia. *Journal of the North American Benthological Society*, 9(1), 17-25.
- Papiol, V., & Hendrickx, M. E. (2016). Community structure of deep-water decapod crustaceans below the oxygen minimum zone in the south-east Gulf of California and analysis of environmental drivers. *Marine and Freshwater Research*, 67(12), 1862-1879.
- Parker, R. H. (1964) Zoogeography and ecology of macro-invertebrates of Gulf of California and continental slope of western Mexico.
- Paulmier, A. & Ruiz-Pino, D. (2009) Oxygen minimum zones (OMZs) in the modern ocean. *Progress in Oceanography*, 80(3), 113-128
- Pereira TJ, Fonseca G, Mundo-Ocampo M, Guilherme BC, Rocha-Olivares A (2010) Diversity of free-living marine nematodes (Enoplida) from Baja California assessed by integrative taxonomy. *Marine Biology* 157: 1665–1678.
- Perez-Cruz, L. L., & Machain-Castillo, M. L. (1990). Benthic foraminifera of the oxygen minimum zone, continental shelf of the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Journal of Foraminiferal Research*, 20(4), 312-325.
- Pettit, L. R. Hart, M. B. Medina-Sánchez, A. N. Smart, C. W. Rodolfo-Metalpa, R. HallSpencer, J. M. & Prol-Ledesma, R. M. (2013). Benthic foraminifera show some resilience to ocean acidification in the northern Gulf of California, Mexico. *Marine pollution bulletin*, 73(2): 452-462
- Phleger, F. B. (1964). Foraminifera ecology and marine geology. *Marine Geology*, 1(1), 16-43.
- Pielou, E. C. (1969). *An introduction to mathematical ecology*.
- Rachor, E. (1975). Quantitative Untersuchungen über das Meiobenthos der nordostatlantischen Tiefsee. *Meteor. Forschungs. Ser*, 21, 317-329.
- Radziejewska, T. (2014) Meiobenthos in the Sub-equatorial Pacific Abyss: A proxy in anthropogenic impact evaluation. *Springer Briefs in Earth System Science*. London.

Riemann, F. W. Ernst & R. Ernst. 1990. Acetate uptake from ambient water by the free-living marine nematode *Adoncholaimus thalassophygas*. *Marine Biology*, 104: 453-457.

Resources-Maptool-Recuperado de <http://seaturtle.org/maptool> Projection, 2017.

Rex, M. A. & Etter, R. J. (1998). Bathymetric patterns of body size: implications for deep-sea biodiversity. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 45(1-3), 103-127.

Roden, G. I. & Groves, G. W. (1959). Recent oceanographic investigations in the Gulf of California. *Journal of Marine Research*, 18(1), 10-35.

Rodríguez Soberanes, K. F. (2007). Variación espacial de la densidad de copépodos bentónicos y su relación con la profundidad, concentración de oxígeno disuelto; concentración de carbono orgánicos granulometría del sedimento en el talud continental de Sinaloa. Sinaloa, México.

Rosenberg, R. W.E. Arntz, E. Chuman de Flores, L.A. Flores, G. Carbajal, G. Finger, & J. Tarazona. (1983) Benthos biomass and oxygen deficiency in the upwelling system off Peru. *Journal of Marine Research* 41: 263–279.

Rowe, G. T. & Menzies, R. J. (1969) Zonation of large benthic invertebrates in the deep-sea of the Carolinas. In *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts* (16):5 - 531

Sánchez-Velasco, L. Avalos-García, C. Rentería-Cano, M. y Shirasago, B. (2004). Fish larvae abundance and distribution in the central Gulf of California during strong environmental changes (1997–1998 El Niño and 1998–1999 La Niña). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 51(6), 711-722.

Serrano, D. 2012. La zona del mínimo de oxígeno en el Pacífico mexicano. En prensa. En: P. Zamorano, M.E. Hendrickx y M. Caso (eds.). *Biodiversidad y comunidades del talud continental del Pacífico mexicano*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), Instituto Nacional de Ecología (INE).

Shannon and Wiener. 1963. *The Mathematical Theory of Communications*, University of Illinois, Urbana pp. 117

- Sharma, J. Baguley, J. G. Montagna, P. A. & Rowe, G. T. (2012). Assessment of longitudinal gradients in nematode communities in the deep northern Gulf of Mexico and concordance with benthic taxa. *International Journal of Oceanography*,
- Shirayama, Y. (1984). The abundance of deep-sea meiobenthos in the western Pacific in relation to environmental factors. *Oceanologica Acta*, 7(1), 113-121.
- Shimanaga, M. Nomaki, H. Suetsugu, K. Murayama, M. y Kitazato, H. (2007). Standing stock of deep-sea metazoan meiofauna in the Sulu Sea and adjacent areas. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 54(1), 131-144.
- Sibuet, M., & Olu, K. (1998). Biogeography, biodiversity and fluid dependence of deep-sea cold-seep communities at active and passive margins. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 45(1-3), 517-567
- Snelgrove PVR (1997) The importance of marine sediment biodiversity in ecosystem processes. *Ambio* 26: 578–583.
- Smith, C. R. Levin, L. A. & Mullineaux, L. S. 1998. Deep-sea biodiversity: a tribute to Robert R. Hessler. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 45(1), 1-11.
- Snider, L. J. Burnett, B. R. & Hessler, R. R. (1984). The composition and distribution of meiofauna and nanobiota in a central North Pacific deep-sea area. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 31(10), 1225-1249.
- Solís-Marín, F. A. Honey-Escandón, M. B. Herrero-Pérezrul, M. D. Benitez-Villalobos, F. Díaz-Martínez, J. P. Buitrón-Sánchez, B. E. & Durán-González, A. (2013). The echinoderms of Mexico: biodiversity, distribution and current state of knowledge. In *Echinoderm research and diversity in Latin America* pp. 11-65
- Streeter, S. S. (1972). Living benthonic foraminifera of the Gulf of California, a factor analysis of Phelger's (1964) data. *Micropaleontology*, 1(18): 64-73.
- Sørensen, M. V., Dal Zotto, M., Rho, H. S., Herranz, M., Sánchez, N., Pardos, F., & Yamasaki, H. (2015). Phylogeny of Kinorhyncha based on morphology and two molecular loci. *PLoS One*, 10(7)

Suarez-Mozo. (2016). Taxonomía y aspectos ecológicos de los moluscos de profundidad en la costa oeste de Baja California. Tesis Maestría en Ciencias del Mar y Limnología. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM.

Suárez-Morales, E. (2015). Class Maxillopoda. In Ecology and general biology: Thorp and Covich's freshwater invertebrates, Vol. I. 4th ed. J. Thorp and D. C. Rogers (eds.), Academic Press, San Diego, California, 709–755.

Svedrup, H. U. Johnson, M. W. & Fleming, R. H. (1942). The oceans.

Thiel, H. (1975). The size structure of the deep-sea benthos. *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie*, 60, 575-606.

Thistle, D., & Eckman, J. E. (1988). Response of harpacticoid copepods to habitat structure at a deep-sea site. *Hydrobiologia*, 167(1), 143-149.

Thistle, D., Levin, L. A., Gooday, A. J., Pfannkuche, O., & Lamshead, P. J. D. (1999). Physical reworking by near-bottom flow alters the metazoan meiofauna of Fieberling Guyot (northeast Pacific). *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 46(12), 2041-2052.

Tietjen, J. H. (1984). Distribution and species diversity of deep-sea nematodes in the Venezuela Basin. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 31(2), 119-132.

Tietjen, J. H. (1989). Ecology of deep-sea nematodes from the Puerto Rico Trench area and Hatteras Abyssal Plain. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 36(10), 1579-1594.

Tietjen, J. H. (1992). Abundance and biomass of metazoan meiobenthos in the deep sea. *Deep-sea food chains and the global carbon cycle*, 45-62.

Tselepidis, A. & N. Lampadariou. (2004) Deep-sea meiofaunal community structure in the Eastern

Vegas Vélez, M. y Vélez, M. V. (1980). *Introducción a la ecología del bentos marino* (4): 574 pp 92

Vincx, M. B.J. Bett, A. Dinet, T. Ferrero, A.J. Gooday, P.J.D. Lamshead, O. Pfannkuche, T. Soltwedel & A. Vanreusel. (1996) Meiobenthos of the deep Northeast Atlantic. *Advances in Marine Biology* 30: 1-88.

Walkley, A. y Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.

Warwick, R. M., & Price, R. (1979). Ecological and metabolic studies on free-living nematodes from an estuarine mud-flat. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 9(3), 257-271.

Warwick, R. M. (1981). The nematode/copepod ratio and its use in pollution ecology. *Marine Pollution Bulletin*, 12(10), 329-333.

Warwick, R. M. & J. M. Gee. (1984) Community structure of estuarine meiobenthos. *Marine Ecology Progress Series*, 18: 97-111.

Wells, J. B. J. (1976) Copepoda. Pp 380-388. In: Higgins, R.P. Thiel, H. (eds) *Introduction to the study of meiofauna*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C. pp 488

Wei, C. L. Rowe, G. T. Hubbard, G. F. Scheltema, A. H. Wilson, G. D. Petrescu, I. & Soliman, Y. (2010). Bathymetric zonation of deep-sea macrofauna in relation to export of surface phytoplankton production.

Wieser, W. (1960). Benthic studies in Buzzards Bay II. The meiofauna. *Limnology and oceanography*, 5(2), 121-137.

Wilkinson, T. (2009). W5 Ecorregiones marinas de América del Norte. Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, pp 200

Wishner K. L. Levin, M. Gowing And L. Mullineaux (1990) Involvement of the oxygen minimum in benthic zonation on a deep seamount. *Nature*, 346, 57-59.

Wishner, K. F. Ashjian, C. J. Gelfman, C. Gowing, M. M. Kann, L. Levin, L. A. y Saltzman, J. (1995). Pelagic and benthic ecology of the lower interface of the Eastern

Tropical Pacific oxygen minimum zone. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 42(1), 93-115.

Zamorano, P., Hendrickx, M. E., Ríos-Jara, E., Esqueda-González, M. C., & Galván-Villa, C. M. (2007). Biocenosis y distribución de los moluscos de aguas profundas en el Pacífico mexicano: una evaluación de los avances. *Estudios sobre la Malacología y Conquiliología en México*, 48-49.

Zamorano, P., Hendrickx, M. E., Méndez, N., Gómez, S., Serrano, D., Aguirre, H., ... & Morales-Serna, F. N. (2013). La exploración de las aguas profundas del Pacífico mexicano: el Proyecto TALud. *La frontera final: el océano profundo*. INECC, México, 85-104.

Zamorano, P. Hendrickx, M. E. Méndez, N. Gómez, S. Serrano, D. Aguirre, H. y Morales-Serna, F. N. (2014) *La exploración de las aguas profundas del Pacífico mexicano: el Proyecto TALUD. La Frontera Final: El Océano Profundo*. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 105-147.