



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESTRUCTURA COMUNITARIA DEL MEIOBENTOS
ABISAL ASOCIADO AL VOLCÁN DE ASFALTO
“CHAPOPOTE”, UBICADO AL SUROESTE DEL GOLFO DE
MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

LAURA ODETTE GUZMÁN RODRÍGUEZ



DIRECTORA DE TESIS:
DRA. ELVA ESCOBAR-BRIONES
2015

Ciudad Universitaria, D. F.



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.

Datos del jurado

1. Datos del alumno

Guzmán
Rodríguez
Laura Odette
56 02 36 71
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
30716743-7

2. Datos del tutor

Dra.
Elva Guadalupe
Escobar
Briones

3. Datos del sinodal 1

Dr.
Luis Alberto
Oseguera
Pérez

4. Datos del sinodal 2

Dra.
Vilma Soledad
Ardiles
Gloria

5. Datos del sinodal 3

M. en C.
León Felipe
Álvarez
Sánchez

6. Datos del sinodal 4

M. en C.
Adriana
Gaytán
Caballero

7. Datos del trabajo escrito

Estructura comunitaria del meiobentos abisal asociado al volcán de asfalto "Chapopote", ubicado al suroeste del Golfo de México.
80 p
2015

*Soñar es ver las formas invisibles
a distancia imprecisa, y, con sensibles
impulsos de esperanza y voluntad
buscar allá en la fría línea del horizonte
árboles, playas, flores, aves, fuentes:
besos que nos debía la verdad.*

Fernando Pessoa

*“Nuestra lealtad es para las especies y el planeta. Nuestra obligación de sobrevivir
no es sólo para nosotros mismos sino también para ese cosmos, antiguo y vasto,
del cual derivamos.”*

Carl Sagan (1934 -

*A mis padres: Laura y Héctor.
Y para Amaranta, ¡Por supuesto!*

Agradecimientos institucionales

A la institución que me ha formado como profesional y como ser humano; la Universidad Nacional Autónoma de México.

A la Facultad de Ciencias y al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, en particular al Laboratorio de Biodiversidad y Macroecología: ¡El segundo hogar! por el espacio brindado dentro de sus instalaciones para la realización de este trabajo.

A la Dra. Elva Escobar Briones por brindarme la oportunidad de entrar al fascinante mundo del mar profundo, por la dirección de este trabajo, su paciencia para resolver las dudas y sus acertadas opiniones.

Al programa: “Estudio del proceso relacionado con infiltraciones de fluidos en el suelo oceánico (Proyecto E)”, en una colaboración con la Universidad de Bremen, Alemania, la UNAM – Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, la Universidad de Texas A&M – Corpus Christi (TAMU), EUA y el Research Center Oceans Margin (RCOM).

Al B/O “METEOR” por la recolección de muestras.

A la M. en C. Adriana Gaytán Caballero por su infinita paciencia y sus consejos, ¡¡Muchas gracias!!!

A la Dra. Vilma Ardiles Gloria por ser un apoyo durante este tiempo ¡Gracias!

Al M. en C. León F. Álvarez Sánchez por la asesoría estadística.

Al Dr. Luis A. Oseguera Pérez por sus valiosos y acertados comentarios en este trabajo.

A mis queridísimos compañeros y colegas del Laboratorio de Biodiversidad y Macroecología: Esme, Yosse, Letty, Sony, Iris, Itzelo, Karen, Dr. Pingü (Josué), Sandra, Maya, Nora y Rodrigo, gracias a todos por el apoyo brindado siempre, por las risas, los buenos (y malos) momentos, ¡¡Deep sea & Montebello team forever!!

Agradecimientos personales

A mi mamá, por enseñarme a amar y a respetar la vida en todas sus formas y tamaños. A mi papá, por ser mi ejemplo a seguir, por retarme todos los días a ser mejor y sobre todo por creer siempre en mí. A ambos, gracias por la paciencia, el apoyo incondicional y la comprensión que siempre me han brindado, sé que en muchas ocasiones no he sido fácil, los amo inmensamente.

A Amaranta, por ser la luz de mi vida, mi mejor amiga y por estar ahí siempre. ¡Eres alegría viva!

¿Qué sería de la vida sin los amigos?

A mis “Mosqueteras” Andrea y Montse, ¿Qué les puedo decir que no les haya dicho ya? Muchas gracias por estos años de amistad, por su apoyo en las buenas y en las malas, por las risas y los llantos pero sobre todo por ser y estar, “Todas para una...”.

A Ariel y Arturo, por ser los mejores amigos. A mis “Bellas y Esbeltas”: Tonantzi, Paulina, Mariana, Inari y Jessie y a todas esas increíbles personas que conocí durante este camino, pero especialmente a: Gabo, Anita, José Luis, Martín, Juan, Pepe Lalo y Pelu por llenar de risas y caos mi vida, por todos esos momentos que compartimos, que ahora son invaluable recuerdos y experiencias.

A todos ustedes, gracias ¡Totales!

Índice

1. Introducción.....	1
1.1 <i>Meiobentos</i>	1
1.2 <i>Características principales del Mar Profundo</i>	2
1.3 <i>Los sedimentos del fondo marino</i>	3
1.4 <i>Domos salinos</i>	4
1.5 <i>Infiltraciones frías</i>	5
2. Justificación.....	6
3. Antecedentes.....	6
3.1 <i>Estudios del Meiobentos</i>	6
3.2 <i>Meiobentos en el Golfo de México</i>	7
3.3 <i>Estado de conocimiento de “Chapopote”</i>	8
4. Área de Estudio.....	8
4.1. <i>El Golfo de México</i>	8
4.2. <i>El volcán de asfalto “Chapopote”</i>	10
5. Hipótesis.....	12
6. Objetivos.....	12
7. Material y método.....	13
7.1 <i>Trabajo de campo</i>	13
7.2 <i>Trabajo de gabinete y laboratorio</i>	15
7.3 <i>Análisis de resultados</i>	21
8. Resultados.....	22
8.1 <i>Estructura comunitaria</i>	22
<i>Composición taxonómica</i>	22
<i>Riqueza taxonómica</i>	23
<i>Abundancia</i>	23
<i>Densidad</i>	25
<i>Biomasa</i>	27
<i>Análisis de similitud</i>	29
<i>Índices ecológicos</i>	31
8.2 <i>Parámetros ambientales</i>	33
<i>Tamaño de grano</i>	33
<i>Composición elemental</i>	35
8.3 <i>Análisis de redundancia (RDA)</i>	37
9. Discusión.....	39
10. Conclusiones.....	46
11. Referencias.....	47
Anexo I. Antecedentes de estudios de meiofauna en infiltraciones frías.....	I
Anexo II. Antecedentes de estudios de meiofauna en el Golfo de México.....	II
Anexo III. Tabla de Riquezas por estación, réplica y nivel.....	V
Anexo IV. Tabla de abundancia por taxa y estación.....	VI
Anexo V. Densidades (LN) por nivel y taxa.....	VII
Anexo VI. Biomosas promedio por nivel y taxa.....	X
Anexo VII. Matriz de similitud por estación, índice de Bray-Curtis.....	XIII
Anexo VIII. Parámetros estadísticos granulométricos.....	XIV
Anexo IX. Gráficas de los parámetros estadísticos ambientales.....	XVI

Resumen

En este estudio se reconoció la estructura comunitaria de la meiofauna asociada al volcán de asfalto "Chapopote". Las muestras se obtuvieron durante la campaña oceanográfica GeoB M67/2b "*Fluid seepage of Chile and in the Gulf of Mexico*" a bordo del B/O Meteor de la Universidad de Bremen, Alemania en 2006. La colecta de las muestras se realizó en 4 hábitats distintos (abisal, brecha, flujo plegado y fragmentos de asfalto sin actividad quimiosintética) a profundidades que fueron en promedio de 2,200 a 2,900 metros, en el que se tomaron solo los primeros 10 cm de sedimento con nucleadores. El número de taxa identificados fue de 16 (anélidos, poliquetos, ácaros, copépodos, cumáceos, anfípodos, isópodos, ostrácodos, briozoos, kinorricos, bivalvos, foraminíferos, gasterópodos y nemátodos) con un total de 7,433 individuos. La densidad osciló en un intervalo promedio de 451 ± 902 a $227,204 \pm 108,206$ ind.m⁻² y la biomasa de 0.00001 ± 0.00003 a 0.329 ± 0.090 mg C m⁻². Los nemátodos y copépodos fueron los taxa más abundantes y comunes para todas las estaciones y niveles. La abundancia, densidad y biomasa mostraron los valores más altos en los hábitats de brecha, flujo plegado y abisal respectivamente, mientras que los valores más bajos se presentaron en el hábitat de fragmentos de asfalto sin actividad quimiosintética.

Las mayores abundancias, densidades, riquezas y biomاسas se registraron en los primeros 5 centímetros superficiales (nivel 1 y 2). Los factores ambientales que se analizaron, sugieren que los patrones de distribución observados están influenciados por las concentraciones de nitrógeno, azufre y carbono orgánico, así como la presencia de limos.

Abstract

In this study the meiofaunal community structure associated with the asphalt volcano "Chapopote" was recognized. The samples were obtained during the oceanographic campaign GeoB M67 / 2b "*Fluid seepage of Chile and in the Gulf of Mexico*" onboard R/V Meteor of the Bremen University, Germany in 2006. The samples were collected in 4 different habitats (abyssal, breccia, ropy asphalt flow and asphalt fragments without chemosynthetic activity) at average depths from 2,200 to 2,900 meters, only using the top 10 cm of sediment by cores. The number of recognized taxa was 16 (annelids, polychaetes, acari, copepods, cumaceans, amphipods, isopods, ostracods, bryozoans, kinorincha, bivalves, foraminifera, gastropods and nematodes) with a total of 7,433 organisms. The density varied by an average of 451 ± 902 to $227,204 \pm 108,206 \text{ ind.m}^{-2}$ and biomass of 0.00001 ± 0.00003 to $0.329 \pm 0.090 \text{ mgC m}^{-2}$. Nematodes and copepods were the most abundant and common taxa in all stations and levels. Abundance, density and biomass showed higher values in breccia, ropy asphalt flow and abyssal habitats respectively, while the lowest values were presented in fragments asphalt without chemosynthetic activity habitat. The highest abundances, densities, richness and biomass were recorded in the first 5 cm surface (level 1 and 2). Environmental factors were analyzed, suggesting that the distribution patterns observed are influenced by the concentrations of nitrogen, sulfur, organic carbon and the presence of silt.

1. Introducción

1.1 Meibentos

Los organismos bénticos pueden clasificarse de acuerdo con los tipos de alimentación, los hábitats que ocupan, los requerimientos de respiración y su tamaño (Giere, 2009). La clasificación en tamaños está relacionada con los métodos de muestreo y procesamiento, los que han ido cambiando históricamente (Giere, 2009). En 1942 Molly F. Mare usó el término "meibentos" para definir un conjunto de metazoos bentónicos que se pueden distinguir del macrobentos y del microbentos (del griego "μειος" que significa "pequeño"). Por este motivo, el estudio de meibentos es un componente relativamente nuevo en la investigación del bentos, a pesar de que sin saberlo, los componentes del meibentos se conocen desde los primeros días de la microscopía (p.e. en Remane, 1933).

Para tener una visión ecológica completa también deben considerarse dentro de este grupo a los protistas bentónicos (p.e. ciliados, foraminíferos, ameboides). Los límites de tamaño formales de meiofauna se definen en función de la apertura de la malla del tamiz en 42 μm, aunque recientemente se ha definido como tamaño mínimo de apertura de malla 30 μm, esto sugerido por meibentólogos de aguas profundas con el fin de retener a los organismos más pequeños (principalmente nemátodos) (Giere, 2009).

Los valores de densidad más altos se encuentran en zonas litorales, especialmente en los sedimentos finos y fangosos, mientras que en la zona sublitoral la densidad desciende con el aumento de la profundidad (Giere, 2009). La composición de la meiofauna varía tanto vertical como horizontalmente, los factores que crean esta zonación son las diferencias de tamaño de grano y los factores físico-químicos, particularmente la temperatura, el oxígeno disuelto y la salinidad (Tietjen, 1969), siendo el factor más importante el tamaño de grano, ya que determina la cantidad de espacio disponible para habitar y por tanto, determinará el tamaño máximo de los organismos. Así mismo regula otros factores ecológicos ya que controla la capacidad del sedimento para retener agua (porosidad) y su circulación (permeabilidad), suministro de oxígeno disuelto y alimento para los organismos (Dragesco, 1960).

El meibentos se encuentra en diversos tipos de sustrato y cuerpos acuáticos: en y entre plantas *epilíticas* (p.e. algas y pastos marinos) (Wieser, 1959) y otros sustratos duros, en sedimentos profundos de ríos, lagos e incluso en fuentes, aguas subterráneas y salobres y por supuesto, en los ecosistemas marinos (Giere, 2009).

Los taxa que componen el meio bentos son prácticamente todos los grupos de invertebrados, de estos, cuatro phyla son exclusivos: gnatostomúlidos, gastrotricos, kinorrincos y loricíferos. Los grupos de invertebrados con tamaños muy pequeños o los que por su tipo de organización son capaces de vivir en el ambiente intersticial están representados por diversos grupos (nemátodos, tardígrados, turbelarios, entre otros) mientras que los phyla constituidos normalmente por organismos grandes o de formas sedentarias (equinodermos, cnidarios, briozoos, entre otros) se hallan muy pobremente representados (Veiga-Sánchez, 2008).

Además de la meiofauna "permanente" están los miembros de la meiofauna "temporal" que están representados por el estado larvario de la macrofauna (Giere, 2009). En cuanto al tipo de alimentación, entre la meiofauna se encuentran depredadores, herbívoros, detritívoros y suspensívoros y pueden existir grados de especialización (Fenchel, 1968; Tietjen y Lee, 1977).

Las características que presenta el meio bentos hacen que sea un elemento útil para investigaciones básicas como estudios faunísticos y ecológicos, así como en investigación aplicada, como indicadora de contaminación ambiental, ya que dependiendo del grado de contaminación los distintos grupos de la meiofauna responden de forma distinta variando en densidad y diversidad (Veiga-Sánchez, 2008). Además participan en la transferencia de materia orgánica y energía a través del ecosistema y son un vínculo importante entre los productores primarios y los niveles tróficos superiores en los sistemas bénticos (Giere, 2009). Asimismo el estudio del bentos tiene la importancia de evaluar la biomasa de los diferentes componentes, el consumo de oxígeno disuelto por respiración y la producción secundaria lo que permiten estimar el balance del flujo de materia orgánica y energía en las comunidades asociadas al sedimento (Escobar *et al.*, 1997).

1.2 Características principales del Mar Profundo

Se considera mar profundo a la región por debajo de los 200 metros, representando la transición de la plataforma continental al talud continental (Gage y Tyler, 1991).

Las propiedades físicas del agua en el mar profundo son generalmente homogéneas por debajo de la termoclina permanente, con excepción de la presión hidrostática y las corrientes (Gage y Tyler, 1991). A diferencia de las aguas costeras, la radiación solar no tiene un efecto ecológico directo, ya que la luz es mínima a partir de los 200 metros y en algunos casos al kilómetro de profundidad (con excepción de la bioluminiscencia) (Gage y Tyler, 1991). Sin embargo, existe un efecto indirecto donde la luz, que es fuente de energía en la superficie para la producción de fitoplancton, llega al ecosistema de mar profundo a través de la cadena alimenticia.

La temperatura del mar profundo varía de 4 °C a -1 °C, aunque hay excepciones como en el mar Mediterráneo, que presenta una temperatura de 13 °C entre los 0.6 a los 4 km y en el Mar Rojo donde la temperatura del fondo puede alcanzar los 21.5 °C. Las temperaturas más bajas se encuentran en las aguas Antárticas con -1.9 °C (Sverdrup *et al.*, 1942). La salinidad es también relativamente constante y por debajo de los 2 km siendo cercana a 34.8 ± 0.3 UPS, descendiendo a 34.6 UPS en los niveles más profundos (Sverdrup *et al.*, 1942; Menzies, 1973). Los valores de oxígeno disuelto están cerca de la saturación, 5–6 ml L⁻¹ (Thistle, 1991), excepto en la capa donde el oxígeno es mínimo con menos de 0.5 ml L⁻¹ (Levin, 2003).

La presión hidrostática es la variable física más predecible, incrementando 1 atmósfera cada 10 metros de profundidad. Este incremento en la presión y particularmente, en relación con la baja temperatura afecta las actividades de catálisis enzimática en los organismos del mar profundo (Gage y Tyler, 1991). Las corrientes del fondo se caracterizan por su movimiento lento, en comparación con aguas superficiales (Eckman y Thistle, 1990). Las velocidades en la zona batial tienden a ser menores con 10 cm s⁻¹ a un metro por encima del fondo y en la zona abisal, menos de 4 cm s⁻¹; esta velocidad varía muy poco (Eckman y Thistle, 1990). Los movimientos del agua incluyen también corrientes profundas, como la circulación de agua por debajo de la termoclina y como resultado de este movimiento, los organismos que se encuentran en el fondo marino reciben comida, se remueve el sedimento y con éste la materia orgánica (Gage y Tyler, 1991). La velocidad de las corrientes en aguas profundas pueden ser contrastantes, por ejemplo, cerca de Escocia en el Atlántico Norte, las corrientes del fondo marino (5 metros sobre el fondo) pueden alcanzar velocidades de 30 cm s⁻¹ (Gross y Williams, 1991) provocando periodos de corrientes rápidas, por lo cual, el sedimento se erosiona; este fenómeno conocido como “tormentas bénticas” ocurren varias veces al año, trayendo consigo consecuencias tanto negativas como positivas para la biota (p.e. la obstrucción de madrigueras, el reacomodo de sedimento) (Thistle, 1991).

1.3 Los sedimentos del fondo marino

Los sedimentos del fondo marino generalmente se constituyen de partículas derivadas del desgaste de las rocas que están en la superficie (partículas terrígenas) que son transportadas al océano por viento y por ríos. En consecuencia, las partículas terrígenas son más abundantes cerca del continente, disminuyendo su abundancia y tamaño entre más se alejen de éste (Thistle, 1991). Hay sedimentos que contienen partículas producidas por organismos planctónicos de aguas superficiales, tales como diatomeas, radiolarios y silicoflagelados (con estructuras de sílice), así como foraminíferos, cocolitoofóridos y pterópodos (con estructuras de carbonato de calcio). Conforme la profundidad incrementa, la disolución de carbonato de calcio y sílice aumentan, sin embargo, el carbonato de calcio se disuelve con mayor rapidez (Thistle, 1991). La contribución de las valvas o fragmentos de estructuras

de los organismos al sedimento depende en la proporción en que son producidas en las aguas superficiales y en qué cantidad se disuelven en la columna de agua. En particular, cuando las valvas o fragmentos de estructuras de los organismos constituyen más del 30% del volumen del depósito, entonces el sedimento es llamado biogénico (Thistle, 1991).

El equilibrio entre las tasas de suministro de los sistemas terrestres y partículas biológicas, así como la tasa de disolución de partículas biológicas, controla la composición del sedimento local. En algunas regiones, las condiciones fisicoquímicas favorecen la acumulación de metales (principalmente hierro y manganeso) que crecen lentamente (~1 mm por cada 10,000 años), estas acumulaciones son conocidas como nódulos polimetálicos, que constituyen un tipo de sedimento autigénico. Los nódulos se han registrado en regiones de aguas profundas del Atlántico y Pacífico, cubriendo extensas áreas del lecho marino generalmente asociados a sistemas hidrotermales (Thistle, 1991).

La composición de los sedimentos está controlada por procesos a gran escala, tiende a ser uniforme en cientos de kilómetros cuadrados. En la escala espacial, en la que los individuos experimentan su entorno (milímetros a metros) el fondo marino generalmente es heterogéneo debido a que los organismos interactúan con el sedimento elaborando canales, madrigueras y agregaciones de sedimento en los que viven (bioturbación), así como la perturbación a pequeña escala de la composición de las especies, la textura de los sedimentos y el contenido de los alimentos (Eckman y Thistle, 1990).

1.4 Domos salinos

Los domos salinos son acumulaciones de sal (principalmente evaporitas) que están cubiertas por centenares de metros de sedimento (Whitney, 2002). Bajo esta presión la sal se deforma a un material viscoso y se comporta como un cuerpo intrusivo penetrante o plegable que interactúa con los sedimentos adyacentes, provocando una estructura conocida geológicamente como domo salino o diapiro salino (Koupriantchik y Hunt, 2005). La carga de sedimentos induce una densidad inestable que genera una diferencia de densidades entre el sedimento y la sal acumulada por fuerzas motrices ejercidas en los depósitos de evaporitas y fuerzas de resistencia ejercidas por las secuencias sedimentarias, dando como resultado la deformación plástica y flujo de la sal. A medida que la sal sube a la superficie, debido a la diferencia de densidades que existe entre la sal y los sedimentos depositados encima, se produce una elevación conocida como montes marinos (Whitney, 2002).

En particular, el movimiento y deformación de la sal generó la provincia de los montes marinos al sur del Golfo de México (Whitney, 2002). La topografía de esta zona es característica del diapirismo salino, con provincias de sal que son continuas desde el talud continental hasta la llanura abisal en el centro del Golfo de México (Salvador, 1987). Estas estructuras, que se caracterizan por sus formas prominentes,

juegan un papel importante en la producción de sal, sulfuro, gases subterráneos y almacenamiento de residuos tóxicos, así como en el desarrollo de hidrocarburos ya que no tienen porosidad o permeabilidad y crean una amplia gama de trampas estratigráficas. Las trampas son especialmente significativas para la explotación de petróleo en zonas donde el área alrededor de diapiros salinos es económicamente marginal (Koupriantchik y Hunt, 2005).

1.5 Infiltraciones frías

Las infiltraciones frías han sido descubiertas recientemente y son aquellas donde el azufre y el metano reducidos emergen de los sedimentos marinos sin presentar un aumento de temperatura significativo (ambientes quimiosintéticos). El primer sistema de este tipo se descubrió en la Escarpa de Florida en el Golfo de México en 1983 (Paull *et al.*, 1984) y a partir de este descubrimiento, un gran número de infiltraciones frías se han identificado en una amplia gama de ambientes tectónicos, en márgenes continentales pasivos y activos (Sibuet y Olu 1998, Kojima 2002).

Estos ecosistemas pueden ser alimentados por una variedad de fuentes orgánicas de hidrocarburos, incluyendo el petróleo, gases de hidrocarburos (p.e. metano) y de los hidratos de gas, que sólo son estables por debajo de los 500 m aproximadamente (Sloan, 1990).

2. Justificación

El tectonismo salino y la presencia de hidrocarburos en el sur del Golfo de México controlan el desarrollo de fallas que permiten la filtración de aceites y gases del suelo marino (Macgregor, 1993). Los montículos de Campeche (*Campeche knolls*) son un área propensa para la explotación de recursos energéticos. Por tal motivo, es indispensable contar con el conocimiento de la diversidad biológica asociada al fondo marino como parte de la línea base en esta región y en particular un ecosistema asociado a asfalto como es el caso del volcán “Chapopote”. La meiofauna es un componente fundamental de la remineralización en la interfase sedimento-agua en estos sistemas y funciona como un eslabón de la trama alimentaria de especies de interés económico.

3. Antecedentes

3.1 Estudios del Meio bentos

Las investigaciones del meio bentos van desde la base taxonómica y de ecología descriptiva hasta la ecología experimental y la filogenia (Veiga-Sánchez, 2008). El descubrimiento de la meiofauna se produjo a finales del siglo XIX, siendo los primeros estudios principalmente de carácter taxonómico, para determinar qué organismos estaba integrada y nombrarlos (Veiga-Sánchez, 2008). Recientemente los estudios ecológicos han permitido un conocimiento integral de las condiciones ambientales bajo las que estos organismos viven (Giere, 2009). El estudio de la fauna intersticial ha permitido el enriquecimiento de la sistemática de la mayoría de los grupos de invertebrados, incrementando las descripciones de nuevos taxa e incluso de nuevos phyla (p.e. kinorrrincos y loricíferos) con relevancia filogenética y evolutiva, así como nuevos conocimientos biológicos y ecológicos (Veiga-Sánchez, 2008).

La ecología del meio bentos del mar profundo ha sido estudiada ampliamente a partir de la primera investigación cuantitativa realizada por Wingley y McIntyre (1964) y la mayoría de estos estudios se han concentrado en el Océano Atlántico, Pacífico, Índico, Mar del Norte, Mediterráneo, Mar Rojo, Golfo de México y el Mar de Weddell (Soltwedel, 2000; Vincx *et al.*, 1994). Hasta ahora solo dos estudios se han llevado a cabo en las profundidades del mar polar, uno en el norte de las aguas boreales y en el mar de Weddell, Antártica (Herman y Dahms, 1992). Los estudios de meio bentos en infiltraciones frías de mar profundo son escasos, algunos de estos estudios han documentado un incremento en densidad y volumen de meio bentos comparados con sitios más someros (Buck y Barry, 1998; Olu *et al.*, 1997; Robinson *et al.*, 2004).

Olu y colaboradores (1997) documentaron mayores densidades de meio bentos en volcanes de lodo, que en sedimentos sin infiltraciones en profundidades similares (5,000 m). En contraste, poca o ninguna

diferencia en la densidad con “sitios control” han sido observados en otras infiltraciones frías de mar profundo (Shiramaya y Ohta 1990). En general, las comunidades del meiobentos asociadas a infiltraciones están compuestas principalmente por anélidos y nemátodos, con una riqueza de especies reducida y dominancia elevada, comparado con otros sedimentos típicos del mar profundo. Las densidades también son fuertemente representadas por los nemátodos (Gaever *et al.*, 2009). Los estudios de meiobentos en infiltraciones frías de mar profundo a menudo se limitan a familia o a un nivel taxonómico mayor, pero en repetidas ocasiones revelan a los nemátodos como el taxón dominante. Este resultado es similar en los sedimentos típicos abisales (Levin, 2005).

Recientes investigaciones del meiobentos en mar profundo se han concentrado en la abundancia (Tietjen, 1971; Coull *et al.*, 1977; Shirayama, 1984a), en la relación entre la estructura comunitaria y la disponibilidad de alimentos (Thiel, 1978; Pfannkuche, 1993; Danovaro *et al.*, 1995; Gooday 1996; Relexans *et al.*, 1996; Soltwedel, 1997; Fabiano y Danovaro, 1999), y en la relación con factores ambientales (Shirayama, 1984b; Alongi y Pichon, 1988; Vanhove *et al.*, 1995; Soltwedel *et al.*, 1996).

En el Anexo I se desglosa la información de los estudios de meiobentos en infiltraciones frías a nivel mundial.

3.2 Meiobentos en el Golfo de México

En 1903, el “Bureau at Comercial Fisheries Fish and Wild Service” realizó un sondeo del bentos en el Golfo de México. Los muestreos de macroinvertebrados bentónicos continuaron hasta los años 50’s (Pequegnat, 1983). En los años 60’s la Universidad de Texas A & M inició estudios sistemáticos en el mar profundo del Golfo de México y en el norte del mar Caribe, hasta la fecha (Escobar *et al.*, 1997). Actualmente el bentos del norte del Golfo de México ha sido principalmente descrito debido a la importancia de la explotación petrolera en el talud y la zona abisal (MacDonald *et al.*, 1994).

La ecología del meiobentos de mar profundo en el Golfo de México ha sido escasamente investigada y concentrada principalmente en la abundancia (Pequegnat *et al.* 1990). Para las infiltraciones frías de mar profundo en el Golfo de México, Robinson y colaboradores (2004) reportaron para una zona de tapetes microbianos densidades meiofaunales 10 veces mayores que la encontrada en sedimentos regulares.

El Anexo II desglosa la información de los estudios de meiofauna en infiltraciones frías para el Golfo de México.

3.3 Estado de conocimiento de “Chapopote”

El volcán de asfalto *Chapopote* fue descubierto mientras se investigaba el sistema abisal petrolero en el Golfo de México en los montículos de Campeche durante la campaña oceanográfica a bordo del B/O Sonne SO-174 en 2003 (Borhmann y Schenck, 2004; Mac Donald *et al.*, 2004; Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de estudios en Chapopote.

Año	Autor	Contribución	Tipo de estudio
2004	MacDonald <i>et al.</i>	Descripción de “Chapopote” y el vulcanismo de asfalto, vida quimiosintética asociada a este hábitat.	Ecológico
2006	Canet <i>et al.</i>	Caracterización mineralógica y geoquímica de infiltraciones de hidrocarburos.	Geológico
2008	Ding <i>et al.</i>	Perfiles sísmicos de alta resolución para analizar las ocurrencias de asfalto en el piso marino.	Geofísico
2009	Bruning <i>et al.</i>	Zonación de “Chapopote”, descripción del área, toma de datos y muestreo.	Geofísico
2009	Gaytán-Caballero A.	Taxonomía y distribución de galatéidos	Taxonómico y biogeográfico
2011	Schubotz <i>et al.</i>	Investigación detallada de la composición de isótopos estables de carbono (^{13}C), para resolver la complejidad de las comunidades microbianas que ahí habitan.	Microbiológico
2011	Schubotz <i>et al.</i>	La degradación del petróleo y la presencia de comunidades microbianas en “Chapopote”.	Químico
2012	Raggi <i>et al.</i>	Simbiontes bacterianos de mejillones (<i>Bathymodiolus</i>) y gusanos de tubo (<i>Escarpia</i>) de “Chapopote”.	Ecológico

Hoy en día, cientos de científicos trabajan para expandir el conocimiento de meiofauna desde los altos lagos hasta el fondo marino, desde los arrecifes de coral hasta el mar polar. Sin embargo, a pesar del gran número de investigadores trabajando en África, Sudamérica, Asia y Australia, el meiofauna en estos continentes es poco conocido. Los estudios de meiofauna en mar profundo se han ido incrementando gracias al desarrollo de sofisticados vehículos maniobrables (Giere, 2009).

4. Área de Estudio

4.1. El Golfo de México

El Golfo de México está situado en la zona tropical y subtropical entre las latitudes 18° y 30°N y las longitudes 82° y 92°W (Monreal y Salas, 1997). Cubre una superficie de $1.51 \times 10^6 \text{ km}^2$ (Nehring, 1991), un diámetro de 1,500 km (Salvador, 1991) y alcanza una profundidad máxima de 3,900 m (Planicie abisal de Sigsbee) (Roberts *et al.*, 1999). Es una cuenca semicerrada con dos aperturas, el canal de Yucatán, en el mar Caribe y el estrecho de Florida en el Atlántico Norte (Hofmann y Worley, 1986). En la parte más

profunda, por debajo de 1,500 m, se registra una salinidad de 34.96 a 34.99‰ y una temperatura de 4 a 4.1°C, el oxígeno disuelto en el fondo es de 5 a 5.75 ml L⁻¹ (Shiller, 1999).

La cuenca del Golfo de México tiene su origen a partir del periodo del Triásico tardío y el Jurásico temprano. Durante esta época, mientras la placa de Norte América se separaba de las placas sudamericana y africana, el área de la futura cuenca era parte de una extensa masa continental que se fracturó debido a tensiones físicas. La deposición marina se limitó a las bahías del Océano Pacífico en el noroeste y centro de México. Estas bahías marinas persistieron durante principios del Jurásico Medio, pero el agua marina no alcanzó la cuenca del futuro Golfo hasta el Calloviense (hace 7 a 12 millones de años). Los depósitos de sal generados, resultaron de esta primera inundación. Durante el Jurásico tardío, las condiciones marinas se extendieron progresivamente en partes cada vez mayores en la cuenca del Golfo de México, dando lugar a un progolfo. Sin embargo, la cuenca no estuvo conectada con el Océano Atlántico hasta finales del Jurásico (Salvador, 1987).

Las reconstrucciones paleontológicas sugieren que la cuenca del Golfo de México se formó como resultado de la deriva hacia el sur del bloque continental de Yucatán alejándose del resto de la placa de Norte América. Como resultado, los depósitos de sal se dividieron en dos segmentos y la corteza oceánica formada en el centro de la cuenca. A principios del Jurásico superior, la plataforma de Yucatán alcanzó su posición actual y se formó la Cuenca del Golfo de México (Salvador, 1987). La edad de la mayoría de los depósitos de petróleo son de esta época, desde el periodo Oxfordiano hasta el Cretácico temprano, asociados a ambientes de carbonatos marinos (Guzmán-Vega y Mello, 1999).

A pesar de ser un mar semicerrado, el Golfo de México es un amplio ecosistema marino con características de circulación que presentan cuencas oceánicas más grandes (Millot, 1999). La circulación superficial del Golfo oriental está dominado por la corriente de Yucatán, que desemboca en el Golfo a través del canal de Yucatán y por la corriente de Florida, que fluye por el estrecho de Florida (Hamilton, 1990), de esta manera aportan nutrientes y disminuye ligeramente la concentración de oxígeno (Shiller, 1999). La cubierta de sedimentos Cuaternarios al sur del Golfo de México es bastante uniforme y son carbonatados. Los sedimentos bien estratificados están presentes tanto en las cuencas, diapiros y montículos (Bohrmann *et al.*, 2010).

La bahía de Campeche tiene una pendiente ancha y poco inclinada, su topografía es característica del diapirismo salino, con provincias de sal que son continuas desde el talud continental hasta la llanura

abisal en el centro del Golfo de México. Los diapiros forman trampas de hidrocarburos provenientes de capas inferiores (Salvador, 1987).

Las reservas de hidrocarburos están asociadas al tectonismo salino, como los yacimientos petrolíferos submarinos en Campeche (Bohrmann *et al.*, 2010).

En el área de los Montículos de Campeche, en la ladera inferior, los diapiros de sal aislados dan forma al relieve del fondo marino, formando estructuras que pueden llegar a medir hasta 1,500 metros de altura. Topográficamente son alargados y altos (5 a 10 km de largo y 480 a 800m de altura), el ángulo de declive es aproximadamente 10% pero ocurren ángulos más pronunciados de hasta 20 y 30%. Nueve de los 22 montes marinos registrados a la fecha, poseen estructuras parecidas a cráteres con zonas de falla (Bohrmann *et al.*, 2010). En uno de los montículos ha sido observado una amplia cobertura de asfalto solidificado en el suelo marino en el borde sur del cráter (MacDonald *et al.*, 2004).

4.2. El volcán de asfalto “Chapopote”

El volcán de asfalto nombrado *Chapopote* (21° 54'N, 93°26'W) es un montículo relacionado con la actividad salina al norte de los montículos de Campeche, suroeste del Golfo de México (Figura 1) (MacDonald *et al.*, 2004). Es un componente relativamente pequeño de los montículos de Campeche con 7 km de largo aproximadamente, alcanzado los 400 metros de altura sobre el suelo marino y a una profundidad de alrededor de los 3,000 m (Ding *et al.*, 2008).

Varias generaciones de flujos de asfalto con diferentes texturas se sobreponen con bloques de asfalto de distintas formas y tamaños, algunos de ellos cubiertos por sedimento. Una superficie de más de 1 km de asfalto ha sido registrada donde claramente se muestran estructuras de flujo (Bohrmann *et al.*, 2010).

El término “volcán de asfalto” fue utilizado debido a la estructura que forma, con una depresión parecida a un cráter donde se presentan emanaciones frías de metano e hidrocarburos, que son típicas en la cuenca del Golfo de México (Brunning *et al.*, 2010).

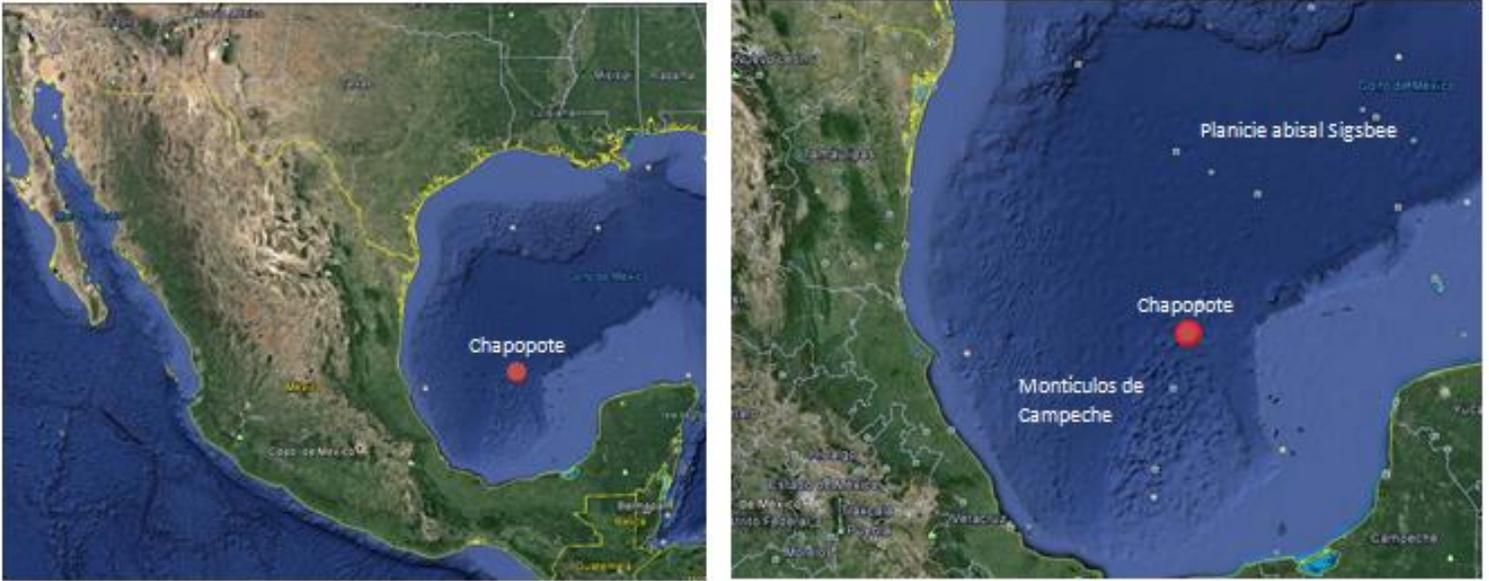


Figura 1. Área de estudio, el Golfo de México y la ubicación del área de estudio. Mapas de ©Google earth, 2005

5. Hipótesis

La estructura comunitaria del meiobentos abisal del Golfo de México es homogénea, sin embargo, ésta puede verse modificada por el efecto de las infiltraciones frías, presencia de asfalto y de compuestos reducidos que inciden en la diversidad biológica reduciéndola o simplificándola.

H₀: La estructura comunitaria del meiobentos es homogénea entre hábitats contrastantes.

H₁: La estructura comunitaria del meiobentos es heterogénea entre hábitats contrastantes.

6. Objetivos

Objetivo general

Describir y analizar la estructura comunitaria del meiobentos abisal asociado al volcán de asfalto “Chapopote”, suroeste del Golfo de México.

Objetivos particulares

- Determinar la riqueza taxonómica, la abundancia, la densidad y la biomasa en los hábitats reconocidos (abisal, brecha, flujo plegado y fragmentos de asfalto sin actividad quimiosintética) asociados al volcán de asfalto.
- Establecer el grado de similitud de la estructura comunitaria de los diferentes hábitats asociados a “Chapopote” (análisis de Bray-Curtis).
- Definir la diversidad (H'), equitatividad (J') y dominancia de Simpson (D).
- Describir los parámetros ambientales en “Chapopote” (tamaño de grano, contenido de materia orgánica a partir de azufre, carbono y nitrógeno orgánico).
- Evaluar la relación entre la estructura comunitaria de la meiofauna y los factores ambientales del sedimento mediante un análisis de redundancia (RDA).

7. Material y Método

7.1 Trabajo de campo

Las muestras de sedimento superficial fueron colectadas en hábitats abisales del volcán de asfalto “Chapopote” en la región suroeste del Golfo de México (Figura 2). Este muestreo se llevó a cabo como parte de la campaña oceanográfica GeoB M67/2b “Fluid seepage of Chile and in the Gulf of Mexico” a bordo del B/O Meteor de la Universidad de Bremen, Alemania en 2006 en una colaboración con UNAM – Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, la Universidad de Texas A&M – Corpus Christi (TAMU), EUA y el Research Center Oceans Margin (RCOM), Alemania (Ili *et al.*, 2007). Ésta expedición tuvo como uno de sus objetivos el estudio de los procesos relacionados con las infiltraciones de fluidos en el fondo marino, en diferentes contextos tectónicos (Proyecto E). En la etapa M67/2b, las actividades requirieron del vehículo de operación remota (ROV QUEST-5000) con el fin de mapear los flujos de asfalto y coleccionar muestras en la escala pequeña (centímetros a metros), información que permitirá indagar acerca de cómo se originan los flujos de asfalto y la relevancia que éstas estructuras tienen en su conformación geológica.

El sedimento se obtuvo utilizando las herramientas de tipo cuantitativo, tal como con un nucleador múltiple y un núcleo individual (*pushcore*), así como de tipo cualitativo en sedimento superficial con un aspirador. El nucleador múltiple estaba equipado con ocho tubos de policarbonato de 9.6 cm de diámetro interno y con una longitud de 60 cm, mientras que el nucleador individual presentaba un diámetro de 6.3 cm. Dependiendo del material del fondo marino, la obtención de muestra varió entre 1 y 53 cm. Este dispositivo se desplegó en 4 estaciones, mientras que el núcleo individual en 2 inmersiones del ROV Quest-5000. Los núcleos de sedimento obtenidos tanto por el nucleador múltiple, como por el núcleo individual, se tomaron como réplicas y en cubierta se segmentaron en tres niveles N1 (0 a 1 cm), N2 (1.1 a 5 cm) y N3 (5.1 a 10 cm). Cada segmento de sedimento se fijó con alcohol etílico absoluto frío y se tiñó con Rosa Bengala. Esta tinción facilitó, posteriormente, la separación de organismos.

Las muestras de tipo cuantitativo permitieron el cálculo de valores de densidad, de 0.0072 m² en réplicas de nucleador múltiple y 0.0031 m² en réplicas de núcleo individual (*pushcore*). Las muestras de tipo cualitativo se obtuvieron con el aspirador, el sedimento se aspiró en sitios con asfalto y fondos con sedimento de distintos hábitats de “Chapopote”. El sedimento, retenido en los colectores de muestras se fijó con alcohol y se tiñó con Rosa de Bengala. En total se revisaron 6 de estas muestras de tipo cualitativo sin contar con réplicas ni niveles (Tabla 2).

Muestras 10606, 10613, 10614 del Nivel 1, revisadas por Harry George, muestras 10612 y 10619 del Nivel 1, Revisadas por Adriana Gaytán Caballero.

Tabla 2. Hábitats y estaciones (GeoB Est.), posicionamiento y tipo de muestreo para cada tipo de muestreo. El número en los paréntesis corresponden al número de réplicas por nivel. El análisis elemental incluye carbono orgánico total (COT), nitrógeno total (NT) y azufre total (ST). Se incluyen las coordenadas, latitud norte (Lat N) y longitud oeste (Long O), profundidad (Z) en metros.

Hábitat	GeoB Est.	Lat N	Long O	Z (m)	Tipo de muestreo
Abisal	10606	21.3328	-93.8295	2296	Análisis elemental (4), tamaño de grano (4), infauna (4). Nucleador múltiple.
Brecha	10612	21.9038	-93.4318	2943	Análisis elemental (4), tamaño de grano (4), infauna (5). Nucleador múltiple.
Brecha	10613	21.902	-93.4275	2902	Análisis elemental (2), tamaño de grano (2), infauna (4). Nucleador múltiple.
Brecha	10614	21.8996	-93.4365	2897	Análisis elemental (2), tamaño de grano (2), infauna (2) .Nucleador múltiple.
Brecha	10617	21.8985	-93.4361	2919	Aspirador Infauna (muestras cualitativas).
Flujo plegado	10619	21.8998	-93.4363	2875	Análisis elemental (3), tamaño de grano (3), infauna (3). Push Core.
Flujo plegado	10619	21.8987	-93.4361	2875	Aspirador (Kips 4, 5, 6 7) infauna (4) muestras cualitativas.
Brecha	10622	21.8998	-93.4354	2907	Aspirador. Infauna (1) muestras cualitativas.
Fragmentos de asfalto	10625	21.8984	-93.4365	2916	Análisis elemental (3), tamaño de grano (3), infauna (3). Push Core.

a)



b)



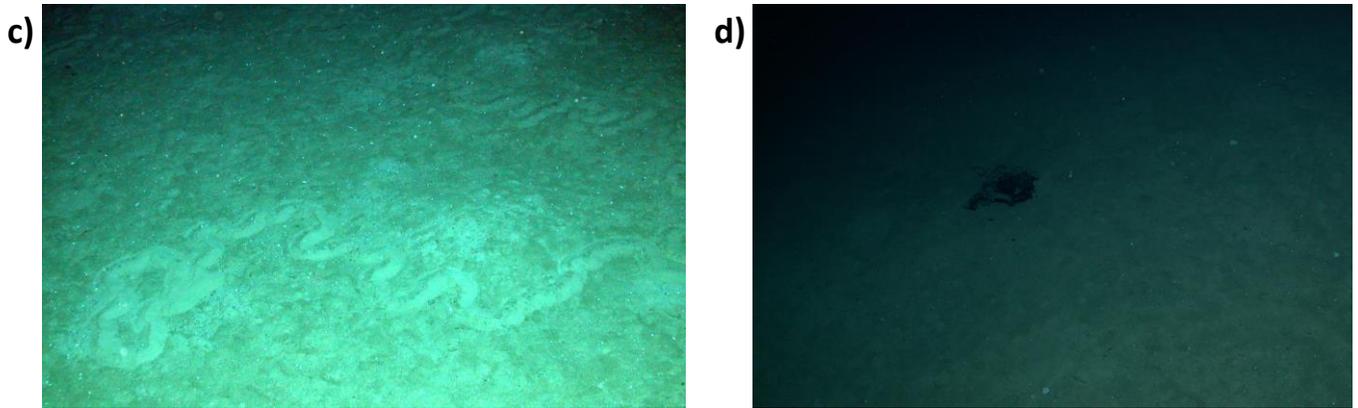


Figura 2. Hábitats en Chapopote. a) Flujo plegado, b) Brecha, c) Abisal, d) Fragmentos de asfalto sin actividad quimiosintética. Todas las fotos ©MARUM.

7.2 Trabajo de gabinete y de laboratorio

Muestras biológicas: Las muestras se lavaron con agua corriente para eliminar el alcohol, posteriormente se tamizaron con una apertura de malla a 42 μm . Una vez tamizado el sedimento, se colocó en frascos rotulados que contenían etanol al 70%, se registraron en bitácora en los distintos niveles y réplicas. Los organismos se separaron del sedimento con el apoyo de un microscopio estereoscópico a un aumento de 5x y con una bandeja para meiofauna (Figura 3), posteriormente los organismos se contaron y fueron identificados a nivel de grupo colocándose en viales rotulados con los datos correspondientes (estación, nivel y réplica) y preservados en alcohol al 70%. La identificación de los organismos se realizó mediante la clasificación de Brusca y Brusca (2003).

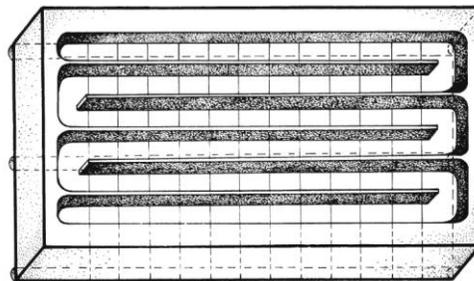


Figura 3. Bandeja de meiofauna, tamaño de 8 x 14 cm y una altura de 1.5 cm.

Abundancia, densidad y riqueza: Los datos obtenidos de la separación de organismos del sedimento se registraron en bitácoras, que posteriormente se capturaron en hojas de cálculo de Excel. Con estos datos se calcularon la abundancia, riqueza específica y la densidad, esta última se transformó a unidades de individuos por metro cuadrado (ind.m^{-2}) de acuerdo al número de organismos encontrados en el área de

los núcleos (nucleador múltiple: 0.0072 m² y núcleo individual: 0.0031 m²). Para cada análisis de datos se elaboraron gráficas con el promedio de los organismos por hábitat (estación) y por nivel.

Biomasa: La biomasa se registró en miligramos de peso húmedo fijado (phf) y pesando en una microbalanza electrónica de la marca Mettler Toledo MX5. Los datos obtenidos se transformaron a mg C usando las constantes de transformación de biomasa propuestas por Rowe (1983) para cada grupo, expresándose así en mgC m² (Tabla 3).

Tabla 3. Constantes K (Rowe, 1983)

Constantes K	
Anfípodo	4.5
Bivalvo	3.4
Crustáceo	3.7
Cumáceo	2.7
Gasterópodo	3.4
Hidrozoario	2.3
Molusco	4.1
Nemátodo	3.2
Poliqueto	5.1

Índices ecológicos: La diversidad y equidad de los organismos fueron medidas con el índice de Shannon – Wiener ($H' \log_2$) (1949) y Pielou (J') (1969) (Begon, 2006), con los datos de abundancia en el programa Biodiversity Pro, estas funciones fueron calculadas como:

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

Dónde:

S= número de especies (riqueza de especies).

P_i = proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i), n_i/N .

n_i = Número de individuos de la especie i .

N= Número de todos los individuos de todas las especies.

$$J' = \frac{H'}{\log_2 S}$$

Dónde:

H' = Índice de Shannon – Wiener.

$\log_2 S$ = Es la diversidad máxima (H' max) que se obtendría si la distribución de las abundancias de las especies en la comunidad fuesen perfectamente equitativas.

La dominancia fue medida con el índice de Simpson (1949) (Begon, 2006):

$$D = \frac{1}{\sum_{i=1}^S P_i^2}$$

Dónde:

P_i = Abundancia proporcional de la i ésima especie; representa la probabilidad de que un individuo de la especie i esté presente en la muestra, siendo entonces la sumatoria de p_i igual a 1.

$$P_i = \frac{n_i}{N}$$

n_i = Número de individuos de la especie i .

N = Número total de individuos para todas las S especies en la comunidad.

Composición elemental: Las muestras de sedimento se ordenaron por estación y por nivel, se colocaron en frascos de vidrio con ácido clorhídrico (HCl) al 0.2 M para eliminar la presencia de carbonatos y posteriormente se enjuagaron con agua destilada hasta obtener pH neutro (pH=7). Las muestras se colocaron en una estufa a una temperatura de 60 °C por aproximadamente 24 horas para secarlas y después se homogeneizaron moliéndolas en un mortero de ágata, finalmente se colocaron en viales rotulados con los datos correspondientes.

Las muestras fueron analizadas por la Unidad de Análisis Químico del Instituto de Química de la UNAM en un Analizador Elemental FISON model EA 1108, en donde se lleva a cabo una catálisis oxidativa con óxido de cobalto. El carbono se oxida a dióxido de carbono, éste es transportado por una corriente de gas inerte que pasa por un analizador infrarrojo no dispersivo donde se mida la concentración de C, N, y S presente en la muestra. Los datos son reportados en porcentaje con respecto al peso inicial de la muestra.

Tamaño de grano: El análisis de tamaño de grano se efectuó con el equipo láser Coulter Modelo LS230. El tamaño de las partículas se estableció por difracción de luz láser en aproximadamente 0.1 g de muestra seca analizada por triplicado a sextuplicado. El análisis granulométrico se realizó en partículas con un intervalo de 0.04 a 2000 μm . La información analizada se reflejó gráficamente en porcentaje de peso de muestra para cada diámetro de partículas. Con los valores obtenidos se calcularon factores estadísticos de cada muestra (texturales) (Tabla 4), siendo éstos el tamaño de grano promedio; **Mz**, desviación estándar, ϕ , grado de asimetría; **Sk** y curtosis; **Kg**. (Folk, 1974).

A continuación se presentan los intervalos de los parámetros de Folk (1974):

Promedio gráfico (media); **Mz** = $\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}/3$

$$\text{Desviación estándar gráfica intrusiva } \phi_1 = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$$

< 0.35 ϕ muy bien clasificado

0.35 a 0.50 bien clasificado

0.50 a 0.71 moderadamente bien clasificado

0.71 a 1.0 moderadamente clasificado

1.0 a 2.0 mal clasificado

2.0 a 4.0 muy mal clasificado

> 4.0 ϕ extremadamente mal clasificado

$$\text{Grado de asimetría gráfica; } SK_1 = \frac{\phi_{16} - \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

Desde 1.00 a 0.30 muy asimétrico

0.30 a 0.10 asimétrico hacia los finos

0.10 a -0.10 asimétrico

-0.10 a -0.30 asimétrico hacia los gruesos

-0.30 a -1.00 muy asimétrico hacia los gruesos

$$\text{Curtosis gráfica; } Kg = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$$

< 0.67 muy platicúrtico

0.67 a 0.90 platicúrtico

0.90 a 1.11 mesocúrtido

1.11 a 1.50 leptocúrtico

1.50 a 3.00 muy leptocúrtico

> 3.00 extremadamente leptocúrtico

Tabla 4. Clasificación de Wentworth de los tamaños de las partículas y escala phi. A partir de Gray (1981).

Unidades	Diámetros		No. de Malla		Término
	Mm	µm	Tyler Std.	U.S. Std.	
ϕ					Textural
-3	8	8000	2 ½	0.3125	G
-2.75	6.727	6727	3	0.265	R
-2.50	5.657	5657	3.5	3½	A
-2.25	4.757	4757	4	4	V
-2.00	4	4000	5	5	A
-1.75	3.364	3364	6	6	S
-1.50	2.828	2828	7	7	
-1.25	2.378	2378	8	8	
-1.00	2	2000	9	10	
-0.75	1.682	1682	10	12	
-0.50	1.414	1414	12	14	A
-0.25	1.189	1189	14	16	R
0.00	1	1000	16	18	E
0.25	0.841	841	20	20	N
0.50	0.707	707	24	25	A
0.75	0.595	595	28	30	S
1.00	0.5	500	32	35	
1.25	0.42	420	35	40	
1.50	0.354	354	42	45	
1.75	0.297	297	48	50	
2.00	0.25	250	60	60	
2.25	0.21	210	65	70	
2.50	0.177	177	80	80	
2.75	0.149	149	100	100	
3.00	0.125	125	115	120	
3.25	0.105	105	150	140	
3.50	0.088	88	170	170	
3.75	0.074	74	200	200	
4.00	0.062	62	250	230	
4.25	0.053	53	270	270	L
4.50	0.044	44	325	325	I
4.75	0.037	37	400	400	M
5.00	0.031	31			O
5.25	0.026	26			S
5.50	0.023	23			

5.75	0.019	19	
6.00	0.016	16	
6.25	0.131	13.1	
6.50	0.011	11	
6.75	0.0093	9.3	
7.00	0.008	8	
7.50	0.0055	5.5	
8.00	0.004	4	
8.50	0.00275	2.75	A
9.00	0.002	2	R
9.50	0.00138	1.38	C
10.00	0.001	1	I
10.50	0.00069	0.69	L
11.00	0.00049	0.49	L
11.50	0.00034	0.34	A
12.00	0.00024	0.24	S
13.00	0.00012	0.12	
14.00	0.000061	0.06	
15.00	0.000031	0.03	

COLOIDES

7.3 Análisis de resultados

Para el análisis de riqueza taxonómica y abundancia entre los niveles y estaciones del estudio, se realizó un análisis de estadística básica y se usaron graficas bivariadas de barras. Así mismo, se incluyó una tabla donde se muestran los promedios y desviación estándar por estación y nivel. Las diferencias significativas entre estaciones se estimaron con un ANOVA de una vía y con una prueba de Tukey (HS). En el cálculo de biomasa y densidades también se realizaron gráficas bivariadas para los tres niveles. En estos datos de densidad se implementó el logaritmo natural para estandarizar los valores. Ambos incluyen tabla de promedio y desviaciones estándar. En el desarrollo para obtener el resultado de la composición elemental, se usaron gráficos de dispersión. El tamaño de grano se definió por medio de barras con porcentaje. En él también se incluye tabla de promedio y desviación estándar.

Establecido el peso en miligramos de los organismos para el cálculo para la biomasa se vaciaron en tablas para su transformación a miligramos de carbono, tomando como base la constante de transformación de biomasa propuesta por Rowe (1983).

$$a/b = c) \text{ mg m}^2$$

$$c \times d = \text{mg C m}^2$$

Dónde:

- a) Peso de organismos en miligramos (mg)
- b) Área del núcleo
- c) mg m^2
- d) Constante: K%

La similitud en la composición taxonómica entre estaciones y niveles se realizó con un análisis de Bray-Curtis (Bray & Curtis, 1957) con los datos de abundancia en el programa Biodiversity Pro.

El RDA se empleó para evaluar el efecto de los factores ambientales (tamaño de grano, contenido de materia orgánica como porcentaje de azufre, carbono y nitrógeno orgánico) sobre la variabilidad de la abundancia y riqueza taxonómica presentes en “Chapopote”. Los análisis de redundancia se llevaron a cabo en la librería “vegan” del programa estadístico R. Las densidades fueron transformadas según la constante de Hellinger.

8. Resultados

8.1 Estructura Comunitaria

Composición taxonómica. De las muestras cuantitativas, un total de 7,433 organismos se obtuvieron del meiobentos de los cuales se reconocieron 16 grupos taxonómicos. Estos grupos se identificaron a diferentes niveles: 7 a nivel de Phylum, 3 nivel de Subphylum, 8 a nivel de Clase, 6 a nivel de Subclase, 7 a nivel de Orden, 3 a nivel de Familia y 2 a nivel de Género (Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación taxonómica del meiobentos asociado a “Chapopote”. (Brusca y Brusca, 2003).

Phylum	Subphylum	Clase	Subclase	Orden	Familia	Género	Nombre Común
Protozoa	Sarcodina	Granuloreticulosea		Foraminiferida	Allogromiidae		Foraminífero
Nematoda							Nemátodo
						<i>Desmoscolex</i>	Nemátodo
Kinorhyncha							Kinorrinco
Annelida							Anélido
		Polychaeta					Poliqueto
Mollusca		Bivalvia					Bivalvo
		Gastropoda	Caenogastropoda	Neogastropoda	Raphitomidae	<i>Phymorrhynchus</i>	Gasterópodo
		Gastropoda	Vetigastropoda		Skeneidae		Gasterópodo
Arthropoda	Cheliceromorpha	Chelicerata	Arachnida	Acari			Ácaro
	Crustacea	Maxillopoda	Copepoda	Harpacticoida			Copépodo
		Malacostraca	Eumalacostraca	Cumacea			Cumáceo
				Amphipoda			Anfípodo
				Isopoda			Isópodo
			Ostracoda				Ostrácodo
Bryozoa							Briozoo

Composición taxonómica en muestras cualitativas. Se obtuvieron un total de 256 organismos del meiobentos de los cuales se reconocieron 6 grupos taxonómicos. Estos grupos se identificaron a diferentes niveles taxonómicos: 2 a nivel de Phylum, 2 nivel de Subphylum, 2 a nivel de Clase, 2 a nivel de Subclase, 4 a nivel de Orden y 1 a nivel de Género (Tabla 6).

Tabla 6. Clasificación taxonómica del meiobentos asociado a “Chapopote” (Brusca y Brusca, 2003).

Phylum	Subphylum	Clase	Subclase	Orden	Género	Nombre Común
Nematoda						Nemátodo
					<i>Desmoscolex</i>	Nemátodo
Arthropoda	Cheliceromorpha	Chelicerata	Arachnida	Acari		Ácaro
	Crustacea	Maxillopoda	Copepoda	Harpacticoida		Copépodo
				Amphipoda		Anfípodo
				Isopoda		Isópodo

Riqueza Taxonómica. La riqueza taxonómica reconocida en las seis estaciones, por nivel, presentó un intervalo de valores de 0.2 ± 0.5 a 9.6 ± 2.08 de los 16 grupos taxonómicos reconocidos (Tabla 7), el valor más alto (9.6 ± 2.08) corresponde al nivel 1 de la estación 10619 y el valor más bajo (0.2 ± 0.5) al nivel 3 de la estación 10606. Los valores más bajos se registraron en el hábitat abisal y los valores más altos en el hábitat de flujo plegado (Figura 4) (Anexo III). Los valores de la riqueza taxonómica entre las seis estaciones variaron significativamente (ANOVA $F_{(5,47)}=2.35$, $p=0.04$) las estaciones que presentan mayor diferencia son la 10613 y la 10625 (Prueba Tukey HSD, $p=0.00$).

Tabla 7. Valores promedio (\bar{x}) y desviación estándar (σ) de la riqueza taxonómica por estación ($n=6$) y por niveles ($n=3$) del meiobentos abisal en Chapopote.

Estación	Nivel 1 (\bar{x}) \pm (σ)	Nivel 2 (\bar{x}) \pm (σ)	Nivel 3 (\bar{x}) \pm (σ)
10606	2.7 ± 1.2	2.0 ± 0.8	0.2 ± 0.5
10612	4.2 ± 2.6	3 ± 0	1.7 ± 0.5
10613	6 ± 1.4	4.5 ± 0.7	-
10614	2.5 ± 2.1	4 ± 0	3.0 ± 0.7
10619	9.6 ± 2.0	2.3 ± 0.5	2.3 ± 0.5
10625	1 ± 0	1 ± 0	0.3 ± 0.5

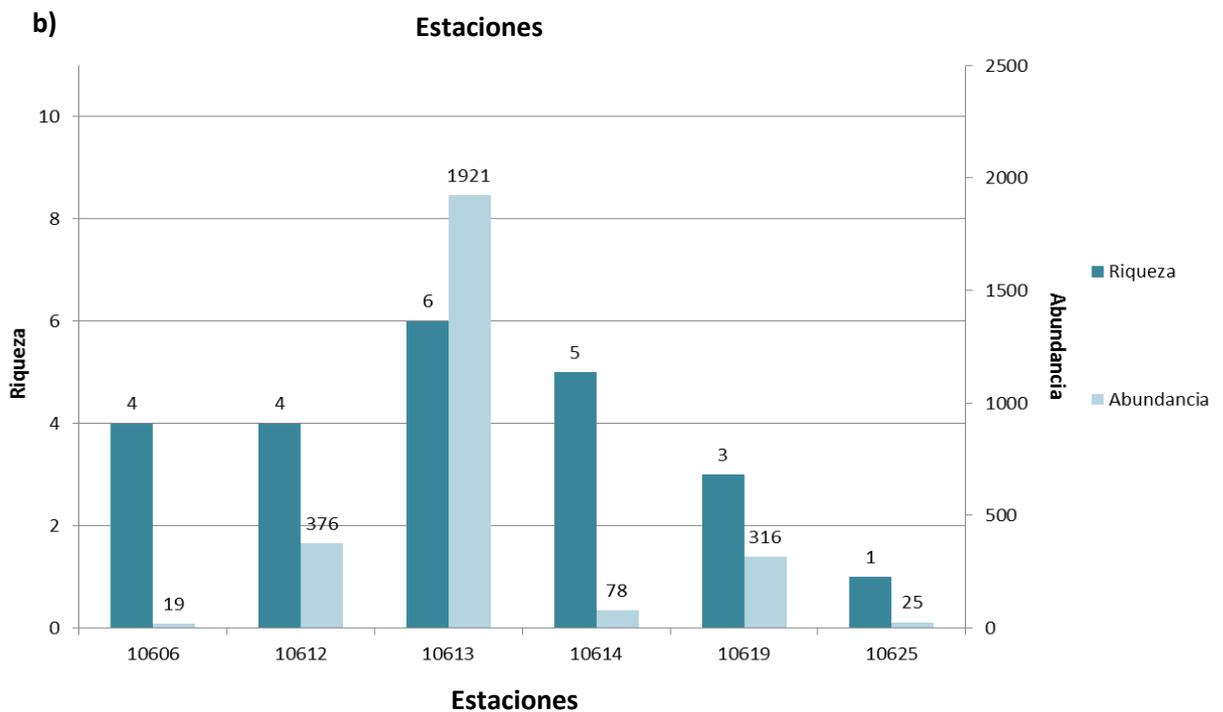
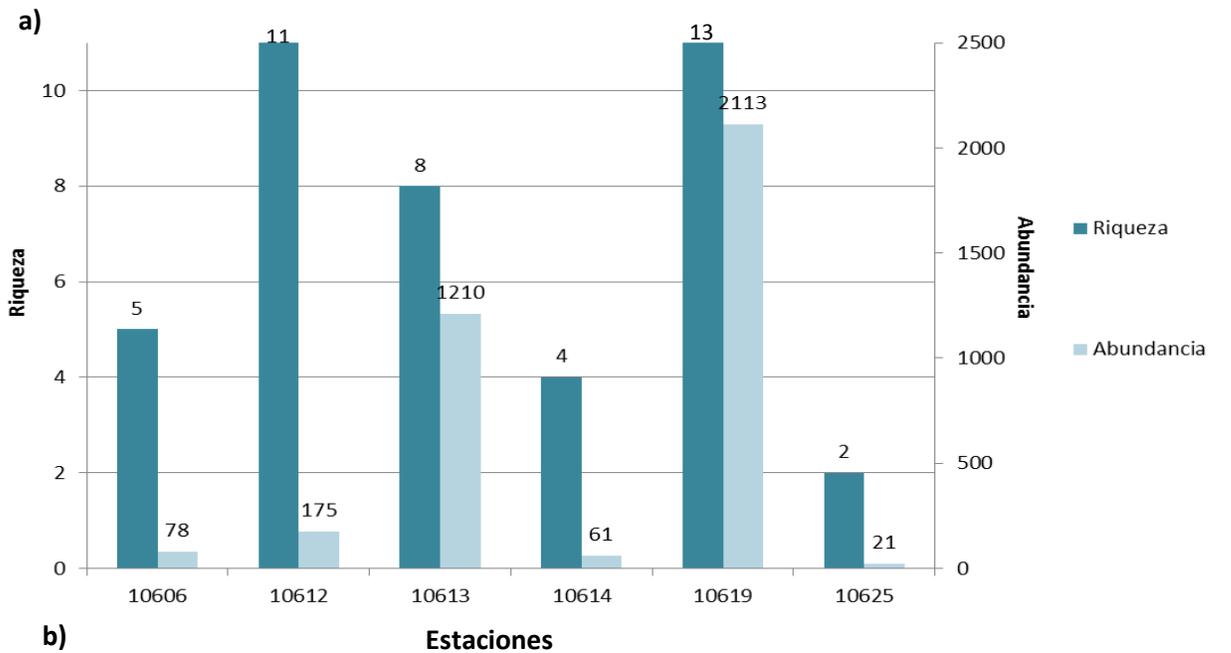
Abundancia. La abundancia reconocida en las seis estaciones por nivel presentó un intervalo de valores de 3.25 ± 6.50 a 960.50 ± 929.85 (Tabla 8). Los niveles más altos (960.50 ± 929.85) correspondieron al nivel 2 de la estación 10613 con un total de 1,921 organismos y los niveles más bajos (3.25 ± 6.50) en el nivel 3 de la estación 10606 con un total de 13 organismos. La abundancia total mayor se registró en el hábitat de brecha con 3,131 individuos, siendo los nemátodos el taxón más abundante con un total de 2,881 organismos (91.15%), seguido por los copépodos con 135 (6.70%). La abundancia total menor se obtuvo en el hábitat de fragmentos de asfalto sin actividad quimiosintética con un total de 59 individuos, siendo los nemátodos el taxón más abundante con 57 organismos (96.61%), seguido por los nemátodos del género *Desmoscolex* con 2 (3.3%) (Véase Anexo IV).

De todas las estaciones y niveles, el taxón más abundante con 5,388 organismos son los nemátodos (72.48%), seguido por los copépodos con un total de 1,286 organismos (17.30%) y los foraminíferos con 581 organismos (7.81%) (Figura 4).

Los valores de abundancia entre las seis estaciones no variaron significativamente (ANOVA $F_{(52,795)}=1.16$, $p=0.20$).

Tabla 8. Valores promedio (\bar{x}) y desviación estándar (σ) de la abundancia por estación (n=6) y por niveles (n=3) del meiobentos abisal en Chapopote.

Estación	Nivel 1 (\bar{x}) \pm (σ)	Nivel 2 (\bar{x}) \pm (σ)	Nivel 3 (\bar{x}) \pm (σ)
10606	19.50 \pm 29.05	4.75 \pm 1.26	3.25 \pm 6.50
10612	35.00 \pm 59.92	94.00 \pm 28.54	122.25 \pm 162.55
10613	605.00 \pm 384.67	960.50 \pm 929.85	-
10614	30.50 \pm 36.06	39.00 \pm 12.73	43.00 \pm 25.46
10619	704.33 \pm 335.44	105.33 \pm 69.64	146.33 \pm 143.20
10625	7.00 \pm 9.54	8.33 \pm 5.69	4.33 \pm 7.51



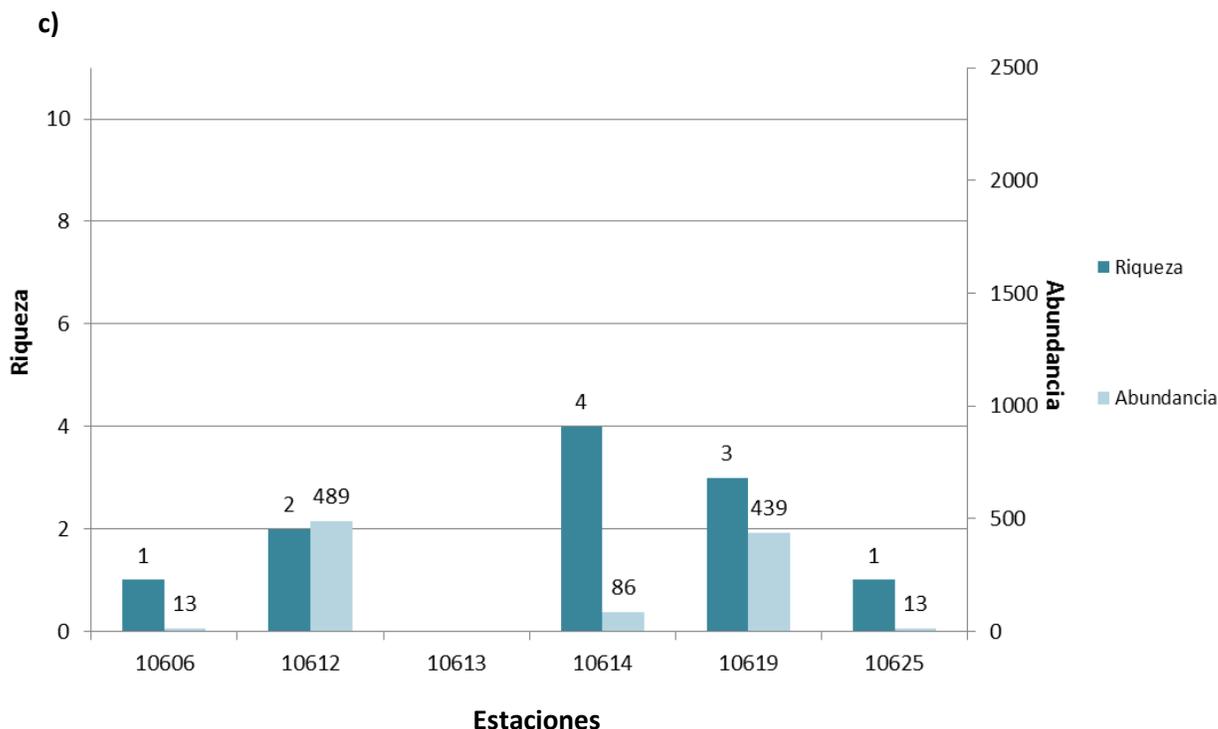


Figura 4. Abundancia y riqueza taxonómica para cada estación del meiobentos abisal en “Chapopote”, Golfo de México. a) Nivel 1, b) Nivel 2, c) Nivel 3.

Densidad. La densidad del meiobentos reconocida en las seis estaciones por nivel obtuvo un intervalo de valores de 451 ± 902 a $227,204 \pm 108,206$ ind.m⁻² (Tabla 9), los valores más altos ($227,204 \pm 108,206$ ind.m⁻²) se obtuvieron en el nivel 1 de la estación 10619 correspondiente al hábitat de flujo de asfalto plegado con actividad quimiosintética y los más bajos (451 ± 902 ind.m⁻²) en el nivel 3 de la estación 10606 correspondiente al hábitat abisal. Dentro de la estación 10619, el grupo taxonómico que aportó la densidad más elevada fueron los copépodos ($90,000 \pm 47,555.21$ ind.m⁻²), seguida por los nemátodos ($66,451.61 \pm 18,522.42$ ind.m⁻²) (Figura 5) (Anexo V). Los valores de densidad entre las seis localidades no variaron significativamente (ANOVA $F_{(52,795)} = 1.16$, $p = 0.20$). (Consulte las abreviaciones en Anexo IV).

Tabla 9. Valores promedio (\bar{X}) y desviación estándar (σ) de la densidad por estación (n=6) y por niveles (n=3) del meiobentos abisal en Chapopote.

Estación	Nivel 1 (\bar{X})±(σ)	Nivel 2 (\bar{X})±(σ)	Nivel 3 (\bar{X})±(σ)
10606	2,708 ± 4,034	659 ± 174	451 ± 902
10612	4,861 ± 8,322	13,055 ± 3,964	16,979 ± 22,576
10613	84,027 ± 53,425	133,402 ± 129,145	
10614	4,236 ± 5,008	5,416 ± 1,767	5,972 ± 3,535
10619	227,204 ± 108,206	33,978 ± 22,465	47,204 ± 46,192
10625	2,258 ± 3,077	2,688 ± 1,834	1,397 ± 2,421

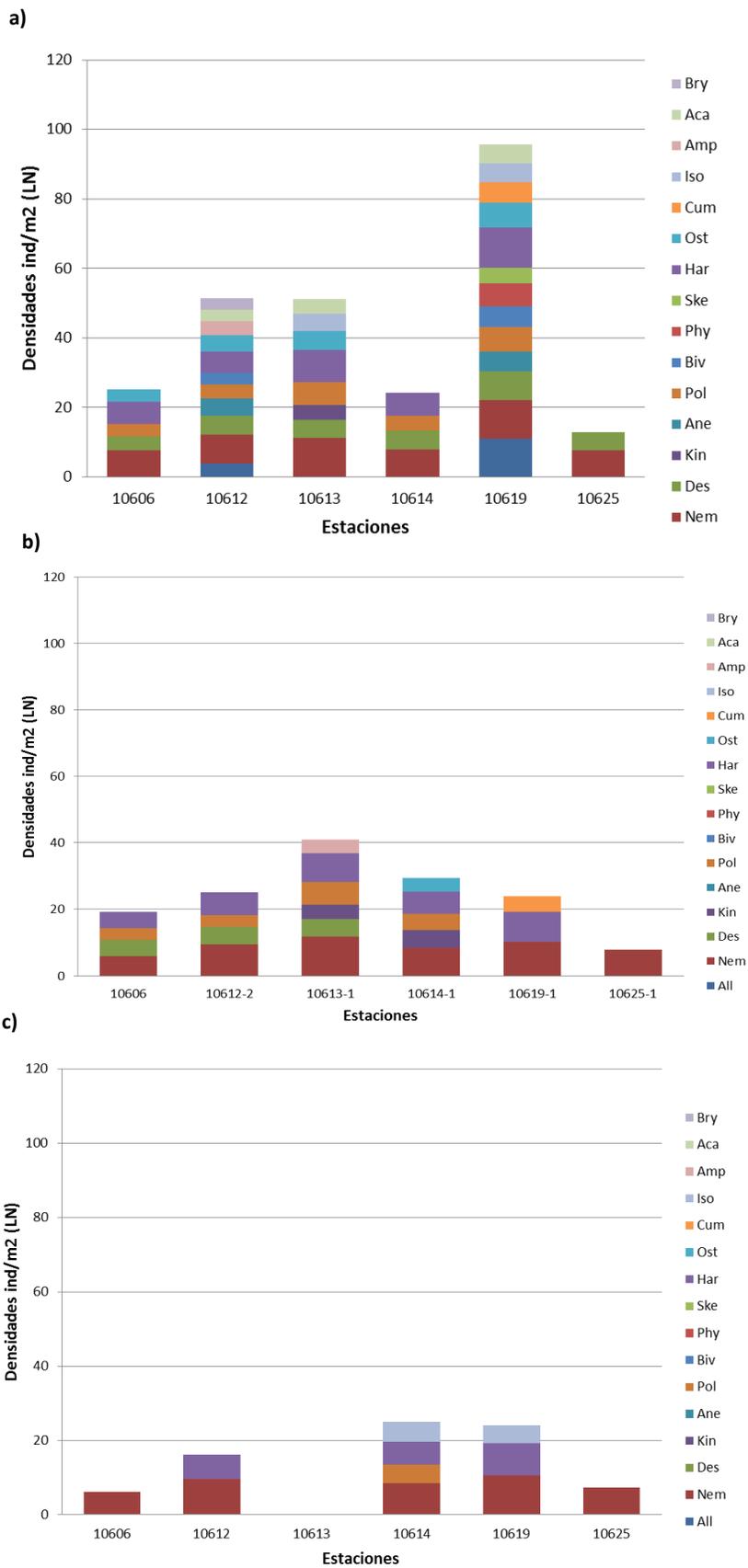
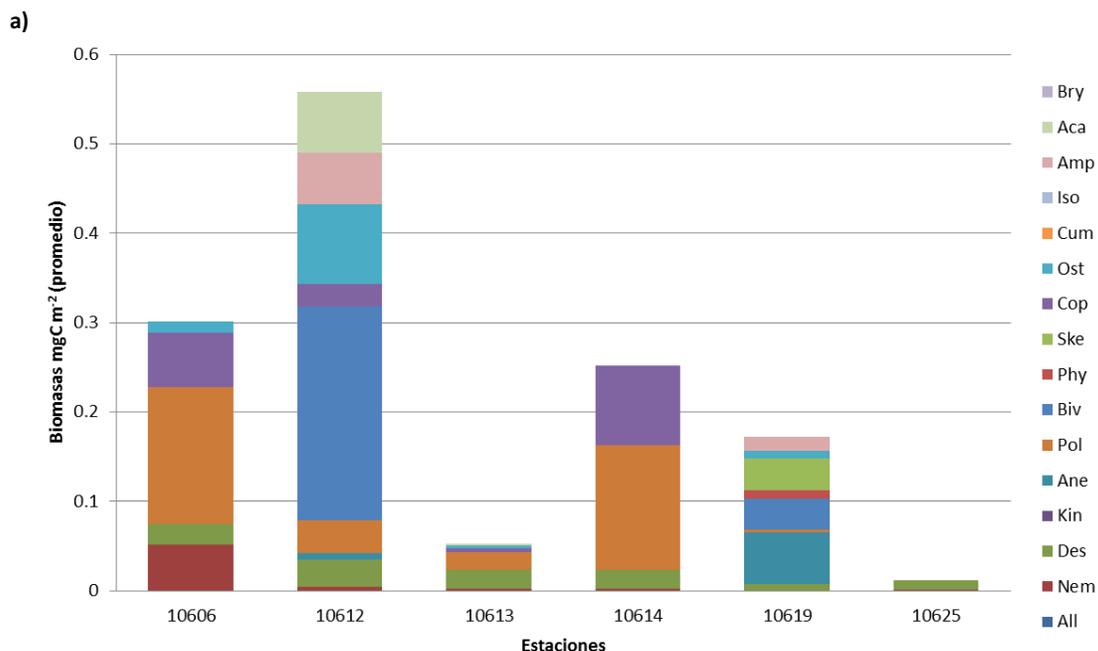


Figura 5. Densidad para cada estación del meiobentos abisal en “Chapopote”, Golfo de México. a) Nivel 1, b) Nivel 2, c) Nivel 3.

Biomasa. La biomasa registrada en el meiobentos registró un intervalo de valores de 0.00001 ± 0.00003 a $0.329 \pm 0.090 \text{ mgC m}^{-2}$ (Tabla 10). La estación 10606 nivel 2 correspondiente al hábitat abisal presentó el nivel más alto de biomasa ($0.329 \pm 0.090 \text{ mgC m}^{-2}$) siendo los copépodos el taxón que más biomasa aportó (0.099 mgC m^{-2}) (Figura 6b) mientras que la estación 10625 nivel 3 correspondiente al hábitat de fragmentos de asfalto sin actividad quimiosintética presentó la más baja biomasa ($0.00001 \pm 0.00003 \text{ mgC m}^{-2}$) siendo los nemátodos el taxón que más biomasa aportó (0.022 mgC m^{-2}) (Anexo VI) (Figura 6c). Los valores de biomasa entre las seis localidades variaron significativamente (ANOVA $F_{(35,540)}=2.35$, $p=0.04$) las estaciones que presentan mayor diferencia son la 10606 y la 10625 (Prueba Tukey HSD, $p=0.08$). (Consulte las abreviaciones en Anexo IV).

Tabla 10. Valores promedio (\bar{X}) y desviación estándar (σ) de la biomasa por estación ($n=6$) y por niveles ($n=3$) del meiobentos abisal en Chapopote.

Estación	Nivel 1 (\bar{X}) \pm (σ)	Nivel 2 (\bar{X}) \pm (σ)	Nivel 3 (\bar{X}) \pm (σ)
10606	0.301 ± 0.340	0.329 ± 0.090	0.001 ± 0.005
10612	0.035 ± 0.062	0.012 ± 0.009	0.002 ± 0.001
10613	0.052 ± 0.045	0.058 ± 0.046	
10614	0.252 ± 0.105	0.128 ± 0.074	0.0075 ± 0.0003
10619	0.011 ± 0.017	0.003 ± 0.005	0.004 ± 0.006
10625	0.001 ± 0.002	0.001 ± 0.001	0.00001 ± 0.00003



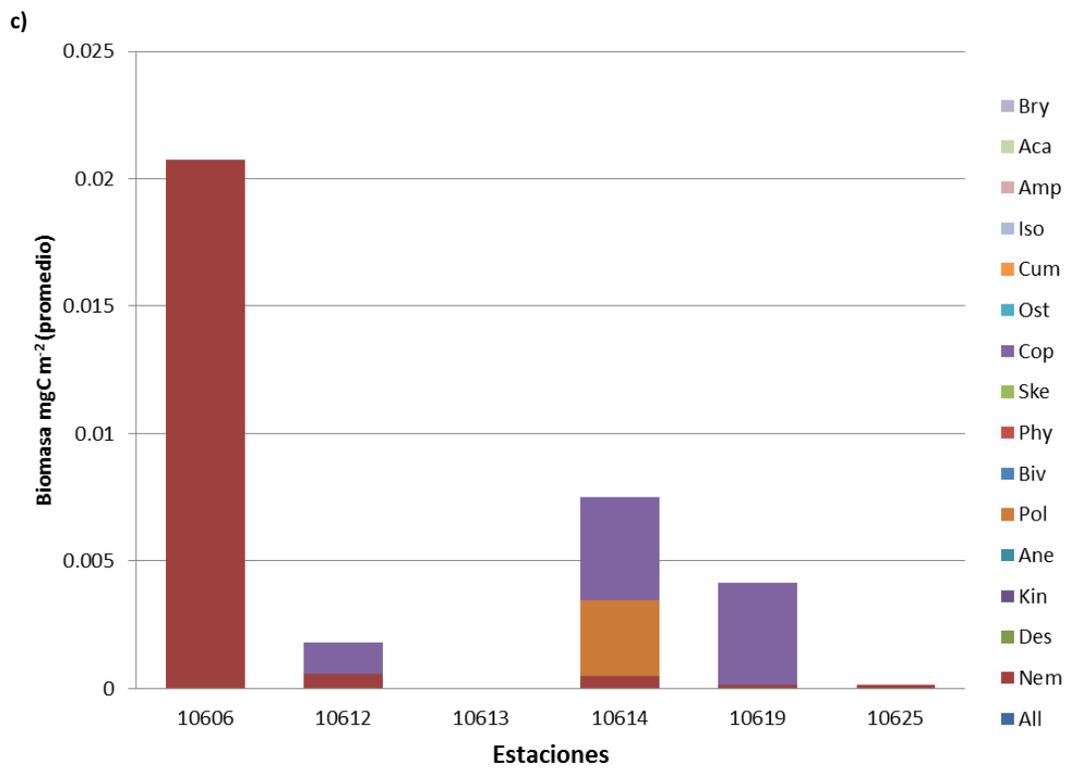
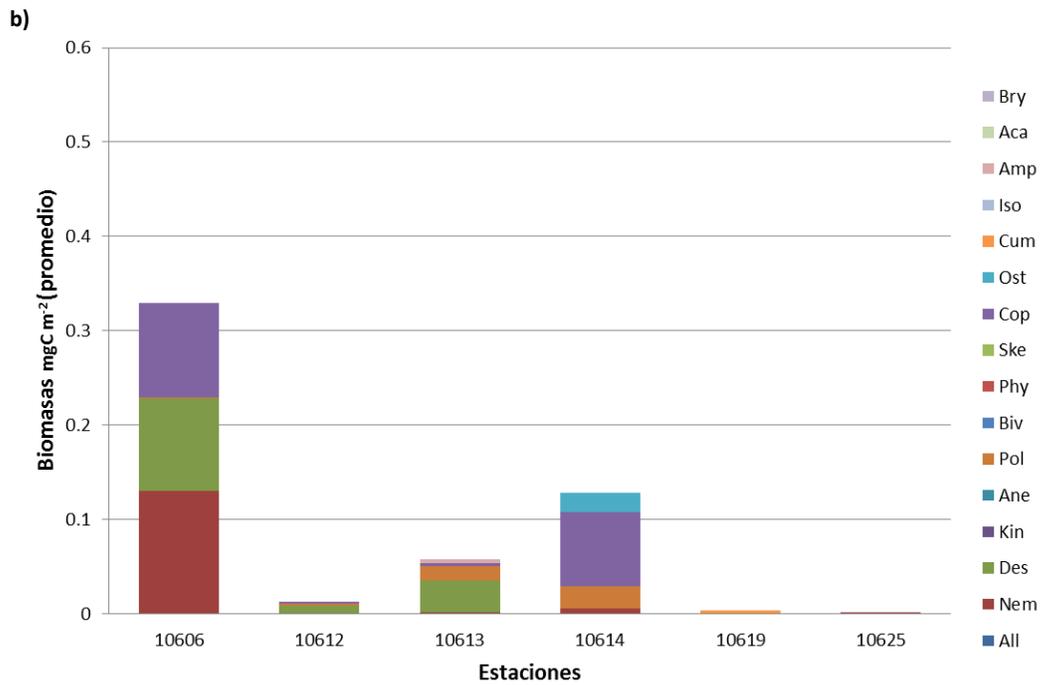


Figura 6. Biomasa para cada estación del meiobentos abisal en “Chapopote”, Golfo de México. a) Nivel 1, b) Nivel 2, c) Nivel 3.

Análisis de similitud: Para la abundancia de los grupos taxonómicos se formaron dos grupos de acuerdo al análisis de similitud (Figura 7). El primer grupo (G1) lo formaron las estaciones 10613, 10612 y 10619 correspondientes a los hábitats de brecha para las dos primeras y flujo plegado con actividad quimiosintética para la tercera, estas estaciones se caracterizan por tener las abundancias más altas. El segundo grupo (G2) lo formaron las estaciones 10614, 10625 y 10606 correspondientes a los hábitats de brecha, fragmentos de asfalto sin actividad quimiosintética y abisal, respectivamente, las cuales se caracterizaron por tener abundancias más bajas (Anexo VII).

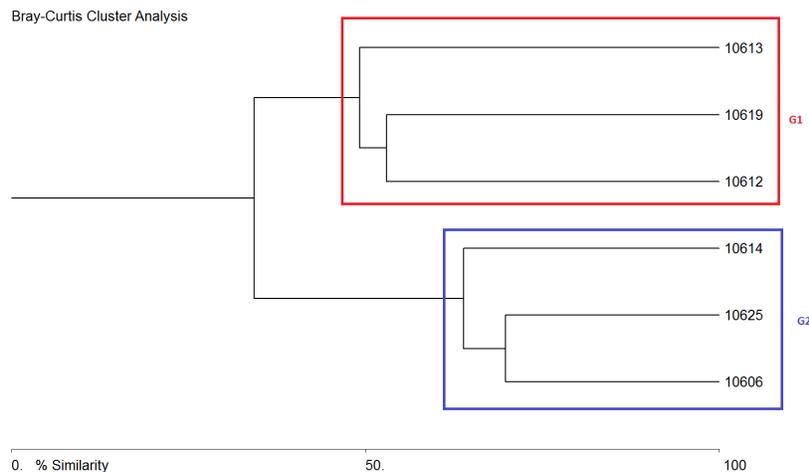


Figura 7. Dendrograma de similitud de Bray-Curtis. Grupos G1 y G2 generados a partir de la similitud en la abundancia de los grupos taxonómicos de las seis estaciones en “Chapopote”, Golfo de México.

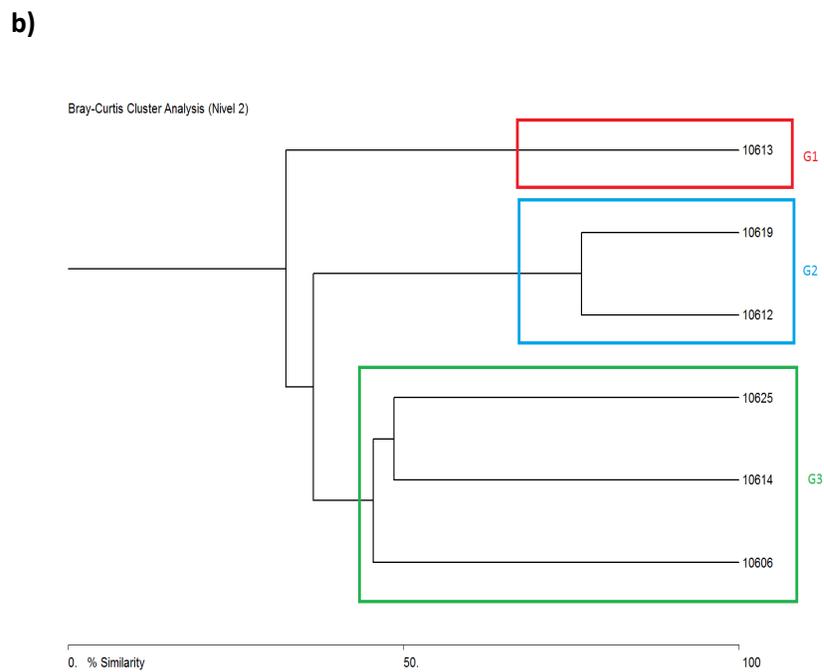
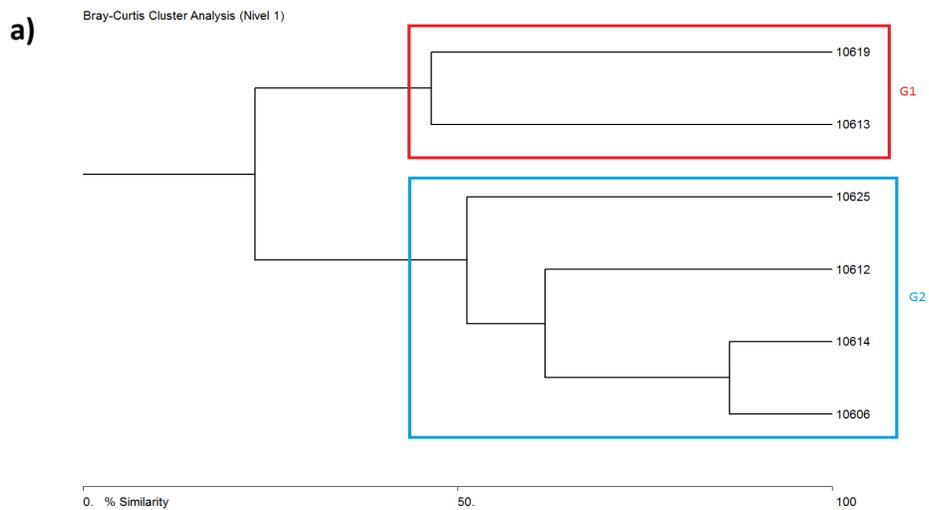
Análisis de similitud taxonómica por nivel.

Nivel 1. En el análisis de similitud se formaron dos grupos, el primer grupo (G1) está formado por las estaciones 10619 y 10613, correspondientes al hábitat de flujo plegado y brecha respectivamente. Estas estaciones se caracterizan por tener altas abundancias con 1,210 y 2,113 organismos, respectivamente. El segundo grupo (G2) formado por las estaciones 10606, 10612, 10614 y 10625, correspondientes a los hábitats abisal, brecha y fragmentos de asfalto sin actividad quimiosintética respectivamente, se caracterizan por tener abundancias bajas con 78, 175, 61 y 21 organismos respectivamente (Figura 8a).

Nivel 2. En el análisis de similitud se formaron tres grupos, el primer grupo (G1) está conformado por la estación 10613 correspondiente al hábitat de brecha, esta estación se caracteriza por tener la abundancia más alta de nivel con 1,921 organismos, el segundo grupo (G2) formado por las estaciones 10612 y 10619, correspondientes a los hábitats de brecha y flujo plegado respectivamente, con 376 y

316 organismos, y el tercer grupo (G3) lo conformaron las estaciones 10606, 10614 y 10625 que obtuvieron las abundancias más bajas con 19, 78 y 25 respectivamente (Figura 8b).

Nivel 3. En el análisis de similitud se formaron tres grupos, el primer grupo (G1) lo forma la estación 10614, que se caracteriza por tener un valor intermedio de abundancia con 86 organismos. El segundo grupo (G2) lo formaron las estaciones 10612 y 10619 con el número más alto de organismos, 489 y 439 respectivamente y finalmente el tercer grupo (G3) con las estaciones 10606 y 10625 con las abundancias más bajas, ambas con 13 organismos (Figura 8c).



c)

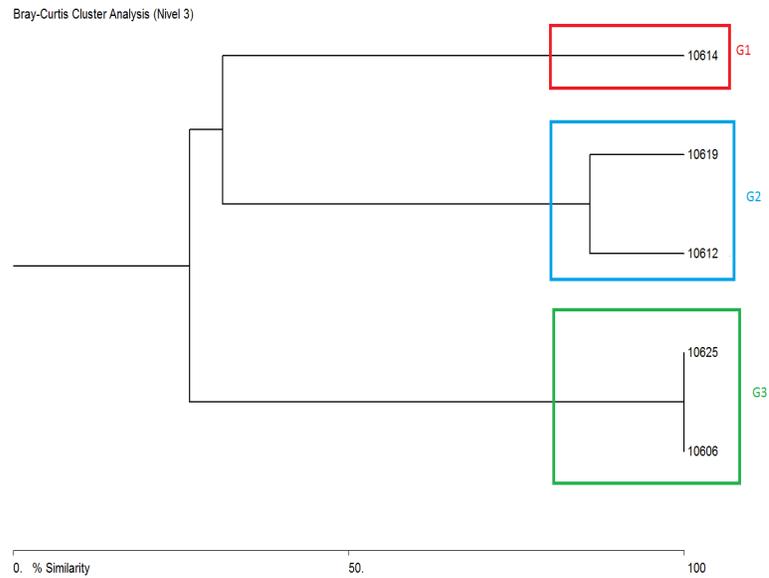


Figura 8. Dendrograma de similitud de Bray-Curtis. Grupos generados a partir de la similitud en la abundancia de los grupos taxonómicos de los tres niveles Nivel 1 (a), Nivel 2 (b), Nivel 3 (c) en “Chapopote”.

Índices ecológicos

Índices ecológicos por estación. La estación que presentó el valor más alto de diversidad ($H' \log_2$) fue la 10619 (1.73), correspondiente al hábitat de flujo plegado, los valores más bajos de diversidad ($H' \log_2$) los presentó la estación 10625 (0.21), correspondiente al hábitat de fragmentos de asfalto sin actividad quimiosintética, por lo tanto, la dominancia (D) más alta se presentó la estación 10625 (0.93) y la más baja la 10619 (0.34).

La equidad (J) más alta la presentó la estación 10606 (0.51), correspondiente al hábitat abisal, la que menos equidad presentó es la estación 10613 (0.15) correspondiente al hábitat de brecha (Tabla 11).

Tabla 11. Índices ecológicos ($H' \log_2$, D y J) por estación (n=6) del meiobentos abisal en Chapopote en el Golfo de México.

Estación	10606	10612	10613	10614	10619	10625
Diversidad ($H' \log_2$)	1.18	0.59	0.47	1.03	1.73	0.21
Dominancia (D)	0.56	0.83	0.85	0.66	0.34	0.93
Equidad (J)	0.51	0.17	0.15	0.37	0.46	0.21

Índices ecológicos por niveles

Nivel 1. Los valores más altos de diversidad ($H' \log_2$) se presentaron en la estación 10619 (1.83), correspondiente al hábitat de flujo plegado, la diversidad ($H' \log_2$) más baja en la estación 10625 (0.45) correspondiente al hábitat de fragmentos de asfalto sin actividad quimiosintética, por lo tanto, la

dominancia (D) más alta la presentó la estación 10625 (0.81) y la más baja la estación 10619 (0.31). La equidad (J) más alta la presentó la estación 10614 (0.54), la que menor equidad presenta es la estación 10613 (0.22) ambas corresponden al hábitat de brecha (Tabla 12).

Nivel 2. Los valores más altos de diversidad ($H' \log_2$) se presentaron en la estación 10606 (1.65), correspondiente al hábitat abisal, la diversidad ($H' \log_2$) más baja en la estación 10625 (0) correspondiente al hábitat de fragmentos de asfalto sin actividad quimiosintética, la dominancia (D) más alta la presentó la estación 10625 (1) y la más baja la estación 10606 (0.33). La equidad (J) más alta la presenta la estación 10606 (0.82), la que menor equidad presenta es la estación 10625 (0.0) con solo un taxa encontrado (Tabla 12).

Nivel 3. Los valores más altos de diversidad ($H' \log_2$) se presentaron en la estación 10614 (0.77), correspondiente al hábitat de brecha, la diversidad ($H' \log_2$) más baja en las estaciones 10606 y 10625 (0) correspondientes al hábitat de fragmentos de asfalto sin actividad quimiosintética y abisal, la dominancia (D) más alta la presentaron las estaciones 10606 y 10625 (1) y la más baja la estación 10614 (0.74), la equidad (J) más alta la presentó la estación 10614 (0.38) y las más bajas las estaciones 10606 y la 10625 (0) (Tabla 12).

Tabla 12. Índices ecológicos ($H' \log_2$, D y J) por niveles (n=3) del meiobentos abisal en Chapopote.

Nivel 1	10606	10612	10613	10614	10619	10625
Diversidad ($H' \log_2$)	1.10	1.47	0.66	1.09	1.83	0.45
Dominancia (D)	0.57	0.57	0.77	0.57	0.31	0.81
Equidad (J)	0.47	0.42	0.22	0.54	0.49	0.45
Nivel 2	10606	10612	10613	10614	10619	10625
Diversidad ($H' \log_2$)	1.65	0.48	0.32	1.04	0.81	0
Dominancia (D)	0.33	0.84	0.90	0.64	0.63	1
Equidad (J)	0.82	0.24	0.12	0.44	0.51	---
Nivel 3	10606	10612	10613	10614	10619	10625
Diversidad ($H' \log_2$)	0	0.21	-	0.77	0.57	0
Dominancia (D)	1	0.93	-	0.74	0.77	1
Equidad (J)	---	0.21	-	0.38	0.36	---

8.2 Parámetros ambientales

En la tabla 13 se muestran los valores promedio de los factores ambientales contenidos en el sedimento colectado por estación y niveles (tamaño de grano, carbono orgánico, nitrógeno y azufre).

Tabla 13. Valores promedio (\bar{X}) y desviación estándar (σ) de los parámetros ambientales y composición elemental por estaciones (n=6) y por niveles (n=3) del meiobentos abisal en Chapopote.

Estación	Nivel	% N	%C	%S	%Arena	%Limos	%Arcilla
10606	N1	0.15±0.00	1.14±0.00	0±0	0.21±0.18	62.67±7.52	36.95±7.71
	N2	0.14±0.00	1.84±0.04	0.07±0.00	0.61±0.33	64.74±3.38	34.63±3.65
	N3	0.13±0.00	0.93±0.00	0±0	0.63±0.36	64.05±3.50	35.31±3.86
10612	N1	0.27±0.00	2.29±0.00	0.22±0.02	1.00±0.18	70.07±3.46	28.93±3.39
	N2	0.21±0.00	1.62±0.01	0.14±0.01	0.70±0.27	61.56±18.45	37.96±18.86
	N3	0.20±0.00	1.57±0.01	0.04±0.00	0.51±0.17	73.32±5.21	26.16±5.38
10613	N1	0.16±0.00	5.32±0.05	0.94±0.01	0.10±0.14	48.82±12.62	51.07±12.77
	N2	0.14±0.00	4.69±0.13	1.13±0.02		35.01±1.61	64.98±1.61
10614	N1	0.20±0.00	3.14±0.05	0.54±0.01	0.75±0.34	66.55±2.65	32.69±2.99
	N2	0.19±0.00	2.55±0.03	0.51±0.01	0.76±0.78	63.66±23.92	35.56±24.86
	N3	0.19±0.00	2.66±0.06	0.53±0.00	1.11±0.75	64.43±1.84	34.45±2.59
10619	N1	0.42±0.06	20.60±0.98	2.78±0.94	0.37±0.14	49.09±4.95	50.54±4.81
	N2	0.32±0.051	23.44±1.26	3.56±1.06	0.28±0.50	43.80±8.51	55.91±9.01
	N3	0.26±0.05	22.55±0.88	3.42±0.70		50.78±18.28	47.49±21.26
10625	Todos los niveles	0.16±0.00	1.83±0.04	0.07±0.08	0.60±0.53	60.35±17.45	39.03±17.97

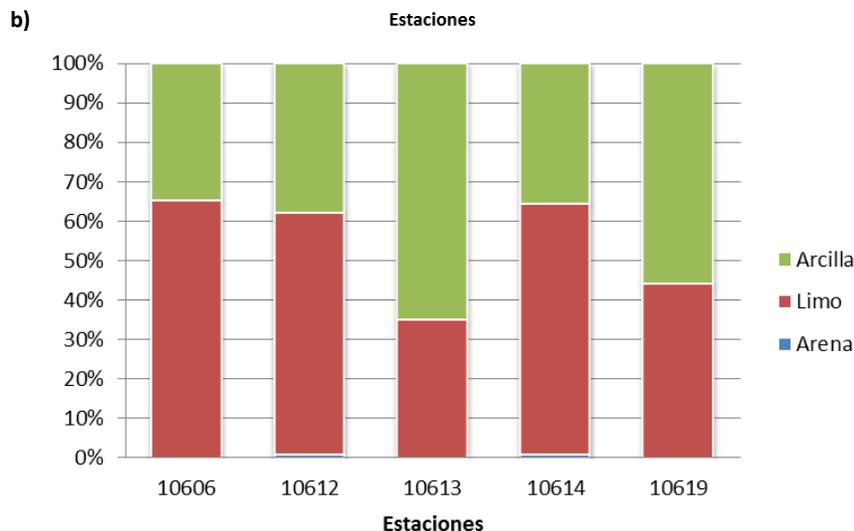
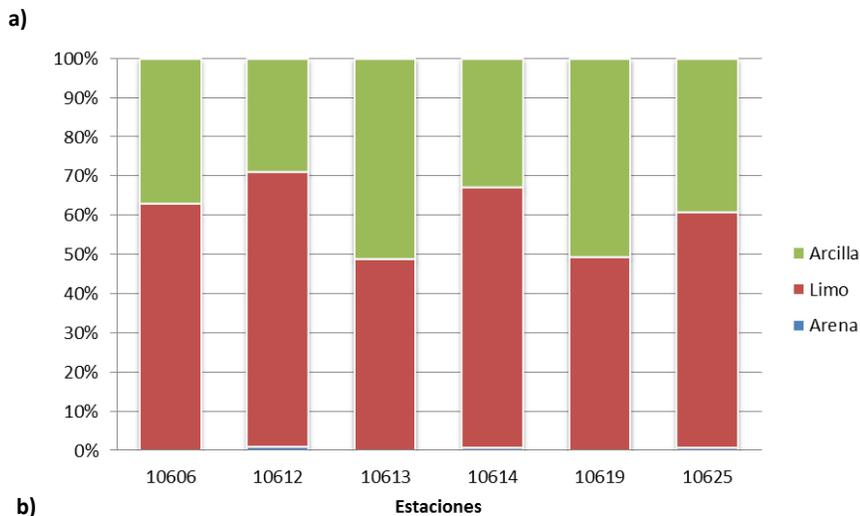
Tamaño de grano. Se reconocieron las tres clases de tamaño de grano que corresponden a arenas, limos y arcillas. Todos las estaciones y niveles se caracterizaron por tener la proporción más alta en limos, (N1: 60.71 %, N2: 55.17 %, N3: 63.11 %), seguido por las arcillas (N1; 38.79 %, N2; 44.38 %, N3; 35.92 %) y finalmente las arenas (N1; 0.51 %, N2; 0.45 %, N3; 0.95 %) (Figura 9) (Anexo VIII y IX).

Arena. Los valores porcentuales de la arena registraron un intervalo de valores de 0.10 ± 0.14 a 1.11 ± 0.75 (Tabla 13). El valor promedio más bajo se obtuvo en la estación 10613, nivel 1, correspondiente al hábitat de brecha. La estación 10614 nivel 3, correspondiente al hábitat de brecha se caracterizó por

mostrar el valor más elevado. Se reconoció una diferencia significativa en el porcentaje de arena entre las estaciones (ANOVA, $F_{(5,30)}=2.7$, $p=0.03$) (Prueba Tukey HSD, $p=0.25$).

Limo. Los valores porcentuales de limo registraron un intervalo de valores de 35.01 ± 1.61 a 73.32 ± 5.21 (Tabla 13). El valor promedio más bajo se obtuvo en la estación 10613, nivel 2, correspondiente al hábitat de brecha. La estación 10612, nivel 3, correspondiente al hábitat de brecha, se caracterizó por mostrar el valor más elevado. Se reconoció una diferencia significativa en el porcentaje de limo entre las estaciones (ANOVA $F_{(5,43)}=12.9$, $p= 0.00$) (Prueba Tukey HSD, $p=0.00$).

Arcilla. Los valores porcentuales de arcilla registraron un intervalo de valores de 26.16 ± 5.38 a 64.98 ± 1.61 (Tabla 13). El valor promedio más bajo se obtuvo en la estación 10612, nivel 3, correspondiente al hábitat de brecha. La estación 10613, nivel 2, correspondiente al hábitat de brecha, se caracterizó por mostrar el valor más elevados. Se reconoció una diferencia significativa de porcentaje de arcilla entre las estaciones (ANOVA, $F_{(5,36)}=7.05$, $p=0.00$) (Prueba Tukey HSD, $p=0.00$).



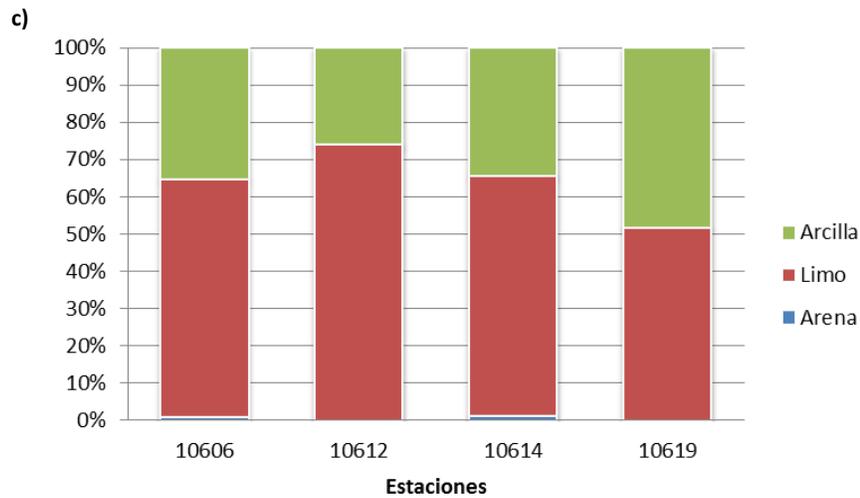


Figura 9. Variación del porcentaje promedio de arcilla, limo y arenas. a) Nivel 1, b) Nivel 2, c) Nivel 3.

Composición elemental

Nitrógeno. El porcentaje de nitrógeno registró un intervalo de valores de 0.13 ± 0.00 a 0.42 ± 0.06 (Tabla 13). El valor promedio más bajo se obtuvo en la estación 10606, nivel 3, correspondiente al hábitad abisal. La estación 10619, nivel 1, se caracterizó por tener el valor más elevado. Se reconoció una variación significativa de porcentaje de nitrógeno entre las estaciones (ANOVA, $F_{(5,35)}=13.43$, $p=0.00$) (Prueba Tukey HSD, $p=0.00$) (Fig. 10 a).

Carbono orgánico. El porcentaje de carbono registró un intervalo de valores de 0.93 ± 0.00 a 23.44 ± 1.26 (Tabla 13). El valor promedio más bajo se obtuvo en la estación 10606, nivel 3, correspondiente al hábitad abisal. La estación 10619 nivel 2 se caracterizó por tener el valor más elevado. Se reconoció una variación significativa de porcentaje de carbono entre las estaciones (ANOVA, $F_{(5,38)}=56.65$, $p=0.00$) (Prueba Tukey HSD, $p=0.00$) (Fig. 10 b).

Azufre. El porcentaje de azufre registró un intervalo de valores de 0 ± 0 a 3.56 ± 1.06 (Tabla 13). El valor promedio más bajo se obtuvo en la estación 10606, nivel 1 y 3, correspondiente al hábitad abisal. La estación 10619, nivel 2, se caracterizó por tener el valor más elevado. Se reconoció una variación significativa de porcentaje de azufre entre las estaciones (ANOVA, $F_{(5,38)}=40.52$, $p=0.00$) (Prueba Tukey HSD, $p=0.00$) (Fig. 10 c).

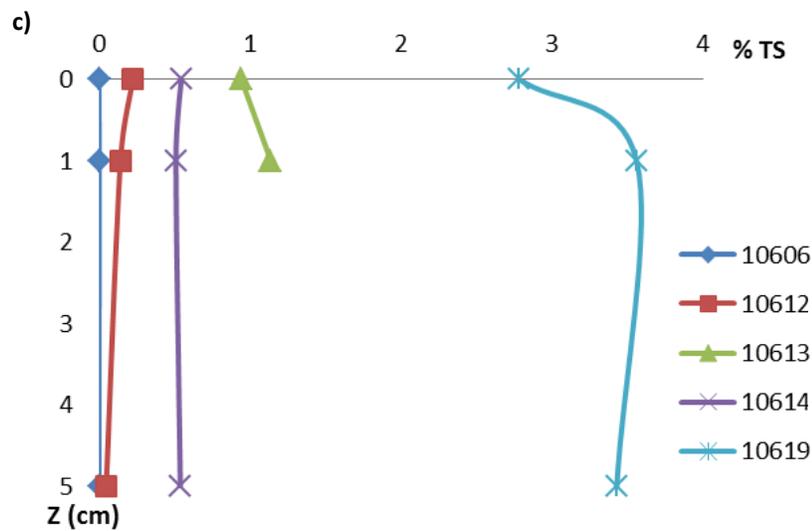
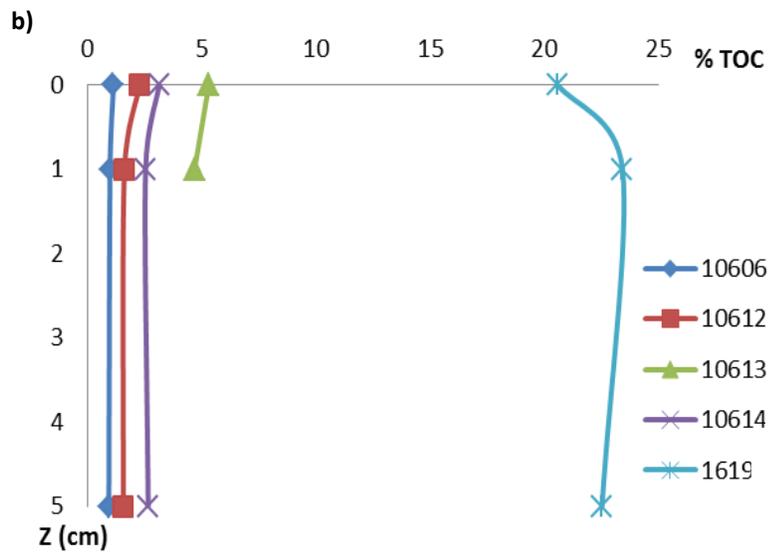
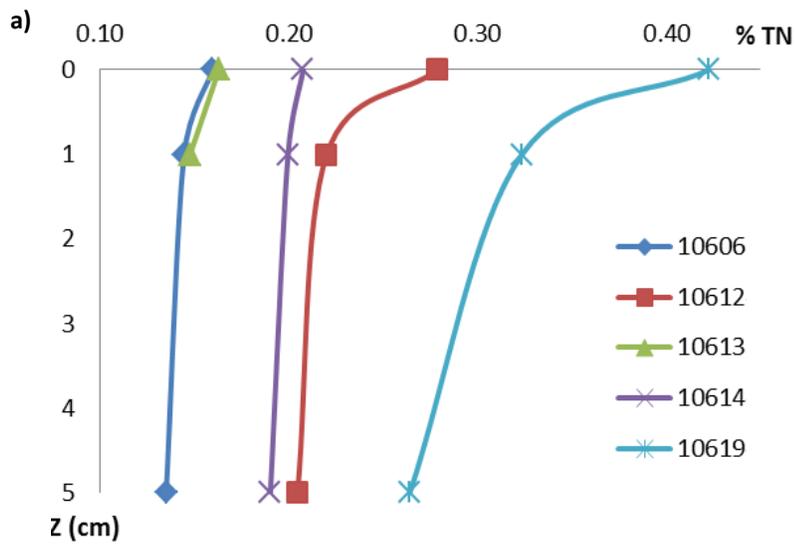


Figura 10. Porcentaje del promedio de a) nitrógeno, b) carbono orgánico y c) azufre, así como su variación con la profundidad (niveles)

8.3 Análisis de redundancia (RDA)

Los resultados del análisis de redundancia muestran que los factores ambientales que determinan directamente la distribución de grupos taxonómicos en “*Chapopote*” son principalmente el carbono, azufre, nitrógeno, así como la presencia de limos (ANOVA $F_{(4,13)} = 0.01$, $p = 0.37$) (Tabla 14 y 15). La variación de estos factores no fue significativa. (Figura 11).

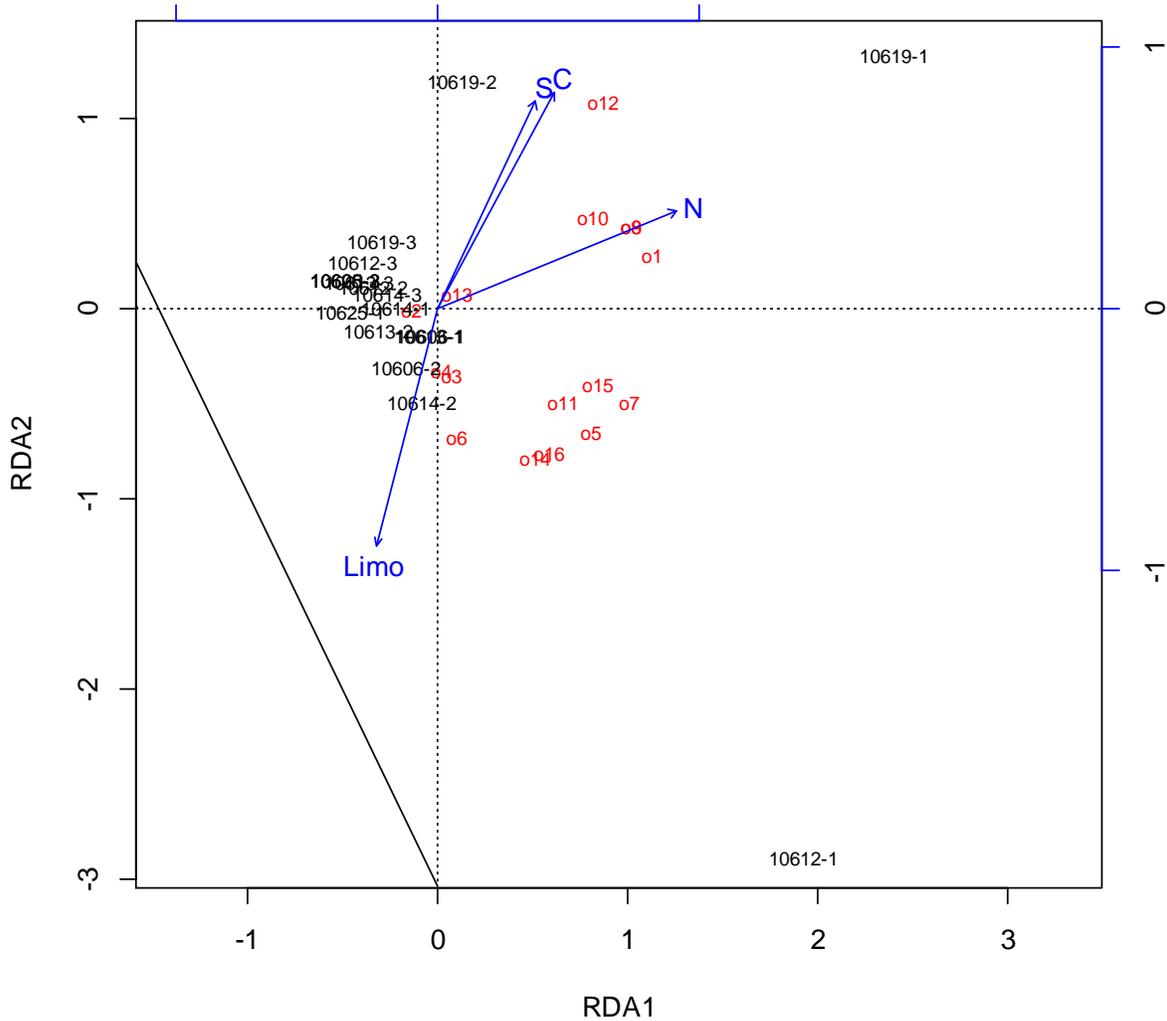


Figura 11. Gráfica de doble proyección del análisis de redundancia de la comunidad meiobéntica abisal asociada a Chapopote. Los números representados en letras rojas corresponden a los grupos taxonómicos (Tabla 15), los factores ambientales se presentan como vectores.

Tabla 14. Valores de influencia y p de los factores ambientales del análisis de redundancia. Con **negritas** y * los valores p que fueron significativos ($p < 0.05$). Abreviaturas (C) carbono, (N) nitrógeno, (S) azufre.

Factor	F_(1,16)	p
%N	0.22	0.02*
%C	0.11	0.12
%S	0.09	0.19
Profundidad	0.04	0.68
%Arena	0.04	0.54
%Limo	0.08	0.16
%Arcilla	0.05	0.56

Tabla 15. Grupos taxonómicos representados como números en la figura 11.

Taxa	Número
Allogromiidae	o1
Nematoda	o2
N. desmoscolex	o3
Kinorincha	o4
Anellida	o5
Polychaeta	o6
Bivalvia	o7
Phymorrhynchus	o8
Skeneidae	o9
Harpacticoida	o10
Ostracoda	o11
Cumacea	o12
Isopoda	o13
Amphipoda	o14
Acari	o15
Bryozoa	o16

9. Discusión

9.1 Estructura comunitaria

Composición taxonómica

Los estudios enfocados en metazoarios de infiltraciones frías de mar profundo se caracterizan por tener una baja riqueza de especies, alta dominancia y biomasa, comparado con otras zonas abisales (Buck y Barry, 1998; Olu *et al.*, 1997; Robinson *et al.*, 2004; Levin, 2005). Haciendo una comparación del meiobentos entre el presente trabajo y otros sitios de mar profundo e infiltraciones frías en el Océano Atlántico, se puede decir que el meiobentos -asociado a infiltraciones frías- está dominado por los taxa copépoda y nemátoda (Vinx *et al.*, 1994), lo cual es consistente con estudios a profundidades similares, tanto en el suroeste (Escobar *et al.*, 1999; Escobar-Briones, 2004) como en el norte del Golfo de México (Rowe y Kennicutt, 2002).

En diversos estudios a nivel mundial, tanto en sedimentos asociados a infiltraciones frías y de sedimento blando abisal sin actividad quimiosintética, se reporta que los nemátodos se encuentran concentrados principalmente en la superficie del sedimento y con el incremento de la profundidad en el sedimento dominan la comunidad béntica (Soetaert *et al.*, 1997; Flach *et al.*, 2002) lo que es consistente con los resultados obtenidos en este estudio ya que los nematodos presentan densidades similares en los tres niveles.

Además de la profundidad la presencia de meiofauna está influenciada por diversos factores, como la cantidad de materia orgánica particulada y la disponibilidad de nutrientes (Landers *et al.*, 2012). Baguley y colaboradores (2006) reportaron una mayor concentración de meiofauna a los alrededores de la desembocadura del río Mississippi confirmando la observación anterior. En este estudio, además de los nemátodos, se encontraron quinorrincos asociados al volcán de asfalto. Esto difiere con un estudio de Landers y colaboradores (2012) donde se reporta que los quinorrincos hallados se restringen únicamente a la infiltración fría de Black Ridge en la costa de Florida, en el Atlántico y no al Golfo de México.

Así mismo, en el presente trabajo los foraminíferos en ambientes con concentraciones elevadas de azufre, fueron notables y se tomaron en cuenta, ya que sólo unos pocos estudios los incluyen en el meiobentos (p.e. Sen Gupta y Aharon, 1994; Rathburn *et al.*, 2000; Bernhard *et al.*, 2001) al tomar en cuenta a los protozoarios en este trabajo, se da un registro más completo de la meiofauna asociada a “Chapopote”

Riqueza taxonómica

En infiltraciones frías la riqueza de especies se caracteriza por ser baja (Buck y Barry, 1998; Olu *et al.*, 1997; Robinson *et al.*, 2004; Levin, 2005) pero alta comparada con ambientes de ventilas hidrotermales, esto ha sido atribuido a la estabilidad que presentan los ambientes de infiltraciones (p.e. La infiltraciones del Escarpe de Florida han ocurrido desde el Holoceno o Pleistoceno. Paull *et al.*, 1991) (Sibuet y Olu, 1998). Ésto difiere con lo obtenido en este y otros estudios, ya que se obtuvieron 16 taxa en total. Portanova y colaboradores (2014) reportaron un total de 16 taxa para una infiltración de metano en el Mar de Noruega y Van Gaever y colaboradores (2006) registraron 18 taxa para el volcán de lodo Hakon Mosby, al norte de Noruega, mientras que Landers y colaboradores (2012) reportan solo 8 taxa para sedimento abisal típico al Norte del Golfo de México y Escobar y colaboradores (2008) reportan un total de 14 taxa para la planicie abisal en el Golfo de México.

Las características ambientales de los hábitats son determinantes en la riqueza de especies (Sibuet y Olu, 1998) por esto es que en la estación 10619 se presentó la riqueza más alta, probablemente producto de la actividad quimiosintética que presenta este hábitat. Bernhard y colaboradores (2001) reportaron que en varios trabajos en infiltraciones de metano los protozoarios y los metazoarios meiobentónicos presentaron de 2 a 5 veces mayor riqueza de especies en ambientes reducidos, que en sitios sin influencia quimiosintética, lo que coincide con la riqueza más baja de las estaciones 10625 y 10606, las cuales no se encuentran cerca de la emanación de hidrocarburo. Las condiciones ambientales no solamente determinan la riqueza taxonómica, sino también las características fisiológicas, ya que los organismos que se encuentran en sedimentos deben tener adaptaciones para poder vivir en ambientes reducidos, en condiciones de hipoxia y con perturbaciones en su hábitat (p.e. depósito de asfalto) (Bernhard *et al.*, 2001). Cordes y colaboradores (2010), sugieren que los organismos mejor adaptados para vivir en ambientes reducidos terminarán por desplazar a aquellos que no lo están y en Golfo de México la distribución tanto vertical como horizontal está determinada por los niveles de carbono orgánico y azufre en el sedimento ya que las principales fuentes de alimento para los simbioses de diversos organismos asociados a ventilas hidrotermales e infiltraciones frías son los compuestos de azufre reducidos (Felbeck, 1981).

Abundancia

La abundancia del meiobentos está relacionada con diversos factores, pero significativamente con la profundidad. Esta tendencia se ha visto en todo el mundo (Soltwedel, 2000), solo unas cuantas investigaciones (p.e. Van Gaever *et al.*, 2006) en infiltraciones frías han medido abundancias, y los

nemátodos han sido reportados como la taxa más abundante asociado a este ecosistema, seguido por los copépodos y los poliquetos.

La estación que presentó mayor abundancia correspondió al hábitat de brecha con influencia quimiosintética y presencia de tapetes microbianos. Esto podría explicar la elevada abundancia de organismos en esta estación, ya que no se descarta la presencia de bacterias simbiotes en los organismos (Olu *et al.*, 1997). Lo anterior coincide con el estudio realizado por Robinson y colaboradores (2004) donde reportan una alta abundancia y densidad de copépodos a una profundidad de 2,150 m en las infiltraciones de metano del Black Ridge, en el Atlántico Norte.

La composición microbiana está determinada por una combinación de disponibilidad de recursos (Rowe *et al.*, 1991); los hidrocarburos presentes en los sedimentos proporcionan una fuente de enriquecimiento químico que es utilizada por bacterias de vida libre y por organismos que presentan simbiosis con bacterias quimioautotróficas (Jannash, 1979).

En el presente estudio los nemátodos, además de ser el taxón más abundante, está presente en todas las estaciones y niveles, así como los copépodos, que fueron el segundo taxón más abundante, lo cual es consistente con el estudio de Robinson y colaboradores (2004) llevado a cabo en tres infiltraciones frías en el norte del Golfo de México y una en la costa sureste de Estados Unidos.

Densidad

En general, se ha observado que la densidad total del meiobentos tiende a disminuir con la profundidad (Herman y Dahms 1992; Tietjen 1992, Fabiano y Danovaro 1999; Danovaro *et al.*, 2000; Gutzmann *et al.*, 2004; Tselepides y Lampadariou 2004; Shimanaga *et al.*, 2007). 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 (Herman y Dahms 1992; Tietjen 1992, Fabiano y Danovaro 1999; Danovaro *et al.*, 2000; Gutzmann *et al.*, 2004) al igual que para los kinorincos y tardígrados reportado por Gutzmann y colaboradores (2004) en el Drake Passage al sur del océano Atlántico en sedimento abisal típico (2731 ind m^{-2} a 75 ind m^{-2}), lo cual difiere con este y otros estudios realizados en distintas infiltraciones frías del Golfo de México y del Atlántico (Robinson *et al.*, 2004). Esta diferencia se debe probablemente a la actividad quimiosintética que se presenta en las infiltraciones frías.

Robinson y colaboradores (2004) realizaron un estudio en infiltraciones frías al norte del Golfo de México y en la costa del sureste de los Estados Unidos (en el sitio Black Ridge), reportando que las densidades más altas se obtuvieron en las infiltraciones del Golfo de México y estas se sustentaron por los

nemátodos que se registraron de 160 a 4,809 ind. m⁻², se obtuvieron significativamente más nemátodos y copépodos en el Golfo de México que en Black Ridge. De acuerdo con Jensen (1992), en las infiltraciones de metano de Nyegga (Mar de Noruega), la densidad de los nemátodos a profundidades de 970 - 1,245 m varía de 138 ± 47 a 204 ± 62 ind. m⁻². Van Gaever (2006) reportó que en el volcán de lodo Hakon Mosby, al norte de Noruega, las densidades varían de 11,292 ± 2,256 ind m⁻² a 513 ± 38 ind m⁻² y mostró que existen diferencias significativas de densidades entre sitios con presencia microbiana y sin presencia de ésta. Olu y colaboradores (1997), en un volcán de lodo, al norte del prisma de Barbados (en el Caribe), reportaron densidades de nemátodos de más de 11,300 ind m⁻². En Chapopote, los nemátodos fueron los que presentaron la densidad más alta en la estación correspondiente al hábitat de brecha, el segundo taxón más abundante fueron los copépodos, sin embargo, éstos últimos no se encontraron en todas las muestras revisadas. Los valores más altos de densidad se obtuvieron en la estación correspondiente al hábitat de flujo plegado con actividad quimiosintética, lo que es consistente con lo reportado por Van Gaever (2006) en sitios con presencia microbiana.

En general, las densidades y composición taxonómica observadas en este estudio son consistentes con observaciones previas en otras infiltraciones frías, en función de que las densidades más altas las aportan los nemátodos y los copépodos, quienes también son los taxa representativos de los sedimentos marinos, y en que las densidades están influenciadas por la actividad quimiosintética.

Biomasa

A pesar de que la biomasa del meiobentos muchas veces es mayor que la biomasa macrofaunal (Pequegnat *et al.*, 1990), la contribución que aportan a toda la comunidad béntica es poco conocida. Olu y colaboradores (1997) reportan que una de las características del meiobentos asociado a infiltraciones frías es que su biomasa es alta, sin embargo, en este estudio se obtuvieron biomásas bajas. La estación que obtuvo la biomasa más elevada fue la 10606, correspondiente al hábitat abisal aportando los valores más altos los copépodos (0.33 mgC.m⁻²), seguido por los nemátodos (0.29 mgC.m⁻²). Esto puede deberse a que las comunidades bénticas en el Golfo de México dependen de la cantidad de nitrógeno contenido en el sedimento y este decrece con la profundidad (Rowe *et al.*, 2002)

Escobar y colaboradores (2008) reportan biomásas elevadas en la planicie abisal del Golfo de México que posee sedimentos típicos abisales. Esto es congruente con las biomásas más altas en este hábitat, el cuál no tiene influencia quimiosintética.

Similitud taxonómica

El presente estudio proporciona la primera comparación del meiobentos asociado al volcán de Chapopote en cuatro hábitats. Se observaron fuertes diferencias entre estos, ya que no todos poseen las mismas características ambientales. Para el análisis de similitud que se llevó a cabo, se tomaron en cuenta las abundancias de los organismos por estación y por nivel, dando como resultado dendogramas donde las estaciones más parecidas formaron los grupos con las estaciones con actividad quimiosintética (10612, 10613, 10619) y que presentan una mayor abundancia y las estaciones sin actividad quimiosintética (10606, 10614 y 10625) que presentan menores abundancias. Robinson y colaboradores (2004) sugiere que los sedimentos con influencia quimiosintética (sedimento cubierto por tapetes microbianos) respaldan una comunidad meiobentica particular, contrastando con los sedimentos sin influencia bacteriana, sin embargo, en este estudio, los organismos que se encontraron en los hábitats típicos abisales y los quimiosintéticos se diferencian principalmente por su densidad y no por su riqueza taxonómica.

Índices ecológicos

Los estudios enfocados en metazoarios asociados a infiltraciones frías describen una fauna compuesta principalmente por anélidos y nemátodos, con una baja riqueza de especies y una dominancia elevada en comparación con ambientes abisales típicos (Robinson *et al.*, 2004). Los resultados obtenidos en el presente trabajo difieren con la afirmación anterior, ya que las estaciones que presentaron las mayores diversidades (H') y equidades (J') son las que están asociadas a actividad quimiosintética y las estaciones de ambientes abisales típicos presentan las dominancias y equidades más elevadas, encontrándose como taxón predominante los nemátodos. Los taxa encontrados en este estudio coinciden con los taxa reportados en la literatura, tanto para infiltraciones frías como para ambientes abisales típicos, los cuales presentan diversidades similares (e.g Van Gaeve, *et al.*, 2009 y Landers *et al.*, 2012) (Véase Tabla 5).

9.2 Factores ambientales

Composición elemental

La composición taxonómica y la distribución de los taxa estuvieron determinadas por las características ambientales de cada hábitat. Escobar y colaboradores (2008) reportaron para el suroeste del Golfo de México que los sedimentos en sitios con actividad quimiosintética, procedentes de las inmediaciones de Chapopote, presentaron valores significativamente elevados tanto en carbono orgánico como de nitrógeno. Además, reportaron la presencia de azufre, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el

presente trabajo, ya que las concentraciones de carbono, nitrógeno y azufre en el sedimento, son significativamente más altas en la estación 10619, lo cual da evidencia del depósito reciente de hidrocarburos en esa zona.

Los valores del carbono orgánico local en los montículos de Campeche no están correlacionados con el nitrógeno en presencia del azufre, lo cual sugiere altas tasas de reducción en el contenido de azufre, actividad quimiosintética e indican predominio de nitrógeno inorgánico, ausente en los sedimentos blandos abisales típicos de la región (Escobar *et al.*, 2008). Los niveles de carbono en el hábitat abisal (0.00 - 1.14%) y en los fragmentos de asfalto sin actividad quimiosintética (0.04 - 1.83%) coinciden con los niveles registrados en el norte del Golfo de México (0.34 - 1.59%) y en cuencas de latitudes cercanas a los trópicos, como la de Argentina (0.26 - 1.72%; Stevenson y Cheng, 1972) y en el Mar Árabe (0.04 - 1.5%; Grandel *et al.*, 2000). Los valores de nitrógeno registrados para éstos mismos sitios, resultan más bajos que los que se obtuvieron en Chapopote, con excepción del nitrógeno obtenido en el margen continental del mar Árabe (0.1 - 0.4%; Grandel *et al.*, 2000) que coincide con los niveles obtenidos en la estación 10606 (0.00 - 0.15%).

Tamaño de grano

A profundidades mayores de los 3,000 metros, el tamaño de grano característico son limos y arcillas debido a que en el fondo marino existen dos tipos de sedimentación: autóctona o sedimentación pelágica, producto del acúmulo de caparzones de organismos planctónicos, ya sea calcáreos o silíceos (Gage y Tyler, 1991). En este estudio, el porcentaje de limos (>55.17%) y arcillas (> 44.38) fueron dominantes, mientras que las arenas registraron porcentajes bajos (>0.45%). Esto puede relacionarse con un estudio llevado a cabo por Escobar y colaboradores (1999) en el que el porcentaje de arena fue de 13.7% en la zona abisal del Golfo de México. Los valores de limo difieren con los valores que se han reportado en cañones submarinos (95 - 98%; Duineveld *et al.*, 2004). Sin embargo, Nodder y colaboradores (2001) documentaron valores similares de limos (41.7%) y arcillas (42%) a los obtenidos en el presente estudio, en una profundidad de 2,300m en la elevación de Chatham, Nueva Zelanda.

Factores ambientales y estructura comunitaria

La presencia del meiobentos está influenciada por diversos factores, además de la profundidad, por la materia orgánica particulada, disponibilidad de nutrientes y tamaño de grano (Landers *et al.*, 2012). En los análisis de redundancia (RDA), los factores que más parecen influenciar la densidad de los organismos son el carbono orgánico, el nitrógeno y el azufre. Esto coincide con el trabajo realizado por

Portanova y colaboradores (2014) donde se observa una disminución de la densidad en los organismos (mayormente nemátodos) con menos carbono presente en el sedimento (alimento disponible), y una alta densidad en el sedimento asociado a tapetes microbianos, donde la presencia de azufre también es elevada. MacDonald y colaboradores (1989) sugiere que el ensamble de comunidades es dependiente de procesos quimiosintéticos mediante simbiontes internos, de igual manera, sugieren que la presencia de metano y azufre determinan la distribución de organismos simbiontes. Esto se confirma en el presente estudio, ya que la presencia de asfalto recientemente depositado, los tapetes microbianos y los agentes reductores, así como la dominancia de limos, influyen de manera directa en la densidad para los tres niveles.

Se observa que en los análisis de redundancia (RDA), los gradientes de carbono orgánico, nitrógeno y azufre parecen determinar la distribución espacial de los organismos de forma horizontal y vertical dentro de la columna de sedimento, como lo sugieren Levin y colaboradores (2003).

10. Conclusiones

En este estudio se describió la estructura comunitaria del meiobentos abisal asociado a diferentes hábitats en el volcán de asfalto Chapopote. La cercanía de las estaciones a la emanación de hidrocarburo afecta directamente la densidad, biomasa y abundancia de los organismos, debido a los depósitos de asfalto, la presencia de componentes reductores y la influencia que tienen organismos quimiosintéticos.

Se confirma la hipótesis alternativa (H_1) sobre la heterogeneidad de los organismos en ambientes contrastantes.

- La riqueza taxonómica que se registró fue alta con un total de 16 taxa identificados. El hábitat que obtuvo la riqueza más alta con 13 taxa correspondió a flujo plegado.
- La abundancia más alta la presentó la estación correspondiente al hábitat de brecha, siendo los nematodos el taxón más abundante, seguido por los copépodos.
- La densidad más elevada se observó en la estación correspondiente al hábitat de flujo plegado y se caracterizó por tener los niveles más altos de nitrógeno, carbono orgánico y azufre. Esto puede ser atribuido a la presencia de tapetes microbianos que presenta ese sitio.
- La biomasa más elevada se presentó en el hábitat abisal, siendo los copépodos el taxón que más biomasa aportó.
- En el análisis de similitud (Bray – Curtis) se formaron dos grupos: a) Con actividad quimiosintética y b) Sin actividad quimiosintética. Esto indica que la distribución de los organismos se ve afectada por la presencia de componentes reductores y la emanación de asfalto.
- La estación con mayor diversidad ($H' \log_2$) correspondió al hábitat de flujo plegado, la dominancia (D') más alta al hábitat de fragmentos de asfalto sin actividad quimiosintética y la equidad (J') más alta en el hábitat abisal.
- El sedimento está dominado principalmente por limos y arcillas, esto debido al tipo de sedimentación que se presenta en el mar profundo.
- El análisis de RDA muestra que la cantidad de carbono orgánico, azufre y nitrógeno son los factores ambientales que determinan los patrones de distribución de la meiofauna en Chapopote, así como la dominancia de limos en el sedimento.

11. Referencias

- Alongi, Pichon, M. (1988). Bathyal meiobenthos of the Western Coral Sea - distribution and abundance in relation to microbial standing stocks and environmental-factors. *Deep-Sea Research* 35: 491-503
- Baguley, J. G., Montagna, P. A., Hyde, L. J., Kalke, R.D., Rowe, T. (2006). Metazoan meiofauna abundance in relation to environmental variables in the northern Gulf of Mexico deep sea. DOI: 10.016/j.dsr.2006.05.012
- Begon, M., Townsend, C.R., Harper, J. L. (2006). *Ecology. From individual to ecosystems.* – Blackwell Publishing, Oxford.
- Bernhard, J. M., Buck K. R., Barry J. P. (2001). Monterey Bay cold-seep biota: assemblages, abundance and ultrastructure of living foraminifera. *Deep-Sea Res. I*, 48: 2233–2249.
- Bohrmann, G., Klapp, S. a., Kuhs, W. F., Mangir Murshed, M., Pape, T., Klein, H. Abegg, F. (2010). Microstructures of structure I and II gas hydrates from the Gulf of Mexico. *Marine and Petroleum Geology*, 27(1), 116–125. doi:10.1016/j.marpetgeo.2009.03.004
- Bohrmann, G., Schenck, S. (2004). RV SONNE Cruise Report SO174, OTEGA II, Balboa – Corpus Christi – Miami (1 October–12 November, 2003). GEOMAR Report No. 117,116 pp.
- Brüning, M., Sahling, H., MacDonald, I. R., Ding, F., Bohrmann, G. (2010). Origin, distribution, and alteration of asphaltites at Chapopote Knoll, Southern Gulf of Mexico. *Marine and Petroleum Geology*, 27(5), 1093–1106. doi:10.1016/j.marpetgeo.2009.09.005
- Brusca, Richard C. y Brusca, Gary J. (2003). *Invertebrates (2nd ed.)*. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates. ISBN 978-0-87893-097-5.
- Buck, K.R., Barry, J.P. (1998). Monterey bay cold seep infauna: quantitative comparison of bacterial mat meiofauna with non-seep control sites. *Cahiers de Biologie Marine* 39, 333–335.
- Canet, C., Prol-Ledesma, R. M., Escobar-Briones, E., Mortera-Gutiérrez, C., Lozano-Santa Cruz, R., Linares, C., Morales-Puente, P. (2006). Mineralogical and geochemical characterization of hydrocarbon seep sediments from the Gulf of Mexico. *Marine and Petroleum Geology*, 23(5), 605–619. doi:10.1016/j.marpetgeo.2006.05.002
- Cordes, E. E., Cunha, M. R., Galéron, J., Mora, C., Olu-Le Roy, K., Sibuet, M., Levin, L. (2010). The influence of geological, geochemical, and biogenic habitat heterogeneity on seep biodiversity. *Marine Ecology*, 31(1), 51–65.
- Coull, B.C, Ellison RL, Fleegeer JW, Higgins RP, Hope WD, Hummon WD, Rieger RM, Sterrer WE, Thiel H, Tietjen J.H. (1977). Quantitative estimates of meiofauna from the deep-sea off North Carolina, USA. *Marine Biology* 39: 233-240
- Danovaro, R., A. Tselepidis, A. Otegui, Della Croce N. (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: 367-400

- Danovaro, R, Fabiano M, Albertelli G, Dellacroce N. (1995). Vertical-distribution of meiobenthos in bathyal sediments of the eastern Mediterranean Sea - relationship with labile organic matter and bacterial biomasses. *Marine Ecology- Pubblicazioni Della Stazione Zoologica di Napoli I* 16: 103-116
- Ding, F., Spiess, V., Brüning, M., Fekete, N., Keil, H.,Bohrmann, G. (2008). A conceptual model for hydrocarbon accumulation and seepage processes around Chapopote asphalt site, southern Gulf of Mexico.
- Dragesco, J. (1960). Ciliés mésopsammiques littoraux. Systématique, morphologie, écologie. *Travaux de la Station Biologique de Roscoff*, 12: 1-356.
- Duineveld, G., M. S. S. Lavaleye, and E. M. Berghuis. (2004). Particle flux and food supply to a seamount cold-water coral community (Galicia Bank, NW Spain). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 277: 13–23.
- Escobar, E., Soto, L.A. (1997). Continental shelf benthic biomass in the western Gulf of Mexico. *Cont. Shelf. Res.*, 17 (6):585-604.
- Escobar. E., Signoret, M., Hernández D. (1999). Variación de la densidad de infauna bentic macrobentica en un gradiente batimétrico: oeste del Golfo de México. *Ciencias Marinas* 25(2):193-212.
- Escobar, E. (2004). Estado del conocimiento de las comunidades béticas en el Golfo de México. En: Caso, M., Pisanty, I., Ezcurra, E. *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*. Instituto Nacional de Ecología, México, pp. 199-244.
- Escobar, E. G., Díaz, C., Legendre, P. (2008). Meiofaunal community structure of the deep-sea Gulf of Mexico: Variability due to the sorting methods. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 55(24-26), 2627–2633. Doi:10.1016/j.dsr2.2008.07.012.
- Fabiano, M. y R. Danovaro. (1999). Meiofauna distribution and mesoscale variability in two sites of the Ross Sea (Antarctica) with contrasting food supply. *Polar Biology* 22: 115-123.
- Fenchel, T. (1968). The ecology of marine microbenthos. II. The food of marine benthic Ciliates. *Ophelia*, 5: 73-121
- Felbeck, H. (1981). Chemoautotrophic potential of the hydrothermal vent tube worm, *Riftia pachyptila* Jones (Vestimentifera) *Science*, N.Y. 213: 336 -338
- Flach E., Muthmbi, A., Heip, C. (2002). Meiofauna and macrofauna community structure in relation to sediment composition at the Iberian margin compared to the Goban Spur (NE Atlantic). *Progress in Oceanography* 52 (2-4), 433-457
- Gage, J.D., Tyler, P.A. (1991). *Deep-Sea Biology: A Natural History of Organisms at the Deep Sea Floor*. Cambridge University Press, Cambridge, 504 pp.
- Gaytán, A. (2009). *Munidopsis geyeri* Pequegnat & Pequegnat, 1970 asociado al volcán de asfalto (sur del Golfo de México) y su vinculación con las poblaciones del Atlántico. Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología. Tesis de Maestría
- Giere, O. (2009). *Meiobenthology: The microscopic fauna in aquatic sediments*. Springer-Verlang, Berlin, pp 422.

- Gooday, A.J, Pfannkuche O, Lambshead P. (1996). An apparent lack of response by metazoan meiofauna to phytodetritus deposition in the bathyal north-eastern Atlantic. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 76: 297-310
- Grandel, S., Rickert, D., Schlüter, M., Wallmann, K. (2000). Pore-water distribution and quantification of diffusive benthic fluxes of silicic acid, nitrate and phosphate in surface sediments of the deep Arabian Sea: *Deep-Sea Research II*, 47, 2707–2734
- Gross, T., Williams A.J., (1991). Characterization of deep-sea storms, pp. 281-301.
- Gutzmann, E., P. Martínez Arbizu, A. Rose y G. Veit-Köhler. (2004). Meiofauna communities along an abyssal depth gradient in the Drake Passage. *Deep-Sea Research II* 51:1617-1628.
- Guzman-Vega, M.A., Mello, M.R. (1999). Origin of oil in the Sureste Basin, Mexico. *AAPG Bulletin* 83 (7), 1068-1095.
- Hamilton, P. (1990). Deep Currents in the Gulf of Mexico. *Journal of Physical Oceanography*. doi:10.1175/1520-0485(1990)020<1087:DCITGO>2.0.CO;2
- Herman R., Dahms H. (1992). Meiofauna communities along a depth transect off Haley Bay (Weddell Sea – Antarctica). *Polar Biol* 12:313-320.
- Hofmann, E.E., Worley, S.J. (1986). An investigation of the circulation of the Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research* 91 (C12), 14 221-14 236.
- Iii, T., Oe, N. (2007). Cruise Plan : CHAPOPOTE III Cruise, 1–7.
- Jannasch, H.W., Wirsén, C.O. (1979). Chemosynthetic primary production at east Pacific sea floor spreading centers. *BioScience* 29, 592-598.
- Jensen, P., Aagaard, I., Burke, R.A., Dando, P., Jørgensen, N., Kuijpers, A., Laier, T., O’Hara, S., Schmaljohann, R. (1992). ‘Bubbling reefs’ on the Kattegat: submarine landscapes of carbonate-cemented rocks support a diverse ecosystem at methane seeps. *Marine Ecology Progress Series* 83, 103–112.
- Kojima, S. (2002). Deep-sea chemoautotrophy-based communities in the northwestern Pacific. *Journal of Oceanography* 58, 343–363.
- Koupriantchik, D., Hunt, S.P. (2005). Geomechanical modeling of salt diapirs: A field scale analysis for a 3D salt structure from the North Sea, Eurock, “Impact of human activity on the geological environment”
- Landers, S. C., Romano F., Stewart P., Ramroop S. (2012). A Multi-Year Survey of Meiofaunal Abundance From the Northern Gulf of Mexico Continental Shelf and Slope
- Levin, L.A., (2003). Oxygen minimum zone benthos: adaptation and community response to hypoxia. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, 41 pp. 1–45.
- Levin, L.A. (2005). Ecology of cold seep sediments: interactions of fauna with flow, chemistry and microbes. *Oceanography and Marine Biology* 43, 1–46.
- MacDonald, D.D. (1994). Development of an approach to assessment of sediment quality in Florida coastal waters. Report to Florida Department of Environmental Protection, Tallahassee, FL.

- MacDonald, I. R., Bohrmann, G., Escobar, E., Abegg, F., Blanchon, P., Blinova, V., de Faragó, M. (2004). Asphalt volcanism and chemosynthetic life in the Campeche Knolls, Gulf of Mexico. *Science (New York, N.Y.)*, 304(5673), 999–1002. doi:10.1126/science.1097154.
- MacDonald, I.R., Boland, G.S., Baker, J.S., Brooks, J.M., Kennicutt II, M.C., Bidigare, R.R. (1989). Gulf of Mexico hydrocarbon seep communities II. Spatial distribution of seep organisms and hydrocarbons at Bush Hill. *Marine Biology* 101, 235–247.
- Macgregor, D.S. (1993). Relationships between seepage, tectonics and subsurface petroleum reserves. *Mar Petrol Geol* 10:606–619
- MARUM. Center for Marine Environmental Sciences. (2014). http://wwwold.marum.de/en/METEOR_Cruise_M67_2a2b.html> Consultado 8 de Mayo de 2015.
- Menzies, R., George, R., Rowe, G. (1973). *Abyssal Environment and Ecology of the World Oceans* Wiley, Interscience, New York
- Millot, Claude. (1999). Circulation in the Western Mediterranean Sea. *Journal of Marine Systems* 20 1999 423–442
- Nehring, R. (1991). Oil and gas resources. Salvador, A. (Ed.), *The Geology of North America. The gulf of Mexico Basin*, Vol. J. The geological Society of America, USA, pp. 445-494.
- Nodder, S. D., L. C. Northcote. (2001). Episodic particulate fluxes at southern temperate mid-latitudes (42–45uS) in the Subtropical Front region, east of New Zealand. *Deep-Sea Res. I* 48: 833–864
- Olu, K., Lance, S., Sibuet, M., Hendry, P., Fiala-Dedioni, A., Dinert, A. (1997). Cold seep communities as indicators of fluid expulsion patterns through mud volcanoes seaward of the Barbados Accretionary Prism. *Deep-Sea Research I* 44, 811–841.
- Paull, C.K., Hecker, B., Commeau, R., Freeman-Lynde, R.P., Neumann, C., Corso, W.P., Golubic, S., Hook, J.E., Sikes, E., Curray, J. (1984). Biological communities at the Florida Escarpment resemble hydrothermal vent taxa. *Science* 226, 965–967.
- Paull, C.K., Twichell, D.C., Spiess, F.N., Curray, J.R. (1991). Morphological development of the Florida Escarpment: Observations on the generation of time transgressive unconformities in carbonate terrains. *Mar. Geol.*, 101, 181–201.
- Pequegnat, W.E. (1983). The ecological communities of the continental slope and adjacent regimes of the northern Gulf of Mexico. Report of contract AA851-CTI-12. Mineral Management Service, USA, 398 pp.
- Pequegnat, W. E., Gallaway, B. J., Pequegnat, L. H. (1990). Aspects of the Ecology of the Deep-water Fauna of the Our collections of the meiofauna and, 64, 45–64.
- Pfannkuche, O. (1993). Benthic response to the sedimentation of particulate organic matter at the BIOTRANS station, 47 degrees N, 20 degrees W. *Deep-Sea Research* 40: 135-149
- Portnova, D. A., Mokievsky, V. O., Hafliadason, H., Todt, K. (2014). Metazoan meiobenthos and nematode assemblages in the Nyegga Region of methane seepage (Norwegian Sea). *Russian Journal of Marine Biology*, 40(4), 255–265. doi:10.1134/S1063074014040075

- Raggi, L., Schubotz, F., Hinrichs, K.-U., Dubilier, N., Petersen, J. M. (2013). Bacterial symbionts of Bathymodiolus mussels and Escarpia tubeworms from Chapopote, an asphalt seep in the southern Gulf of Mexico. *Environmental microbiology*, 15(7), 1969–87. doi:10.1111/1462-2920.12051.
- Rathburn, A. E., L. A. Levin, A. Held, K. C. Lohmann. (2000). Benthic foraminifera associated with cold methane seeps on the northern California margin: ecology and stable isotopic composition. *Mar. Micropaleontol.*, 38: 247–266.
- Relexans, J.C., Deming JW, Dinét A, Gaillard JF, Sibuet M. (1996). Sedimentary organic matter and micro-meiobenthos with relation to trophic conditions in the northeast tropical Atlantic. *Deep-Sea Research* 43:1343-1368
- Remane, A. (1933). Verteilung und Organisation der benthonischen Mikrofauna der Kieler Bucht. *Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 21: 161-221.
- Roberts, H.H., McBride, R.A., Coleman, J.M. (1999). Outer shelf and slope geology of the Gulf of Mexico: an overview. In: Kumpf, H., Steidinger, K., Sherman, K. (Eds.). *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem*.
- Robinson, C.A., Bernhard, J.M., Levin, L.A., Mendoza, G.F., Blanks, J.K. (2004). Surficial hydrocarbon seep infauna from the Blake Ridge (Atlantic Ocean, 2150 m) and the Gulf of Mexico (690–2240 m). *PSZN: Marine Ecology* 25, 313–336.
- Rowe, G. T., Menzel W. David. Hole, W., Hole, W. (1991). Quantitative benthic samples from the deep Gulf of Mexico with some comments on the measurement of deep-sea biomass.
- Rowe, G. T. (1983). Biomass and production of the deep-sea benthos, p. 97-1 21. In G. T. Rowe [ed.], *The sea*. V. 8 Wiley
- Rowe, G. T., Kennicutt, M. C. (2002). Deepwater Program: Northern Gulf of Mexico Continental Slope habitat and Benthic Ecology. Year 2: Interim Report. U.S. Department of the interior, Minerals management service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, Louisiana. OCS Study MMS 2002-063. 158 pp.
- Salas de León, D.A., Monreal-Gómez, M.A. (1997). Circulación y estructura termohalina del Golfo de Mexico. En: Lavín, M.F. (Ed.), *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*, Monografía No. 3. Unión Geofísica Mexicana 99, pp. 183-199.
- Salvador, A. (1987). Late Triassic-Jurassic Paleogeography and Origin of Gulf of Mexico Basin, pp. 419-451.
- Salvador, A. (1991). Origin and development of the Gulf of Mexico basin. *The Geology of North America. The Gulf of Mexico Basin*, Vol. J. The geological Society of America, USA pp.389-444.
- Schubotz, F., Lipp, J. S., Elvert, M., Hinrichs, K. (2011). Stable carbon isotopic compositions of intact polar lipids reveal complex carbon flow patterns among hydrocarbon degrading microbial communities at the Chapopote asphalt volcano. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 75(16), 4399–4415. doi:10.1016/j.gca.2011.05.018
- Schubotz, F., Wilhelm, T., Gaytán, A., Zabel, M., Escobar, E., Kasten, S., Hinrichs, K. (2011). Geochemical investigations of asphalt seepage at the Campeche Knolls, Gulf of Mexico.

- Schwinghammer, P. (1981). Characteristic size distributions of integral benthic communities. *Can J Fish Aquat Sci* 38: 1255-1263
- Sen Gupta, B. K., Aharon P. (1994). Benthic foraminifera of bathyal hydrocarbon vents of the Gulf of Mexico: Initial report on communities and stable isotopes. *Geo-Mar. Lett.*, 14: 88–96.
- Shiller, A.M. (1999). An Overview of the marine chemistry of the Gulf of Mexico, in Kumpf, H, Steidinger, K., Sherman, K., (eds.), *The Gulf of Mexico large marine ecosystem*: Maiden, MA, Blackwell Science, 132-148.
- Shimanaga, M., H. Nomaki, K. Suetsugu, M. Murayama y H. Kitazato. (2007). Standing stock of deep-sea metazoan meiofauna in the Sulu Sea and adjacent areas. *Deep-Sea Research II* 54: 131-144.
- Shirayama, Y. (1984a). Vertical distribution of meiobenthos in the sediment profile in bathyal, abyssal and hadal deep sea systems of the Western Pacific. *Oceanologica Acta* 7: 123-129
- Shirayama, Y. (1984b). The abundance of deep-sea meiobenthos in the western Pacific in relation of environmental factors. *Oceanologica Acta* 7: 113-121
- Shirayama, Y., Ohta, S. (1990). Meiofauna in a Cold-Seep Community off Hatsushima, Central Japan, 226, 118–124.
- Sibuet, M. & Olu, K. (1998). Biogeography, biodiversity and fluid dependence of deep-sea cold-seep communities at active and passive margins. *Deep-Sea Research II* 45, 517–567.
- Sloan, E.D.D. (1990). *Clathrate Hydrates of Natural Gases*. New York: Marcel Dekker.
- Soetaert, K., Vanaverbeke, J., Heip, C., Herman, P.M.J., Middelburg, J.J., Sadee, A., Duineveld, G. (1997). Nematode distribution in ocean margin sediments of the Goban Spur (northeast Atlantic) in relation to sediment geochemistry. *Deep sea Research I* 44 (9-10), 1671-1683.
- Soltwedel, T., Pfannkuche, O., Thiel H (1996). The size structure of deep-sea meiobenthos in the north-eastern Atlantic: nematode size spectra in relation to environmental variables. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 76: 327-344
- Soltwedel, T. (1997). Meiobenthos distribution pattern in the tropical East Atlantic: indication for fractionated sedimentation of organic matter to the sea floor? *Marine Biology* 129: 747-756
- Soltwedel, T. (2000). Metazoan meiobenthos along continental margins: a review. *Progress in Oceanography* 46, 59–84.
- Stevenson, F.J., Cheng, C.-N. (1972). Organic geochemistry of the Argentine Basin sediments - carbon-nitrogen relationships and Quaternary correlations: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 36, 653–671.
- Sverdrup, H.U., Johnson, M.W., Fleming, R.H. (1942). *The Oceans, Their Physics, Chemistry, and General Biology*. New York: Prentice-Hall.
- Thiel, H. (1978). Benthos in upwelling regions. In: Boje R, Tomczak M (eds) *Upwelling Ecosystems*. Springer-Verlag, Berlin
- Thistle, D., J.E. Eckman. (1990). The effect of biologically produced structure on the benthic copepods of a deep-sea site. *Deep-Sea Research*, 37, pp. 541–554.

- Thistle, D. (1991). The deep-sea floor : An overview.
Tietjen, J. (1971). Ecology and distribution of deep-sea meiobenthos off North Carolina. *Deep-Sea Research* 18: 941-957
- Tietjen, H.H. (1992). Abundance and biomass of metazoan meiobenthos in the deep sea. Pp. 45-62. En: G.T.
- Tietjen, J.H., Lee, J.J. (1977). Feeding behaviour of marine Nematodes. En: COULL, B.C. (Ed.). *Ecology of marine benthos*. University of South Carolina Press, Columbia: 21-35.
- Tietjen, J.H. (1969). The ecology of shallow water meiofauna in two New England estuaries. *Oecologia*, 2: 251-291.
- Tselepides, A., N. Lampadariou. (2004). Deep-sea meiofaunal community structure in the Eastern Mediterranean: are trenches benthic hotspots? *Deep-Sea Research I* 51: 833-847.
- Van Gaever, S., Moodley L., de Beer D., Vanreusel A. (2006). Meiobenthos at the Arctic Håkon Mosby Mud Volcano, with a parental-caring nematode thriving in sulphide-rich sediments. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 321:143-155.
- Van Gaever, S., Olu, K., Derycke, S., Vanreusel, A. (2009). Metazoan meiofaunal communities at cold seeps along the Norwegian margin: Influence of habitat heterogeneity and evidence for connection with shallow-water habitats. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 56(5), 772–785. doi:10.1016/j.dsr.2008.12.015
- Vanhove, S., Wittoeck, J., Desmet, G., Vandenberghe, B., Herman, R.L., Bak, R., Nieuwland, G., Vosjan, J.H., Boldrin, A., Rabitti, S., Vincx, M. (1995). Deep-sea meiofauna communities in Antarctica - Structural-analysis and relation with the environment. *Marine Ecology Progress Series* 127: 65-76
- Veiga-Sánchez, M. P. (2008). La meiofauna intermareal de sustratos blandos de la ría do Barqueiro (Galiza). Universidad de Santiago de Compostela. Departamento de zoología y antropología física. Tesis Doctoral.
- Vincx, M., Bett, B.J, Dinert, A., Ferrero, T. (1994). Meiobenthos of the deep Northeast Atlantic. *Adv Mar Biol* 30:1–88
- Wieser, W. (1959). The effect of grain size on the distribution of small invertebrates inhabiting the Beaches of Puget Sound. *Limnol Oceanogr* 4: 181–194
- Wigley, R.L. y McIntyre, A.D. (1964). Some Quantitative Comparisons of Offshore Meiobenthos and Macrobenthos South of Martha's Vineyard. *Limnology and Oceanography*, Vol. 9, No. 4, Oct. 1964, 485-493.
- Whitney, J.A. (2002). Landscape evolution of the Five Islands of south Louisiana: scientific policy and salt dome utilization and management. *Geomorphology* 47 (2-4), 227-244.

Anexo I. Antecedentes de estudios de meiofauna en infiltraciones frías.

Año	Autor	Referencia	Contribución	Tipo de estudio	Área de estudio
1987	Montagna., <i>et al.</i>	14	Análisis comunitario comparativo entre una zona sin y con infiltración de hidrocarburos.	Ecológico	Isla Vista. Canal de Sta. Bárbara, U.S.A.
1988	Palmer., <i>et al.</i>	S/A	Análisis de la respuesta que tienen las poblaciones bénticas a disturbios naturales en un área de infiltración de petróleo.	Ecológico	Isla Vista. Canal de Sta. Bárbara, U.S.A.
1989	Montagna., <i>et al.</i>	3	Estudio de la distribución vertical de microbios y meiofauna en una infiltración natural de hidrocarburos.	Ecológico	Canal de Sta. Bárbara, U.S.A.
1990	Shirayama ., <i>et al.</i>	26	Comparación de estructuras comunitarias meiobénticas en una zona con influencia de infiltraciones frías.	Ecológico	Japón
1990	Bovine F.	5	Estudio ecológico de la meiofauna a distintas profundidades en el Mar Mediterráneo.	Ecológico	Mar Mediterráneo
1990	Montagna., <i>et al.</i>	6	Estudio ecológico en las comunidades de meiofauna en un sitio con abundantes depósitos de hidrocarburos.	Ecológico	California, cuenca de Santa María. U.S.A.
1997	Olu., <i>et al.</i>	16	Estudio ecológico en las comunidades de meiofauna en una zona con infiltración de metano.	Ecológico	Mar Caribe, Barbados.
1998	Sibuet M., <i>et al.</i>	27	Revisión mundial de comunidades asociadas a infiltraciones frías.	Ecológico Taxonómico	Nivel Mundial
2002	Danovaro R., <i>et al.</i>	9	Estructura comunitaria meiobentónica en la trinchera de Atacama.	Ecológico	Trinchera de Atacama, Pacífico Sur, Perú-Chile.
2006	Gaever S. V., <i>et al.</i>	31	Densidades de metazoarios meiobentónicos (nematodos) asociados a sedimento sulfuroso en un volcán de lodo.	Ecológico	Ártico Norte
2007	Sommer S., <i>et al.</i>	28	Estudio del efecto de las filtraciones de metano a partir de sedimentos que albergan los hidratos de gas poco profundos y el patrón de distribución de los organismos del meiobentos.	Ecológico	Cascadia, Oregon. U.S.A.
2009	Netto., <i>et al.</i>	15	Evaluación de la respuesta de comunidades meiobénticas a la descarga de lodo sintético en Brasil.	Ecológico	Cuenca de Campos, Brasil.
2009	Gaever., <i>et al.</i>	29	Se estimó el grado de heterogeneidad de las comunidades meiobentónicas en una variedad de hábitats a lo largo del canal del Congo.	Ecológico	Golfo de Nueva Guinea.
2009	Gaever., <i>et al.</i>	30	Examino la variación espacial y patrones de distribución del meiobentos en distintos hábitats asociados a infiltraciones.	Ecológico	Margen de Noruega.
2009	Cordes., <i>et al.</i>	8	Evaluación de la heterogeneidad béntica bajo la influencia de distintos tipos de infiltraciones frías a lo largo del mundo.	Ecológico	Nivel Mundial
2010	Gollner., <i>et al.</i>	22	Estudio realizado para determinar la relación entre las comunidades faunísticas y una zona activa en el lecho marino de Turquía.	Ecológico Fisicoquímico	Falla norte de Anatolian, mar de Marmara, Turquía.
2010	Gollner., <i>et al.</i>	11	Estudio de comunidad meiofaunística en ventilas hidrotermales de mar profundo.	Ecológico	Pacífico Este
2011	Itoh M., <i>et al.</i>	12	Abundancia y biomasa del meiobentos y la relación con los factores ambientales en dos zonas en Japón donde hay condiciones oligotróficas y	Ecológico	Trincheras de Kuril y Ryukyu, Japón.

			eutróficas.		
2014	Portanova., <i>et al.</i>	18	Estudio ecológico de nematodos y otros metozoarios meiobénticos en una infiltración de metano.	Ecológico	Mar de Noruega, Noruega.

Anexo II. Antecedentes de estudios de meiofauna en el Golfo de México

Año	Autor	Referencia	Contribución	Tipo de estudio
1983	Powell., <i>et al.</i>	20	Estudio realizado para determinar a los organismos meiobentónicos que vive en una zona con infiltración de sulfuro, al norte del golfo de México.	Ecológico
1986	Powell., <i>et al.</i>	19	Estudio realizado en infiltración de metano, al norte del golfo de México, donde se examina la importancia de disponibilidad de alimento para organismos meiobentónicos.	Ecológico
1989	Murrell., <i>et al.</i>	35	En Sigsbee descripción de abundancia de meiofauna en relación con las variables ambientales.	Ecológico
1990	Pequegnat., <i>et al.</i>	17	Presenta algunos aspectos de la ecología de los invertebrados bentónicos en el norte al Golfo de México.	Ecológico
1993	López M.	34	Estudios de meiofauna en el sureste y el occidental, Golfo de México.	Taxonómico
1997	Escobar-Briones., <i>et al.</i>	33	Estudio comparativo de la densidad y biomasa de la meiofauna distribuida en el talud continental superior de las zonas oeste y sur del Golfo de México, frente a la costa de Tamaulipas y Yucatán.	Ecológico
2004	Baguley., <i>et al.</i>	2	Estructura y funciones de las comunidades de meiofauna al norte del golfo de México.	Ecológico
2004	Robinson., <i>et al.</i>	23	Identificación y enumeración de comunidades bénticas en cinco tipos de hábitats con infiltraciones y dos sin infiltraciones en el Blake Ridge en la costa suroeste de los Estados Unidos.	Ecológico
2008	Bernhard., <i>et al.</i>	4	Composición, densidad y biomasa de foraminíferos bénticos. Norte del golfo de México.	Ecológico
2008	Escobar-Briones., <i>et al.</i>	10	Estudio que comparó la clasificación especímenes usando distintos métodos, en dos zonas profundas al el suroeste del Golfo de México.	Ecológico
2008	Peterson., <i>et al.</i>	25	Evaluaciones ecológicas con respecto a los derrames de hidrocarburo donde la macrofauna y la meiofauna responden a esta contaminación en el sedimento.	Ecológico
2008	Rowe G., <i>et al.</i>	24	Se determinó la estructura y función de la biota del fondo marino en el talud continental y la llanura abisal del golfo de México con el propósito de tener un mejor entendimiento de como la explotación de esta zona puede afectar el ecosistema y a sus habitantes.	Ecológico
2008	Baguley., <i>et al.</i>	1	Estudio que determina la importancia de la meiofauna en la diagénesis de la materia orgánica particulada. Determinación de biomasa y respiración.	Metabólico
2007	Cordes., <i>et al.</i>	7	Estudio de organismos asociados a tres infiltraciones frías en el Golfo de México y comparación con la fauna del Atlántico Ecuatorial.	Ecológico
2010	Riavitz L.	21	Estudio de la abundancia, diversidad y estructura de la comunidad de mejillón y de gusanos tubícolas asociado al meiobentos. Atwater Valley, Norte del Golfo de México.	Ecológico
2012	Landers., <i>et al.</i>	32	Estudio de tres años para documentar la meiofauna del Golfo de México Norte.	Ecológico
2013	Montanga., <i>et al.</i>	13	Evaluación ecológica del bentos después del derrame de petróleo en Abril de 2010.	Ecológico

Referencias

1. Baguley, Jeffrey G., Montagna, P. a., Hyde, L. J., Rowe, G. T. (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(24-26), 2607–2616. doi:10.1016/j.dsr2.2008.07.010
2. Baguley, Jeffrey G., Hyde L.J., Montagna P. (2004). A semi-automated digital microphotographic approach to measure meiofaunal biomass. *Limnology and Oceanography: Methods* 2: 181-190
3. Montagna, P., 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, 657–680. doi:10.1357/002224089785076226
4. Bernhard, J. M., Sen, B. K., Baguley, J. G. (2008). Deep-Sea Research II Benthic foraminifera living in Gulf of Mexico bathyal and abyssal sediments : Community analysis and comparison to metazoan meiofaunal biomass and density, 55, 2617–2626. doi:10.1016/j.dsr2.2008.07.011
5. Bovine, F. D. E. (1990). Quantitative distribution of deep-sea meiobenthos in the northwestern Mediterranean (Gulf of Lions), 10, 1123–1145.
6. Britain, G., Press, P. (1991). Meiobenthic communities of the Santa Maria Basin on the California continental shelf, 11(11), 1355–1378.
7. Cordes, E. E., Carney, S. L., Hourdez, S., Carney, R. S., Brooks, J. M., Fisher, C. R. (2007). Cold seeps of the deep Gulf of Mexico : Community structure and biogeographic comparisons to Atlantic equatorial belt seep communities, 54, 637–653. doi:10.1016/j.dsr.2007.01.001
8. Cordes, E. E., Cunha, M. R., Galéron, J., Mora, C., Olu-Le Roy, K., Sibuet, M., Levin, L. A. (2010). The influence of geological, geochemical, and biogenic habitat heterogeneity on seep biodiversity. *Marine Ecology*, 31(1), 51–65. doi:10.1111/j.1439-0485.2009.00334.x
9. Danovaro, R., Gambi, C., Croce, N. Della. (2002). Meiofauna hotspot in the Atacama Trench, eastern South Pacific Ocean, 49, 843–857.
10. Escobar-briones, E. G., D, C. (2008). Deep-Sea Research II Meiofaunal community structure of the deep-sea Gulf of Mexico : Variability due to the sorting methods, 55, 2627–2633. doi:10.1016/j.dsr2.2008.07.012
11. Gollner, S., Riemer, B., Martínez Arbizu, P., Le Bris, N., Bright, M. (2010). Diversity of meiofauna from the 9°50'N East Pacific rise across a gradient of hydrothermal fluid emissions. *PLoS one*, 5(8). doi:10.1371/journal.pone.0012321
12. Itoh, M., Kawamura, K., Kitahashi, T., Kojima, S., Katagiri, H., Shimanaga, M. (2011). Bathymetric patterns of meiofaunal abundance and biomass associated with the Kuril and Ryukyu trenches, western North Pacific Ocean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 58(1), 86–97. doi:10.1016/j.dsr.2010.12.004
13. Montagna, P., Baguley, J. G., Cooksey, C., Hartwell, I., Hyde, L. J., Hyland, J. L., Rhodes, A. C. E. (2013). Deep-sea benthic footprint of the deepwater horizon blowout. *PLoS one*, 8(8), e70540. doi:10.1371/journal.pone.0070540
14. Montagna, P. A., Bauer, J. E., Toal, J., Hardin, D., Spies, R. B. (1987). Temporal variability and the relationship between benthic meiofaunal and microbial populations of a natural coastal petroleum seep, 761–789.
15. Netto, S. a., Gallucci, F., Fonseca, G. (2009). Deep-sea meiofauna response to synthetic-based drilling mud discharge off SE Brazil. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 56(1-2), 41–49. doi:10.1016/j.dsr2.2008.08.018
16. Olu, K., Lanc, S., Sibuet, M., Fiala-medioni, A., Dinetj, A. (1997). Cold seep communities as indicators of fluid expulsion patterns through mud volcanoes seaward of the Barbados accretionary prism, 44(5).
17. Pequegnat, W. E., Gallaway, B. J., Pequegnat, L. H. (1990). Aspects of the Ecology of the Deep-water Fauna of the our collections of the meiofauna and, 64, 45–64.
18. Portnova, D. a., Mokievsky, V. O., Hafliadason, H., Todt, K. (2014). Metazoan meiobenthos and nematode assemblages in the Nyegga Region of methane seepage (Norwegian Sea). *Russian Journal of Marine Biology*, 40(4), 255–265. doi:10.1134/S1063074014040075
19. Powell, E. N., Bright, T. J., Brooks, J. M. (1986). T h e effect of sulfide and an increase food supply on the meiofauna and macrofauna at the East Flower Garden brine seep, 82, 57–82.
20. Powell, E. N., Bright, T. J., Woods, A., Gittings, S. (1983). Meiofauna and the thiobios in the east flower garden brine seep. Department of Oceanography, Texas A&M University; College Station, Texas 77843, USA.
21. Riavitz, L. (2010). Epizooic meiobenthic community structure associated with tubeworm and mussel aggregations at deep-sea cold seeps in the northern Gulf of Mexico Zusammensetzung von epizooischen Meiobenthos- Lebensgemeinschaften assoziiert mit 22. Röhrenwurm- und Muschelaggregationen an den Kalten Quellen der Tiefsee im nördlichen Golf von Mexiko Laura Riavitz, (April).

22. Ritt, B., Sarrazin, J., Caprais, J.-C., Noël, P., Gauthier, O., Pierre, C., Desbruyères, D. (2010). First insights into the structure and environmental setting of cold-seep communities in the Marmara Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 57(9), 1120–1136. doi:10.1016/j.dsr.2010.05.011
23. Robinson, C. A., Bernhard, J. M., Levin, L. A., Guillermo, F., Blanks, J. K. (2004). Surficial Hydrocarbon Seep Infauna from the Blake Ridge (Atlantic Ocean , 2150 m) and the Gulf of Mexico (690 – 2240 m), 25(4), 313–336.
24. Rowe, G. T., Kennicutt, M. C. (2008). Introduction to the Deep Gulf of Mexico Benthos Program. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 55(24-26), 2536–2540. doi:10.1016/j.dsr2.2008.09.002
25. Rowe, G. T., Wei, C., Nunnally, C., Haedrich, R., Montagna, P., Baguley, J. G., Deming, J. W. (2008). Deep-Sea Research II Comparative biomass structure and estimated carbon flow in food webs in the deep Gulf of Mexico, 55, 2699–2711. doi:10.1016/j.dsr2.2008.07.020
26. Shirayama, Y., Ohta, S. (1990). Meiofauna in a Cold-Seep Community off Hatsushima, Central Japan, 226, 118–124.
27. Sibuet, M., Olu, K. (1998). Biogeography , biodiversity and fluid dependence of deep-sea cold-seep communities at active and passive margins, 45.
28. Sommer, S., Gutzmann, E., Pfannkuche, O. (2007). Sediments hosting gas hydrates : oases for metazoan meiofauna, 337, 27–37.
29. Van Gaever, S., Galéron, J., Sibuet, M., Vanreusel, A. (2009). Deep-sea habitat heterogeneity influence on meiofaunal communities in the Gulf of Guinea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 56(23), 2259–2269. doi:10.1016/j.dsr2.2009.04.008
30. Van Gaever, S., Olu, K., Derycke, S., Vanreusel, A. (2009). Metazoan meiofaunal communities at cold seeps along the Norwegian margin: Influence of habitat heterogeneity and evidence for connection with shallow-water habitats. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 56(5), 772–785. doi:10.1016/j.dsr.2008.12.015
31. Van Gaever, S., Moodley L., de Beer D., Vanreusel A. (2006). Meiobenthos at the Arctic Håkon Mosby Mud Volcano, with a parental-caring nematode thriving in sulphide-rich sediments. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 321:143-155.
32. Survey, M., From, M. A., Gulf, N. (2012). A Multi-Year Survey of Meiofaunal Abundance From the Northern Gulf of Mexico Continental Shelf and Slope, 2012, 20–29.
33. Escobar E., M. Lopez-, L.A. Soto, M. Signore. (1997) Density and biomass of the meiofauna of the upper continental slope into two regions of the Gulf of Mexico.
34. Lopez M. (1996). Meiofauna de dos ambientes: terrígeno (Tamaulipas) y carbonatado (Yucatán) del margen continental en el Golfo de México.
35. Murrell M.C., Fleeger J.W. (1989) Meiofauna abundance on the Gulf of Mexico continental shelf affected by hipoxia *Cont. shelf Res.* 9: 1049-1062.

**Anexo III. Tabla de Riquezas por estación, réplica y nivel.
R (Replica) Prom. (Promedio) y Desv. Est. (Desviación Estándar)**

Nivel 1	10606	10612	10613	10614	10619	10625
R1	1	3	7	1	12	1
R2	3	3	5	4	8	1
R3	4	3			9	1
R4	3	3				
R5		9				
Prom.	2.75	4.2	6	2.5	9.66	1
Desv. Est.	1.25	2.68	1.41	2.12	2.08	0
Nivel 2	10606	10612	10613	10614	10619	10625
R1	1	3	4	4	3	1
R2	2	3	5	4	2	1
R3	2	3			2	1
R4	3	3				
R5						
Prom.	2	3	4.5	4	2.33	1
Desv. Est.	0.81	0	0.70	0	0.57	0
Nivel 3	10606	10612	10613	10614	10619	10625
R1	0	2		3	2	1
R2	0	1		4	3	0
R3	1	2			2	0
R4	0	2				
R5						
Prom	0.25	1.75		3.5	2.33	0.33
Desv. Est.	0.5	0.5		0.70	0.57	0.57

Anexo IV. Tabla de abundancia por taxa y estación.

TAXA (nombre común)	Abreviatura	10606	10612	10613	10614	10619	10625	Total
Foraminífero (Allogromiidae)	All	0	2	0	0	579	0	581
Nemátodo	Nem	80	948	2881	181	1241	57	5388
Nemátodo (<i>Desmoscolex</i>)	Des	6	14	6	3	34	2	65
Kinorrinco	Kin	0	0	2	3	0	0	5
Anélido	Ane	0	5	0	0	3	0	8
Poliqueto	Pol	2	3	24	5	11	0	45
Bivalvo	Biv	0	1	0	0	3	0	4
Gasterópodo (<i>Phymorrhynchus</i>)	Phy	0	0	0	0	7	0	7
Gasterópodo (Skeneidae)	Ske	0	0	0	0	1	0	1
Copépodo	Har	21	59	210	29	967	0	1286
Ostrácodo	Ost	1	4	4	1	12	0	22
Cumáceo	Cum	0	0	0	0	5	0	5
Isópodo	Iso	0	0	2	3	3	0	8
Anfípodo	Amp	0	2	1	0	0	0	3
Ácaro	Aca	0	1	1	0	2	0	4
Briozoo	Bry	0	1	0	0	0	0	1
Total		110	1040	3131	225	2868	59	7433

Anexo V. Densidades (ind m⁻²) (Ln) por nivel y taxa.

Ln del promedio de la
densidad ind. m⁻². Nivel 1

Abreviatura (nombre común)	10606	10612	10613	10614	10619	10625
All	0	5.203017187	0	0	11.38198808	0
Nem	8.776054825	9.385057253	12.38649845	9.232812961	11.44717405	7.965124609
Des	5.426150738	6.589297798	6.524765693	6.524765693	8.547047096	5.713832811
Kin	0	0	5.426138738	0	0	0
Ane	0	6.119307919	0	0	6.119307919	0
Pol	4.733003557	5.203017187	7.728737031	5.426138738	7.418582903	0
Biv	0	4.509870006	0	0	6.119307919	0
Phy (Gasterópodo sp.1)	0	0	0	0	6.966599493	0
Ske (Gasterópodo sp.2)	0	0	0	0	5.020717629	0
Har	7.566216902	7.400229542	10.33142558	7.911056388	11.75050969	0
Ost	4.733003557	5.896164367	6.812444099	0	7.50559128	0
Cum	0	0	0	0	6.406978991	0
Iso	0	0	6.119307919	0	5.713831811	0
Amp	0	5.203017187	0	0	0	0
Aca	0	4.509870006	5.426138738	0	5.713831811	0
Bry	0	4.509870006	0	0	0	0

Ln del promedio de la
densidad ind. m⁻². Nivel 2

Abreviatura (nombre común)	10606	10612	10613	10614	10619	10625
All	0	0	0	0	0	0
Nem	5.849964985	9.390924309	11.75095763	8.367661457	10.16253781	7.896616704
Des	4.933674253	5.339139361	5.339139361	0	0	0
Kin	0	0	4.240527072	5.339139361	0	0
Ane	0	0	0	0	0	0
Pol	3.547379892	3.547379892	6.879584402	4.933674253	0	0
Biv	0	0	0	0	0	0
Phy (Gasterópodo sp.1)	0	0	0	0	0	0
Ske (Gasterópodo sp.2)	0	0	0	0	0	0
Har	4.933674253	6.725433722	8.558015186	6.543112165	8.981805972	0
Ost	0	0	0	4.240527072	0	0
Cum	0	0	0	0	4.677740879	0
Iso	0	0	0	0	0	0
Amp	0	0	4.240527072	0	0	0
Aca	0	0	0	0	0	0
Bry	0	0	0	0	0	0

Ln de la media de la
densidad ind. m⁻². Nivel 3

Abreviatura (nombre común)	10606	10612	10614	10619	10625
All	0	0	0	0	0
Nem	6.400011322	9.704358877	8.544592166	10.62316149	7.242690236
Des	0	0	0	0	0
Kin	0	0	0	0	0
Ane	0	0	0	0	0
Pol	0	0	4.933674253	0	0
Biv	0	0	0	0	0
<i>Phy</i> (Gasterópodo sp.1)	0	0	0	0	0
<i>Ske</i> (Gasterópodo sp.2)	0	0	0	0	0
Har	0	6.380593236	6.186437221	8.70309257	0
Ost	0	0	0	0	0
Cum	0	0	0	0	0
Iso	0	0	5.339139361	4.677740879	0
Amp	0	0	0	0	0
Aca	0	0	0	0	0
Bry	0	0	0	0	0

Anexo VI. Biomosas promedio por nivel y taxa.

Promedio de biomasa mg C m⁻².

Nivel 1

Abreviatura (nombre común)	10606	10612	10613	10614	10619	10625
All	0	0	0	0	0	0
Nem	0.0519324	0.004545508	0.00214798	0.00224125	0.000219	0.00141714
Des	0.02251937	0.03047619	0.02065755	0.02057143	0.007678	0.00992
Kin	0	0	0	0	0	0
Ane	0	0.00647619	0	0	0.056871	0
Pol	0.153	0.036830491	0.0202533	0.13932925	0.003236	0
Biv	0	0.24	0	0	0.034444	0
<i>Phy</i> (Gasterópodo sp.1)	0	0	0	0	0.009387	0
<i>Ske</i> (Gasterópodo sp.2)	0	0	0	0	0.03622	0
Cop	0.06106194	0.025042301	0.0046044	0.08996842	0.000249	0
Ost	0.01280769	0.08909699	0.00299326	0	0.007792	0
Cum	0	0	0	0	0	0
Iso	0	0	0	0	0	0
Amp	0	0.057243816	0	0	0.015998	0
Aca	0	0.068837209	0.00141853	0	0	0
Bry	0	0	0	0	0	0

Promedio de biomasa mgC m⁻².

Nivel 2

Abreviatura (nombre común)	10606	10612	10613	10614	10619	10625
All	0	0	0	0	0	0
Nem	0.1296	0.00018328	0.00094721	0.00545433	7.0391E-05	0.000714499
Des	0.09818182	0.00832	0.03388235	0	0	0
Kin	0	0	0	0	0	0
Ane	0	0	0	0	0	0
Pol	0.00161336	0.002295	0.01515833	0.02324051	0	0
Biv	0	0	0	0	0	0
<i>Phy</i> (Gasterópodo sp.1)	0	0	0	0	0	0
<i>Ske</i> (Gasterópodo sp.2)	0	0	0	0	0	0
Cop	0.0999	0.00128589	0.00291576	0.07891694	0.00021587	0
Ost	0	0	0	0.02049231	0	0
Cum	0	0	0	0	0.00279	0
Iso	0	0	0	0	0	0
Amp	0	0	0.0050625	0	0	0
Aca	0	0	0	0	0	0
Bry	0	0	0	0	0	0

Promedio de biomasa mgC m⁻².

Nivel 3

Abreviatura (nombre común)	10606	10612	10614	10619	10625
All	0	0	0	0	0
Nem	0.02075676	0.00057017	0.00047778	0.0001493	0.00013972
Des	0	0	0	0	0
Kin	0	0	0	0	0
Ane	0	0	0	0	0
Pol	0	0	0.00296129	0	0
Biv	0	0	0	0	0
<i>Phy</i> (Gasterópodo sp.1)	0	0	0	0	0
<i>Ske</i> (Gasterópodo sp.2)	0	0	0	0	0
Cop	0	0.00124342	0.00405116	0.00399155	0
Ost	0	0	0	0	0
Cum	0	0	0	0	0
Iso	0	0	0	0	0
Amp	0	0	0	0	0
Aca	0	0	0	0	0
Bry	0	0	0	0	0

Anexo VII. Matriz de similitud por estación, índice de Bray-Curtis.

	10606	10612	10613	10614	10619	10625
10606	*	19.1304	6.788	63.8806	7.3875	69.8225
10612	*	*	49.005	34.3083	52.9683	10.737
10613	*	*	*	13.2896	49.1749	3.6991
10614	*	*	*	*	14.355	41.5493
10619	*	*	*	*	*	4.0314
10625	*	*	*	*	*	*

Matriz de similitud, índice Bray-Curtis por niveles.

Nivel 1

	10606	10612	10613	10614	10619	10625
10606	*	61.6601	12.1118	86.3309	7.12	42.4242
10612	*	*	22.9603	51.6949	14.8601	21.4286
10613	*	*	*	9.5987	46.5242	3.4119
10614	*	*	*	*	5.6118	51.2195
10619	*	*	*	*	*	1.9681
10625	*	*	*	*	*	*

Nivel 2

	10606	10612	10613	10614	10619	10625
10606	*	9.6203	1.8557	30.9278	8.3582	45.4545
10612	*	*	32.4771	32.1586	76.5896	12.4688
10613	*	*	*	7.5038	28.1627	2.5694
10614	*	*	*	*	36.5482	48.5437
10619	*	*	*	*	*	14.6628
10625	*	*	*	*	*	*

Nivel 3

	10606	10612	10614	10619	10625
10606	*	5.1793	26.2626	5.7522	100
10612	*	*	28.1739	85.9914	5.1793
10614	*	*	*	31.2381	26.2626
10619	*	*	*	*	5.7522
10625	*	*	*	*	*

Anexo VIII. Parámetros estadísticos granulométricos.

Promedio gráfico (Mz), desviación estándar gráfica inclusiva (ϕ_i), grado de asimetría gráfica (SK_i) y curtosis gráfica (K_G) por nivel y estación.

Nivel 1

Promedio gráfico (media):

$$Mz = \phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84} / 3 = \text{Limos}$$

$$\text{Desviación estándar gráfica intrusiva } \phi_i = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6} \quad \text{Mal clasificada}$$

$$\text{Grado de asimetría gráfica; } SK_i = \frac{\phi_{16} - \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

10606: asimétrico hacia los lados finos

10612: asimétrico hacia los lados finos

10613: simétrico

10614: simétrico

10619: asimétrico hacia los lados gruesos

10625: simétrico

$$\text{Curtosis gráfica; } K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44 (\phi_{75} - \phi_{25})} \quad \text{mesocúrtico}$$

Nivel 2

Promedio gráfico (media):

$$Mz = \phi 16 + \phi 50 + \phi 84 / 3 = \text{Limos y arcillas}$$

$$\text{Desviación estándar gráfica intrusiva } \phi_1 = \frac{\phi 84 - \phi 16}{4} + \frac{\phi 95 - \phi 5}{6.6} = \text{Mal clasificado}$$

$$\text{Grado de asimetría gráfica; } SK_1 = \frac{\phi 16 - \phi 84 - 2\phi 50}{2(\phi 84 - \phi 16)} + \frac{\phi 5 + \phi 95 - 2\phi 50}{2(\phi 95 - \phi 5)}$$

10606: simétrico

10612: simétrico

10613: simétrico

10614: simétrico

10619: asimétrico hacia los lados gruesos

$$\text{Curtosis gráfica; } Kg = \frac{\phi 95 - \phi 5}{2.44 (\phi 75 - \phi 25)} \text{ mesocúrtico}$$

Nivel 3

Promedio gráfico (media):

$$Mz = \phi 16 + \phi 50 + \phi 84 / 3 = \text{Limos}$$

$$\text{Desviación estándar gráfica intrusiva } \phi_1 = \frac{\phi 84 - \phi 16}{4} + \frac{\phi 95 - \phi 5}{6.6} = \text{Mal clasificado}$$

$$\text{Grado de asimetría gráfica; } SK_1 = \frac{\phi 16 - \phi 84 - 2\phi 50}{2(\phi 84 - \phi 16)} + \frac{\phi 5 + \phi 95 - 2\phi 50}{2(\phi 95 - \phi 5)}$$

10606: simétrico

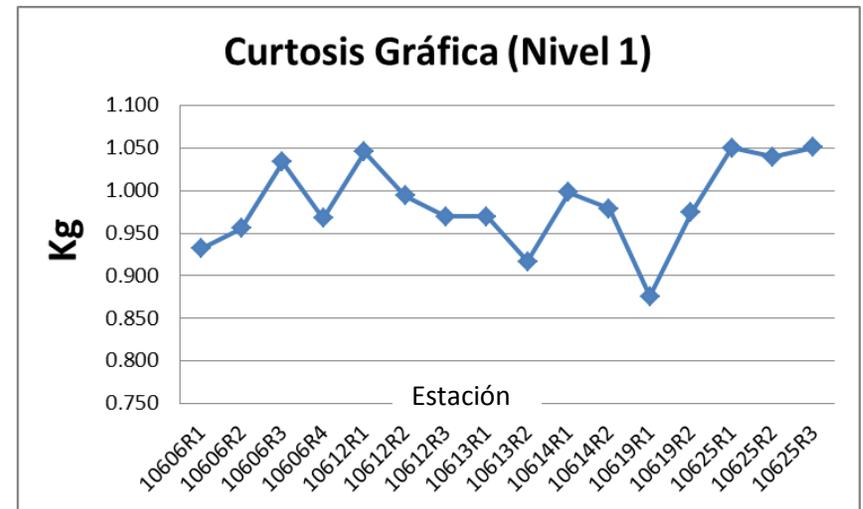
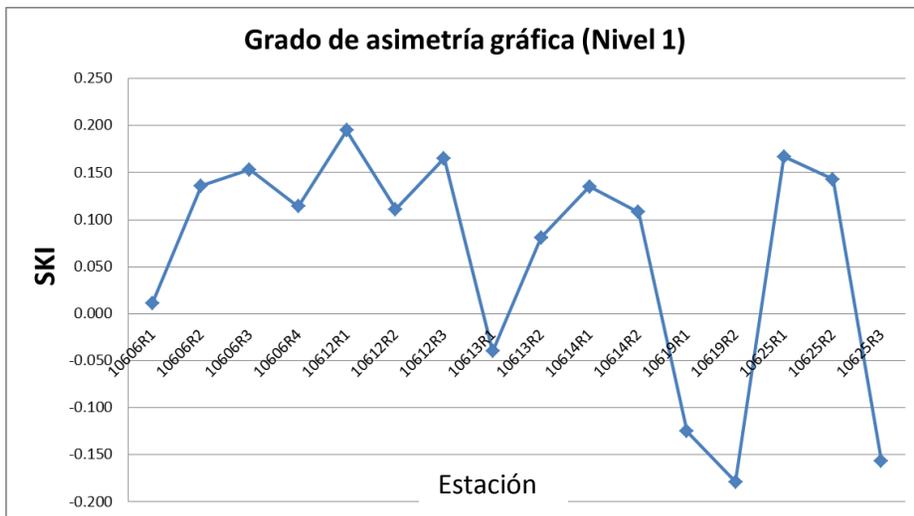
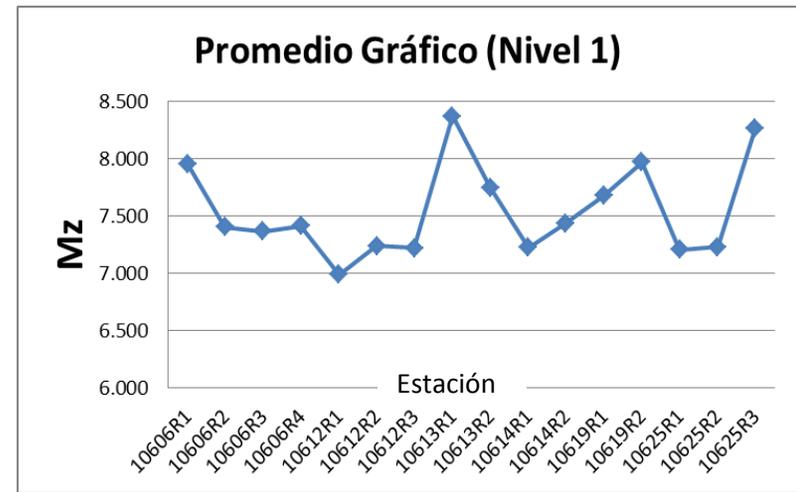
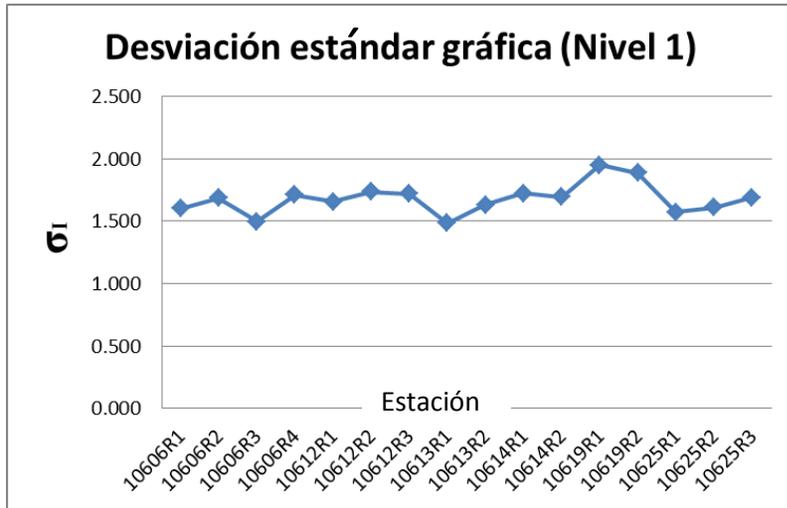
10612: simétrico

10614: simétrico

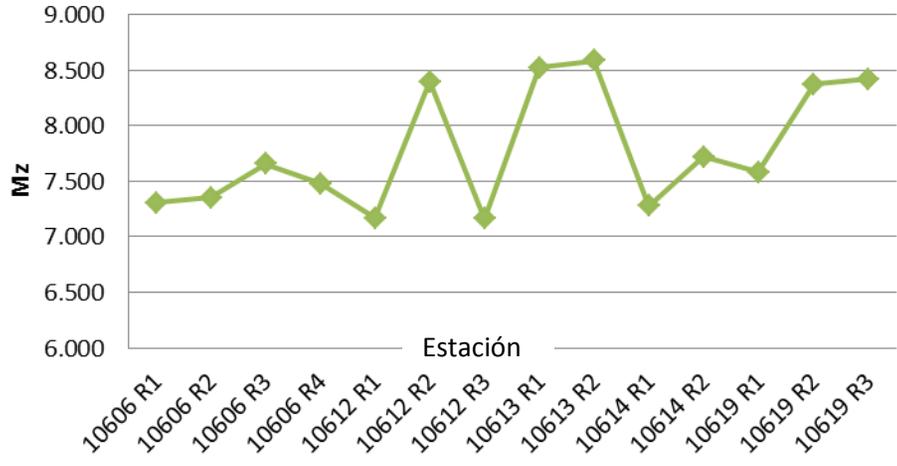
10619: simétrico

$$\text{Curtosis gráfica; } Kg = \frac{\phi 95 - \phi 5}{2.44 (\phi 75 - \phi 25)} \text{ mesocúrtico}$$

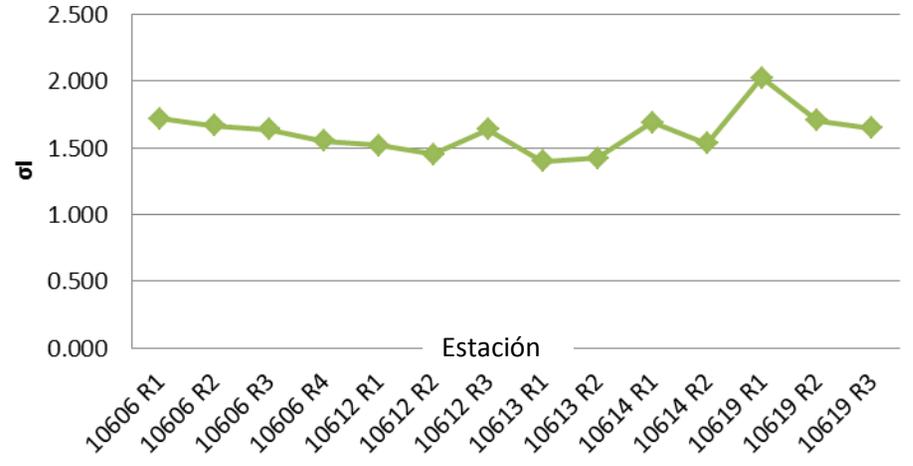
Anexo IX. Gráficas de los parámetros estadísticos ambientales.



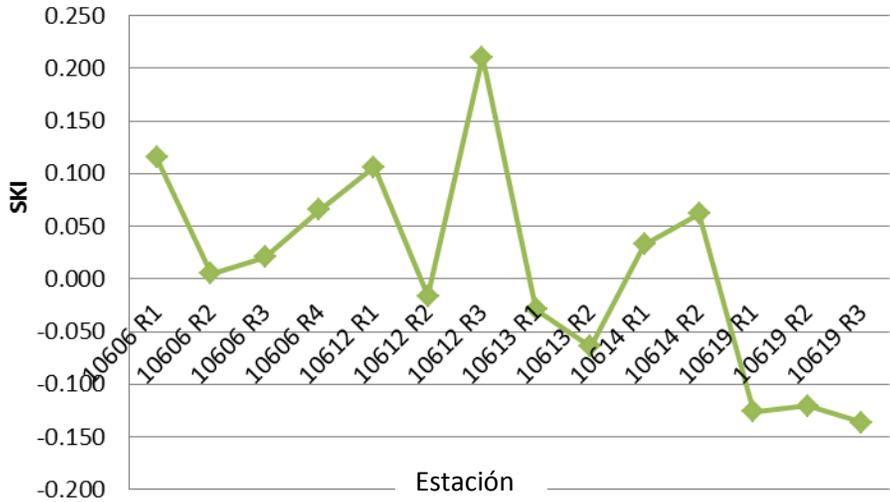
Promedio gráfico (Nivel 2)



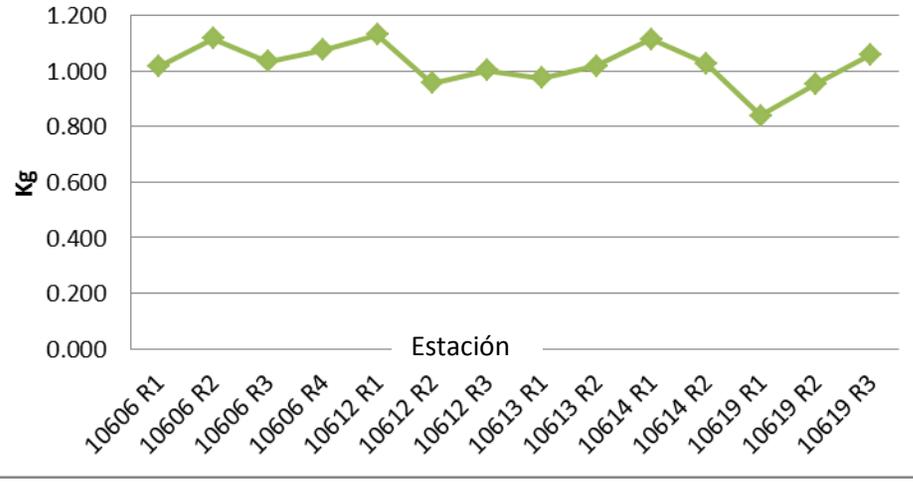
Desviación estándar gráfica (Nivel2)



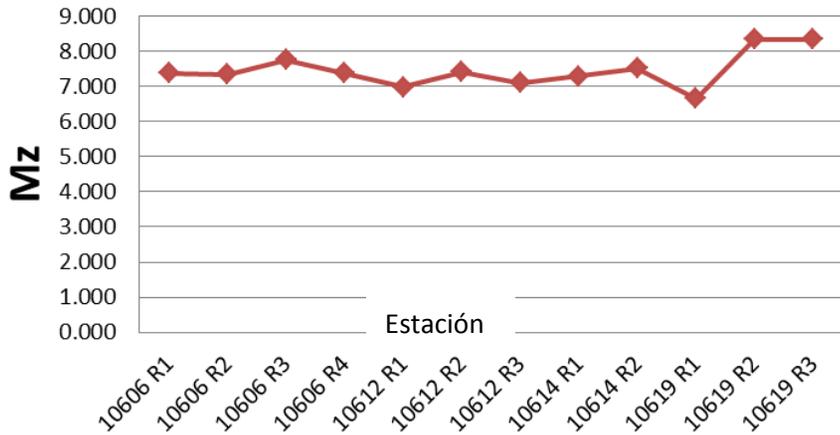
Grado de asimetría gráfica (Nivel 2)



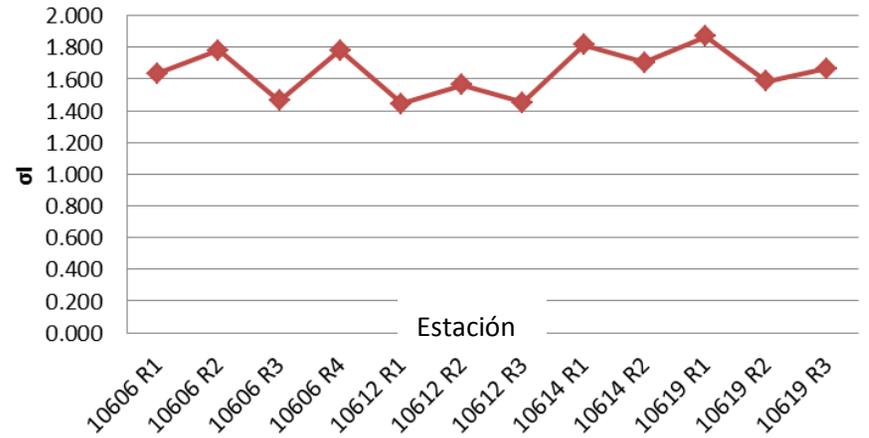
Curtosis gráfica (Nivel 2)



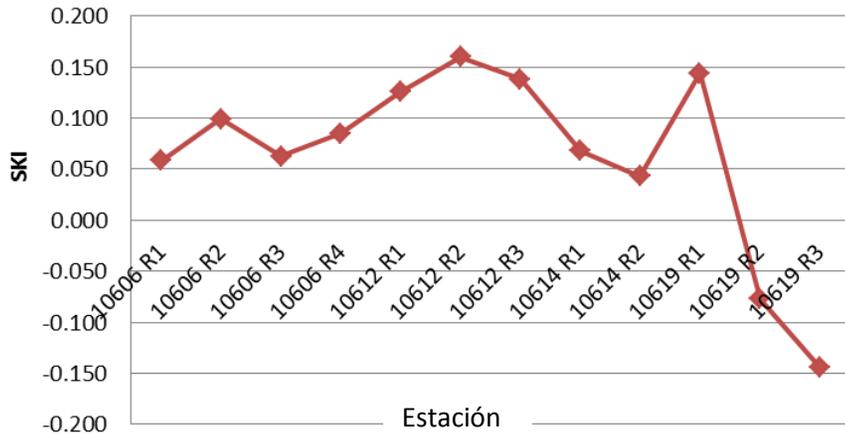
Promedio gráfico (Nivel 3)



Desviación estándar gráfica (Nivel 3)



Grado de asimetría gráfica (Nivel 3)



Curtosis gráfica (Nivel 3)

