



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA**

**MACROFAUNA BENTÓNICA DE SEDIMENTOS ASOCIADOS A LA ACTIVIDAD HIDROTHERMAL  
E INFILTRACIONES DE METANO: CUENCA DE GUAYMAS Y MARGEN DE SONORA**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS**

Biología Marina

PRESENTA:

**CARMEN VICTORIA SUAZO YAMALLEL**

**TUTORA PRINCIPAL:**

Dra. Elva Escobar-Briones, ICML UNAM

**COMITÉ TUTOR:**

Dr. José Luis Carballo Cenizo, ICML Mazatlán

Dra. Rosa María Prol Ledesma, I. Geofísica

Dr. Carlos Mortera Gutiérrez, I. Geofísica

Dr. Samuel E. Gómez Noguera, ICML-Maz

**ASESOR EXTERNO:**

Dr. Pablo Hernandez Alcántara, ICML UNAM

**MÉXICO, CD. MX., SEPTIEMBRE, 2023**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



**“Macrofauna bentónica de sedimentos asociados a la actividad hidrotermal e infiltraciones de metano: Cuenca de Guaymas y Margen de Sonora”**

Alumna: C. Victoria Suazo-Yamallel

Directora de Tesis: Dra. Elva Escobar-Briones

Comité tutorial:       Dr. José Luis Carballo Cenizo, ICML-Maz  
  
                                  Dra. Rosa María Prol Ledesma, I. Geofísica  
  
                                  Dr. Carlos Mortera Gutiérrez, I. Geofísica  
  
                                  Dr. Samuel E. Gómez Noguera, ICML-Maz

Ciudad de México, septiembre, 2023

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología.

Al CONACyT por el financiamiento del proyecto “Factores que definen la variabilidad de la diversidad biológica y biomasa en el mar profundo del Golfo de México” (PAPIIT, CONACyT 40158F).

A mi tutora, la Dra. Elva Escobar Briones por su apoyo incondicional, su paciencia y por compartir su gran pasión por el mar profundo, al permitirme formar parte de este proyecto, por el espacio brindado para la revisión y análisis de muestras en el laboratorio de Biodiversidad y Macroecología a su cargo.

A los integrantes de mi Jurado: Dr. José Luis Carballo Cenizo, Dra. Rosa María Prol Ledesma, Dr. Samuel E. Gómez Noguera, Dr. Pablo Hernández Alcántara y al Dr. Carlos Mortera Gutiérrez, por sus valiosos comentarios y orientación en mi escrito.

A los participantes y tripulante del B/O L’Atalante, así como del sumergible Nautilo, por la obtención de las muestras en la expedición BIG (Dra. Anne Godfroy).

## **DEDICATORIA**

A mi mamá y a mi papá por siempre ser mis pilares, mis guías mis motores de vida, por su apoyo incondicional, por dejarme vivir a mi manera.

A mi hermana, por tu apoyo incondicional, mi otra mitad.

A David, por ser la parte más extraordinaria de mi vida y permitirme ser mejor persona.

A mis compañeros de laboratorio por hacer mi estancia en él, algo que siempre recordaré con mucho cariño, de las mejores etapas en mi vida: Adris, Letty, MyRs, León, Balam, Memo, Víctor, Lalo, Ivette, Yoss.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	11
JUSTIFICACIÓN.....	16
OBJETIVOS.....	16
HIPÓTESIS.....	17
ANTECEDENTES.....	18
ÁREA DE ESTUDIO.....	22
METODOLOGÍA.....	26
RESULTADOS.....	33
ESTRUCTURA COMUNITARIA.....	33
Composición taxonómica:.....	33
Riqueza:.....	34
Similitud riqueza.....	45
Densidad:.....	46
Biomasa:.....	52
Similitud Biomasa.....	56
Metano (CH <sub>4</sub> ):.....	58
Ácido sulfhídrico (H <sub>2</sub> S):.....	59
DISCUSIÓN.....	60
CONCLUSIONES.....	68
LITERATURA CITADA.....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Golfo de California señalado dentro del cuadro rojo, correspondiente al área de estudio. (SEMARNAT, 2006).	22
<b>Figura 2.</b> Localización de los sitios muestreados durante la campaña BIG; A) Hábitat de Infiltraciones frías ubicadas en el margen de Sonora, B) Hábitat de Ventilas hidrotermales ubicadas en Cuenca de Guaymas. Modificado de Portail et al. (2015).	25
<b>Figura 3. A)</b> Armado del nucleador de caja (CL). Imagen: Escobar-Briones –IFREMER/BIG 2010. <b>B)</b> Réplicas de muestras de macrofauna tomadas con nucleadores de caja GCL y lanza térmica en fondo blando del Margen de Sonora. Imagen: Escobar-Briones –IFREMER/BIG 2010.	26
Figura 4. A) Niveles (cm) del sedimento blando con su réplica; en rojo los dos niveles que reporta este estudio. B) Aperturas de tamiz usadas para retener la biota del sedimento blando muestreado.	27
<b>Figura 5.</b> Hábitat tapete bacteriano. Colecta de sedimento superficial con el núcleo GCL 1. Imagen: IFREMER/BIG 2010.	28
<b>Figura 6.</b> Hábitat: Asociación de bivalvos vesicómidos. Imagen: Escobar-Briones –IFREMER/BIG 2010.	28
<b>Figura 7.</b> Hábitat: Gusanos siboglínidos ( <i>Escarpia spicata</i> y <i>Lamellibrachia barhami</i> ). Imagen: Escobar-Briones –IFREMER/BIG 2010.	28
<b>Figura 8.</b> Hábitat: Fondo con detrito de Riftia. Imagen: Escobar-Briones –IFREMER/BIG 2010.	29
<b>Figura 9.</b> Riqueza de familias de macrofauna en hábitats quimiosintéticos analizados en este estudio.	35
Figura 10. Riqueza de macrofauna por nivel de sedimento en cada hábitat quimiosintético por ecosistema.	36
Figura 11. Riqueza promedio de macrofauna por nivel de sedimento en cada hábitat quimiosintético por ecosistema.	36
<b>Figura 12.</b> Riqueza de familias identificadas en el hábitat de Infiltración fría de metano, Tapete bacteriano 1755 (S_Mat).	38

Figura 13. Riqueza taxonómica (número de familias) observada en cada tamiz para el hábitat Tapete bacteriano.	38
<b>Figura 14.</b> Riqueza de familias identificadas en el hábitat de Infiltración fría de metano, Vesicomidos 1757 (S_VesA).	40
<b>Figura 15.</b> Riqueza taxonómica para el hábitat Vesicómidos.	40
<b>Figura 16.</b> Riqueza de familias identificadas en el hábitat de Infiltración fría de metano, Gusanos Siboglínidos ( <i>Escarpia spicata</i> y <i>Lamellibrachia barhami</i> ) 1762 (S_Sib).	42
Figura 17. Riqueza taxonómica para el hábitat Gusanos Siboglínidos.	42
<b>Figura 18.</b> Riqueza de familias identificadas en el hábitat de ventilas hidrotermales, fondo con detrito de Riftia 1770 (V_Sib).	44
<b>Figura 19.</b> Riqueza taxonómica para el hábitat Detrito de Riftia.	44
Figura 20. Análisis Cluster con índice de disimilitud de Jaccard (enlace promedio simple) con base en presencia y ausencia (familias).	46
Figura 21. Dendrograma de similitud generado con el índice Bray-Curtis. Grupos G1, G2 y G3 generados a partir de la similitud en la biomasa para los grupos taxonómicos en las inmersiones de la Cuenca de Guaymas y Margen de Sonora.	56



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Muestras de las inmersiones realizadas en Cuenca de Guaymas y Margen de Sonora con las que se trabajaron en este estudio. Las columnas ilustran la localidad, los hábitats y muestras.....	29
<b>Tabla 2.</b> Muestras revisadas y fotografiadas en este estudio, correspondientes al Margen de Sonora y la Cuenca de Guaymas para los niveles 0 a 1 y 1 a 3 cm de cada inmersión, para cada apertura de tamiz y los hábitats asociados a éstas.....	31
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de macrobentos identificados en las muestras de este estudio, pertenecientes a las inmersiones de la campaña BIG. Clasificación según Brusca y Brusca (2003) y con el arreglo sistemático de la plataforma WoRMS.....	33
<b>Tabla 4.</b> Riqueza taxonómica de los hábitats quimiosintéticos, obtenida en este estudio.....	34
Tabla 5. Valores promedio y desviación estándar de la densidad (ind*m <sup>2</sup> ) de las clases de macrofauna por niveles de sedimento en los hábitats quimiosintéticos de este estudio. Los valores más elevados, se muestran en color verde.....	51
Tabla 6. Similitud de Bray –Curtis para los valores de biomasa (g C/ m <sup>2</sup> ) para las inmersiones de Cuenca de Guaymas y Margen de Sonora.....	57
<b>Tabla 7.</b> Concentración de CH <sub>4</sub> (tomados de Caprais, 2012).....	58
<b>Tabla 8.</b> Concentración de ácido sulfhídrico (tomados de Caprais, 2012).....	59

## RESUMEN

El fondo marino abisal cuenta con la presencia de especies de invertebrados pequeños viviendo sobre o en los intersticios del sedimento. En zonas de expansión del suelo marino existe actividad hidrotermal y en los márgenes infiltraciones de metano; ambos hábitats caracterizados por la presencia de bacterias quimioautótrofas que son la base de la trama alimenticia. En México, la Cuenca de Guaymas en el Golfo de California se considera un laboratorio natural para el estudio de la fauna que ocurre en hábitats con influencia de la actividad hidrotermal, y en el Margen de Sonora, lo son las infiltraciones de metano. Los hábitats característicos son tapetes bacterianos, asociaciones de bivalvos vesicómidos, asociaciones de gusanos siboglínidos, fondos duros con minerales o carbonatos, y zonas de transición con el sedimento blando.

Este estudio busca describir la composición taxonómica, la riqueza de familias, la densidad y biomasa de la macrofauna asociada a sedimentos blandos con influencia de actividad hidrotermal e infiltraciones de metano, la similitud entre ambas comunidades y reconocer si existe un cambio al interior del sedimento. Para ello, en este estudio se recolectaron muestras de sedimento superficial con un nucleador de caja durante la campaña BIG en mayo y junio del 2010 con apoyo del sumergible *Nautille* del IFREMER en una colaboración con la UNAM. Los hábitats donde se recolectaron estas muestras corresponden a tapete bacteriano, bivalvos vesicómidos y gusanos siboglínidos, pertenecientes al ecosistema de infiltraciones frías de metano, así como de fondo con detrito de Riftia en el ecosistema de ventilas hidrotermales. Las muestras recolectadas se compartieron entre ambas instituciones y este estudio reporta una réplica por localidad y las secciones 0-1 y 1-3 cm, cada una tamizadas a través de mallas de 250  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$ , 500  $\mu\text{m}$  y 1mm. Ciento noventa y tres organismos se identificaron al nivel taxonómico más bajo posible (familia). En este estudio se reconoce un total de 193 organismos del macrobentos, agregados en 4 phyla, 5 clases, 19 órdenes y 22 familias. El número de familias más elevado se encontró en el ecosistema de infiltraciones frías de metano del Margen de Sonora. A la vez se reconoce a la familia Dorvilleidae (Polychaeta), como la familia más abundante en todos los ecosistemas. El análisis de cluster por hábitat de cada ecosistema, mostró dos grupos: A y B, siendo el promedio de familias para el grupo A de  $4 \pm 1.73$  mientras que el grupo B contó con mayor número de familias, con  $8.2 \pm 2.4$ .

La densidad promedio de familias en los 4 hábitats quimiosintéticos de este estudio (tapete bacteriano, bivalvos vesicómidos, gusanos siboglínidos y fondo con detrito de *Riftia*) varió de  $104.17 \pm 194.11$  a  $11.90 \pm 20.89$ , el valor más elevado se registró en el hábitat de tapete bacteriano (1755 S\_mat). Los valores de biomasa más elevados se obtuvieron en la superficie del sedimento en fondo con detrito de *Riftia* en la Cuenca de Guaymas donde ocurren bivalvos vesicómidos.

Los factores ambientales que limitan o benefician la distribución de la biota fueron metano ( $\text{CH}_4$ ) en el Margen de Sonora, específicamente en el hábitat de gusanos siboglínidos (*Escarpia* y *Lamellibrachia*) (1762 S\_Sib), y ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) en la Cuenca de Guaymas.

## ABSTRACT

The abyssal seabed has the presence of small invertebrate species living on or in the interstices of the sediment. In areas of expansion of the sea floor there is hydrothermal activity and methane infiltrations in the margins; both environments characterized by the presence of chemoautotrophic bacteria that are the basis of the food web. In Mexico, the Guaymas Basin in the Gulf of California is considered a natural laboratory for the study of fauna that occurs in environments influenced by hydrothermal activity, and in the Sonora Margin, methane infiltrations are. The characteristic habitats are bacterial mats, associations of vesicomid bivalves, associations of siboglinid worms, hard bottoms with minerals or carbonates, and transition zones with soft sediment.

This study seeks to describe the taxonomic composition, the richness of families, the density and biomass of the macrofauna associated with soft sediments influenced by hydrothermal activity and methane infiltration, the similarity between both communities and to recognize if there is a change within the sediment. To do this, in this study surface sediment samples were collected with a box corer during the BIG campaign in May and June 2010 with the support of IFREMER's Nautilie submersible in collaboration with UNAM. The habitats where these samples were collected correspond to bacterial mat, vesicomid bivalves and siboglinid worms, belonging to the cold methane seepage ecosystem, as well as a bottom with *Riftia detritus* in the hydrothermal vent ecosystem. The collected samples were shared between both institutions and this study reports one replicate per location and 0-1 and 1-3 cm sections, each sieved through 250  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$ , 500  $\mu\text{m}$  and 1mm meshes. One hundred ninety-three organisms were identified at the lowest possible taxonomic level (family). In this study, a total of 193 macrobenthic organisms are recognized, grouped into 4 phyla, 5 classes, 19 orders and 22 families. The highest number of families was found in the cold methane seep ecosystem of the Sonora Margin. At the same time, the Dorvilleidae (Polychaeta) family is recognized as the most abundant family in all ecosystems. The cluster analysis by environment of each ecosystem showed two groups: A and B, with the average number of families for group A being  $4 \pm 1.73$ , while group B had a greater number of families, with  $8.2 \pm 2.4$ .

The average density of families in the 4 chemosynthetic habitats of this study (bacterial mat, vesicomid bivalves, siboglinid worms, and bottom with *Riftia detritus*) ranged from  $104.17 \pm 194.11$  to  $11.90 \pm 20.89$ , the highest value being recorded in the bacterial mat environment (1755 S\_mat). The

highest biomass values were obtained on the bottom sediment surface with *Riftia* debris in the Guaymas Basin where Vesicomid bivalves occur.

The environmental factors that limit or benefit the distribution of biota were methane (CH<sub>4</sub>) in the Sonora Margin, specifically in the habitat of Siboglinid worms (1762 S\_Sib), and hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S) in the Guaymas Basin.

## INTRODUCCIÓN

### **Macrofauna de fondos blandos asociada a ventilas hidrotermales e infiltraciones de metano**

Las ventilas hidrotermales en el océano profundo se caracterizan por presentar fauna altamente especializada. Desde su descubrimiento en 1977 se han descrito más de 400 especies de metazoarios en estos hábitats (Van Dover et al., 2002; Desbruyères et al. 2006). La fauna bentónica asociada a la actividad hidrotermal más conspicua incluye a anélidos, moluscos y crustáceos (Grassle, 1986; Wolff, 2005).

Algunos componentes de la fauna de ventilas ocurren así mismo en infiltraciones de metano y cadáveres de ballenas (Black et al. 1997; Feldman et al. 2001; Smith y Baco, 2003. Levin y Mendoza, 2007). La estrategia energética que mantiene a la fauna en estos hábitats reductores es la quimiosíntesis aprovechada por bacterias de vida libre y simbiontes. Las bacterias de vida libre son alimento para fauna béntica abisal que habita las inmediaciones (Lutz, 2001; Young y Richardson, 1998). Las bacterias simbiontes extraen energía del  $\text{CH}_4$  y  $\text{H}_2\text{S}$  fijando carbono del  $\text{CO}_2$  o  $\text{CH}_4$  en beneficio del hospedero (Van Dover et al., 2002). En estas interacciones los invertebrados exhiben adaptaciones fisiológicas, morfológicas y reproductivas ante el pH bajo y variable, los niveles bajos de oxígeno y los niveles tóxicos de sulfuros y de metales pesados (Arp, 2001; Fisher, 1998; McMullin et al., 2000). Así mismo, esta fauna muestra una reorganización en los tejidos internos y ha desarrollado adaptaciones bioquímicas, conductuales y moleculares para colonizar con éxito estos ecosistemas (Micheli et al., 2002; Pruski et al., 1998; Tunnicliffe et al., 1998; Van Dover y Lutz, 2004). Los fluidos con temperatura elevada de las ventilas hidrotermales provienen de las fracturas o aperturas del suelo oceánico. El flujo difuso con contenido elevado de sulfuro de hidrógeno y otros compuestos se mezclan con el agua fría abisal. Lo anterior permite que la fauna se agregue vinculada a bacterias de vida libre y materia orgánica (Schulz y Zabel, 2006). Un ejemplo de ello son los gusanos de tubo *Riftia pachyptila* (Polychaeta: Siboglinidae), que ocurren en las estructuras rocosas en un intervalo de temperatura de más de 30°C en la base, cerca del flujo difuso, hasta la pluma de agua cálida con compuestos reducidos a más de un metro del fondo en aguas abisales (Fisher et al. 2007). La temperatura cerca de la “pluma” varía de 2.16 ° C hasta 15°C (Johnson et al. 1988). Los gradientes de temperatura y composición química de los fluidos dentro de un campo hidrotermal determinan

los patrones de distribución de los organismos en las ventilas (Van Dover, 2000). Las ventilas hidrotermales ocurren en las inmediaciones de sedimentos blandos abisales, el ecosistema más extenso que cubre el 75% del total de la Tierra (Rex y Etter, 2010). La composición de la macrofauna en este tipo de ecosistema ha resultado similar con algunos phyla dominantes en común con el fondo abisal sin actividad quimiosintética (Gage y Tyler, 1991).

Las infiltraciones de metano fueron descritas por vez primera por Paull et al. (1984) a 3300 m en el escarpe de Florida, en el sector noreste del golfo de México. Éstas se encuentran distribuidas a lo largo de los márgenes continentales geológicamente activos y pasivos y en algunas zonas de subducción, de 400 a 6000 m de profundidad. Éstas se caracterizan por anomalías de baja temperatura, de 0.1 a 0.45°C (en el paso Nankai; Boulègue et al. 1987) y hasta 21°C (volcán de lodo de Barbados; Henry et al. 1996); presentan plumas con concentraciones elevadas de metano (seis veces más altas que la concentración del agua marina circundante; MacDonald et al. 1989) y han sido utilizadas como trazadores para su localización. Éste proviene de la descomposición de la materia orgánica contenida en el sedimento (Schulz y Zabel, 2006) y junto con H<sub>2</sub>S es la base nutricional de bacterias de vida libre, o en simbiosis con pogonóforos, vestimentíferos y bivalvos (Suess et al. 1998). A diferencia de las ventilas, en las infiltraciones no hay una movilización significativa de metales. La formación de carbonato está relacionada con la oxidación microbiana del metano lo cual causa la precipitación de CaCO<sub>3</sub> (Wallmann et al. 1997). La fauna que se asocia a las infiltraciones incluye poliquetos dorvilléidos, hesiónidos y amfarétidos, nemátodos y foraminíferos distribuidos en patrones heterogéneos (Levin, 2005).

Las ventilas hidrotermales y las infiltraciones de metano muestran diferencias en la estructura comunitaria macrofaunal. La biomasa de macrofauna en las ventilas es elevada y la diversidad reducida, rica en endemismos. En infiltraciones de metano la biomasa, particularmente en sedimentos con tapetes de bacterias sulfurosas, es elevada y la diversidad reducida (Sahling et al. 2002, Levin et al. 2003). Hay agregaciones de densidad elevada de una o pocas especies de poliquetos siboglinidos o bivalvos en las infiltraciones de metano (Dando et al. 1994). La diversidad es elevada en los sitios inactivos, y la biomasa baja (Young y Richardson, 1998; Tunnicliffe et al., 1998). Ésta está caracterizada por organismos con una tasa metabólica y fecundidad bajas y tallas pequeñas (Grassle, 1985).

## Hábitats de fondo blando en ventilas hidrotermales e infiltraciones de metano

Los hábitats característicos de los ecosistemas quimiosintéticos incluyen

- a) los tapetes bacterianos que pueden ser amarillos o blancos,
- b) los tapetes azules dados por la asociación bacteriana con colonias de ciliados folliculínicos (*Folliculinopsis* sp.) (Kouris et al. 2006),
- c) las asociaciones de bivalvos vesicómidos,
- d) las asociaciones de gusanos de tubo (*Riftia pachyptila* en ventilas y *Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami* en infiltraciones) (Levin et al. 2009; Levin, 2005),
- e) fondos rocosos minerales,
- f) zonas de transición o de frontera entre fondos rocosos y sedimentos blandos, y
- g) sedimentos con temperatura difusa (Boetius, 2005).

Estos hábitats se caracterizan por su complejidad y estructura que responden a factores fisicoquímicos y se reflejan en la composición y en interacciones biológicas propias (Begon et al. 2006). La productividad elevada de estos hábitats está dada por microorganismos que se nutren de la mezcla de los fluidos hidrotermales con el agua marina circundante (Van Dover, 2000).

Los hábitats con actividad hidrotermal se consideran efímeros, el flujo de origen magmático-tectónico varía en escala decadal cambiando la estructura de las comunidades existentes y creando nuevos sustratos colonizables (Haymon et al. 1993, Shank et al. 1998). Las perturbaciones en la escala pequeña (dentro de los hábitats) se dan en periodos cortos de tiempo y se atribuyen a las alteraciones en el flujo y/o composición de los fluidos hidrotermales (Fustec et al. 1987, Jollivet 1993, Shank et al. 1998). Lo anterior afecta la disponibilidad de recursos (materia orgánica en sedimento, condiciones reductoras, disponibilidad de oxígeno disuelto) afectando la riqueza de especies, densidad y biomasa. Otros factores que definen la estructura comunitaria de cada hábitat incluyen el tamaño de grano, el flujo y el agua intersticial en el sedimento (Govenar et al, 2005; Le Bris et al. 2006). Por otra parte, el valor nutritivo del material de origen hemipelágico que se deposita en forma de mosaico en los fondos batiales o abisales sin actividad es transferido en la trama trófica (Van Dover, 2000). Shank y Beaulieu (2010) postularon 3 hipótesis sobre los posibles factores que influyen en la estructura comunitaria en las zonas afectadas por hidrotermalismo:



- 1) actividad tectónica y/o volcánica;
- 2) la química de los fluidos hidrotermales, y
- 3) los microorganismos asociados con los flujos difusos.

Éstos cambian en el tiempo y responden a las diferencias en temperatura, concentraciones de oxígeno, hierro, manganeso y sulfuros.

En el caso de las infiltraciones de metano, la composición y flujo de los fluidos, así como las propiedades geoquímicas del sedimento, en particular la presencia y concentración de sulfuros, parecen regular la distribución y composición faunística (Sahling et al. 2002; Levin et al. 2003).

## **JUSTIFICACIÓN**

Este estudio contribuye con conocimiento de línea base sobre la diversidad de familias de macrofauna en hábitats quimiosintéticos. La transición a energías limpias prevé la extracción comercial de los depósitos de sulfuro (Levin et al. 2009); una opción energética sin hidratos de metano. El efecto de su extracción sobre los fondos marinos, su diversidad y los servicios ecosistémicos es grande, por lo que ante posibles usos futuros y cambios a los cuales se suman los efectos del cambio climático sobre la diversidad en el mar profundo.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivos generales**

1. Identificación de la macrofauna al nivel jerárquico mínimo de familia.
2. Propuesta: Comparar la estructura de la comunidad macroinfaunal en diferentes hábitats de ventilas hidrotermales e infiltraciones de metano.
3. Caracterizar la estructura de la comunidad macroinfaunal de los hábitats en sedimento blando asociados a la actividad hidrotermal de la Cuenca de Guaymas.

4. Caracterizar la estructura de la comunidad macroinfaunal de los hábitats en sedimento blando asociados a infiltraciones de metano del Margen de Sonora.

### **Objetivos particulares**

1. Identificar la riqueza taxonómica de la macrofauna a nivel familia en 4 tipos de tamices así como en dos estratos de profundidad en cada hábitat de sedimento blando asociado a actividad quimiosintética.
2. Describir la composición taxonómica (densidad y biomasa) en 4 tipos de tamices, en dos estratos de profundidad en cada hábitat de sedimento blando asociado a actividad quimiosintética.
3. Establecer el grado de similitud de la estructura comunitaria entre dos hábitats de los ecosistemas con actividad quimiosintética. Revisar si hay comparación por apertura de tamiz.

### **HIPÓTESIS**

1. **Hipótesis experimental ( $H_0$ ):** La estructura comunitaria macrobéntica (riqueza, densidad y biomasa) difiere entre los estratos y hábitats de los ecosistemas de ventilas hidrotermales.
2. **Hipótesis experimental ( $H_1$ ):** La estructura comunitaria macrobéntica (composición, riqueza, densidad y biomasa) es homogénea entre los estratos y hábitats de los ecosistemas quimiosintéticos de la Cuenca de Guaymas y del Margen de Sonora.

## ANTECEDENTES

Los estudios de macrofauna en sedimentos activos en el mundo, en la dorsal del Pacífico Este (EPR), y en la cuenca de Guaymas se presentan en el ANEXO I, y se discuten a continuación.

**En el mundo.** Desde el descubrimiento de las ventilas hidrotermales en el centro de propagación de las Galápagos (Lonsdale 1977, Corliss et al. 1979 y Jannash y Wirsen 1979) se han realizado diversas investigaciones ecológicas en estos ecosistemas. La similitud en la distribución y biología de la macrofauna asociada a ventilas hidrotermales se estudió en localidades entre 20°S a 46°N en la dorsal Mesoceánica del Pacífico (Grassle, 1985). La composición de la meio y macrofauna en sedimentos adyacentes a las zonas activas de Nueva Zelanda fue similar entre sí con respecto a sedimentos de fondos no activos (Kamenev et al. 1993).

La abundancia en hábitats de ventilas hidrotermales a lo largo de los centros de formación de suelo oceánico en Middle Valley (2,400 m) en la dorsal Juan de Fuca se relaciona con la tasa de formación de suelo oceánico. La estabilidad y heterogeneidad del ecosistema es menor mientras más rápida sea la formación de suelo oceánico (Juniper y Tunnicliffe, 1997). La composición genérica de nemátodos es similar en sedimentos activos e inactivos en el norte de la cuenca de Fiji (Vanreusel et al. 1997) y sin embargo la diversidad es menor en los sedimentos activos, y la densidad es baja en sedimentos inactivos.

**En la región (EPR 21 °N, 9°N, cuencas en el Golfo de California).** La fauna de la dorsal del Pacífico oriental (EPR) fue descrita por Geistdoerfer et al. (1995) para las latitudes 17° a 19° S encontrando un recambio de especies y una composición faunística y abundancia similar a lo largo del gradiente latitudinal. Los estudios de la estructura comunitaria de la macrofauna asociada a dos tipos de hábitats en EPR, gusanos de tubo (Sarrazin y Juniper 2003; Tsurumi y Tunnicliffe 2003) y fondos con mejillones (Van Dover 2001, 2002, 2003, Van Dover y Doerries, 2005 y Van Dover y Trask 2000) han permitido reconocer que ésta es una zona biogeográfica única a lo largo de casi 30 grados de latitud (13°N a 18° S). La diversidad y riqueza de especies es elevada en la zona inactiva, seguida por la de la asociación de bivalvos.

Tanto las comunidades bentónicas de sitios activos de EPR como las de la cuenca de Guaymas poseen valores elevados de abundancia y biomasa en comparación con la fauna de sedimentos de

sitios inactivos (Van Dover y Berg 2006). La riqueza de especies en EPR alcanza 40 taxa predominando ostrácodos y copépodos (Van Dover y Berg 2006). La riqueza de taxa de las paredes de estructuras minerales activas e inactivas en EPR se caracterizó por 24 taxa y en éstas predominaron copépodos, nemátodos, gasterópodos y poliquetos (Cosgalla 2006). La estructura comunitaria presenta una diversidad baja en sedimentos blandos activos en la Cuenca Manus e influye en la complejidad de las relaciones tróficas (Levin et al. 2009).

**En la cuenca de Guaymas.** De manera comparativa con Escanaba Trough en la dorsal Gorda, a 3,250 m de profundidad, la fauna es endémica en general (Petrecca y Grassle, 1999; Grassle y Petrecca, 1994).

El primer estudio en esta localidad reconoció que las comunidades macrobénticas de sedimentos blandos en las inmediaciones de la actividad hidrotermal tienen una baja riqueza de especies especies escasas y densidad elevada (Grassle 1985). Dos años más tarde Berg y Van Dover (1987) establecieron que en los sitios activos la macrofauna alcanza valores de 6 a 19 ind.m<sup>3</sup> predominando los copépodos.

Los estudios de infauna en infiltraciones de metano en el océano global se presentan en el ANEXO II, y se discuten a continuación:

**Océano Pacífico.**-La diversidad de la comunidad bentónica de sedimentos blandos en una infiltración somera (16 m de profundidad) de hidrocarburos naturales cerca de Santa Barbara, California, fue estudiada por Davis et al. (1980). Estos autores compararon los sitios con influencia de hidrocarburos y sitios inactivos a una misma profundidad, obteniendo que ambas poblaciones tuvieron en común un 72% representando el 90% de los individuos, sugiriendo que ambos sitios forman parte de la misma comunidad. En la localidad con la influencia de hidrocarburos se encontraron las mayores densidades de individuos ( $\sim$  60%) pero no se encontró una diferencia significativa en cuanto a la diversidad, con lo cual se estableció una posible hipótesis sobre el enriquecimiento trófico de las poblaciones influenciadas por hidrocarburos a partir del crecimiento bacteriano por estimulación de los hidrocarburos recién formados.

La diversidad resultó ser relativamente elevada en todos los sitios mientras que la equidad tuvo una mayor diferencia entre sitios. La diversidad fue similar en todas las localidades excepto en la perteneciente a la del talud continental (500 m) donde esta fue menor (12,518 ind. m<sup>-2</sup>).

En 2003, Tamez comparó los efectos sobre la comunidad meiobéntica de hábitats quimiosintéticos tales como cadáveres de ballena e infiltraciones de metano en la costa noroeste de la península de Baja California, la comparación se realizó hacia el interior del sedimento y a diferentes distancias de la fuente quimiosintética; encontrando valores promedio de densidad menores ( $3,030 \text{ ind.m}^{-2}$ ) en la capa superficial del sedimento y a 0 m de distancia de la infiltración, en tanto que los valores promedio de densidad fueron mayores ( $28,788 \text{ ind.m}^{-2}$ ) a 1 m de distancia de la infiltración de metano y en la capa superficial del sedimento. Los valores más elevados de abundancia (8 a 41 inds.) se registraron a 1 y 200 m de distancia de la infiltración.

Se registraron valores promedio de biomasa de  $0.0267 \text{ gCm}^{-2}$ . El efecto de la infiltración metanogénica sobre los patrones de cambio en la estructura de la comunidad meiofaunal medidos mostró un patrón de valores mayores para biomasa y densidad en las capas superficiales. El grupo dominante fue el de nemátodos seguido de copépodos harpacticoides y bivalvos.

En la cuenca de San Clemente, en el talud continental, Escobar-Briones y Tamez (2006) estudiaron la variación en las densidades de crustáceos de la meiofauna en infiltraciones de metano a profundidades entre 1,800 y 1,850 m. De este estudio se concluyó que los aportes de compuestos reducidos provenientes de la infiltración de metano modifican el sustrato y tienen influencia en la composición, la riqueza taxonómica y la densidad de los crustáceos de la meiofauna, promoviendo el aumento de la densidad de los copépodos harpacticoides en la cercanía de la infiltración. Así mismo se obtuvieron valores medios de densidad para crustáceos de  $38,204 \text{ ind*m}^{-2}$  (y valores totales de  $114,613 \text{ ind*m}^{-2}$ ) en el estrato superficial del sedimento. Los ostrácodos presentaron  $15,918 \text{ ind*m}^{-2}$  en la infiltración y  $14,327 \text{ ind*m}^{-2}$  a 1 m de distancia. La densidad disminuyó significativamente hacia los estratos subsuperficiales del sedimento.

El estudio de Sahling et al. (2008) en infiltraciones de metano del margen convergente del norte central de Costa Rica reconoció más de 100 emisiones de fluidos provenientes de infiltraciones, lo cual corresponde a la presencia de una infiltración de metano cada 4 km en promedio a lo largo del talud continental de esta zona. En la parte noroeste del área de estudio, caracterizada por una morfología uniforme a lo largo del margen continental, se encontró la presencia de infiltraciones que ocurren en montes con forma de cono de 50-100 m de altura y hasta 1 km de ancho en la base, donde identificaron alrededor de 60 montes a lo largo de 240 km. En la parte sureste, la corteza

oceánica presenta una morfología comparativamente irregular. En esta zona se encontraron cerca de 40 infiltraciones de metano, pero con diversas estructuras. Con lo anterior se concluyó que estas infiltraciones se encuentran relacionadas con el deslizamiento y fracturas relacionadas con eventos de subducción y fallas, y que los fluidos detectados provienen muy posiblemente del límite de la placa a través de fallas profundas.

**Océano Atlántico.** La composición a nivel de familia de las comunidades de macrofauna dentro y fuera de un cráter en el fondo marino Regab en el Sur del Golfo de Guinea fue estudiada por Menot et al. (2010) a una profundidad de 3200 m. En los sedimentos influenciados por la actividad de las infiltraciones, la macrofauna presentó una mayor densidad, alcanzando hasta 22,000 ind\*m<sup>2</sup>) pero una riqueza menor a diferencia de los sedimentos inactivos.

Las asociaciones de poliquetos asociados con los gusanos de tubo (siboglínidos) difirieron en composición y distribución vertical en el sedimento con las comunidades asociadas con bivalvos vesicómidos. El hábitat de poliquetos siboglínidos estuvo dominado por poliquetos anfarétidos, dorvileidos, hesiónidos y syllidos concentrados en la capa más somera del sedimento, mientras que las asociaciones de bivalvos vesicómidos se encontraron dominadas por los poliquetos capitélidos y cossuridos. Con base en lo obtenido, Menot et al. (2010) relacionaron la bioturbación de los bivalvos vesicómidos con mayor oxigenación de los sedimentos superficiales.

## ÁREA DE ESTUDIO

### Golfo de California

El Golfo de California se originó por expansión del piso oceánico hace 4 millones de años (Moore, 1973), se conecta al norte con el sistema de la falla de San Andrés y al sur con la dorsal del Pacífico Oriental a través de una serie de ejes dispersos y fallas transformantes “en escalón” (Lonsdale y Lawyer, 1980). El Golfo se ubica entre los 20°3' y 31° de latitud Norte y 107° y 115° de longitud Oeste; está flanqueado por la península de Baja California al oeste y el continente al este, por la costa de los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit. El Golfo (figura 1) se extiende en dirección noroeste por 1,500 km, con 92 a 222 km de ancho, y una línea de costa de más de 3,000 km. La superficie marina es de 247,000 km<sup>2</sup>, y tiene más de 3,000 m de profundidad (SEMARNAT, 2006).



**Figura 1.** Golfo de California señalado dentro del cuadro rojo, correspondiente al área de estudio. (SEMARNAT, 2006).

## **Cuenca de Guaymas**

El Golfo de California se ensancha y es más profundo al sur de las grandes islas, siguiendo el eje axial NO-SE en fallas que culminan en la Cuenca de Guaymas, a 2,000 m de profundidad. La cuenca de Guaymas se localiza en las coordenadas 27°N, 111.5° O, inicia a 900 m, se extiende a lo largo de 240 km, y tiene 60 km de ancho (De la Lanza- Espino, 1991).

La topografía general del área incluye depósitos hidrotermales en las estructuras con la forma de montículos, torres y pilares altos, distribuidos a lo largo de la cuenca cubierta por sedimentos finos en donde se filtran de manera difusa fluidos hidrotermales (Lonsdale et al. 1980). Los sitios activos se caracterizan por temperaturas mayores a 50°C (Soto, 2009).

## **Margen de Sonora**

El Margen de Sonora tiene fallas transformantes ubicadas a lo largo de la cresta erosionada de la Cuenca de Guaymas (Simoneit et al., 1990; Paull et al., 2007). Éstas son estructuralmente similares en la plataforma continental y han sido llamadas infiltraciones de hidrocarburos debido a la emisión de metano y componentes hidrocarbonados. La geoquímica de los fluidos es poco conocida (Simoneit et al., 1990), y está asociada con extensas concreciones de carbonato (Paull et al., 2007). En contraste, los sitios de infiltraciones presentan flujos difusos y temperaturas de -6°C (Soto, 2009).

## **Características del sedimento**

El sedimento es de origen hemipelágico, acumulado por un aporte de 1-2 m/1000 años, alcanzando un espesor equivalente a 25 m.a. (Anderson, 1950; Rusnak et al. 1964; Van Andel, 1964; Baumgartner et al., 1985). La cuenca de Guaymas se caracteriza por presentar tres provincias sedimentológicas (Aguayo, 1984):

1. Con magma, entre la que se reconocen secuencias de fangos diatomeáceos intercalados con arenas limosas finas a muy finas, pobremente clasificadas.
2. De alta sedimentación terrígena, por suspensión y deslizamiento por corrientes de turbidez. Debido a la productividad biológica de las aguas superficiales, la Cuenca de Guaymas se encuentra



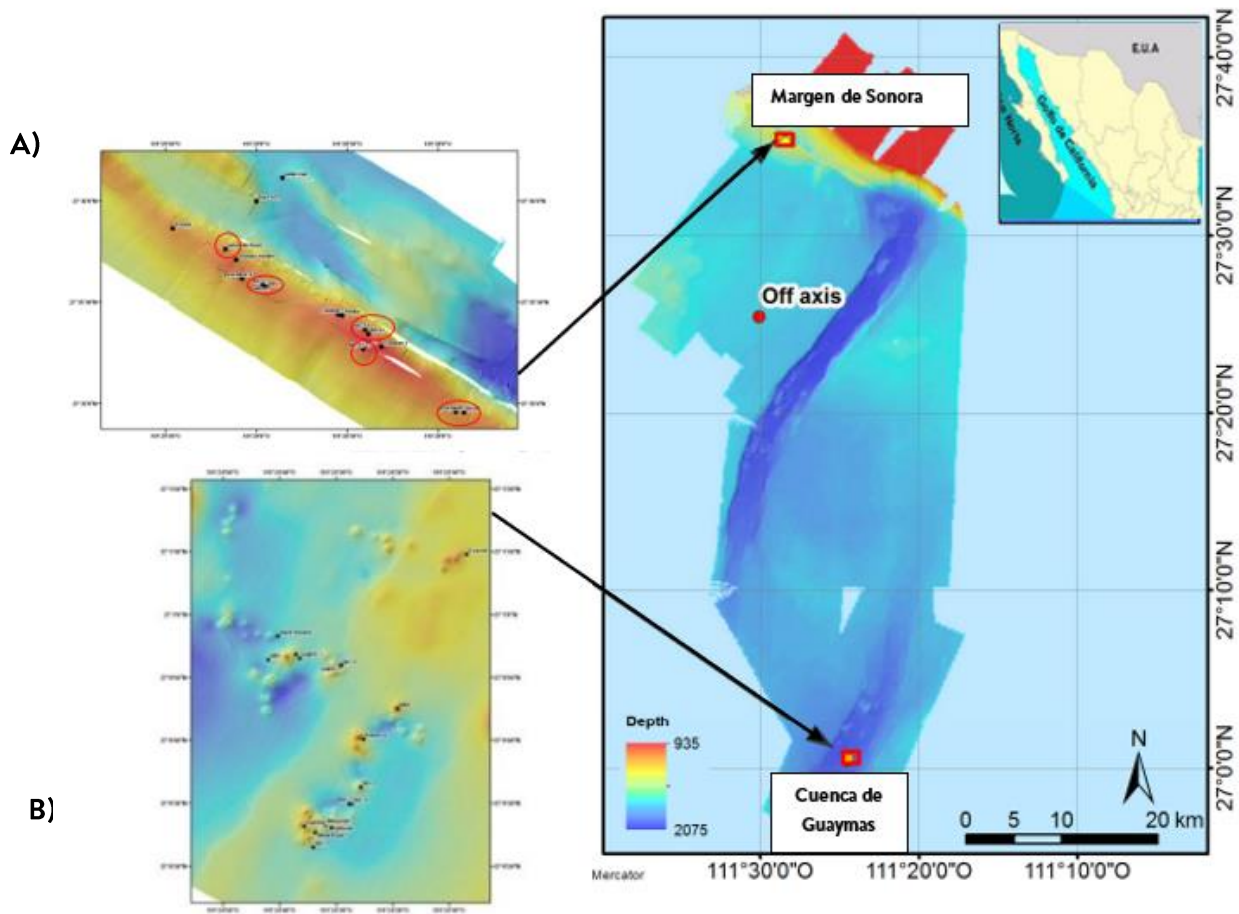
revestida con una capa de 1 a 2 km de sedimentos de diatomeas ricos en materia orgánica (Schrader, 1982; Calvert, 1966), y

3. De sedimentos laminados (Calvert, 1964) con alternancia de fangos diatomeáceos carentes de bioturbación con terrígenos con laminación. La baja concentración de oxígeno disuelto permite preservar la materia orgánica 2-3% de carbono orgánico (Simoneit, 1979,1990) que se deposita de la costa y de la columna de agua (Ortega-Osorio y Páez-Osuna, 1989).

Los sedimentos más heterogéneos en la cercanía de las ventilas activas son más comunes (de la Lanza-Espino y Soto, 1999).

### **Materia orgánica en sedimento**

Los valores de carbono orgánico oscilan de 3 - 4% en el sedimento (Campbell et al. 1988). Esto se vincula a condiciones hipóxicas con valores de 0.6 a 0.7 ml L<sup>-1</sup> de oxígeno disuelto. El fitodetrito contribuye, vía diagénesis temprana, a los hidrocarburos presentes (Simoneit, 1985 b). La composición de este energético similar al crudo (Marchand et al. 1994) incluye n-alcanos, gasolinas, olefinas e hidrocarburos aromáticos (Simoneit 1985b) en una cantidad estimada de 40 x 10<sup>6</sup> T (Didyk y Simoneit, 1989) con antigüedad de 4,500 años (Simoneit, 1985a, b; Simoneit, 1990). En la Cuenca de Guaymas se presenta actividad hidrotermal y en el margen de Sonora se presentan infiltraciones de metano.



**Figura 2.** Localización de los sitios muestreados durante la campaña BIG; A) Hábitat de Infiltraciones frías ubicadas en el margen de Sonora, B) Hábitat de Ventilales hidrotermales ubicadas en Cuenca de Guaymas. Modificado de Portail et al. (2015).

## METODOLOGÍA

### Trabajo de campo

El muestreo se llevó a cabo durante la campaña BIG (Biodiversité et Interactions à Guaymas) realizada del 30 de mayo al 9 de julio del 2010 a bordo del B/O L'Atalante, en una colaboración entre el IFREMER y la UNAM. Esta campaña constó de 3 etapas:

- 1) de exploración
- 2) de selección de las localidades a estudiar con base en tres ecosistemas (infiltraciones frías de metano en el margen de Sonora, ventilas hidrotermales en la zona abisal superior de la Cuenca de Guaymas, fondo abisal sin actividad quimiosintética)
- 3) de selección del tipo de hábitats presentes en el sustrato blando

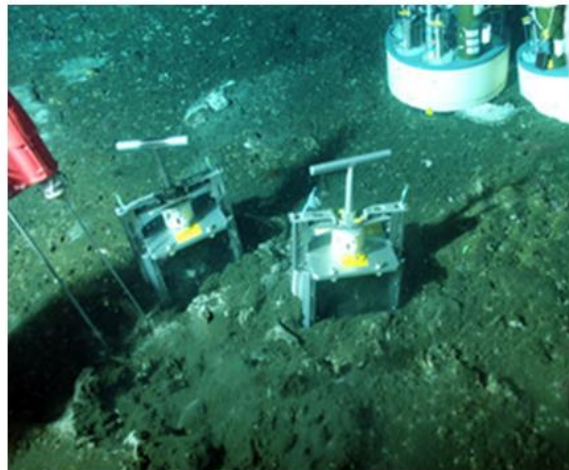
Durante la etapa de exploración se identificaron los hábitats presentes en cada ecosistema y se realizó la selección de cada uno para la toma de muestras.

La colecta se realizó con el sumergible *Nautilé*. Las muestras se colectaron en cada hábitat con nucleadores de caja rectangulares (CL, GCL) con dimensiones de 10 x 20 cm y 20 x 20 cm y con un área de 0.02 y 0.04 m<sup>2</sup>, respectivamente (figura 3).

A)

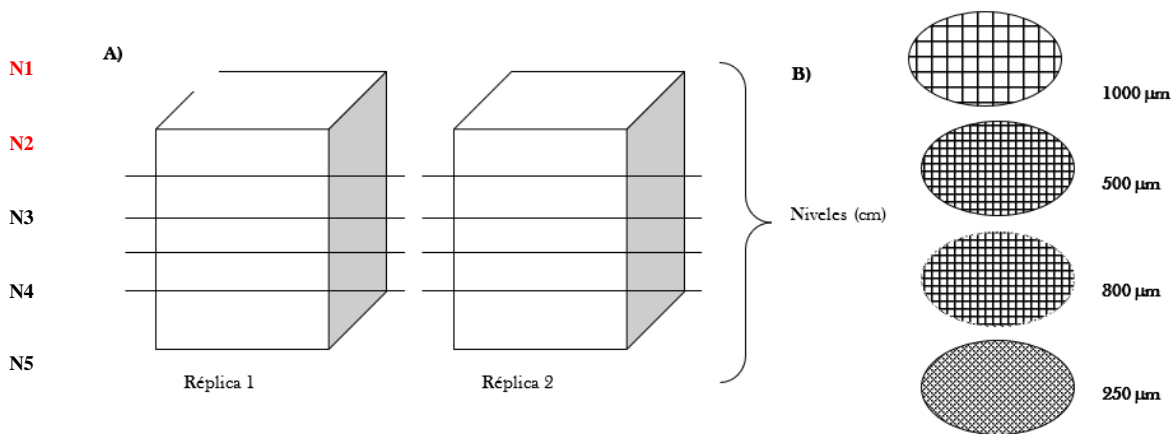


B)



**Figura 3. A)** Armado del nucleador de caja (CL). Imagen: Escobar-Briones –IFREMER/BIG 2010. **B)** Réplicas de muestras de macrofauna tomadas con nucleadores de caja GCL y lanza térmica en fondo blando del Margen de Sonora. Imagen: Escobar-Briones –IFREMER/BIG 2010.

Este tipo de núcleos se abre por el frente desarmando una tapa frontal por lo que una vez en superficie se extrajo el agua a los núcleos de sedimento usando para ello un tamiz de 250  $\mu\text{m}$  para retener la biota. Para ser seccionado, se requirió extraer la megaepifauna (bivalvos) de cada núcleo. Su presencia se documentó en cada caso, pero no se consideró en este estudio debido a la diferencia en talla ( $> 1\text{cm}$ ) de la macroinfauna. Posteriormente se procedió a seccionar la columna del sedimento en los cinco niveles o estratos: 0 a 1 cm, 1 a 3 cm, 3 a 5 cm, 5 a 10 cm y 10 a 15 cm (Figura 2A). Este estudio reporta los dos niveles superficiales (0 a 1 cm y 1 a 3 cm) que agregan el 95% de la abundancia y riqueza taxonómica de los organismos en el sedimento en general (Montagna et al., 2017).



**Figura 4.** A) Niveles (cm) del sedimento blando con su réplica; en rojo los dos niveles que reporta este estudio. B) Aperturas de tamiz usadas para retener la biota del sedimento blando muestreado.

Cada estrato seccionado se colocó en recipientes con etanol absoluto y se mantuvo a 4°C hasta cernirlos a través de tamices con apertura de malla de 250  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$ , 500  $\mu\text{m}$  y 1mm con la finalidad de encontrar diferencias en la estructura comunitaria de la macrofauna (Figura 2B). El proceso de tamizado se realizó con agua marina en cubierta. El material retenido en cada tamiz, sedimento y organismos se colocó en frascos con etanol frío al 95%, se etiquetó y se documentó en una bitácora. A bordo se revisaron pequeñas submuestras de cada tamiz para tener una idea preliminar de los taxa presentes, su frecuencia y proporción de ocurrencia en la muestra realizando anotaciones en la bitácora. En total, durante la campaña se visitaron 14 localidades, de las cuales 9 pertenecen a infiltraciones frías en el Margen de Sonora, 4 pertenecen a ventilas hidrotermales en

la Cuenca de Guaymas y una al fondo abisal sin actividad quimiosintética (ANEXO III). Las muestras obtenidas son de naturaleza cuantitativa.

La colecta se realizó por duplicado para las localidades con actividad quimiosintética. Las réplicas de cada localidad muestreada se compartieron entre el ICML y el IFREMER como parte de la colaboración en este proyecto (ANEXO IV). En este estudio se revisó una réplica de los hábitats de sedimento blando con actividad quimiosintética mencionados a continuación:

### Infiltraciones de metano

- A) Inmersión 1755 tapete bacteriano (figura 5)
- B) Inmersión 1757 asociación de bivalvos vesicómidos (figura 6)
- C) Inmersión 1762 gusanos siboglínidos (*Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami*) (figura 7)



**Figura 5.** Hábitat tapete bacteriano. Colecta de sedimento superficial con el núcleo GCL 1. Imagen: IFREMER/BIG 2010.



**Figura 6.** Hábitat: Asociación de bivalvos vesicómidos. Imagen: Escobar-Briones – IFREMER/BIG 2010.



**Figura 7.** Hábitat: Gusanos siboglínidos (*Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami*). Imagen: Escobar-Briones – IFREMER/BIG 2010.

## Ventilas hidrotermales:

D) Inmersión 1770 fondo con detrito de *Riftia* (figura 8)



**Figura 8.** Hábitat: Fondo con detrito de Riftia. Imagen: Escobar-Briones -IFREMER/BIG 2010.

En este estudio se eligieron y trabajaron con las siguientes muestras y réplicas:

**Tabla 1.** Muestras de las inmersiones realizadas en Cuenca de Guaymas y Margen de Sonora con las que se trabajaron en este estudio. Las columnas ilustran la localidad, los hábitats y muestras.

Inmersión	Localidad	Hábitat	Réplicas	Estratos	Tamices por cada estrato	Submuestras
1755 (S_Mat)	Margen de Sonora	Tapete bacteriano	1	2	4	8
1757 (S_VesA)	Margen de Sonora	Bivalvos vesicomidos	1	2	4	8
1762 (S_Sib)	Margen de Sonora	Gusanos siboglínidos ( <i>Escarpia spicata</i> y <i>Lamellibrachia barhami</i> )	1	2	4	8
1770 (V_Sib)	Cuenca de Guaymas	Fondo con detrito de Riftia	1	2	4	8
<b>Total de submuestras</b>						<b>32</b>

## Trabajo de laboratorio

Las muestras recibieron un recambio de etanol y se tiñeron con Rosa de Bengala para facilitar su futura separación al microscopio estereoscópico. La separación de muestras se realizó a 250 aumentos cuantificando e identificando preliminarmente a nivel de orden cada organismo extraído del sedimento. Los datos se documentaron en bitácoras por muestra, por réplica, por sección o nivel

en el núcleo y por apertura del tamiz. Los organismos separados se identificaron preliminarmente por clase y se colocaron en viales de vidrio rotulados con los datos correspondientes para cada inmersión, réplica, sección o nivel y apertura de tamiz, colocándoles en etanol al 70%.

## **Estructura comunitaria**

- **Composición taxonómica**

Los organismos separados se fotografiaron con ayuda de un microscopio estereoscópico marca Carl Zeiss, modelo SteREO Discovery V12. La escala se estableció en  $\mu\text{m}$  con ayuda de los portaobjetos micrométricos; colocando los organismos sobre uno de estos portaobjetos y al observarse en la pantalla de la computadora apoyados con el programa *Axio Vision*, por grupo de individuos con el fin de tener una base de imágenes y poder comparar en aquellos casos donde no hay claves de identificación o referencias con las imágenes de la literatura para facilitar su identificación.

La identificación se realizó posterior a una revisión bibliográfica exhaustiva sobre las familias y especies que se conocen para la Cuenca de Guaymas y en el marco regional para la dorsal del Pacífico Este (EPR) con base a Dèsbroyeres et al. (2006) y otras referencias más recientes (ANEXO I). La información permitió generar un cuadro de taxa de la macroinfauna de fondos blandos activos y no activos identificados en trabajos publicados, el cual va acompañado del hábitat de ocurrencia, la referencia de procedencia de la cita y donde hubo disponible una ilustración o fotografía. El arreglo sistemático que se siguió fue el de la plataforma WoRMS.

## **Riqueza y densidad**

La cuantificación de familias presentes refleja la riqueza taxonómica en este estudio. Cada familia se acompañó de los conteos reportados como presencia y ausencia (1 y 0) (ANEXO V). Posteriormente, la abundancia ( $n =$  número de individuos por familia) se transformó a densidad ( $\text{ind}/\text{m}^2$ ) para cada hábitat de cada ecosistema con base en el área de cada nucleador utilizado para muestreo del hábitat correspondiente (Tabla 2). Con estos datos se realizaron análisis de similitud y curvas de saturación de familias.

Un análisis exploratorio y un ANOVA de una vía (Chambers y Hastie, 1992) exploran las diferencias en la composición de la macrofauna, entre los hábitats quimiosintéticos. Un análisis de clasificación examina los hábitats por la similitud de la riqueza de familias.

**Tabla 2.** Muestras revisadas y fotografiadas en este estudio, correspondientes al Margen de Sonora y la Cuenca de Guaymas para los niveles 0 a 1 y 1 a 3 cm de cada inmersión, para cada apertura de tamiz y los hábitats asociados a éstas.

Inmersión	Localidad	Hábitat	Número de núcleo	Área del nucleador (m <sup>2</sup> )	Tamices (µm)
1755 S_Mat	Margen de Sonora	Tapete bacteriano ( <i>Beggiatoa</i> ) (Infiltración)	GCL 1	0.04	250
					300
					500
					1000
1757 S_VesA	Margen de Sonora	Bivalvos vesicómidos ( <i>Archivesica gigas</i> ) (Infiltración)	GCL 4	0.04	250
					300
					500
					1000
1762 S_Sib	Margen de Sonora	Gusanos siboglínidos ( <i>Escarpia spicata</i> y <i>Lamellibrachia barhami</i> ) (Infiltración)	CL 1	0.02	250
					300
					500
					1000
1770 V_Sib	Cuenca de Guaymas	Fondo con detrito de <i>Riftia</i> ( <i>Riftia pachyptila</i> ) (Ventila hidrotermal)	GCL1	0.04	250
					300
					500
					1000

### Biomasa

Los organismos de cada familia se pesaron con una microbalanza. Los valores se reportan en gramos de peso húmedo fijado (phf) y se transformaron a unidades de carbono expresados en unidades g



C/m<sup>2</sup> con las constantes de transformación propuestas por Rowe (1983). Éstas se compararon por apertura de malla del tamiz, estrato de profundidad, para cada hábitat en cada localidad de cada ecosistema. Un cuadro con densidad de taxa y su biomasa se presenta para las infiltraciones de metano y los fondos abisales de sustrato blando (ANEXO II).

### **Similitud**

El grado de similitud entre la composición faunística de cada uno de los hábitats quimiosintéticos, se obtuvo a partir del listado de familias realizado para cada hábitat por su presencia y ausencia a través del índice de Jaccard con tipo de enlace promedio simple.

En el caso de la similitud de densidad y biomasa, se obtuvo a través del coeficiente cuantitativo asimétrico Bray-Curtis (Bray y Curtis, 1957). El coeficiente descrito en la ecuación 1 permite comparar dos localidades a la vez (x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>) en términos de abundancia de cada especie (Legendre y Legendre, 1998). En este estudio se utilizaron los datos de densidad de familias de cada taxon.

**(Ecuación 1)**

$$S(x_1, x_2) = \frac{W}{(A+B)/2} = 1 - \frac{2W}{(A+B)}$$

Donde:

**S**= número de familias encontradas en el muestreo

**W**= suma de las abundancias/densidades mínimas de las familias

**A y B**= las sumas de las abundancias/densidades de todas las familias en cada uno de dos sitios

### **VARIABLES ESENCIALES AMBIENTALES**

Con la finalidad de caracterizar las condiciones fisicoquímicas de los hábitats seleccionados, se compartieron los datos por otros investigadores que tomaron muestras de agua intersticial en el sedimento de cada hábitat quimiosintético en la sección de 0-2 cm. Las variables que aquí se reportan son concentraciones de metano y ácido sulfhídrico, siguiendo las metodologías descritas en Caprais et al. 2010, Vigneron et al. 2013, y Russ et al. 2013.

## RESULTADOS

### ESTRUCTURA COMUNITARIA

#### Composición taxonómica:

En este estudio se registró un total de 193 organismos del macrobentos en los hábitats quimiosintéticos, distribuidos en 4 phyla, 5 clases, 19 órdenes y 22 familias (Tabla 3).

**Tabla 3.** Clasificación de macrobentos identificados en las muestras de este estudio, pertenecientes a las inmersiones de la campaña BIG. Clasificación según Brusca y Brusca (2003) y con el arreglo sistemático de la plataforma WoRMS.

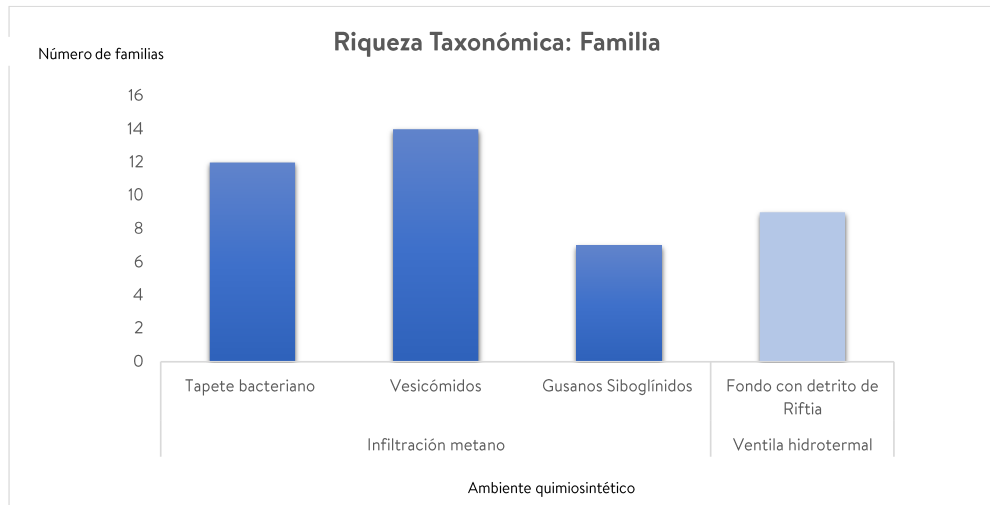
Phylum	Clase	Orden	Familia
1. Annelida	1. Polychaeta	1. Amphinomida	1. Archinomidae
		2. Eunicida	2. Dorvilleidae
		3. Phyllodocida	3. Hesionidae
			4. Nereididae
		4. s/o	5. Cossuridae
		5. s/o	6. Orbiniidae
		6. Terebellida	7. Cirratulidae
		7. Lucinida	8. Lucinidae
		8. Lucinida	9. Thyasiridae
		9. Mytilida	10. Mytilidae
		10. Solemyidae	11. Solemyidae
2. Mollusca	2. Gasteropoda	11. Venerida	12. Vesicomidae
		12. Caenogastropoda	13. Provannidae
3. Arthropoda	3. Copepoda	14. Harpacticoida	13. Trochida
			14. Laophontidae
			16. Aegisthidae
		17. Ectinosomatidae	
	15. Cyclopoida	18. Oncaeidae	
	16. Siphonostomatoida	19. Dirivultidae	
	4. Malacostraca	17. Tanaidacea	20. no identificado
18. Amphipoda		21. Eusiridae	
4. Kinorhyncha	5. Cyclorhagida	19. Echinorhagata	22. Echinoderidae

\*s/o= sin orden

### Riqueza:

La riqueza taxonómica medida como familia, más elevada, se reconoció en el ecosistema de infiltraciones frías de metano, en el hábitat Vesicómidos (1757 S\_VesA) (14) seguido del hábitat Tapete bacteriano (1755 S\_Mat) también en infiltraciones frías de metano (12), mientras que el valor más bajo (7) se obtuvo en el hábitat de Gusanos Siboglínidos (*Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami*) (1762 S\_Sib) también dentro del ecosistema de infiltraciones frías de metano. En el hábitat de fondo con detrito de *Riftia* (1770 V\_Sib) en el ecosistema de ventilas hidrotermales, la riqueza obtenida fue de 9 familias de macrofauna, siendo mayor que la del hábitat de Gusanos Siboglínidos (*Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami*) (1762 S\_Sib) en el ecosistema de infiltración de metano (Tabla 4) (Fig. 9).

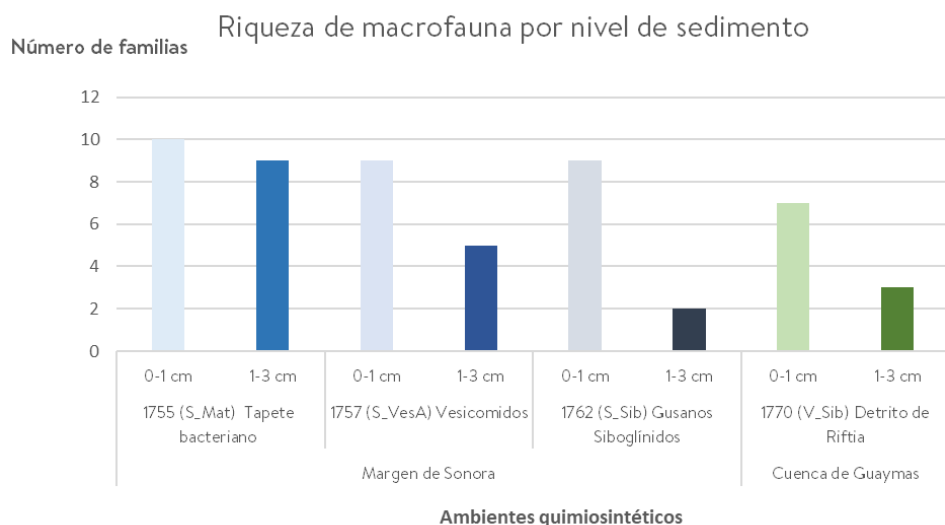
Tabla 4. Riqueza taxonómica de los hábitats quimiosintéticos, obtenida en este estudio.		
Ecosistema	Hábitat	Riqueza taxonómica (Familia)
Infiltración de metano	Tapete bacteriano 1755 (S_Mat)	12
	Vesicómidos 1757 (S_VesA)	14
	Gusanos Siboglínidos gusanos siboglínidos ( <i>Escarpia spicata</i> y <i>Lamellibrachia barhami</i> ) 1762 (S_Sib)	7
Ventila hidrotermal	Fondo con detrito de <i>Riftia</i> 1770 (V_Sib)	9



**Figura 9.** Riqueza de familias de macrofauna en hábitats quimiosintéticos analizados en este estudio.

La riqueza taxonómica fue siempre menor en el nivel inferior (1-3 cm) en cada ecosistema (5.33 y 3, en Infiltración de metano y Ventila hidrotermal, respectivamente) que en el nivel superficial (0-1 cm) (9.33 y 7, en Infiltración de metano y Ventila hidrotermal, respectivamente) y en cada uno de los hábitats. Los valores de riqueza fueron mayores en promedio en el nivel superficial del sedimento en los ecosistemas de las infiltraciones frías de metano que en las ventilas hidrotermales, y de los primeros, los valores fueron mayores en el hábitat de tapete bacteriano (1755 S\_mat) con 10 y 9 familias por nivel, respectivamente (figura 10).

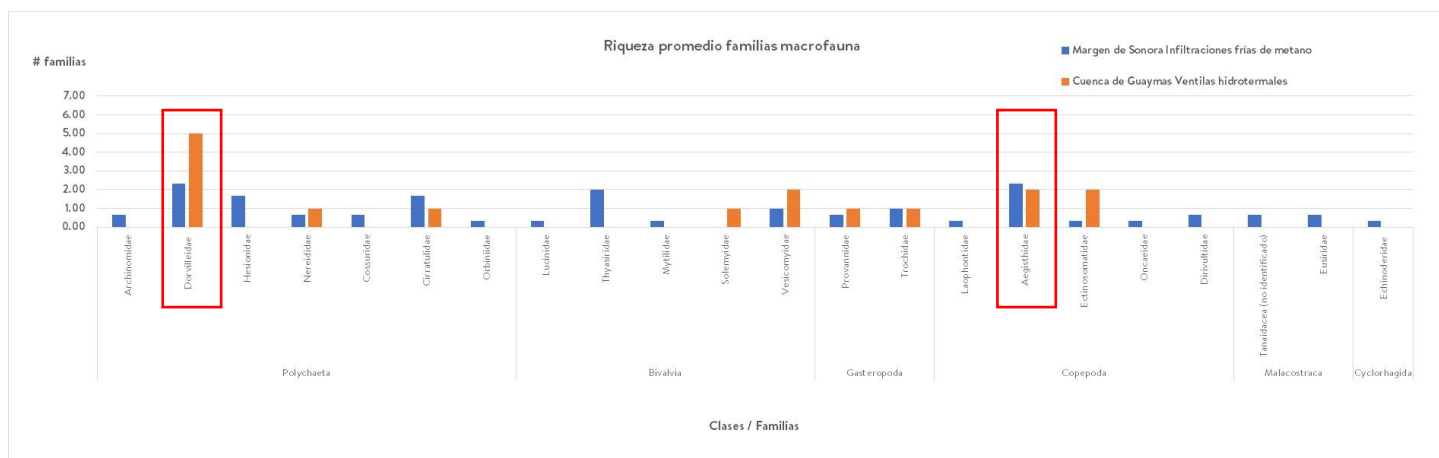
Los organismos en los hábitats de Vesicómidos, Siboglínidos y detrito de Riftia estuvieron presentes en cada tamiz del nivel superficial (0-1 cm).



**Figura 10.** Riqueza de macrofauna por nivel de sedimento en cada hábitat quimiosintético por ecosistema.

La comparación de la riqueza de familias no mostró una diferencia significativa (ANOVA  $F_{(3,4)}=1.248$ ,  $p=0.4034$ ) entre los ecosistemas y sus hábitats para los niveles de sedimento 0-1 y 1-3 cm de este estudio.

La clase que presentó una mayor riqueza en infiltraciones frías de metano y ventilas hidrotermales, fue Polychaeta, con la familia Dorvilleidae, en el caso de las infiltraciones frías, la clase Copepoda con la familia Aegisthidae fue la segunda con mayor presencia (Figura 11).



**Figura 11.** Riqueza promedio de macrofauna por nivel de sedimento en cada hábitat quimiosintético por ecosistema.

## Infiltraciones frías

### Inmersión 1755 (S\_Mat): Margen de Sonora

*Hábitat tapete bacteriano*

**Núcleo: GCL 1**

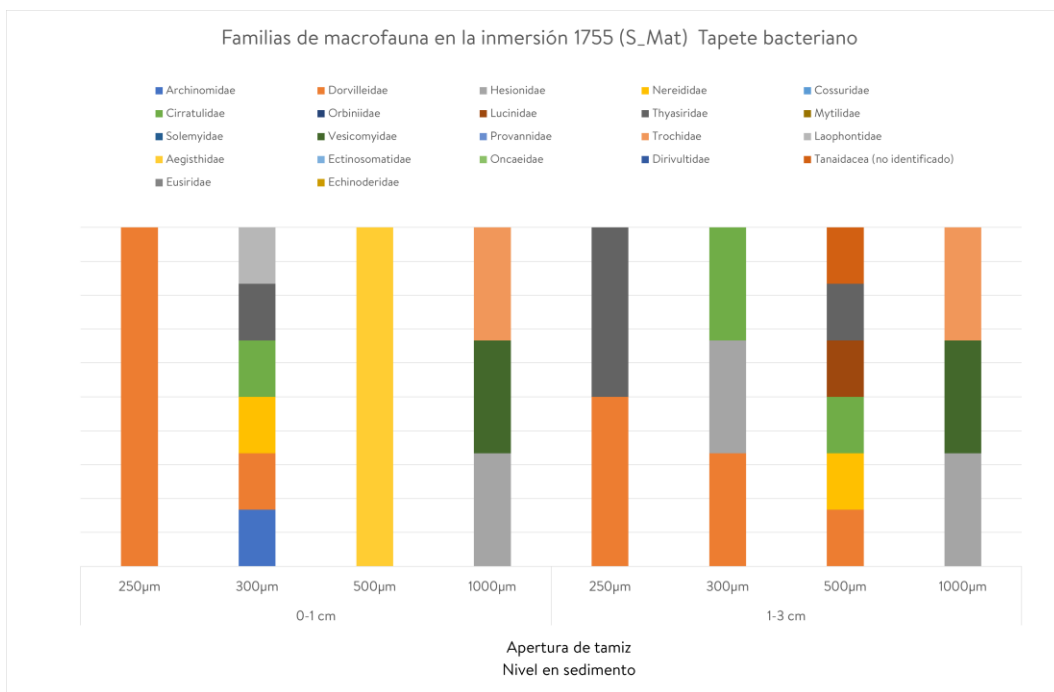
**Área del núcleo: 0.04 m<sup>2</sup>**

- **Nivel: 0-1 cm**

- ✓ Apertura de 250 µm: Se reconoció 1 familia de Polychaeta (Dorvilleidae).
- ✓ Apertura de 300 µm: Se reconocieron 4 familias de Polychaeta (Archinomidae, Dorvilleidae, Nereididae y Cirratulidae), 1 familia de Bivalvia (Thyasiridae) y 1 familia de Copepoda (Laophontidae). Siendo así la apertura de tamiz con mayor riqueza de familias en este nivel y hábitat.
- ✓ Apertura de 500 µm: Se reconoció 1 familia de Copepoda (Aegisthidae).
- ✓ Apertura de 1000 µm: Se reconocieron 1 familia de Polychaeta (Hesionidae), 1 familia de Bivalvia (Vesicomidae) y 1 familia de Gasteropoda (Trochidae).

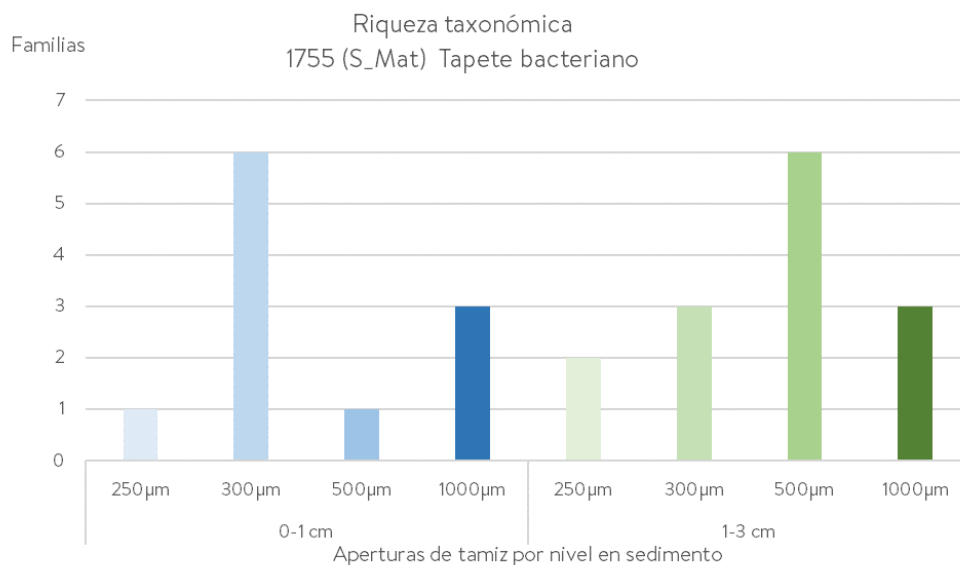
- **Nivel: 1-3 cm**

- ✓ Apertura de 250 µm: Se reconoció 1 familia de Polychaeta (Dorvilleidae) y 1 familia de Bivalvia (Thyasiridae).
- ✓ Apertura de 300 µm: Se reconocieron 3 familias de Polychaeta (Dorvilleidae, Hesionidae y Cirratulidae).
- ✓ Apertura de 500 µm: Se reconocieron 3 familias de Polychaeta (Dorvilleidae, Nereididae y Cirratulidae), 2 familias de Bivalvia (Lucinidae y Thyasiridae) y 1 familia de Malacostraca (Tanaidacea sin identificar). Siendo así la apertura de tamiz con mayor riqueza de familias en este nivel y hábitat.
- ✓ Apertura de 1000 µm: Se reconoció 1 familia de Polychaeta (Hesionidae), 1 familia de Bivalvia (Vesicomidae) y 1 familia de Gasteropoda (Trochidae).



**Figura 12.** Riqueza de familias identificadas en el hábitat de Infiltración fría de metano, Tapete bacteriano 1755 (S\_Mat).

El nivel de sedimento con mayor número de familias fue el segundo (1-3 cm), con 14 familias.



**Figura 13.** Riqueza taxonómica (número de familias) observada en cada tamiz para el hábitat Tapete bacteriano.

✚ **Inmersión 1757 (S\_VesA): Margen de Sonora**

*Hábitat Vesicómidos*

**Núcleo: GCL 4**

**Área del núcleo: 0.04 m<sup>2</sup>**

• **Nivel: 0-1 cm**

- ✓ Apertura de 250 µm: Se reconocieron 1 familia de Bivalvia (Mytilidae), 4 familias de Copepoda (Aegisthidae, Ectinosomatidae, Oncaeidae y Dirivultidae) y 1 familia de Cyclorhagida (Echinoderidae).
- ✓ Apertura de 300 µm: Se reconocieron 3 familias de Polychaeta (Archinomidae, Cossuridae y Orbiniidae), 1 familia de Gasteropoda (Trochidae) y 2 familias de Copepoda (Ectinosomatidae y Dirivultidae).

Siendo así estas dos aperturas de tamiz las que contaron con mayor riqueza de familias en este nivel y hábitat.

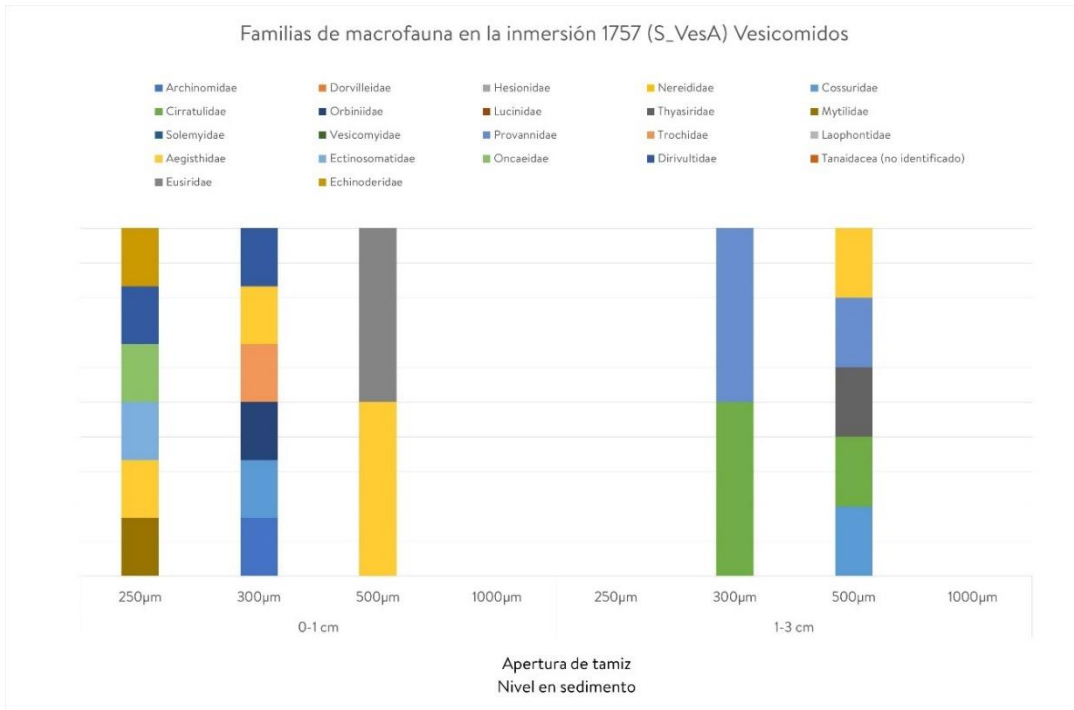
- ✓ Apertura de 500 µm: Se reconocieron 1 familia de Copepoda (Aegisthidae) y 1 familia de Malacostraca (Amphipoda: Eusiridae).

Apertura de 1000 µm: La biota estuvo ausente.

• **Nivel: 1-3 cm**

- ✓ Apertura de 250 µm: La biota estuvo ausente.
- ✓ Apertura de 300 µm: Se reconoció 1 familia de Polychaeta (Cirratulidae) y 1 familia de Gasteropoda (Provannidae).
- ✓ Apertura de 500 µm: Se reconocieron 2 familias de Polychaeta (Cossuridae y Cirratulidae), 1 familia de Bivalvia (Thyasiridae) y 1 familia de Copepoda (Aegisthidae). Siendo así la apertura de tamiz con mayor riqueza de familias en este nivel y hábitat.
- ✓ Apertura de 1,000 µm: La biota estuvo ausente.






**Figura 14.** Riqueza de familias identificadas en el hábitat de Infiltración fría de metano, Vesicomidos 1757 (S\_VesA).



**Figura 15.** Riqueza taxonómica para el hábitat Vesicómidos.

 **Inmersión 1762 (S\_Sib): Margen de Sonora**

*Hábitat Gusanos Siboglínidos (Escarpia spicata y Lamellibrachia barhami)*

**Núcleo: CL 1**

**Área de núcleo: 0.02 m<sup>2</sup>**

- **Nivel: 0-1 cm**

- ✓ Apertura de 250 μm: Se reconocieron 1 familia de Polychaeta (Drovilleidae), 1 familia de Bivalvia (Thyasiridae) y 1 familia de Copepoda (Aegisthidae).

- ✓ Apertura de 300 μm: Se reconocieron 1 familia de Polychaeta (Drovilleidae), 1 familia de Bivalvia (Thyasiridae) y 1 familia de Copepoda (Aegisthidae).

Siendo así estas dos aperturas de tamiz las que contaron con mayor riqueza de familias en este nivel y hábitat.

- ✓ Apertura de 500 μm: Se reconocieron 1 familia de Polychaeta (Hesionidae) y 1 familia de Malacostraca (Amphipoda: Eusiridae).

- ✓ Apertura de 1000 μm: Se reconoció 1 familia de Bivalvia (Vesicomidae).

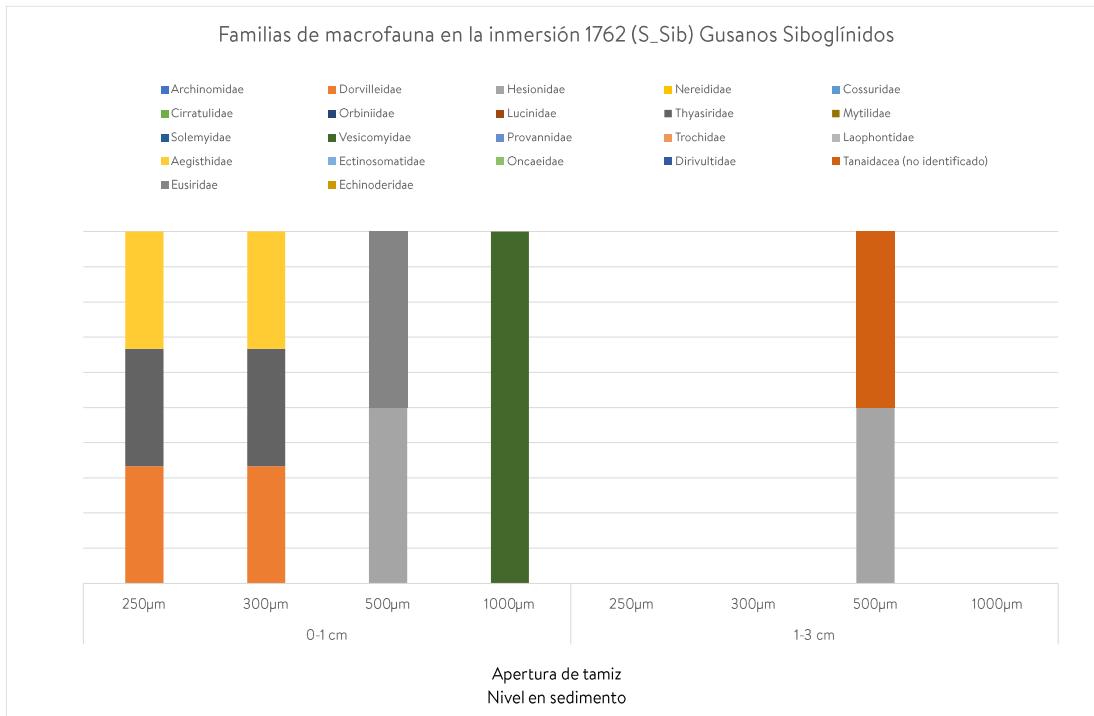
- **Nivel: 1-3**

- ✓ Apertura de 250 μm: La biota estuvo ausente.

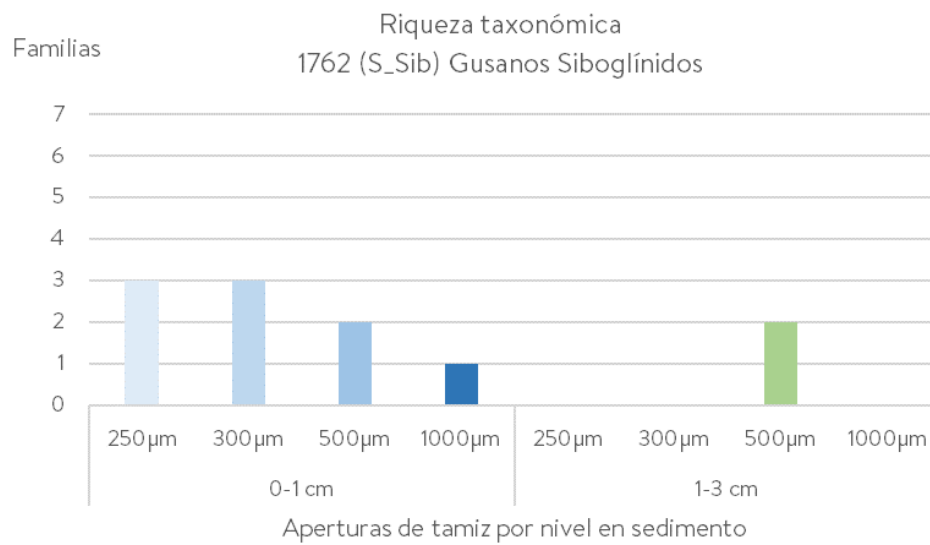
- ✓ Apertura de 300 μm: La biota estuvo ausente.

- ✓ Apertura de 500 μm: Se reconoció 1 familia de Polychaeta (Hesionidae) y 1 familia de Malacostraca (Tanaidacea sin identificar). Siendo así esta apertura de tamiz las que contó con mayor riqueza de familias en este nivel y hábitat.

- ✓ Apertura de 1000 μm: La biota estuvo ausente.



**Figura 16.** Riqueza de familias identificadas en el hábitat de Infiltración fría de metano, Gusanos Siboglínidos (*Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami*) 1762 (S\_Sib).



**Figura 17.** Riqueza taxonómica para el hábitat Gusanos Siboglínidos.

## Ventilas hidrotermales

### Inmersión 1770 (V\_Sib): Cuenca de Guaymas

*Hábitat Fondo con detrito de Riftia*

**Núcleo: GCL 1**

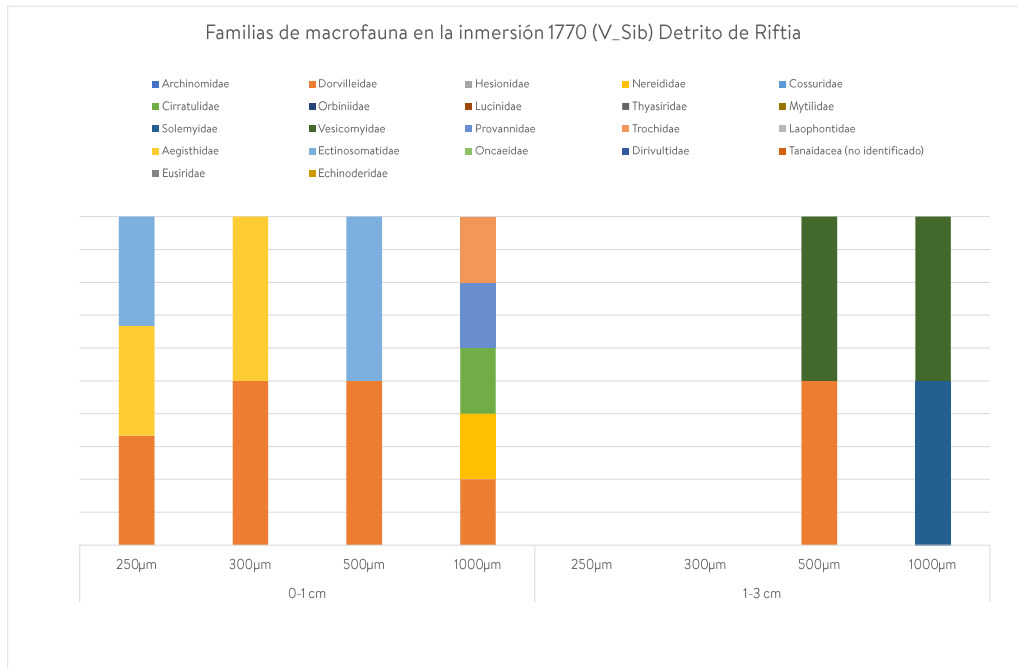
**Área de núcleo: 0.04 m<sup>2</sup>**

#### **Nivel: 0-1 cm**

- ✓ Apertura de 250 µm: Se reconoció 1 familia de Polychaeta (Dorvilleidae) y 2 familias de Copepoda (Ectinosomatidae y Aegisthidae).
- ✓ Apertura de 300 µm: Se reconoció 1 familia de Polychaeta (Dorvilleidae) y 1 familia de Copepoda (Aegisthidae).
- ✓ Apertura de 500 µm: Se reconoció 1 familia de Polychaeta (Dorveillidae) y 1 familia de Copepoda (Ectinosomatidae).
- ✓ Apertura de 1000 µm: Se reconocieron 3 familias de Polychaeta (Nereididae, Cirratulidae y Dorvilleidae) y 2 familias de Gasteropoda (Provannidae y Trochidae). Siendo así esta apertura de tamiz la que contó con mayor riqueza de familias en este nivel y hábitat.

#### • **Nivel 1-3**

- ✓ Apertura de 250 µm: La biota estuvo ausente.
- ✓ Apertura de 300 µm: La biota estuvo ausente.
- ✓ Apertura de 500 µm: Se reconoció 1 familia de Polychaeta (Dorvilleidae) y 1 familia de Bivalvia (Vesicomidae).
- ✓ Apertura de 1000 µm: Se reconocieron 2 familias de Bivalvia (Vesicomidae y Solemyidae).
- ✓ Siendo así estas dos aperturas de tamiz las que contaron con mayor riqueza de familias en este nivel y hábitat.



**Figura 18.** Riqueza de familias identificadas en el hábitat de ventilas hidrotermales, fondo con detrito de Riftia 1770 (V\_Sib).



**Figura 19.** Riqueza taxonómica para el hábitat Detrito de Riftia.

## Similitud riqueza

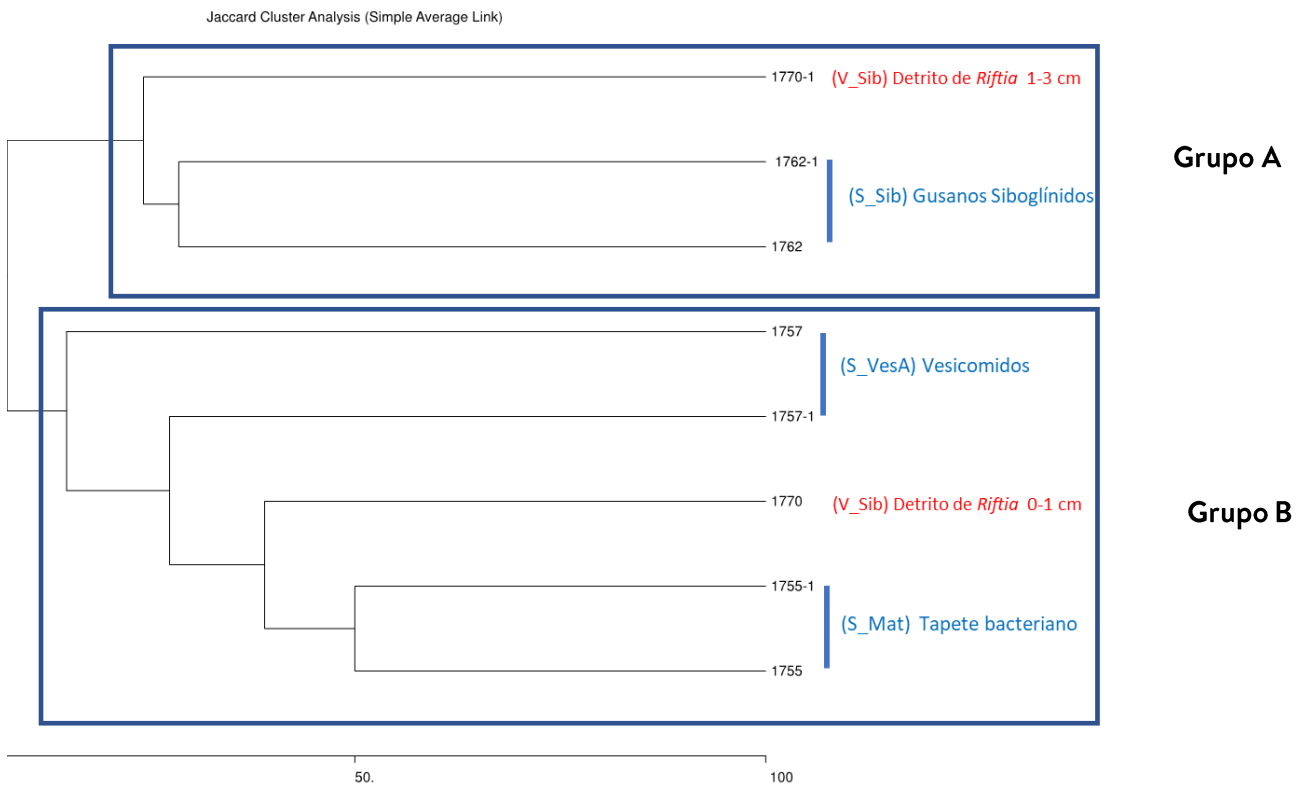
El análisis de cluster por hábitat (figura 20) muestra dos grupos: A y B.

El grupo A conformado por el hábitat Detrito de Riftia (V\_Sib 1770) del ecosistema ventilas hidrotermales y Gusanos Siboglínidos (*Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami*) (S\_Sib 1762) del ecosistema de infiltraciones frías de metano. En conjunto ambas inmersiones de este grupo cuentan con 8 familias en total, representando el 36.4% de todas las familias presentes en este estudio.

El grupo B conformado por los hábitats de Vesicómidos (S\_ VesA 1757), Tapete bacteriano (S\_Mat 1755) ambos pertenecientes al ecosistema de infiltraciones frías de metano y el hábitat Detrito de Riftia (V\_Sib 1770) del ecosistema de ventilas hidrotermales, en conjunto estas inmersiones cuentan con 21 familias en total, representando el 95.5% de las familias de este estudio.

En el caso del grupo A, este tiene en común la presencia de la familia de bivalvos Solemyidae en uno de los núcleos, familia que no está presente en el grupo B. Con respecto a la inmersión 1762 (S\_Sib) tiene también en común a la familia de poliquetos Dorvilleidae, la cual es común también en el grupo B, esto la hace un grupo separado al faltar en estas dos inmersiones, 10 de las familias que si se encuentran en el grupo B. Además, cuentan en común biota ausente en aperturas de tamiz de 250 y 300  $\mu\text{m}$  en el segundo nivel del sedimento.

El promedio de familias para el grupo A es de  $4 \pm 1.73$  mientras que el grupo B cuenta con mayor número de familias, con  $8.2 \pm 2.4$ .



**Figura 20.** Análisis Cluster con índice de disimilitud de Jaccard (enlace promedio simple) con base en presencia y ausencia (familias).

### Densidad:

### Infiltraciones frías

📍 Inmersión 1755 (S\_Mat): Margen de Sonora.

*Hábitat tapete bacteriano*

**Núcleo: GCL 1**

**Área del núcleo: 0.04 m<sup>2</sup>**

- **Nivel: 0-1 cm**

- ✓ Apertura de 250 µm: Se reconocieron 2 poliquetos de la familia Dorvilleidae (50 ind\*m<sup>2</sup>).

- ✓ Apertura de 300 µm: Se reconocieron 17 poliquetos de la familia Dorvilleidae (425 ind\*m<sup>2</sup>), 3 de Cirratulidae (75 ind\*m<sup>2</sup>) y 1 de la familia Nereididae (25 ind\*m<sup>2</sup>); 2 bivalvos de la familia Archinomidae (50 ind\*m<sup>2</sup>) y 1 Thyasiridae (25 ind\*m<sup>2</sup>), y 1 copépodo de la familia Laophontidae (25 ind\*m<sup>2</sup>).
- ✓ Apertura de 500 µm: Se reconocieron 3 copépodos de la familia Aegisthidae (75 ind\*m<sup>2</sup>).
- ✓ Apertura de 1000 µm: Se reconocieron 4 poliquetos de la familia Hesionidae (100 ind\*m<sup>2</sup>); 3 bivalvos de la familia Vesycomidae (75 ind\*m<sup>2m</sup>) y 7 gasterópodos de la familia Trochidae (175 ind\*m<sup>2</sup>).

- **Nivel: 1-3 cm**

- ✓ Apertura de 250 µm: Se reconocieron 5 poliquetos de la familia Dorvilleidae (125 ind\*m<sup>2</sup>) y 1 bivalvo de la familia Thyasiridae (25 ind\*m<sup>2</sup>).
- ✓ Apertura de 300 µm: Se reconocieron 6 poliquetos de la familia Dorvilleidae (150 ind\*m<sup>2</sup>), 1 Cirratulidae (25 ind\*m<sup>2</sup>) y 1 Hesionidae (25 ind\*m<sup>2</sup>).
- ✓ Apertura de 500 µm: Se reconocieron 16 poliquetos de la familia Dorvilleidae (400 ind\*m<sup>2</sup>), 1 Cirratulidae (25 ind\*m<sup>2</sup>) y 1 Nereididae (25 ind\*m<sup>2</sup>); 2 bivalvos de la familia Thyasiridae (50 ind\*m<sup>2</sup>) y 1 de Lucinidae (25 ind\*m<sup>2</sup>) y 1 tanaidáceo sin identificar (25 ind\*m<sup>2</sup>).
- ✓ Apertura de 1000 µm: Se reconocieron 2 poliquetos de la familia Hesionidae (50 ind\*m<sup>2</sup>), 2 gasterópodos de la familia Trochidae (50 ind\*m<sup>2</sup>) y 1 bivalvo de la familia Vesicomidae (25 ind\*m<sup>2</sup>).

- ** Inmersión 1757 (S\_VesA): Margen de Sonora.**

*Hábitat Vesicómidos*

**Núcleo: GCL 4**

**Área del núcleo: 0.04 m<sup>2</sup>**

- **Nivel: 0-1 cm**

- ✓ Apertura de 250 µm: Se reconocieron 6 copépodos de la familia Aegisthidae (150 ind\*m<sup>2</sup>) y 2 de la familia Ectinosomatidae (50 ind\*m<sup>2</sup>), 3 de la familia Oncaeidae (75 ind\*m<sup>2</sup>) y 1 de la



familia Dirivultidae (25 ind\*m2); 4 bivalvos de la familia Mytilidae (100 ind\*m2) y 1 quinorrinco de la familia Echinoderidae (25 ind\*m2).

- ✓ Apertura de 300 µm: Se reconocieron 3 poliquetos (75 ind\*m2), 1 ejemplar para cada una de las familias Cossuridae, Orbiniidae y Archinomidae; 7 gasterópodos de la familia Trochidae (175 ind\*m2) y 9 copépodos de la familia Aegisthidae (225 ind\*m2) y 1 de la familia Dirivultidae (25 ind\*m2).
- ✓ Apertura de 500 µm: Se reconocieron 2 copépodos de la familia Aegisthidae (50 ind\*m2) y 1 anfípodo de la familia Eusiridae (25 ind\*m2).
- ✓ Apertura de 1000 µm: La biota estuvo ausente (0 ind\*m2).

- **Nivel: 1-3 cm**

- ✓ Apertura de 250 µm: La biota estuvo ausente (0 ind\*m2).
- ✓ Apertura de 300 µm: Se reconoció 1 poliqueto de la familia Cirratulidae (25 ind\*m2) y fragmentos, y 1 gasterópodo de la familia Provannidae (25 ind\*m2).
- ✓ Apertura de 500 µm: Se reconoció 1 poliqueto de la familia Cirratulidae (25 ind\*m2), 1 de la familia Cossuridae (25 ind\*m2); 1 gasterópodo de la familia Provannidae (25 ind\*m2); 2 copépodos de la familia Aegisthidae (50 ind\*m2) y 4 bivalvos de la familia Thyasiridae (100 ind\*m2).
- ✓ Apertura de 1,000 µm: La biota estuvo ausente.

- ** Inmersión 1762 (S\_Sib): Margen de Sonora**

*Hábitat Gusanos Siboglinidos (Escarpia spicata y Lamellibrachia barhami)*

**Núcleo: CL 1**

**Área de núcleo: 0.02 m<sup>2</sup>**

- **Nivel: 0-1 cm**

- ✓ Apertura de 250 µm: Se reconocieron 3 poliquetos de la familia Dorvilleidae (150 ind\*m2); 1 bivalvo de la familia Thyasiridae (50 ind\*m2) y 2 copépodos de la familia Aegisthidae (100 ind\*m2).

- ✓ Apertura de 300 µm: Se reconocieron 5 poliquetos de la familia Dorveillidae (250 ind\*m2); 1 bivalvo de la familia Thyasiridae (50 ind\*m2) y 2 copépodos de la familia Aegisthidae (100 ind\*m2).
- ✓ Apertura de 500 µm: Se reconocieron 1 poliqueto de la familia Hesionidae (50 ind\*m2) y 1 anfípodo de la familia Eusiridae (50 ind\*m2).
- ✓ Apertura de 1000 µm: Se reconoció 1 bivalvo de la familia Vesycomyidae (50 ind\*m2).
- **Nivel: 1-3**
  - ✓ Apertura de 250 µm: La biota estuvo ausente (0 ind\*m2).
  - ✓ Apertura de 300 µm: La biota estuvo ausente (0 ind\*m2).
  - ✓ Apertura de 500 µm: Se reconoció 1 poliqueto de la familia Hesionidae (50 ind\*m2); 1 tanaidáceo de sin identificar (50 ind\*m2).
  - ✓ Apertura de 1000 µm: Se reconoció 1 bivalvo de la familia Vesycomyidae (50 ind\*m2).

La densidad de la familia de gasterópodos Trochidae mostró diferencias significativas entre inmersiones en infiltraciones frías por tamices para el hábitat tapete bacteriano (inmersión S\_Mat 1755), para (ANOVA  $F_{(3, 68)}=4.2269$ ,  $p=0.0011$ ).

### **Ventilas hidrotermales**

#### **Inmersión 1770 (V\_Sib): Cuenca de Guaymas**

*Hábitat Fondo con detrito de Riftia*

**Núcleo: GCL 1**

**Área de núcleo: 0.04 m<sup>2</sup>**

#### **Nivel: 0-1 cm**

- ✓ Apertura de 250 µm: Se reconocieron 5 poliquetos de la familia Dorvilleidae (125 ind\*m2); 3 copépodos de la familia Ectinosomatidae (75 ind\*m2) y 1 de la familia Aegisthidae (25 ind\*m2).

- ✓ Apertura de 300  $\mu\text{m}$ : Se reconocieron 5 poliquetos pertenecientes a la familia Dorvilleidae (125 ind\*m<sup>2</sup>) así como 2 copépodos pertenecientes a la familia Aegisthidae (50 ind\*m<sup>2</sup>).
- ✓ Apertura de 500  $\mu\text{m}$ : Se reconocieron 5 poliquetos de la familia Dorveillidae (125 ind\*m<sup>2</sup>) y 1 copépodo de la familia Ectinosomatidae (25 ind\*m<sup>2</sup>).
- ✓ Apertura de 1000  $\mu\text{m}$ : Se reconocieron 4 poliquetos, 1 de la familia Nereididae (25 ind\*m<sup>2</sup>), 1 de la familia Cirratulidae (25 ind\*m<sup>2</sup>) y 2 de la familia Dorveillidae (50 ind\*m<sup>2</sup>); 6 gasterópodos de la familia Provannidae (150 ind\*m<sup>2</sup>) y 2 de la familia Trochidae (50 ind\*m<sup>2</sup>).

- **Nivel 1-3**

- ✓ Apertura de 250  $\mu\text{m}$ : La biota estuvo ausente (0 ind\*m<sup>2</sup>).
- ✓ Apertura de 300  $\mu\text{m}$ : La biota estuvo ausente (0 ind\*m<sup>2</sup>).
- ✓ Apertura de 500  $\mu\text{m}$ : Se reconocieron 1 poliqueto de la familia Dorvilleidae (25 ind\*m<sup>2</sup>) y 2 bivalvos de la familia Vesicomidae (50 ind\*m<sup>2</sup>).
- ✓ Apertura de 1000  $\mu\text{m}$ : Se reconocieron 2 bivalvos de la familia Vesycomyidae (50 ind\*m<sup>2</sup>) y 2 de la familia Solemyidae (50 ind\*m<sup>2</sup>).

La densidad promedio en los 4 hábitats quimiosintéticos de este estudio varió de  $104.17 \pm 194.11$  a  $11.90 \pm 20.89$  ( $n=193$ , Tabla 6). El valor más elevado ( $104.17 \pm 194.11$ ) se reconoció en el primer nivel del sedimento, en la apertura de tamiz de 300  $\mu\text{m}$  del hábitat de tapete bacteriano (1755 S\_mat) dentro de las infiltraciones de metano en el Margen de Sonora, mientras que el valor más bajo correspondió al segundo nivel del sedimento, en la apertura de tamiz de 500  $\mu\text{m}$  en el hábitat de gusanos Siboglínidos y tapete bacteriano (1762 S\_Sib), igualmente dentro de hábitat de infiltraciones frías en el Margen de Sonora.

Al comparar los valores de densidad de todos los ecosistemas quimiosintéticos, por apertura de tamiz, mostraron diferencias significativas en el hábitat correspondiente al fondo con detrito de Riftia (1770 V\_Sib) dentro de ventilas hidrotermales en la Cuenca de Guaymas (ANOVA  $F_{(3, 20)}=438.58$ ,  $p=0.0000$ ).

**Tabla 5.** Valores promedio y desviación estándar de la densidad (ind\*m<sup>2</sup>) de las clases de macrofauna por niveles de sedimento en los hábitats quimiosintéticos de este estudio. Los valores más elevados, se muestran en color verde.

Inmersión	Localidad	Ambiente	Número de núcleo	Área del nucleador (m <sup>2</sup> )	Nivel	Tamiz	Polychaeta		Bivalvia		Copepoda		Gasteropoda		Malacostraca		Echinorhagata		Total	Promedio	Desv. Est.		
						(µm)	Abundancia	Densidad	Abundancia	Densidad	Abundancia	Densidad	Abundancia	Densidad	Abundancia	Densidad	Abundancia	Densidad				Abundancia	Densidad
1755 (S_mat)	Margen de Sonora	Tapete bacteriano (Infiltración)	GCL 1	0.04	0 a 1	250	2	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8.33	20.41	
						300	21	525	3	75	1	25	0	0	0	0	0	0	0	0	25	104.17	208.22
						500	0	0	0	0	3	75	0	0	0	0	0	0	0	0	3	12.50	30.62
						1000	4	100	3	75	0	0	7	175	0	0	0	0	0	0	14	58.33	71.88
						Promedio		168.8		37.5		25.0		43.8		0.0		0.0		0.0		11	
					Desv. Est.		241.0		43.3		35.4		87.5		0.0		0.0		0.0		10.80		
					1 a 3	250	5	125	1	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	25.00	50.00
						300	8	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	33.33	81.65
						500	18	450	3	75	0	0	0	0	1	25	0	0	0	22	91.67	177.95	
						1000	2	50	1	25	0	0	2	50	0	0	0	0	0	5	20.83	24.58	
Promedio		206.25	1.25	31.25		0	0	0.5	12.5	0.25	6.25	0	0	0	10.25								
Desv. Est.		173.7	1.3	31.5	0.0	0.0	1.0	25.0	0.5	12.5	0.0	0.0	0.0	7.93									
1757 (S_VesA)	Margen de Sonora	Vesicómidos (Infiltración)	GCL 4	0.04	0 a 1	250	0	0	4	100	12	300	0	0	0	0	1	25	17	70.83	118.76		
						300	3	75	0	0	10	250	7	175	0	0	0	0	0	20	83.33	106.85	
						500	0	0	0	0	2	50	0	0	1	25	0	0	3	12.50	20.92		
						1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	
						Promedio		18.75	1	25	6	150	1.75	43.75	0.25	6.25	0.25	6.25	10				
					Desv. Est.		37.5	2.0	50.0	5.9	147.2	3.5	87.5	0.5	12.5	0.5	12.5	9.97					
					1 a 3	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00
						300	1	25	0	0	0	0	1	25	0	0	0	0	2	8.33	12.91		
						500	2	50	4	100	2	50	1	25	0	0	0	0	9	37.50	37.91		
						1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
Promedio		18.75	1	25		0.5	12.5	0.5	12.5	0	0	0	0	2.75									
Desv. Est.		23.9	2.0	50.0	1.0	25.0	0.6	14.4	0.0	0.0	0.0	0.0	4.27										
1762 (S_Sib)	Margen de Sonora	Gusanos Siboglinidos y tapete bacteriano	CL1	0.02	0 a 1	250	3	150	1	50	2	100	0	0	0	0	0	6	50.00	63.25			
						300	5	250	1	50	2	100	0	0	0	0	0	8	66.67	98.32			
						500	1	50	0	0	0	0	0	0	1	33.33	0	0	2	13.89	22.15		
						1000	0	0	1	50	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8.33	20.41		
						Promedio		112.5	0.75	37.5	1	50	0	0	0.25	8.33	0	0	4.25				
					Desv. Est.		110.9	0.5	25.0	1.2	57.7	0.0	0.0	0.5	16.7	0.0	0.0	3.30					
					1 a 3	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	
						300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	
						500	1	50	0	0	0	0	0	0	1	33	0	0	2	13.89	22.15		
						1000	0	0	1	50	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8.33	20.41		
Promedio		12.5	0.25	12.5		0	0	0	0	0.25	8.33	0	0	0.75									
Desv. Est.		25.0	0.5	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	16.7	0.0	0.0	0.96										
1770 (V_Sib)	Cuenca de Guaymas	Fondo con detrito de Riftia (Ventila hidrotermal)	GCL1	0.04	0 a 1	250	5	125	0	0	4	100	0	0	0	0	0	9	37.50	58.63			
						300	5	125	0	0	2	50	0	0	0	0	0	7	29.17	51.03			
						500	5	125	0	0	1	25	0	0	0	0	0	6	25.00	50.00			
						1000	4	100	0	0	0	0	8	200	0	0	0	12	50.00	83.67			
						Promedio		118.75	0	0	1.75	43.75	2	50	0	0	0	8.5					
					Desv. Est.		12.5	0.0	0.0	1.7	42.7	4.0	100.0	0.0	0.0	0.0	2.65						
					1 a 3	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	
						300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	
						500	1	25	2	50	0	0	0	0	0	0	0	3	12.50	20.92			
						1000	0	0	4	100	0	0	0	0	0	0	0	4	16.67	40.82			
Promedio		6.25	1.5	37.5		0	0	0	0	0	0	0	1.75										
Desv. Est.		12.5	1.9	47.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.06											

## Biomasa:

### Infiltraciones frías

#### 🚧 Inmersión 1755 (S\_Mat): Margen de Sonora.

*Hábitat tapete bacteriano*

#### **Nivel: 0-1 cm**

- ✓ Apertura de 250 µm: El valor de biomasa más elevado correspondió a los bivalvos (1.53 gCm<sup>2</sup>) y el más bajo a los gasterópodos (0.1521 gCm<sup>2</sup>).
- ✓ Apertura de 300 µm: El valor de biomasa más elevado correspondió a los poliquetos (0.2395 gCm<sup>2</sup>) y el más bajo a los bivalvos (0.0034 gCm<sup>2</sup>).
- ✓ Apertura de 500 µm: El valor de biomasa más elevado correspondió a los poliquetos (0.00222 gCm<sup>2</sup>) y el más bajo a los bivalvos (0.0000085 gCm<sup>2</sup>).
- ✓ Apertura de 1000 µm: El valor de biomasa más elevado correspondió a los bivalvos (0.7258 gCm<sup>2</sup>) y el más bajo a los poliquetos (0.00087 gCm<sup>2</sup>).

#### • **Nivel 1-3 cm**

- ✓ Apertura de 250 µm: El valor de biomasa más elevado correspondió a los bivalvos (0.7671 gCm<sup>-2</sup>) y el más bajo a los poliquetos (6.37x10<sup>-9</sup> gCm<sup>2</sup>).
- ✓ Apertura de 300 µm: El valor de biomasa más elevado correspondió a los bivalvos (0.767 gCm<sup>2</sup>) y el más bajo a los poliquetos (1.02x10<sup>-8</sup> gCm<sup>2</sup>).
- ✓ Apertura de 500 µm: El valor de biomasa más elevado correspondió a los bivalvos (2.300 gCm<sup>2</sup>) y el más bajo a los tanaidáceos (0.0001812 gCm<sup>2</sup>).
- ✓ Apertura de 1000 µm: El valor de biomasa más elevado correspondió a los bivalvos (0.7671 gCm<sup>2</sup>) y el más bajo a los gasterópodos (0.183 gCm<sup>2</sup>).

En esta inmersión, al comparar los valores de biomasa por las aperturas de tamiz, esta no resultó significativa (ANOVA  $F_{(1,581)}$ ,  $p=0.395$ ).

## 🚩 Inmersión 1757 (S\_VesA): Margen de Sonora.

### *Hábitat Vesicómidos*

- **Nivel: 0-1 cm**

- ✓ Apertura de 250  $\mu\text{m}$ : El valor de biomasa más elevado correspondió a los bivalvos (3.07  $\text{gCm}^2$ ) y el más bajo a los copépodos (0.024  $\text{gCm}^2$ ).
- ✓ Apertura de 300  $\mu\text{m}$ : El valor de biomasa más elevado correspondió a los copépodos (0.056  $\text{gCm}^2$ ) y el más bajo a los poliquetos (0.0061  $\text{gCm}^2$ ).
- ✓ Apertura de 500  $\mu\text{m}$ : El valor de biomasa más elevado correspondió a los copépodos (0.012  $\text{gCm}^2$ ) y el más bajo a los anfípodos (0.00095  $\text{gCm}^2$ ).
- ✓ Apertura de 1000  $\mu\text{m}$ : La biota estuvo ausente.

- **Nivel 1-3 cm**

- ✓ Apertura de 250  $\mu\text{m}$ : La biota estuvo ausente.
- ✓ Apertura de 300  $\mu\text{m}$ : El valor de biomasa más elevado correspondió a los bivalvos (19.95  $\text{gCm}^2$ ) y el más bajo a los poliquetos (0.0020  $\text{gCm}^2$ ).
- ✓ Apertura de 500  $\mu\text{m}$ : El valor de biomasa más elevado correspondió a los bivalvos (39.9  $\text{gCm}^2$ ) y el más bajo a los poliquetos (0.0020  $\text{gCm}^2$ ).
- ✓ Apertura de 1000  $\mu\text{m}$ : La biota estuvo ausente.

En este hábitat se reconoce una diferencia significativa al comparar las aperturas de tamiz (ANOVA  $F_{(366,923)}$ ,  $p=0.057$ ), al igual que al realizar la comparación con los valores por nivel o estrato de profundidad en el sedimento (ANOVA  $F_{(10,151)}$ ,  $p=0.0007$ ).

## Inmersión 1762 (S\_Sib): Margen de Sonora

Hábitat Gusanos siboglínidos (*Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami*)

- **Nivel: 0-1 cm**

- ✓ Apertura de 250  $\mu\text{m}$ : El valor de biomasa más elevado correspondió a los poliquetos (0.0005  $\text{gCm}^2$ ) y el más bajo a los conjuntamente a los bivalvos y gasterópodos (0.00017  $\text{gCm}^2$ ).
- ✓ Apertura de 300  $\mu\text{m}$ : El valor de biomasa correspondió a los poliquetos (0.00102  $\text{gCm}^2$ ).
- ✓ Apertura de 500  $\mu\text{m}$ : El valor de biomasa más elevado correspondió a los anfípodos (0.0474  $\text{gCm}^2$ ) y el más bajo a los poliquetos (0.00026  $\text{gCm}^2$ ).
- ✓ Apertura de 1000  $\mu\text{m}$ : El valor de biomasa más elevado correspondió a los bivalvos (0.00049  $\text{gCm}^2$ ) y el más bajo a los tanaidáceos (0.00036  $\text{gCm}^2$ ).

- **Nivel: 1-3**

- ✓ Apertura de 250  $\mu\text{m}$ : La biota estuvo ausente.
- ✓ Apertura de 300  $\mu\text{m}$ : La biota estuvo ausente.
- ✓ Apertura de 500  $\mu\text{m}$ : El valor de biomasa más elevado correspondió a los anfípodos (0.047  $\text{gCm}^2$ ) y el más bajo a los poliquetos (0.0002  $\text{gCm}^2$ ).
- ✓ Apertura de 1000  $\mu\text{m}$ : El valor de biomasa correspondió a los bivalvos (0.00017  $\text{gCm}^2$ ).

En este hábitat se reconocieron variaciones significativas (ANOVA  $F(9, 5.0181)=1366.4$ ,  $p=0.000$ ) al comparar los valores por apertura de tamiz así como por nivel o estrato de profundidad en el sedimento (ANOVA  $F(3, 4)=755.484$ ,  $p=0.0000$ ).

## Ventilas hidrotermales

### Inmersión 1770 (V\_Sib): Cuenca de Guaymas

*Hábitat Fondo con detrito de Riftia*

- **Nivel 0-1 cm**

- ✓ Apertura de 250  $\mu\text{m}$ : El valor de biomasa más elevado correspondió a los copépodos (8.290  $\text{gCm}^2$ ) y el más bajo a los bivalvos (0.007  $\text{gCm}^2$ ).
- ✓ Apertura de 300  $\mu\text{m}$ : El valor de biomasa más elevado correspondió a los copépodos (5.520  $\text{gCm}^2$ ) y el más bajo a los poliquetos (0.012  $\text{gCm}^2$ ).
- ✓ Apertura de 500  $\mu\text{m}$ : El valor de biomasa más elevado correspondió a los copépodos (2.763  $\text{gCm}^2$ ) y el más bajo a los poliquetos (0.009  $\text{gCm}^2$ ).
- ✓ Apertura de 1000  $\mu\text{m}$ : El valor de biomasa más elevado correspondió a los gastrópodos (0.140  $\text{gCm}^2$ ) y el más bajo a los poliquetos (0.009  $\text{gCm}^2$ ).

- **Nivel 1-3 cm**

- ✓ Apertura de 250  $\mu\text{m}$ : La biota estuvo ausente.
- ✓ Apertura de 300  $\mu\text{m}$ : El valor de biomasa más elevado correspondió a los poliquetos (0.020  $\text{gCm}^2$ ) y el más bajo a los bivalvos (0.002  $\text{gCm}^2$ ).
- ✓ Apertura de 500  $\mu\text{m}$ : El valor de biomasa más elevado correspondió a los poliquetos (0.020  $\text{gCm}^2$ ) y el más bajo a los bivalvos (0.002  $\text{gCm}^2$ ).
- ✓ Apertura de 1000  $\mu\text{m}$ : El valor de biomasa correspondió a los bivalvos (0.016  $\text{gCm}^2$ ) (figura 22).

Los valores de biomasa por apertura de tamiz en este hábitat resultaron similares (ANOVA  $F_{(12, 2.9373)}=2.2928$ ,  $p=0.27259$ ), así como los valores de cada nivel en el sedimento (ANOVA  $F_{(4, 3)}=4.087$ ,  $p=0.138$ ).



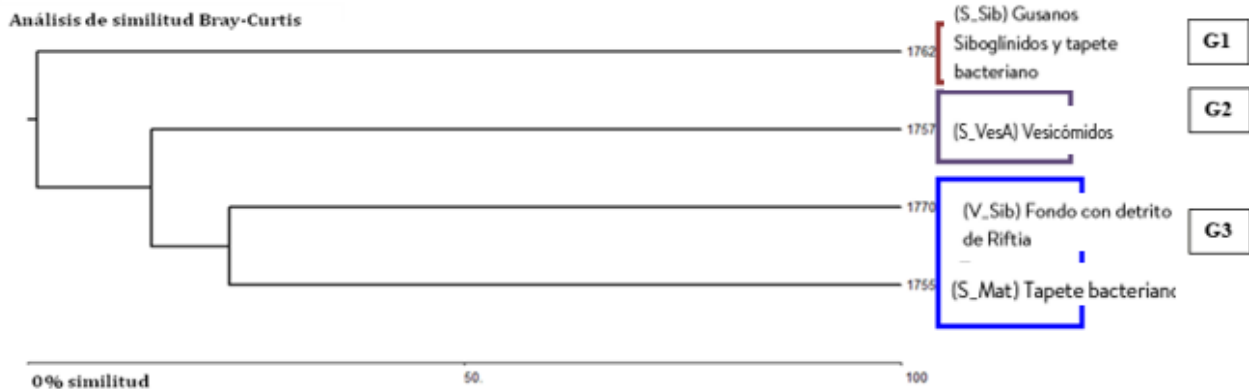
## Similitud Biomasa

Los valores de biomasa de las inmersiones conformaron tres grupos (figura 21).

El primer grupo (G1) correspondió al hábitat de gusanos Siboglínidos (*Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami*) (S\_Sib 1762) y al hábitat de bivalvos vesicómidos (S\_vesA 1757) ambos en el ecosistema de infiltraciones frías de metano, el segundo grupo (G2) corresponde al hábitat de bivalvos vesicómidos (S\_VesA 1757) también ubicado en el ecosistema de infiltraciones frías y el último grupo (G3) se encuentra conformado por los hábitats de tapete bacteriano (S\_Mat 1755) pertenecientes a infiltraciones frías de metano y el hábitat de Fondo con detrito de Riftia (V\_Sib 1770) localizado en el ecosistema de ventilas hidrotermales.

El segundo grupo lo conformaron los hábitats fondo con detrito de Riftia (V\_Sib 1770) y tapete bacteriano (S\_Mat 1755) en donde se obtuvo la mayor similitud promedio de 23.15%.

La menor similitud promedio (0.30 %) se registró entre el G1 y G3 (Tabla 7).



**Figura 21.** Dendrograma de similitud generado con el índice Bray-Curtis. Grupos G1, G2 y G3 generados a partir de la similitud en la biomasa para los grupos taxonómicos en las inmersiones de la Cuenca de Guaymas y Margen de Sonora.

**Tabla 6.** Similitud de Bray –Curtis para los valores de biomasa (g C/ m2) para las inmersiones de Cuenca de Guaymas y Margen de Sonora.

	1755 (S_Mat)	1757 (S_VesA)	1762 (S_Sib)	1770 (V_Sib)
1755 (S_Mat)	*	20.59	2.57	23.15
1757 (S_VesA)	*	*	0.30	7.81
1762 (S_Sib)	*	*	*	1.16

## VARIABLES ESENCIALES AMBIENTALES

### Metano (CH<sub>4</sub>):

Caprais (2012) registró la concentración de metano tanto en el Margen de Sonora como en Cuenca de Guaymas. El metano registró valores de  $0.2 \pm 0.1$  a  $9.9 \pm 13.7 \mu\text{M/L}$ . La mayor concentración se registró en el Margen de Sonora, específicamente en el hábitat de gusanos siboglínidos (*Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami*) (1762 S\_Sib), mientras que el menor valor se registró en la Cuenca de Guaymas en el hábitat fondo con detrito de *Riftia* (1770 V\_Sib) (Tabla 8).

Tabla 7. Concentración de CH <sub>4</sub> (tomados de Caprais, 2012).				
Localidad	Hábitat	Inmersión	[CH <sub>4</sub> ] $\mu\text{l/L}$	[CH <sub>4</sub> ] $\mu\text{M/L}$
Infiltraciones frías (Margen de Sonora)	Tapete bacteriano	1755 (S_mat)	7.6	0.3
			7.0	0.3
			7.9	0.3
		Promedio	7.5	0.3
		Desv. Est.	0.5	0.0
	Bivalvos vesicómidos	1757 (S_VesA)	Sin datos	
	Gusanos siboglínidos	1762 (S_Sib)	30.2	1.3
			721.8	30.1
			39.1	1.6
			154.0	6.4
Promedio			236.3	9.9
Desv. Est.	328.6	13.7		
Ventila hidrotermal (Cuenca de Guaymas)	Fondo con detrito de <i>Riftia</i>	1770 (V_Sib)	7.8	0.3
			3.6	0.2
			2.3	0.1
			3.2	0.1
			4.9	0.2
			4.9	0.2
			2.4	0.1
			3.3	0.1
			Promedio	4.1
		Desv. Est.	1.8	0.1

### Ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S):

La concentración de H<sub>2</sub>S registrada por Caprais (2012) en el hábitat de tapete bacteriano (1755 S\_mat,) para el estrato estudiado fue de 17,416.2 μM/L, mientras que la menor concentración se presentó en el hábitat de bivalvos vesicómidos (1757 S\_VesA) (<10 μM/L) (Tabla 9)

La concentración de ácido sulfhídrico también fue de <3 μM/L en el estrato de 3 cm para el hábitat de fondo con detrito de *Riftia* (1770 V\_Sib) en la Cuenca de Guaymas.

Tabla 8. Concentración de ácido sulfhídrico (tomados de Caprais, 2012).				
Localidad	Hábitat	Inmersión	CT1	[H <sub>2</sub> S] μM/L
			Nivel (cm)	
Infiltraciones frías (Margen de Sonora)	Tapete bacteriano	1755 (S_mat)	2	17,416.2
			4	23,005.3
			8	34,468.8
			10	27,975.2
			12	33,837.5
	Promedio			27,340.6
	Desv. Est.			7,258.0
	Bivalvos vesicómidos	1757 (S_VesA)		<10
	Gusanos siboglínidos	1762 (S_Sib)	Sin datos	
Ventila hidrotermal (Cuenca de Guaymas)	Fondo con detrito de <i>Riftia</i>	V_Sib (1770)	3	<10
			4	<10
			5	<10
			7	711.6
			9	725.4
			11	5,653.1
			13	6,321.9
			15	4,501.9
			17	2,686.1
			19	4,332.1
	Promedio			3,561.7
Desv. Est.			2,251.1	

## DISCUSIÓN

### Estructura comunitaria

#### Composición

En este estudio se reportaron 4 phyla, 5 clases, 19 órdenes y 22 familias, de las cuales, la más frecuente y abundante fue la familia Dorvilleidae (Polychaeta) para ambos ecosistemas. Estos poliquetos se han encontrado como dominantes de la macroinfauna y poseen, junto con los oligoquetos, ventajas fisiológicas y alimenticias sin afectación por la presencia de hidrocarburos (Davis et al., 1980). Además, han sido reconocidos por ser oportunistas y con una gran distribución en hábitats extremos con condiciones reductoras como ventilas hidrotermales, infiltraciones de metano y cadáveres de ballenas (Desbruyères et al., 2006; Wiklund et al., 2009a, 2012; Levin et al., 2013; Taboada et al., 2013; Salvo et al., 2014; Ravara et al., 2015, 2021). Así mismo, en este estudio, la riqueza taxonómica fue siempre menor en el nivel inferior (1-3 cm) en cada ecosistema.

#### Riqueza

- **Infiltraciones frías de metano**

La riqueza taxonómica en este ecosistema presentó el mayor valor, siendo el hábitat de bivalvos vesicómidos, en el ecosistema de infiltraciones de metano, en donde se obtuvo el valor más alto de familias de macrofauna (14). Lo anterior es un factor común en sistemas sostenidos por quimiosíntesis dada la elevada concentración de materia orgánica. La estructura tridimensional y la complejidad arquitectónica de un hábitat como el de los vesicómidos contribuye, junto con la diversidad en el tipo de sustrato, composición y concentración de los fluidos químicos, a presentar una mayor riqueza como se ha registrado en otras localidades del Pacífico oriental (Levin et al., 2001; Bergquist et al., 2003) y del Golfo de México (Cordes et al., 2005, 2010).

La variación en la riqueza de la macrofauna se ha reconocido como un indicador de estrés o perturbación en el hábitat (Fisher et al., 2014). Varios autores han reportado que la riqueza de especies en infiltraciones frías se caracteriza por ser baja (Buck y Barry, 1998); Olu et al., 1997; Robinson et al., 2004; Levin, 2005). Sin embargo, comparativamente con localidades en ventilas

hidrotermales, las infiltraciones frías son más estables en temperatura (Sibuet y Olu, 1998). La riqueza en el presente estudio coincide con los estudios de estos autores.

### **Ventilas hidrotermales**

En este estudio, la menor riqueza de familias de macrofauna se encontró en el segundo nivel del sedimento en el hábitat de fondo con detrito de *Riftia* (1770 V\_Sib), mientras que el valor más alto se encontró en el primer nivel del sedimento. Lo anterior puede deberse a que la macrofauna presente en estos hábitats cuenta con mayor control en la homeostasis fisiológica, lo cual le ayuda a tolerar variaciones en las condiciones ambientales (Brown & Sibly, 2006). Varios organismos pertenecientes a la macrofauna dentro de las ventilas hidrotermales han desarrollado adaptaciones fisiológicas con alto costo energético, tales como la producción de proteínas de choque térmico (Ravaux, 2003) o depresiones metabólicas (Boutet et al. 2009) para hacer frente al estrés hidrotermal.

### **Similitud en riqueza**

En cuanto a la similitud en riqueza de familias, la mayoría de estas estuvieron presentes en ambos ecosistemas, en cada tamiz del nivel superior, no así en el nivel inferior del sedimento, en el caso específico de la familia de bivalvos Solemydae se encontró específicamente en el ecosistema de ventilas hidrotermales, en el hábitat de detrito de *Riftia*.

Lo anterior concuerda con lo mencionado por Portail et al. (2015), en donde se demuestra la gran similitud de la fauna entre los ecosistemas reductores cuando hay ausencia de barreras biogeográficas, como en el caso de estos hábitats.

Sugerencias similares se han realizado en comunidades de aguas profundas alrededor de Japón, donde las comunidades de infiltraciones frías de metano y ventilas hidrotermales diferían significativamente. Sin embargo, en algunas ventilas hidrotermales del canal de Okinawa, en Japón, se observaron mayores similitudes en composición de macrofauna con las infiltraciones del Margen de Sonora (Watanabe et al., 2010; Nakajima et al., 2014).

Por lo anterior, se considera que se necesitan más estudios comparativos de este tipo entre hábitats quimiosintéticos de ventilas hidrotermales e infiltraciones frías, para confirmar la similitud macrofaunística entre ellos.

## **Abundancia y Densidad**

- **Infiltraciones frías de metano**

En este estudio, el hábitat de tapete bacteriano, en el primer nivel del sedimento (0-1 cm) y en la apertura de tamiz de 300  $\mu\text{m}$  contó con la mayor densidad, la cual correspondió a la familia de poliquetos Dorvilleidae, lo mismo sucedió en el siguiente nivel del sedimento (1-3 cm), en las aperturas de tamiz de 250, 300 y la mayor abundancia en la apertura de 500 $\mu\text{m}$ . Lo anterior concuerda con lo establecido por Bourque et al., 2017, donde resultó que los tapetes bacterianos presentes en hábitats quimiosintéticos, difieren de los hábitats con agregaciones de bivalvos y de los sedimentos del talud continental, en variables como la densidad de macrofauna y la composición de la biota en cada uno de ellos, reconociendo que las comunidades macrobénticas asociadas a los tapetes bacterianos son similares entre sí con la presencia y abundancias similares de poliquetos y oligoquetos.

Lo anterior concuerda de igual forma a lo obtenido también por Bernardino et al. (2012), en donde los poliquetos de la familia Dorvilleidae presentaron la mayor abundancia en el hábitat de tapete bacteriano en las infiltraciones frías del Golfo de México y el margen de Noruega.

Las densidades de macrofauna en sedimentos de los hábitats de infiltraciones frías son usualmente mayores que en los sedimentos sin actividad quimiosintética, particularmente en donde se incrementa la profundidad (Levin, 2006), dado que el alimento es un recurso limitado y el carbono derivado de estos hábitats quimiosintéticos funciona como una fuente adicional de alimento (Levin and Michener, 2002).

A su vez, se ha demostrado que, en los hábitats de tapetes bacterianos, la densidad de macrofauna es cuatro veces mayor que en agregaciones de mejillones y en sedimentos del talud continental

(Bernardino et al., 2012). Sin embargo, en un estudio en la cordillera Black Ridge (Robinson et al., 2004), las densidades de macrofauna en el sedimento cercano al microhábitat de bivalvos fueron mayores que la del sedimento cercano al tapete bacteriano.

En general, se ha reconocido que existen diferencias de densidad entre microhábitats dentro de los diversos hábitats de infiltraciones frías alrededor del mundo (Bernardino et al., 2012), así como los hábitats de tapetes bacterianos y asociación de bivalvos que también pueden contar con densidades similares o diferentes entre ellos (Levin et al., 2015, Menot et al., 2010, Robinson et al., 2004, Sahling et al., 2002).

En este estudio, el hábitat de tapete bacteriano (1755 S\_mat) contó con la mayor densidad de macrofauna, resultando significativo para la apertura de tamiz. Sin embargo, la profundidad en el sedimento no resultó significativa.

Las altas densidades de macrofauna en tapetes bacterianos dentro de estos hábitats quimiosintéticos han sido atribuidas al aprovechamiento del alimento quimiosintética (Bernardino et al., 2012, Sahling et al., 2002).

En un estudio realizado en Costa Rica (Levin et al. 2015) los tapetes bacterianos contaron con 2 veces mayor densidad de macrofauna en comparación con el hábitat de bivalvos. De igual manera, en el estudio realizado por Bourque et al. (2016) en el margen del Atlántico, correspondiente al hábitat de infiltración fría, la densidad de macrofauna resultó significativamente mayor en el microhábitat de tapete bacteriano, seguido del hábitat de bivalvos.

- **Ventilas hidrotermales**

En el estudio realizado por Gollner et al. (2015) en la cordillera marina del Pacífico Oriental, se encontró que los poliquetos es uno de los grupos más abundantes en este tipo de hábitats quimiosintéticos, debido a la capacidad de movilidad con la que cuentan estos organismos, lo cual les permite buscar sitios con temperaturas más bajas (M. Bright obs. pers.), así mismo en los niveles más profundos del sedimento, la abundancia disminuye notablemente.



El primer estudio en esta localidad reconoció que las comunidades macrobénticas de sedimentos blandos en las inmediaciones de la actividad hidrotermal tienen pocas especies y densidades elevadas (Grassle 1985). Dos años más tarde Berg y Van Dover (1987) establecieron que en los sitios activos la macrofauna alcanza valores de 6 a 19 ind\*m<sup>2</sup>.

Lo anterior concuerda con lo obtenido en este estudio, dado que los valores mayores de densidad (100-125 ind\*m<sup>2</sup>) se encontraron en el primer nivel del sedimento, mientras que, en el segundo nivel, la macrofauna es prácticamente inexistente (0-25 ind\*m<sup>2</sup>).

En este estudio, el hábitat de fondo con detrito de *Riftia* (1770 V\_Sib) presentó una diferencia significativa en los valores de densidad al comparar las aperturas de tamiz, en donde la mayor abundancia corresponde a los poliquetos (fam. Dorvilleidae) en el primer nivel del sedimento.

Mencionado lo anterior, los poliquetos son considerados como especies fundadoras dado que también pueden fomentar el acceso de otros organismos a hábitats altamente productivos al proporcionar superficies de colonización para tapetes bacterianos y contribuir a la segregación de materia orgánica (Levesque et al., 2005; Sarrazin et al., 2002).

En este estudio, la similitud de la riqueza total para cada hábitat quimiosintético formó dos grupos, siendo el hábitat de gusanos siboglínidos (*Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami*) (1762 S\_Sib) y el hábitat de bivalvos vesicómidos (1757 S\_VesA), ambos dentro del Margen de Sonora, los de mayor similitud. El número de especies/taxa compartidos incrementa si estos hábitats ocurren a escasa distancia, como es el caso del Golfo de

California, que ha sido considerado un “hotspot” de diversidad de biota quimioautotrófica.

## **Biomasa**

La biomasa de organismos bentónicos, en hábitats quimiosintéticos como los son las infiltraciones frías de metano y las ventilas hidrotermales, es usualmente muy alta, de 500 a 100 veces mayor que en el suelo marino circundante (Tunnicliffe, 1991, 1992). En este estudio, los valores de biomasa obtenidos al comparar los 4 hábitats quimiosintéticos no resultaron significativos. Solamente resultó

significativo para el hábitat de Vesicómidos, al comparar la biomasa por aperturas de tamiz y nivel de profundidad en el sedimento.

- **Infiltraciones frías de metano**

En la cresta oceánica de Oregon (Hydrate Oregon Ridge), el mayor valor de biomasa se obtuvo en el hábitat de bivalvos (Bernardino et al. 2012), mientras que en este estudio el hábitat de tapete bacteriano (1755 S\_Mat), en el segundo nivel de sedimento (1-3 cm), contó con el mayor valor de biomasa, siendo la clase Bivalvia la que mayor aporte tuvo, presentando una diferencia significativa con respecto a la profundidad del sedimento.

En el caso de los valores de biomasa y la apertura de tamiz se obtuvieron diferencias significativas para los hábitats de Vesicómidos (1757 S\_VesA) y de gusanos siboglínidos (*Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami*) y tapete bacteriano (1762 S\_Sib).

En el hábitat de tapete bacteriano (1755 S\_Mat) también se observaron diferencias significativas en la biomasa en el ambiente de tapete bacteriano, con respecto a la profundidad en el sedimento. Lo anterior puede deberse a la mayor diversidad que hay a mayores profundidades del sedimento, derivado de los elementos energéticos que se pueden encontrar ahí.

Este patrón en la composición y distribución de la biota en hábitats de ventilas se debe a la cantidad y calidad de materia orgánica, así como a la estabilidad de cada hábitat (Kamenev et al., 1993).

- **Ventilas hidrotermales**

En un estudio llevado a cabo por Bernardino et al. (2012) en el hábitat de ventilas hidrotermales en Middle Valley, no se presentaron variaciones significativas en los valores de biomasa, tal como sucedió en este estudio.

Sin embargo, en un estudio en la Cuenca Manus, se considera que la biomasa de la macrofauna se elevó debido a la presencia de poliquetos de la familia Spionidae y bivalvos de la familia Nuculidae (Bernardino et al. 2012).

En este estudio se presentó algo diferente, obteniéndose el mayor valor de biomasa de macrofauna en el hábitat de fondo con detrito de *Riftia* (1770 V\_Sib), en el primer nivel del sedimento (0-1 cm), y correspondió a la clase Copepoda, encontrándose una relación significativa con el nivel de sedimento.

La cuenca de Guaymas es el sitio hidrotermal más conocido. Los sedimentos generalmente se encuentran saturados con hidrocarburos de alto peso molecular. Estos aceites parecen derivar de la alteración térmica del material orgánico presente en los sedimentos y puede proporcionar una importante fuente de carbono para los organismos ahí presentes (Simoneit, 1985).

### **Variables ambientales**

Algunos factores en el hábitat, como el sulfuro de hidrógeno y el metano son fuentes de energía comunes para organismos quimiosintéticos y son fuertes impulsores que afectan la habitabilidad de las especies, incluyendo especies simbióticas del bentos que habitan hábitats de infiltraciones frías y ventilas hidrotermales (revisado por Childress & Fisher, 1992; Nelson & Fisher, 1995).

- **Metano**

En este estudio, el hábitat que presentó una concentración de metano mayor que los demás hábitats fue el de gusanos siboglínidos (*Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami*) (1762 S\_Sib) presente dentro del hábitat de infiltraciones frías. Según Arp & Childress (1983) este tipo de hábitat se asocia con entradas más fuertes de fluidos, los cuales tienden a ocupar diferentes nichos ecológicos a lo largo del gradiente del flujo del fluido. En un estudio llevado a cabo en los hábitats quimiosintéticos de mar profundo en el archipiélago de Japón (Nakajima et al. 2014), la riqueza de especies se correlacionó directamente con la concentración de metano, y sucedió a la inversa con la concentración de sulfuro de hidrógeno. Sin embargo, en este estudio, no se cuenta con una correlación directa entre el metano y la riqueza de familias, sino que puede considerarse una correlación directa con el valor de biomasa obtenido.

- **Ácido sulfhídrico**

En este estudio, el hábitat de infiltración fría de metano, en el hábitat de tapete bacteriano (1755 inf. fría) es en donde se obtuvo el mayor valor de ácido sulfhídrico, lo cual nos puede indicar una correlación directa con el incremento en la densidad dentro de este hábitat. Distintos grupos de organismos pueden ser identificados en relación con la fuerza del flujo y la cantidad de sulfuros disueltos en el hábitat (Tunncliffe, 1991).

## CONCLUSIONES

- En los dos estratos de profundidad de los hábitats de sedimento blando asociado a actividad hidrotermal y de infiltración de metano, se observó que:
  - ✓ La composición taxonómica se encuentra dominada, en ambos ambientes, por la familia Dorvilleidae (Polychaeta).
  - ✓ La riqueza taxonómica fue siempre menor en el nivel inferior (1-3 cm) en cada ecosistema.
  - ✓ La riqueza no mostró diferencias significativas entre los ecosistemas y sus hábitats en los dos niveles de sedimento.
  - ✓ Se observaron diferencias significativas de la densidad entre los diferentes tamices utilizados en el hábitat correspondiente al fondo con detrito de Riftia (ventilas hidrotermales en la Cuenca de Guaymas).
  - ✓ Las diferencias de biomasa entre ambos ecosistemas quimiosintéticos (infiltraciones frías de metano y ventilas hidrotermales) no resultaron significativas.
  - ✓ El metano (CH<sub>4</sub>) y ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) pueden considerarse como influenciadores de la biomasa, en el ecosistema de infiltraciones frías, no así en el de ventilas hidrotermales.
  - ✓ Los ecosistemas quimiosintéticos como infiltraciones frías de metano y ventilas hidrotermales, afectan la estructura comunitaria macrobéntica presente en cada hábitat, difiriendo de los patrones de distribución característicos de fondos abisales.
    - La estructura comunitaria macrobéntica (composición, riqueza, densidad y biomasa) en sedimento blando de los hábitats de gusanos siboglínidos y bivalvos vesicómidos en el ecosistema de infiltraciones frías de metano dentro del Margen de Sonora, es igual a la estructura comunitaria macrobéntica en el hábitat de fondo con detrito de *Riftia* en el ecosistema de ventilas hidrotermales de la Cuenca de Guaymas.

## LITERATURA CITADA

**Formato: Deep-Sea Research**

- Aguayo-Camargo J. E, 1984. Estudio de los sedimentos terrígenos de la Cuenca de Guaymas, Golfo de California. NW de México. Revista Instituto Mexicano del Petróleo. XVI (4): 5:35.
- Arp A., 2001. Hydrothermal vent fauna, physiology of, 1242-1246. En: Steele, J., Turekian K., Thorpe, S. (Eds.), Encyclopedia of Ocean Sciences 2. Academic Press. San Diego, pp. 3399.
- Atwater T., 1970. Implications of plate tectonics for the Cenozoic tectonic evolution of western North America. Geology Society America Bulletin. 81: 3513-3536.
- Atwater T. y Molnar P. 1973. The Gulf of California. Stanford University Publications Geology Science. 13: 139-148.
- Ayala-López, A., L., 1987. Influencia de las ventilas hidrotermales sobre los foraminíferos bentónicos de la Cuenca de Guaymas, México. Tesis de Licenciatura. UNAM, pp.101
- Ayala-López, A., L., 1992. Estudio micropaleontológico de la zona de ventilas hidrotermales de la Cuenca de Guaymas México. Tesis de Maestría. CCH-UNAM, pp. 96.
- Baumgartner T.R., Ferreira-Bartrina V., Schrader H. y Soutar A., 1985. A 20 year varve record of siliceous phytoplankton variability in the central Gulf of California. Marine Geology. 64: 113-129.
- Begon M., Townsed C.R., Harper J L., 2006. Ecology: from individuals to ecosystems. 4 ed. Blackwell Publishing, pp.738
- Berg C.J. y Van Dover C.L., 1987. Benthopelagic macrozooplankton communities at and near deep-sea. Deep-Sea Research. 34 (3) 379-401.
- Bernardino, A.F., Levin, L.A., Thurber, A.R., Smith, C.R., 2012. Comparative Composition, 684 Diversity and Trophic Ecology of Sediment Macrofauna at Vents, Seeps and Organic Falls. 685 PloS One 7.
- Black M.B., Halanych K.M., Maas P., Hoeh W.R., Hashimoto J., Desbruyères D., 1997. Molecular systematics of vestimentiferan tubeworms from hydrothermal vents and coldwater seeps. Marine Biology 130, 141-49.
- Boetius, A., 2005. Lost City Life. Science. 307, 1420.

- Boulègue J., Iiyama J.T., Charlou J.L., Jedwab J., 1987. Nankai Trough, Japan Trench and Kuril Trench: geochemistry of fluids sampled by submersible "Nautile". *Earth and Planetary Science Letters* 83, 363-375.
- Bray, J.R., Curtis, J.T., 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 27, 325-349.
- Buck, K. Barry, J.P. 1998. Monterey Bay cold seep infauna: quantitative comparison of bacterial mat meiofauna with non-seep controls. *Cahiers de Biologie Marine* 39, 333-335.
- Calvert S.E., 1966. Accumulation of diatomaceous silica in the sediments of the Gulf of California. *GSA. Bulletin.*, 77, 569-596.
- Campbell A. C., Gieskes J.M., Lupton J.E. y Lonsdale P.F., 1988. Manganese geochemistry in the Guaymas Basin, Gulf of California. *Geochimica Cosmochimica. Acta* 52:345-357.
- Caprais, J.-C., Lanteri, N., Crassous, P., Noel, P., Bignon, L., Rousseaux, P., Pignet, P., and Khrifounoff, A.: A new CALMAR benthic chamber operating by submersible: First application in the cold-seep environment of Napoli mud volcano (Mediterranean Sea), *Limnol. Oceanogr. Methods*, 8, 304–312, 2010.
- Carranza-Edwards A. L., Rosales-Hoz J.E., Aguayo- Camargo R., Lozano-Santa Cruz E. y Hornelas-Orozco Y., 1990. Geochemical study of the hydrothermal core sediments and rocks from the Guaymas Basin, Gulf of California. *Applied Geochemistry* 5: 77-82.
- Chambers J.M. y Hastie T.J., 1992. *Statistical Models in S.* Wadsworth & Brooks, Pacific Grove, CA. pp. 608.
- Chitwood B.G., Chitwood M.B., 1937. *An introduction to nematology.* Monumental Printing Co., Baltimore Maryland, U.S.A.
- Corliss J. B., Dymond J., Gordon L. I., Edmond J. M., Von Herzen R. P., Ballard R. D., Green K., Williams D., Bainbridge A., Crane K., Van Andel T. H., 1979. Submarine thermal springs on the Galapagos Rift. *Science* 203, 1073-1083.
- Costello M.J., Coll M., Danovaro R., Halpin P., Ojaveer H., 2010. A Census of Marine Biodiversity Knowledge, Resources, and Future Challenges. *PLoS ONE* 5(8): e121110. doi:10.1371/journal.pone.0012110.

- Dando P.R., Bussmann I., Niven S.J., O'Hara S.C.M., Schmaljohann R. y Taylor L.J., 1994. A methane seep area in the Skagerrak, the habitat of the pogonophore *Siboglinum poseidoni* and the bivalve mollusc *Thyasira sarsi*. *Marine Ecology Progress Series* 107, 157–167.
- Davis P.H., Spiess R.B., 1980. Infaunal benthos of a natural petroleum seep: study of community structure. *Marine Biology* 59:31–41.
- De la Lanza-Espino G., 1991. *Oceanografía de mares mexicanos*. AGT Editores, S.A; México, pp. 569.
- De la Lanza-Espino G. y Soto L., 1999. Sedimentary geochemistry of hydrothermal vents in Guaymas Basin, Gulf of California, Mexico. *Applied Geochemistry*. 14: 499-510.
- Desbruyères D, Segonzac M, Bright M. (Eds). 2006. Handbook of deep-sea hydrothermal vent fauna. Second completely revised edition. *Densia* 18. Linz, Austria: Biologiezentrum der Oberösterreichischen Landesmuseum, pp.544.
- Dickinson W.R., 1979. Cenozoic plate tectonic setting of the cordilleran region in the United States. En: *Pacific coast Paleogeography Symposium 3*, J.H. Armentout and M.R. Cole (Eds.), Pacific Section, Section Economic Paleontology.
- Didyk B. y Simoneit B.R., 1989. Hydrothermal oil of Guaymas Basin and implication for formation mechanisms. *Nature*. 342, pp. 65-69.
- Einsele G., Gieskes J.M, Curray J., Moore D., Aguayo J.E., Aubry M.P., Fornari D.J., Guerrero J.C., Kastner M., Kelts K., Lyle M., Matoba Y., Molina-Cruz A., Niemitz J., Rueda J., Saunders A., Schrader H., Simoneit B. y Vacquier V., 1980. Intrusion of basaltic sills into highly porous sediments, and resulting hydrothermal activity, *Nature* 283: 441-445.
- Escobar-Briones E. y S. Tamez., 2006. Variación espacial de la densidad de crustáceos de la meiofauna en fondos con infiltraciones naturales de metano de la zona batial en la cuenca de San Clemente, Pacífico Oriental. pp. 85-100, En: M.E. Hendrickx (ed.). *Contributions to the Study of East Pacific Crustaceans* 4 (1). Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 158 pp.
- Espinosa Carreón T.L y Valdéz Holguín J.E., 2007. Variabilidad interanual de clorofila en el Golfo de California. *Ecología Aplicada*. 6: 83-92.



- Feldman FA, Shank TM, Black MB, Baco AR, Smith CR, Vrijenhoek RC., 2001. Vestimentiferans on a whale fall. *Biological Bulletin* 201:65-75.
- Fisher C., 1998. Temperature and sulphide tolerance of hydrothermal vent fauna. *Cahiers de Biologie Marine* 39, 283-286.
- Fisher C.R., Takai K., Le Bris N., 2007. Hydrothermal vent Ecosystems. *Oceanography*. 20:14-23.
- Fustec A., Desbruyères D., Juniper S.K., 1987. Deep-sea hydrothermal vent communities at 13°N on the East Pacific Rise: microdistribution and temporal variations. *Biological Oceanography* 4:121-164
- Fauchald , K . 1977. The polychaete worms. Definitions and keys to orders, families, and genera. Natural History Museum of Los Angeles County, Science Series 28, pp. 1 – 188.
- Gage J. y Tyler P. A., 1991. Deep-sea biology: A natural history of organisms at the deep-sea floor. University of Cambridge. Great Britain, pp.504.
- Gage J.D., 1996. Why are there so many species in deep-sea sediments? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 200: 257-286.
- Gastil R.G., Phillips R.P. y Allison E.C., 1975. Reconnaissance geology of the state of Baja California. *Geology Society American* 140, pp. 170.
- Govenar B., Le Bris N., Gollner S., Glanville J., Aperghis A.B., Hourdez S. y Fisher C.R. 2005. Epifaunal community structure associated with *Riftia pachyptila* aggregations in chemically different hydrothermal vents habitats. *Marine Ecology Progress Series*. 305:67-77.
- Grassle J.F., 1985. Hydrothermal Vent Animals: Distribution and Biology. *Science* 229 (4715), 713-725.
- Grassle J.F., 1986. The ecology of deep-sea hydrothermal vents communities. *Advances in Marine Biology* 23: 301-362.
- Haymon R.M., Fornari D.J., Von Damm K.L., Lilley M.D., 1993. Volcanic eruption of the mid-ocean ridge along the East Pacific Rise crest at 9° 45,52' N: Direct submersible observations of seafloor phenomena associated with an eruption event in April, 1991. *Earth and Planetary Science Letters* 119:85-101.

- Herny P., Le Pichon X., Lallemand S., Lance S., Martin J.B., Focuher J.P., Fiala-Médioni A., Rostek F., Guilhaumou N., Pranal V., Castrec M., 1996. Fluid flow in and around a mud volcano field seaward of the Barbados accretionary wedge: results from Manon cruise. *Journal of Geophysical Research* 101, 297-323.
- Humes A.G. y Segonzac M., 1998. Copepoda from deep hydrothermal sites and cold seeps: description of a new species of *Aphotopontius* from the East Pacific Rise and general distribution. *Cahiers de Biologie Marine*, 39:51-62.
- Jannash H. W., Wirsén C. O., 1979. Chemosynthetic primary production at East Pacific Sea floor spreading centers. *Bioscience* 29, 592-598.
- Joel W. Martin, and George E. Davis. 2001. An Updated Classification of the Recent Crustacea. *Natural History Museum of Los Angeles County Contributions in Science* 39: 1–124.
- Johnson K.S., Childress J.J. y C.L. Beehler., 1988. Short time temperature variability in the Rose Garden hydrothermal vent field: An unstable deep-sea environment. *Deep-Sea Research II* 35:1,711–1,721.
- Jollivet D., 1993. Distribution et évolution de la faune associée aux sources hydrothermales profondes a 13°N sur la dorsale du Pacifique Oriental: le cas particulier des polychètes Alvinellidae. PhD thesis, Université de Bretagne Occidentale.
- Juniper S.K. y Tunnicliffe V., 1997. Crustal accretion and the hot vent ecosystem. En: J.R. Cann, H. Elderfield y A. Laughton (Eds), *Mid-Ocean Ridges: Dynamics of Processes Associated with Creation of New Ocean Crust*. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. A*, 355: 459–474.
- Karing G.G. y Jansky W., 1972. The proto-gulf of California. *Earth Planet Science Letter*. 17:169.
- Keen A.M., 1971. *Seashells of Tropical West America: Marine Molluscs from Baja California to Peru*. Stanford University Press, Stanford California, 2 ed. pp. 1064.
- Koski R.A., Lonsdale P.F., Shanks W.C., Berndt M.E. y Howe S.S., 1985. Mineralogy and geochemistry of a sediment-hosted hydrothermal sulfide deposit from the Southern Trough of Guaymas Basin, Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*, 90:6695-6707.

- Kouris A., Juniper S.K., Frébourg G. y Gail F., 2006. Protozoan-bacterial symbiosis in a deep-sea hydrothermal vent folliculinid ciliate (*Folliculinopsis* sp.) from the Juan de Fuca Ridge. *Marine Ecology*. ISSN 0173-9565.
- Le Bris N., Govenar B., Le Gall C., Fisher C.R., 2006. Variability of physico-chemical conditions in 9° 50' N EPR diffuse flow vent habitats. *Marine Chemistry*. 98: 167-182.
- Legendre P. y Legendre L., 1998. Numerical ecology. 2 ed. English edition. Elsevier Science Amsterdam, pp. 853.
- Legendre P., Anderson M.J., 1999. Distance-based redundancy analysis: testing multispecies responses in multifactorial ecological experiments. *Ecological Monographs*. 69: 1-24.
- Levin L.A., Etter Ron J., Rex Michael A., Gooday Andrew J., Smith Craig R., Pineda J., Stuart Carol T., Hessler R., Pawso D., 2001. Environmental Influences on Regional Deep-Sea Species Diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 32: 51-93.
- Levin L.A., Michener R., 2002. Isotopic evidence of chemosynthesis-based nutrition of macrobenthos: the lightness of being at Pacific methane seeps. *Limnology and Oceanography* 47:1336–1345.
- Levin L.A., Ziebis W., Mendoza G., Growney V., Tryon M., Brown K., Mahn C., Gieskes J. y Rathburn A. 2003. Spatial heterogeneity of macrofauna at northern California methane seeps: the influence of sulfide concentration and fluid flow. *Marine Ecology Progress Series* 265, 123–139.
- Levin L.A., Mendoza G.F., 2007. Community structure and nutrition of deep methane-seep macrobenthos from the North Pacific (Aleutian) Margin and the Gulf of Mexico (Florida Escarpment). *Marine Ecology* 28:131-51.
- Levin L.A., 2005. Ecology of cold seep sediments: Interactions of fauna with flow, chemistry and microbes. *Oceanography Marine Biology Annual Review* 43, 1–46.
- Levin L.A., Mendoza G.F., Konotchick T., Lee R., 2009. Macrobenthos community structure and trophic relationships within active and inactive Pacific hydrothermal sediments. *Deep-Sea Research II*. 56, 1632-1648.
- Lloyd M. y Cheraldi R., 1964. En: table for calculating the “equitability” component of species diversity. *Journal of Animal Ecology*. 33, 217-225.

- Lonsdale P. y Lawver L.A., 1980. Immature plate boundary zones studies with a submersible in the Gulf of California. *Geological Society of America Bulletin*, 91:555-569.
- Lonsdale P., Bischoff J.L., Burns V.M., Kastner M. y Sweeney R.E., 1980. A high-temperature hydrothermal deposit on the seabed at Gulf of California spreading center. *Earth and Planetary Science Letters*, 49:8-20.
- Lutz R., 2001. Hydrothermal vent biota, 1217-1227. En: Steele, J., Turekian, K., Thorpe, S., (Eds.), *Encyclopedia of Ocean Sciences 2*. Academic Press. San Diego, pp. 3399.
- MacDonald I.R., Boland G.S., Baker J.S., Brooks J.M., Kennicutt M.C., Bidigare R.R., 1989. Gulf of Mexico hydrocarbon seep communities. *Marine Biology* 101. 235-247.
- Marchand M., Caprais J., Corre S., Jacq E. y Hussein D. 1994. Utilisation des hydrocarbures par la microflore bacterienne du site hydrothermal du bassin de Guaymas (golfe de Californie), *Oceanologica Acta*. 17 (2): 177-189.
- McMullin, E., Bergquist, D. C., Fisher, C. 2000., *Metazoans in Extreme Environments: Adaptations of Hydrothermal Vent and Hydrocarbon Seep Fauna*. *Gravitational and Space Biology Bulletin* 13 (2), 13-23.
- Melwani A.R., Kim S.T., 2008. Benthic infaunal distributions in shallow hydrothermal vent sediments. *Acta Ecologica* 22, 162-175.
- Menot L., Galéron J., Olu K., Caprais J.C., Crassous P., Khripounoff A. y Sibuet M., 2010. Spatial heterogeneity of macrofaunal communities in and near a giant pockmark area in the deep Gulf of Guinea. *Marine Ecology*. 31: 78-93.
- Micheli F., Peterson C., Mullineaux, L., Fisher C., Mills S., Sancho G., Johnson G., Lenihan H., 2002. Predation structures communities at Deep-Sea Hydrothermal Vents. *Ecological Monographs* 72 (3), 365-382.
- Montagna PA, Baguley JG, Hsiang C-Y, Reuscher MG (2017) Comparison of sampling methods for deep-sea infauna. *Limnology Oceanography Methods* 15: 166-1
- Moore D.G., 1973. Plate-edge deformation and crustal growth Gulf of California structural province. *Geological Society of America Bulletin*, 84:1883-1906.
- Moore D.G. y Buffington E.C., 1968. Transform faulting and growth of the Gulf of California since later Pliocene. *Science*. 161: 1238-1241.

- Nakajima, R., Yamakita, T., Watanabe, H., Fujikura, K., Tanaka, K., Yamamoto, H., and Shirayama, Y. 2014. Species richness and community structure of benthic macrofauna and megafauna in the deepsea chemosynthetic ecosystems around the Japanese archipelago: an attempt to identify priority areas for conservation, *Diversity and Distributions*, 1160–1172.
- Olu K., Lance S., Sibuet M., Henry P., Fiala-Médioni A. y Dinét A., 1997. Cold seep communities as indicators of fluid expulsion patterns through mud volcanoes seaward of the Barbado accretionary prism. *Deep-Sea Research I* 44, 811–841.
- Ortega-Osorio A. y Paez-Osuna F., 1989. Composición geoquímica y mineralógica de depósitos hidrotermales de la Dorsal del Pacífico Mexicano (21°N) y Cuenca de Guaymas. *Geofísica Internacional*. 28: 737-762.
- Otero L.X., Huerta-Díaz M.A., Macías F., 2003. Influence of a trubidite deposit on the extent of pyritization of iron, manganese and trace metals in sediments from the Guaymas Basin, Gulf of California (Mexico). *Applied Geochemistry* 18: 1149-1163.
- Paull C.K., Hecker R., Commeau R.P., Freeman-Lynde C., Neumann W.P., Corso S., Golubic J.E., Hook E., Sikes y J. Curray., 1984. Biological communities at the Florida Escarpment resemble hydrothermal vent taxa.– *Science* 226: 965-967.
- Paull, C. K., Ussler, W., Peltzer, E. T., Brewer, P. G., Keaten, R., Mitts, P. J., Nealon, J. W., Greinert, J., Herguera, J.-C., and Elena Perez, M. 2007. Authigenic carbon entombed in methane-soaked sediments from the northeastern transform margin of the Guaymas Basin, Gulf of California, *Deep-Sea Res. Pt. II*, 54, 1240–1267.
- Portail M, Olu K, Escobar-Briones E, Caprais JC, Menot L, Waeles M, et al. 2015. Comparative study of vent and seep macrofaunal communities in the Guaymas Basin. *Biogeosciences*. 2015;12(18):5455–79. Rex M.A., Etter R.J., 2010. *Deep-sea Biodiversity*. Harvard University Press, pp. 354.
- Robinson, C.A., Bernhard, J.M., Levin, L.A. & Mendoza, G.F. 2004. Meiofauna and macrofauna of nearsurface hydrocarbon seep habitats: Blake Ridge Diapir (Atlantic Ocean) and Alaminos Canyon (Gulf of Mexico). *Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli. I. Marine Ecology* 25, 313–336.

- Rowe G.T., 1983. Biomass and production of the deep-sea macrobenthos, pp. 97-121. En: Rowe, G.T. (Ed.), Deep-sea biology. The sea. Vol. 8. Wiley, New York. pp 574.
- Ruelas-Inzunza, J., Soto, L. A., Páez-Osuna, F., 2003. Heavy-metal accumulation in the hydrothermal vent clam *Vesicomya gigas* from Guaymas basin, Gulf of California. Deep-Sea Research I 50, 757-761.
- Rusnak G.A. y Fisher R.L., 1964. Structural history and evolution of Gulf of California. American Association Petroleum Geologists Memoir 3:144-156.
- Russ, L., Kartal, B., Op Den Camp, H. J., Sollai, M., Le Bruchec, J., Caprais, J.-C., Godfroy, A., Damsté, J. S. S., and Jetten, M. S.: Presence and diversity of anammox bacteria in cold hydrocarbon-rich seeps and hydrothermal vent sediments of the Guaymas Basin, Front. Microbiol., 4, 219, doi:10.3389/fmicb.2013.00219, 2013.
- Sahling H., Rickert D., Lee R.W., Linke P. y Suess E., 2002. Macrofaunal community structure and sulfide flux at gas hydrate deposits from the Cascadia convergent margin. Marine Ecology Progress Series 231, 121–138.
- Sahling H., Masson D. G., Ranero C. R., Hühnerbach V., Weinrebe W., Klauke I., Bürk, D., Brückmann W, y Suess E., 2008, Fluid seepage at the continental margin offshore Costa Rica and southern Nicaragua, Geochemistry and Geophysics Geosystems 9, Q05S05, doi:10.1029/2008GC001978.
- Schulz H.D., Zabel M (eds), 2006. Marine geochemistry. 4 ed. Springer, pp. 574.
- Scott S.D. 1985., Seafloor polymetallic sulfide deposits: modern and ancient. Marine Mining, 5:191-211.
- Shank T.M., 1998. Temporal and spatial patterns of biological community development at nascent deep-sea hydrothermal vents along the East Pacific Rise, 9°, 49.6 N - 9° 50.4 N. Deep Sea Research II, 45, 465–515
- Shannon C.E., Weaver W., 1963. The mathematical theory of communication. University Illinois Press. Urbana, pp. 177.
- Simoneit B.R.T., 1979. Organic geochemistry of recent sediments from Guaymas Basin, Gulf of California. Deep-Sea Research. 26A:879-891.

- Simoneit B.R.T., 1985a. Hydrothermal petroleum: Composition and utility as a biogenic carbon source. *Biological Society of Washington Bulletin*, 6:49-56.
- Simoneit B.R.T., 1985b. Hydrothermal petroleum: genesis, migration and deposition in Guaymas Basin, Gulf of California. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 22:1919-1929.
- Simoneit B.R.T., 1990. Petroleum generation, an easy and widespread process in hydrothermal systems: an overview. *Applied Geochemistry*, 5:3-15.
- Simoneit, B. R. T., Lonsdale, P. F., Edmond, J. M., and Shanks, W.C.: Deep-water hydrocarbon seeps in Guaymas Basin, Gulf of California, *Appl. Geochem.*, 5, 41–49, 1990.
- Soto, L. A. 2009. Stable carbon and nitrogen isotopic signatures of fauna associated to the deep-sea hydrothermal vent system of Guaymas Basin, Gulf of California. *Deep sea Research II. Topical Studies in Oceanography*. 56 (19-20): 1675-1682.
- Skoglund C., 1992. Additions to the Panamic province gastropod (Mollusca) literature 1971 to 1992. *The Festivus*. 24 (Supplement), 12-13.
- Skyes L.R. 1968., Seismological evidence for transform faults, sea-floor spreading and continental rift, pp 120-150. En: *Proceeding of NASA Symposium. History of the earth's crust*. Phinney, R.A. (Eds.). Princeton, University Press.
- Smith C.R., Baco A., 2003. Ecology of whale falls at the deep-sea floor. *Oceanography and Marine Biology Annual Review* 41:311-54.
- Stakes D.S., Tivey M.K., Koski R.A., Ortega-Osorio A., Preston C.M., McCulloch M.T., Nakamura K., Seewald J. y Wheat G.C., 2003. Hydrothermal deposits in the Southern Trough of Guaymas Basin, Gulf of California: Observations and preliminary results from the 2003 MBARI dive program. *Eos Transaction AGU Fall Meeting*. 84(46):OS32A-0234.
- Suess E., Bohrmann G., von Huene R., Linke P., Wallmann K., Lammers S. y Sahling, H., 1998. Fluid venting in the eastern Aleutian subduction zone. *Journal of Geophysical Research*, 103: 2597-2614.
- Tamez Cruz, S.G., 2003. Efecto del enriquecimiento por carbono biogénico sobre la comunidad bentónica del fondo marino abisal en la costa Noroeste de la Península de Baja California. Tesis de Licenciatura. UNAM, pp. 69.

- Tunnicliffe, V. McArthur, A., McHugh, D., 1998. A Biogeographical Perspective of the Deep-Sea Hydrothermal Vent Fauna. *Advances in Marine Biology* 34, 353-442.
- Tunnicliffe, V., 1992. The nature and Origin of the Modern Hydrothermal Vent Fauna. *Palaios* 7, 338-350.
- Tyler P., Young C., 2003. Dispersal at hydrothermal vents: a summary of recent progress. *Hydrobiologia* 503, 9-19.
- Van Andel T.H., 1964. Recent marine sediments of Gulf of California, 1-9. En: A symposium *Marine Geology of Gulf of California* (Eds.). van Andel T.H. y Shor G.G. Scripps Inst. Oceanography, University of California Memoir 1, pp. 408.
- Van Dover C., 2000. *The Ecology of Deep-Sea Hydrothermal Vents*. Princeton University Press, pp. 424.
- Van Dover C., 2002. Community structure of mussel beds at deep-sea hydrothermal vents. *Marine Ecology Progress Series* 230, 137-158.
- Van Dover C. Berg C., Turner R., 1988. Recruitment of marine invertebrates to hard substrates at deep-sea hydrothermal vents on the East Pacific Rise and Galapagos spreading center. *Deep-Sea Research* 35 (10-11), 1833-1849.
- Van Dover C., Lutz, R., 2004. Experimental ecology at deep-sea hydrothermal vents: a perspective. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 300, 273-307.
- VanDover CL, Smith CR, Ardron J, Arnaud S, Beaudoin Y, Bezaury J, Boland, Billett D, Carr M, Cherkashov G, Cook A, De Leo F, Dunn D, Fisher CR, Godet L, Gjerde K, Halpin P, Levin L, Lodge M, Menot L, Miller K, Milton D, Naudts L, Nugent C, Pendleton L, Plouviez S, Rowden A, Santos R, Shank T, Smith S, Tao C, Tawake A, Thurnherr A, Treude T (2011), Environmental management of deep-sea chemosynthetic ecosystems: justification of and considerations for a spatially-based approach. ISA Technical study no.9. International Seabed Authority, Kingston, Jamaica, 90pp.
- Vigneron, A., Cruaud, P., Pignet, P., Caprais, J.-C., Cambon-Bonavita, M.-A., Godfroy, A., and Toffin, L.: Archaeal and anaerobic methane oxidizer communities in the Sonora Margin cold seeps, Guaymas Basin (Gulf of California), *ISME J*, 7, 1595–1608, doi:10.1038/ismej.2013.18, 2013.



- Vine F..J., 1966. Spreading on the ocean floor: New evidence. *Science*, 154: 1405-1415.
- Von Damm K.L., Edmond J.M., Measures C.I. y Grant B., 1985. Chemistry of submarine hydrothermal solutions at Guaymas Basin, Gulf of California. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 49: 2221-2237.
- Wallmann K., Linke P., Suess E., Bohrmann G., Sahling H., Schlüter M., Dählmann A., Lammers S., Greinert J. y von Mirbach N., 1997. Quantifying fluid flow, solute mixing, and biogeochemical turnover at cold vents of the eastern Aleutian subduction zone. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61: 5209-5219.
- Watanabe, H., Fujikura, K., Kojima, S., Miyazaki, J.-I., and Fujiwara, Y. 2010. Japan: Vents and Seeps in Close Proximity, in: *The Vent and Seep Biota*, edited by: Kiel, S., *Topics in Geobiology*, Springer Netherlands, 379–401.
- Wells J.B.J., 2007. An annotated checklist and keys to the species of Copepoda Harpacticoida (Crustacea). *Zootaxa* 1568, pp. 872.
- Wilson J.T., 1965. Transform faults, oceanic ridges and magnetic anomalies southwest of Vancouver Island. *Science*, 158. 482-485.
- Wolff T., 2005. Composition and endemism of the deep-sea hydrothermal vent fauna. *Cahiers de Biologie Marine* 46, 97-104.
- Young D. K., Richardson M. D., 1998. Effects of waste disposal on benthic faunal succession on the abyssal seafloor. *Journal of Marine Systems* 14, 319-336.

### **Recursos electrónicos**

- Woods Hole Oceanographic Institution. Molecular Ecology and Evolution Laboratory. Disponible en: ([http://www.whoi.edu/science/B/people/tshank/projects/p\\_integrated.htm](http://www.whoi.edu/science/B/people/tshank/projects/p_integrated.htm)) Fecha de consulta: mayo de 2011.
- SEMARNAT, 2016. Bitácoras ambientales de Ordenamiento Ecológico. Disponible en: (<https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/bitacora-ambiental-golfo-de-california>). Fecha de consulta: enero 2023.
- WoRMS. 2023. Registro Mundial de Especies Marinas. Disponible en: (<http://www.marinespecies.org>). Fecha de consulta: enero 2023.

## ANEXO I

Valores de abundancia, riqueza taxonómica, densidad (ind.m<sup>2</sup>) y biomasa (g ph.m<sup>2</sup>) de macrobentos en diferentes localidades: mundial, Dorsal del Pacífico Este (EPR) y Cuenca de Guaymas. I.N.D= Información no disponible, obtenido de Dèsbroyeres et al. (2006).

Localidad	Tipo de sedimento	Latitud	Longitud	Riqueza (# taxa)	Abundancia (# ind.)	Densidad (ind.m <sup>2</sup> )	Biomasa (g ph.m <sup>2</sup> )	Referencia
<b>Mundial</b>								
<b>Cuenca Manus</b>	Activo	3.79° S	159.095° E	I.N.D	1	934.92±404.39	0.235±0.185	Levin et al. (2009)
<b>Cuenca Manus</b>	Inactivo	3.79° S	152.095° E	I.N.D	6	445.20±378.68	1.072±0.825	Levin et al. (2009)
<b>Dorsal Juan de Fuca</b>	Activo	48° 27.358 N	128°42.574 W	I.N.D	83	8190.72±2042.26	4.23±2.77	Levin et al. (2009)
<b>Cresta Juan de Fuca</b>	Activo (asociación de bivalvos Vesicómidos)	48° 27.325 N	128°42.557 W	I.N.D	59	19984.32±2688.82	4.46±0.76	Levin et al. (2009)
<b>Cresta Juan de Fuca</b>	Inactivo	48° 27.339 N	128°42.538 W	I.N.D	11	2218.92	2.13	Levin et al. (2009)
<b>Pacífico Oriental Tropical</b>	Inactivo (monte marino)	13° 25 N	102°35 W	I.N.D	I.N.D	8457±3769	I.N.D	Levin et al. (1991)
<b>Galápagos</b>	Activo (asociación de bivalvos)	0°48 N	86°09 W	34	160	I.N.D	I.N.D	Van Dover et al. (1988)

<b>Galápagos</b>	Inactivo (asociación de bivalvos Vesicómidos)	0°48 N	86°09 W	26	216	I.N.D	I.N.D	Van Dover et al. (1988)
<b>Galápagos (Rose Garden)</b>	Activo	0°48 N	86°09 W	27	4316	I.N.D	I.N.D	Van Dover et al. (1988)
<b>Galápagos (Rose Garden)</b>	Inactivo	0°48 N	86°09 W	19	4046	I.N.D	I.N.D	Van Dover et al. (1988)
<b>Galápagos (Garden of Eden)</b>	Activo	0°48 N	86°09 W	48	1190	I.N.D	I.N.D	Van Dover et al. (1988)
<b>Galápagos (Garden of Eden)</b>	Inactivo	0°48 N	86°09 W	14	43	I.N.D	I.N.D	Van Dover et al. (1988)
<b>EPR</b>								Van Dover et al. (1988)
<b>21°N</b>	Activo	20°50'N	109°06'W	13	158	I.N.D	I.N.D	Van Dover et al. (1988)
<b>21°N</b>	Inactivo	20°50'N	109°06'W	13	44	I.N.D	I.N.D	Van Dover et al. (1988)
<b>Cuenca de Guaymas</b>								
<b>Cuenca de Guaymas</b>	Activo	278° N	11.5 ° W	I. N.D	3722-5443	I.N.D	I.N.D	Petrecca y Grassle (1990)

<b>Cuenca de Guaymas</b>	Activo (asociación de bivalvos Vesicómidos)	278° N	11.5 ° W	I.N.D	1200-1900	I.N.D	I.N.D	Petrecca y Grassle (1990)
<b>Cuenca de Guaymas</b>	Activo	278° N	11.5 ° W	6-19	I.N.D	0.001	I.N.D	Berg y Van Dover (1987)

## ANEXO II

Valores de densidad (ind.m<sup>2</sup>) y biomasa (gramos peso húmedo m<sup>2</sup>) de macrobentos de infiltraciones de metano en diferentes localidades mundiales. I.N.D= Información no disponible.

Localidad	Tipo de sedimento	Profundidad (m)	Apertura de malla	Taxa dominantes	Densidad (ind.m <sup>2</sup> )	Biomasa (g ph.m <sup>2</sup> )	Comparación con hábitats inactivos	Referencia
<b>Mundial</b>								
<b>Golfo de Alaska, Infiltración Kodiak</b>	Asociación de gusanos de tubo (pogonóforos)	4445	0.3 mm	pogonóforos, anfípodos y bivalvos	6625 ± 1283	13.9 ± 2.6	Densidades más elevadas que en inactivos	Levin, sin publicar.
<b>Golfo de Alaska, Infiltración Kodiak</b>	Asociación de bivalvos ( <i>Calyptogena</i> )	4445	0.3 mm	anfarétidos, bivalvos y gasterópodos	3263±10 51	23.3±1 0	Densidades similares a sitios inactivos	Levin, sin publicar.
<b>Oregon</b>	Asociación de bivalvos ( <i>Calyptogena</i> )	590	0.3 mm	oligoquetos, dorvileidos, gasterópodos	27013±4 296	I.N.D	Mayor densidad que en sitios inactivos	Levin, sin publicar.
<b>Oregon</b>	Tapete bacteriano	590	0.3 mm	dorvileidos, gasterópodos ( <i>Astyris permolestia</i> ),	12606±6 502	I.N.D	Densidad similar a sitio inactivo	Levin, sin publicar.

				<i>Provanna</i> <i>sp.</i> <i>Acharax</i> <i>sp.</i> , Orbiniida <i>e.</i>				
<b>Oregon</b>	Asociación de bivalvos ( <i>Calyptogena</i> )	770	0.3	anfaretidos, gasterópodos ( <i>Hyalogrina</i> <i>sp.</i> ), <i>Calyptogena</i> <i>pacifica</i> , <i>Vesicomys</i> <i>sternsii</i>	4968	148.8	I.N.D	Levin, sin publicar .
<b>Oregon</b>	Tapete bacteriano	770	0.3	gasterópodos	8869	46.9	Menor diversidad que en sitios inactivos	Sahling et al. 2002
<b>California Norte</b> <b>(Río</b> <b>Eel)</b>	Tapete bacteriano	500	0.3	tubíficos, poliquetos (capitelidos, paraonidos) nemertinos	16900±2 280	23.8±1 1.2	Composición de macrofauna similar.	Levin et al. 2003
<b>California Norte</b> <b>(Río</b> <b>Eel)</b>	Tapete bacteriano	500	0.3	gasterópodos ( <i>Provanna</i> <i>laevis</i> )	13500±4 770	1.7±0. 4	Anélidos mayormente, en especial	Levin et al. 2003

							Dorvilleid ae.
<b>Escarpe de Florida</b>	Tapete bacteriano/sedi mentos sulfurosos	3290	tubíficido s	I.N.D	I.N.D	Alta dominanc ia	Levin, Cheung , Mendoz a, sin publicar .
<b>Golfo de México, Golfo de Cadiz</b>	Tapete bacteriano	700	poliqueto s (capitelid os, paraonido s)			Alta dominanc ia	Robinso n et al. 2004
			nemertin os	17600	125.1	I.N.D	Dando et al. 1994
<b>Mar Norte</b>	Pockmark	168		708-1550	0.3- 3.9	I.N.D	Dando et al. 1991
<b>Depresi ón Escaban a</b>	Montículos hidrotermales	3200- 3270	poliqueto s (Hesionid ae)	I.N.D	I.N.D	Misma densidad	Petrecca & Grassle 1987, Grassle & Petrecca 1994.

**ANEXO III.** Inmersiones por fecha realizadas en fondo abisal inactivo y en la Cuenca de Guaymas para la depresión Sur y en el Margen de Sonora. En negritas y con un asterisco, se resaltan las inmersiones de donde se obtuvieron las muestras para este estudio.

Inmersión	Fecha de colecta	Localidad	Hábitat muestreado	Muestreador
1753	14-jun-10	Fuera de la zona activa	Abisal inactivo	CL
1754	15-jun-10	Margen de Sonora	Tapete bacteriano (blanco)	GCL
<b>*1755</b>	<b>16-jun-10</b>	<b>Margen de Sonora</b>	<b>Tapete bacteriano</b>	<b>GCL</b>
1756	17-jun-10	Margen de Sonora	Vesicómidos	GCL
<b>*1757</b>	<b>18-jun-10</b>	<b>Margen de Sonora</b>	<b>Vesicómidos</b>	<b>GCL</b>
1758	19-jun-10	Margen de Sonora	Vesicómidos y tapete bacteriano (gris)	GCL
1759	20-jun-10	Margen de Sonora	Vesicómidos	GCL
1760	21-jun-10	Margen de Sonora	Vesicómidos	GCL
1761	22-jun-10	Margen de Sonora	Gusanos Siboglínidos	GCL
<b>*1762</b>	<b>23-jun-10</b>	<b>Margen de Sonora</b>	<b>Gusanos Siboglínidos</b> ( <i>Escarpia spicata</i> y <i>Lamellibrachia barhami</i> )	<b>CL</b>



1765	28-jun-10	Cuenca de Guaymas	Tapete bacteriano y Riftia	GCL
1767	1-jul-10	Cuenca de Guaymas	Tapete bacteriano	GCL
1768	1-jul-10	Cuenca de Guaymas	Tapete bacteriano	GCL
<b>*1770</b>	<b>4-jul-10</b>	<b>Cuenca de Guaymas</b>	<b>Fondo con detrito de Riftia</b>	<b>GCL</b>

**ANEXO IV.** Localidad, tipo de hábitat, estratos (cm) y apertura de tamiz para cada localidad con sedimentos activos en la Cuenca de Guaymas y en el Margen de Sonora. Esta tabla contiene las muestras de una réplica, presentes en el ICML. En negritas y con un asterisco, se resaltan las inmersiones de donde se obtuvieron las muestras para este estudio.

Inmersión	Localidad	Hábitat	Estrato (cm)	Apertura de tamiz (µm)
1753	Zona inactiva de referencia	Abisal, sedimento suave	0 a 1	250
				300
				500
				1000
	Zona inactiva de referencia	Abisal, sedimento suave	1 a 3	250
				300
				500
				1000
	Zona inactiva de referencia	Abisal, sedimento suave	3 a 5	250
				300
				500
				1000
	Zona inactiva de referencia	Abisal, sedimento suave	5 a 10	250
				300
				500
				1000
	Zona inactiva de referencia	Abisal, sedimento suave	>10	250
				300
				500
				1000
	Zona inactiva de referencia	Abisal, sedimento suave	0 a 1	250
				300
				500
				1000
<b>*1755</b>	<b>Margen de Sonora</b>	<b>Tapete bacteriano</b>	<b>0-1</b>	<b>250</b>
				<b>300</b>
				<b>500</b>
				<b>1000</b>
	<b>Margen de Sonora</b>	<b>Tapete bacteriano</b>	<b>1-3</b>	<b>250</b>
				<b>300</b>
				<b>500</b>
				<b>1000</b>
	Margen de Sonora	Tapete bacteriano	3-5	250
				300
				500
				1000

	Margen de Sonora	Tapete bacteriano	5-10	250
				300
				500
				1000
	Margen de Sonora	Tapete bacteriano	>10	250
				300
				500
				1000
<b>*1757</b>	Margen de Sonora	Vesicómidos	0-1	<b>250</b>
				<b>300</b>
				<b>500</b>
				<b>1000</b>
			1-3	<b>250</b>
				<b>300</b>
				<b>500</b>
				<b>1000</b>
			3-5	250
				300
				500
				1000
			5-10	250
				300
				500
				1000
			>10	250
				300
				500
				1000
<b>*1762</b>	Margen de Sonora	Gusanos Siboglínidos ( <i>Escarpia spicata</i> y <i>Lamellibrachia barhami</i> )	0-1	<b>250</b>
				<b>300</b>
				<b>500</b>
				<b>1000</b>
			1-3	<b>250</b>
				<b>300</b>
				<b>500</b>
				<b>1000</b>
			3-5	250
				300
				500
				1000
			5-10	250
				300
				500
				1000

			>10	250		
				300		
				500		
				1000		
<b>*1770</b>	<b>Cuenca de Guaymas</b>	<b>Fondo con detrito de Riftia</b>	<b>0-1</b>	<b>250</b>		
				<b>300</b>		
				<b>500</b>		
						<b>1000</b>
			<b>1-3</b>	<b>250</b>		
				<b>300</b>		
				<b>500</b>		
				<b>1000</b>		
			<b>3-5</b>	250		
				300		
				500		
				1000		
			<b>5-10</b>	250		
				300		
				500		
				1000		
			<b>&gt;10</b>	250		
				300		
				500		
1000						

**ANEXO V. Tabla de presencia/ausencia de familias de macrofauna identificada en los hábitats quimiosintéticos de este estudio.**

		Margen de Sonora							
Clase	Familia	1755 (S_Mat) Tapete bacteriano							
		0-1 cm				1-3 cm			
		250µm	300µm	500µm	1000µm	250µm	300µm	500µm	1000µm
Polychaeta	Archinomidae		1						
	Dorvilleidae	1	1			1	1	1	
	Hesionidae				1		1		1
	Nereididae		1					1	
	Cossuridae							1	
	Cirratulidae		1				1	1	
Bivalvia	Orbiniidae								
	Lucinidae							1	
	Thyasiridae		1			1		1	
	Mytilidae							1	
Gasteropoda	Solemyidae								
	Vesicomyidae				1				1
	Provannidae								
Copepoda	Trochidae				1				1
	Laophontidae		1						
	Aegisthidae			1					
	Ectinosomatidae								
Malacostraca	Oncaeidae								
	Dirivultidae								
Cyclorhagida	Tanaidacea (no identificado)							1	
	Eusiridae								
	Echinoderidae								

		Margen de Sonora							
Clase		1757 (S_VesA) Vesicomidos							
		0-1 cm				1-3 cm			
		250µm	300µm	500µm	1000µm	250µm	300µm	500µm	1000µm
Polychaeta			1						
			1				1	1	
			1						
Bivalvia								1	
		1							
Gasteropoda			1				1	1	
Copepoda		1	1	1				1	
		1							
		1							
		1	1						
Malacostraca				1					
Cyclorhagida	1								

Margen de Sonora								
Clase	Margen de Sonora 1762 (S_Sib) Gusanos Siboglinidos							
	0-1 cm				1-3 cm			
	250µm	300µm	500µm	1000µm	250µm	300µm	500µm	1000µm
Polychaeta	1	1						
			1				1	
Bivalvia	1	1						
				1				
Gasteropoda								
Copepoda	1	1						
Malacostraca							1	
Cyclorhagida			1					

Cuenca de Guaymas									
Clase	Familia	1770 (V_Sib) Detrito de Riftia							
		0-1 cm				1-3 cm			
		250µm	300µm	500µm	1000µm	250µm	300µm	500µm	1000µm
Polychaeta	Archinomidae								
	Dorvilleidae	1	1	1	1			1	
	Hesionidae								
	Nereididae				1				
	Cossuridae								
	Cirratulidae				1				
Bivalvia	Orbiniidae								
	Lucinidae								
	Thyasiridae								
	Mytilidae								
	Solemyidae								1
Gasteropoda	Vesicomysidae							1	1
	Provannidae				1				
	Trochidae				1				
Copepoda	Laophontidae								
	Aegisthidae	1	1						
	Ectinosomatidae	1		1					
	Oncaeidae								
Malacostraca	Dirivultidae								
	Tanaidacea (no identificado)								
Cyclorhagida	Eusiridae								
	Echinoderidae								

**ANEXO VI.** Listado de especies de macrofauna pertenecientes a ecosistemas quimiosintéticos y sus inmediaciones. (Dèsbruyeres et al. 2006)

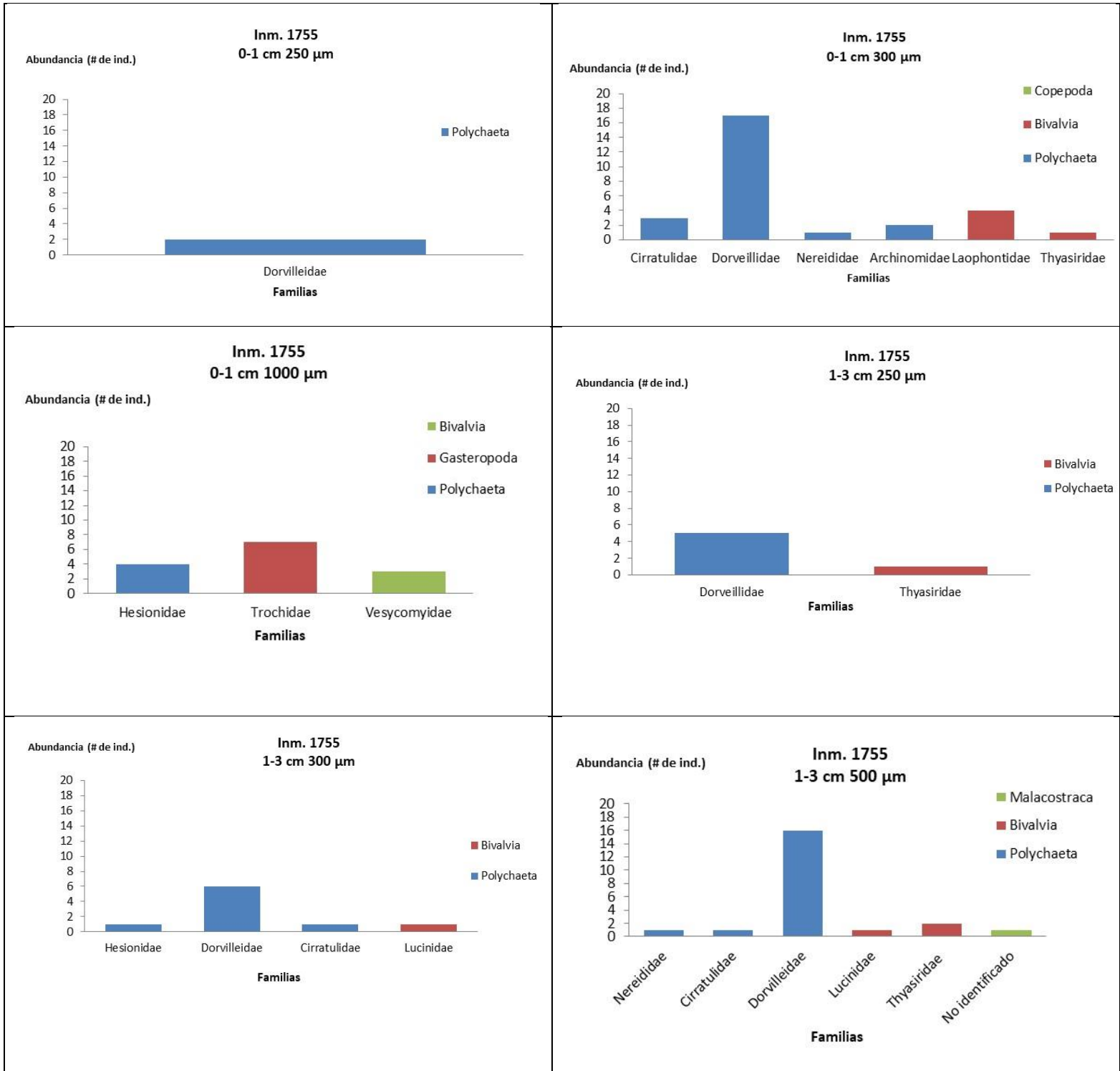
	<b>Phylum</b>	<b>Clase</b>	<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>Autor/año</b>	<b>Localidad</b>
1	Cnidaria	Anthozoa	Actiniaria	Actinostolidae	<i>Paranthosactis denhartogi</i>	López-González, Rodríguez & Segonzac, 2003	Guaymas
2	Mollusca	Gastropoda	Vetigastropoda	Lepetodrilidae	<i>Lepetodrilus guaymasensis</i>	Mclean, 1988	Guaymas
3	Mollusca	Gastropoda	Vetigastropoda	Pyropeltidae	<i>Pyropelta corymba</i>	Mclean & Haszprunar, 1987	Guaymas
4	Mollusca	Gastropoda	Caenogastropod	Provannidae	<i>Provanna laevis</i>	Warén & Ponde, 1991	Guaymas; JFR; zona inactiva
5	Mollusca	Gastropoda	Heterobranchia	Hyalogyrinidae	<i>Hyalogyrina grasslei</i>	Warén & Bouchet, 1993	Guaymas
6	Mollusca	Bivalvia	Heterodonta	Vesicomidae	<i>Calyptogena gigas</i>	Dall, 1896	Guaymas, JFR; zona inactiva
7	Nematoda	Adenophorea	Desmodorida	Desmodoridae	<i>Desmodorella balteata</i>	Decraemer & Goubault, 1998	Guaymas
8	Nematoda	Adenophorea	Desmodorida	Desmodoridae	<i>Desmodorella spineacaudata</i>	Decraemer & Goubault, 1998	Guaymas
9	Annelida	Polychaeta	Eunicid	Dorvilleidae	<i>Exallopus jumarsi</i>	Blake, 1985	Guaymas
10	Annelida	Polychaeta	Eunicida	Dorvilleidae	<i>Ophryotrocha akessoni</i>	Blake, 1985	EPR, Galapagos, Guaymas
11	Annelida	Polychaeta	Eunicida	Dorvilleidae	<i>Ophryotrocha platykephale</i>	Blake, 1985	Guaymas
12	Annelida	Polychaeta	Phyllodocida	Glyceridae	<i>Glycera branchiopoda</i>	Moore, 1911	Guaymas; zona inactiva
13	Annelida	Polychaeta	Phyllodocida	Hesionidae	<i>Nereimyra alvinae</i>	Blake, 1985	Galapagos; Guaymas
14	Annelida	Polychaeta	Phyllodocida	Hesionidae	<i>Sirsoe grasslei</i>	Blake, 1985	Guaymas

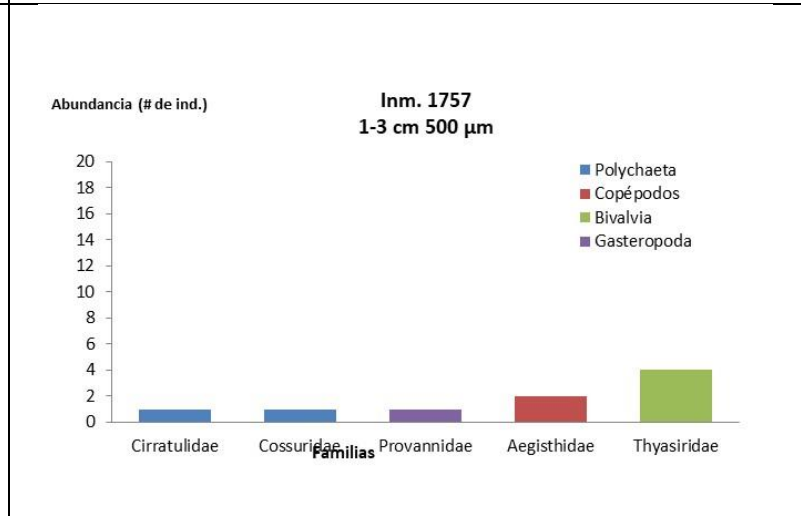
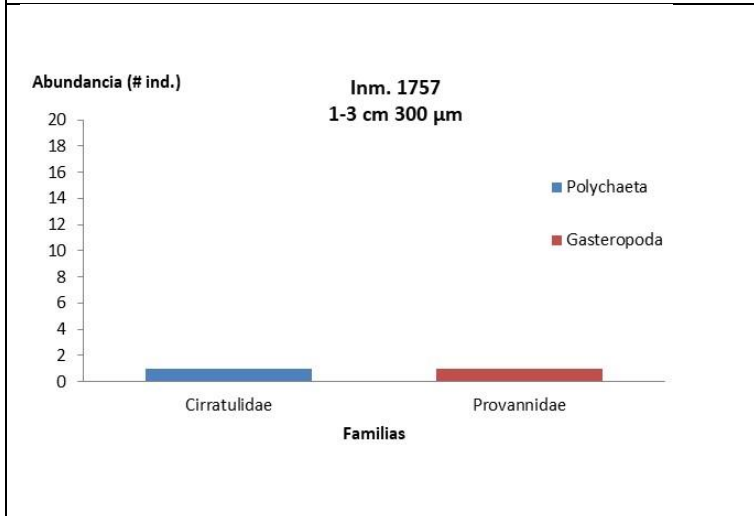
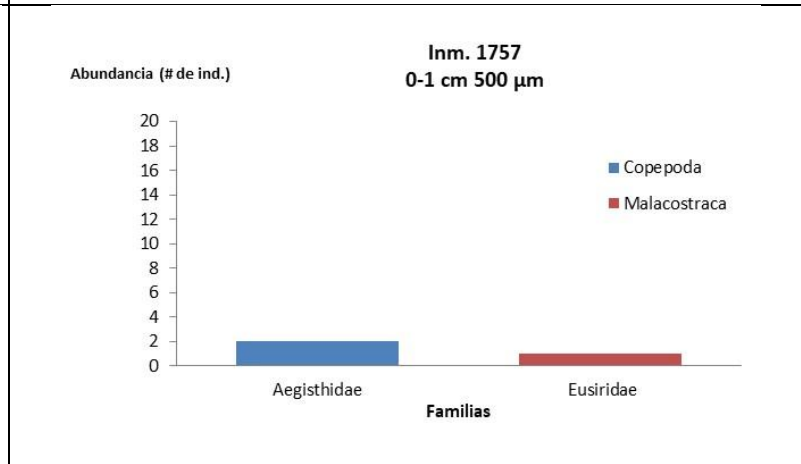
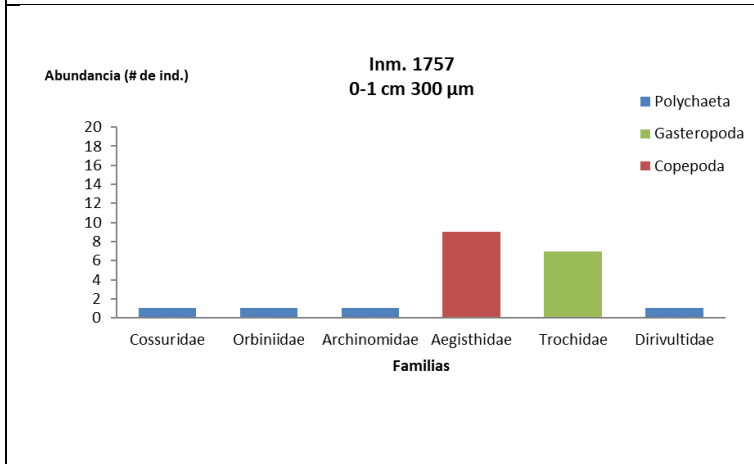
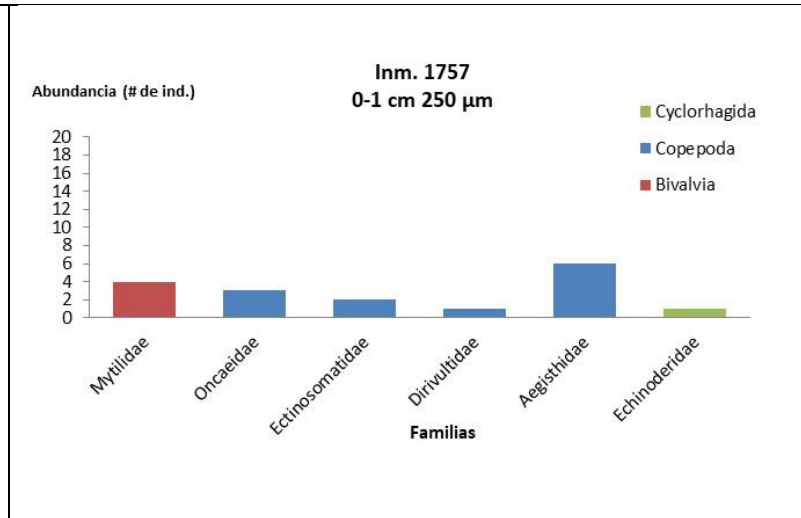
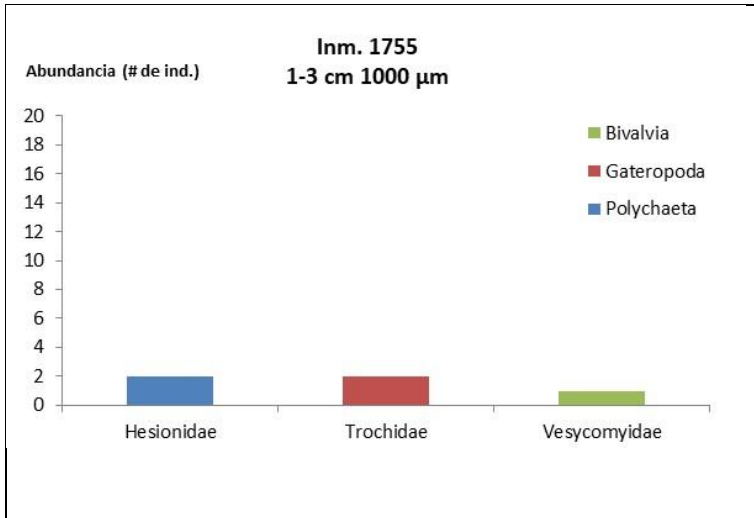
15	Annelida	Polychaeta	Phyllodocida	Nereidae	<i>Nereis sandersi</i>	Blake, 1985	EPR; Galapagos; Guaymas
16	Annelida	Polychaeta	Phyllodocida	Polynoidae	<i>Bathykurila guaymasensis</i>	Pettibone, 1898	Guaymas
17	Annelida	Polychaeta	Phyllodocida	Polynoidae	<i>Branchinotogluma hessleri</i>	Pettibone, 1985	EPR: 9°N; Galapagos; Guaymas
18	Annelida	Polychaeta	Phyllodocida	Polynoidae	<i>Branchinotogluma sandersi</i>	Pettibone, 1985	EPR: 21°N-17°S; Galapagos; Guaymas
19	Annelida	Polychaeta	Phyllodocida	Polynoidae	<i>Branchiplicatus cupreus</i>	Pettibone, 1985	EPR: 21°N-9°N; Guaymas
20	Annelida	Polychaeta	Scolecida	Maldanidae	<i>Nicomache venticola</i>	Blake & Hilbig, 1990	Guaymas; Explorer; JFR: AV-AVF, S-JFR
21	Annelida	Polychaeta	Spionida	Spionidae	<i>Lindaspio dibranchiata</i>	Blake & Maciolek, 1992	Guaymas
22	Annelida	Polychaeta	Terebellida	Alvinellidae	<i>Paralvinella (Miralvinella) bacteriocola</i>	Desbruyères & Laubier, 1991	Guaymas
23	Annelida	Polychaeta	Terebellida	Alvinellidae	<i>Paralvinella (Paralvinella) grasslei</i>	Desbruyères & Laubier, 1982	EPR; Galapagos; Guaymas
24	Annelida	Polychaeta	Terebellida	Alvinellidae	<i>Paralvinella (Paralvinella) sulfincola</i>	Desbruyères & Laubier, 1993	Explorer; JFR; Guaymas
25	Arthropoda	Crustacea	Ostracoda	Halocypridae	<i>Bathyconchoecia deeveyae</i>	Kornicker, 1969	Guaymas, non-vent locations
26	Arthropoda	Crustacea	Ostracoda	Halocypridae	<i>Bathyconchoecia paulula</i>	Deevey, 1968	Guaymas, non-vent locations

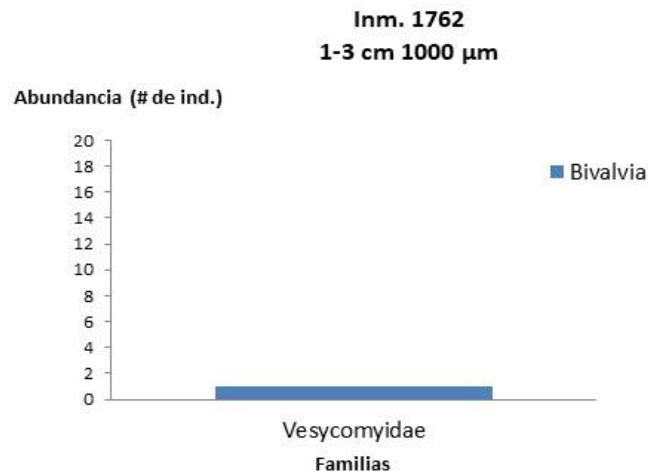
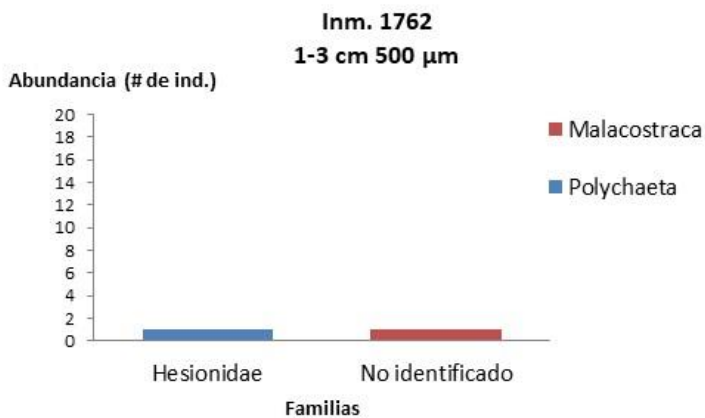
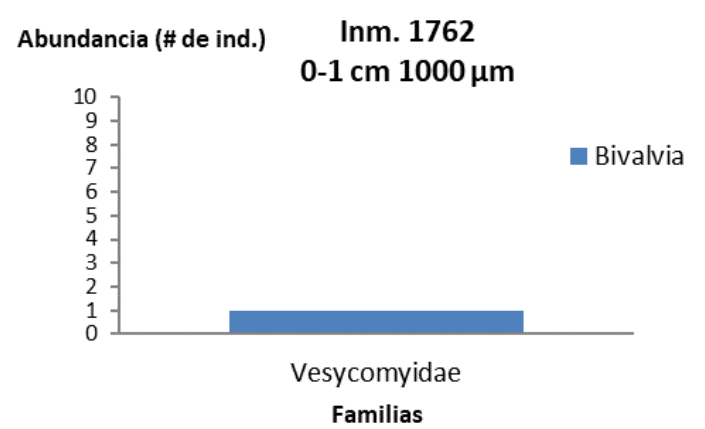
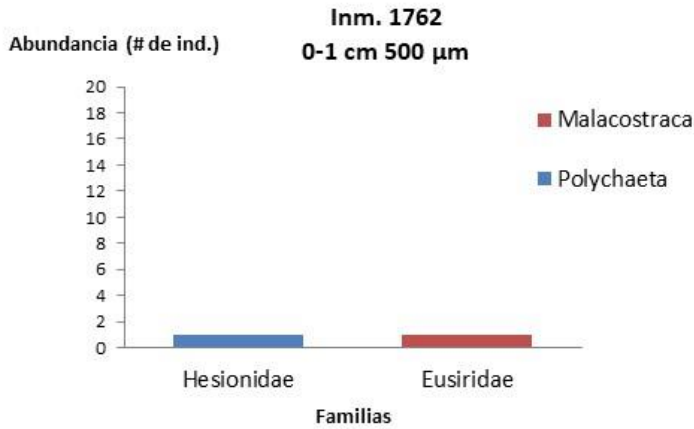
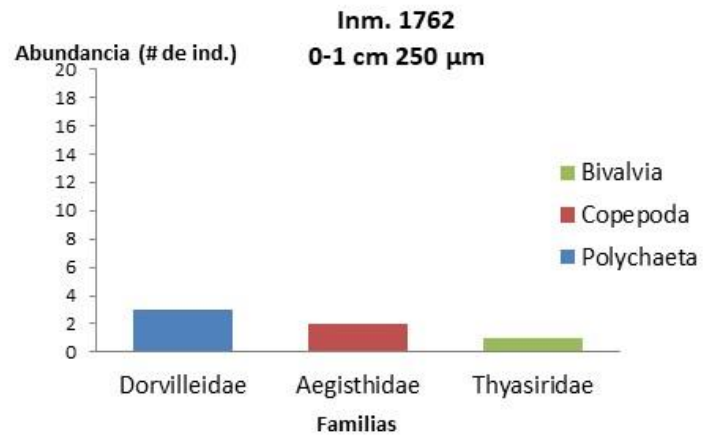
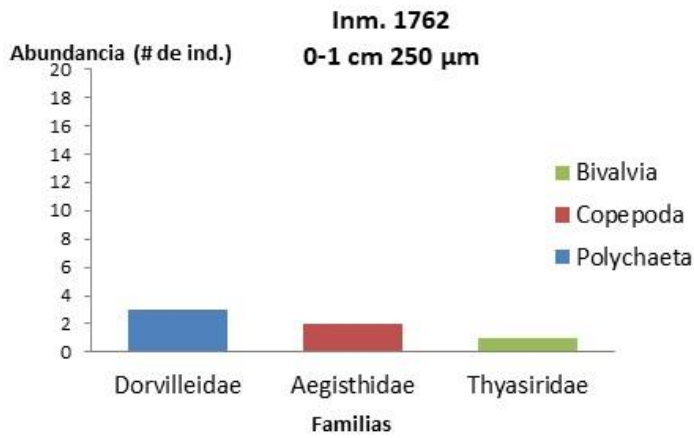


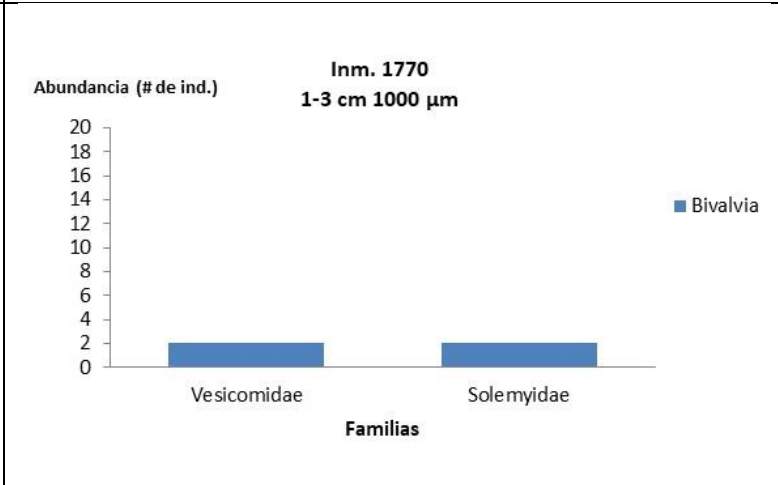
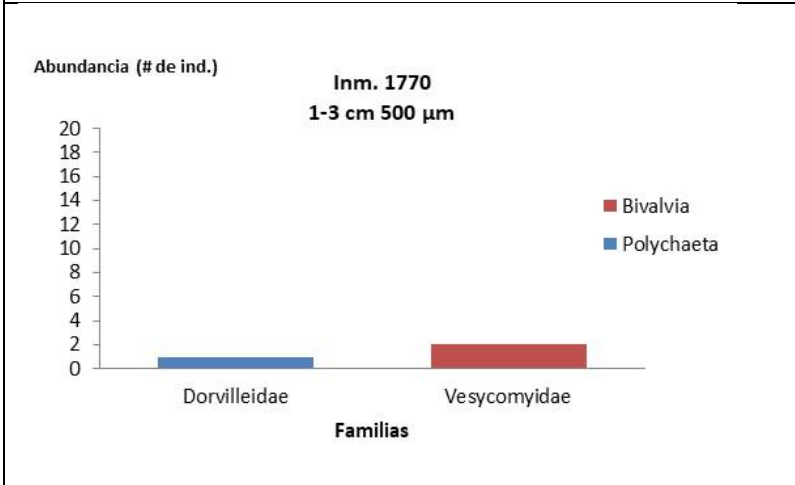
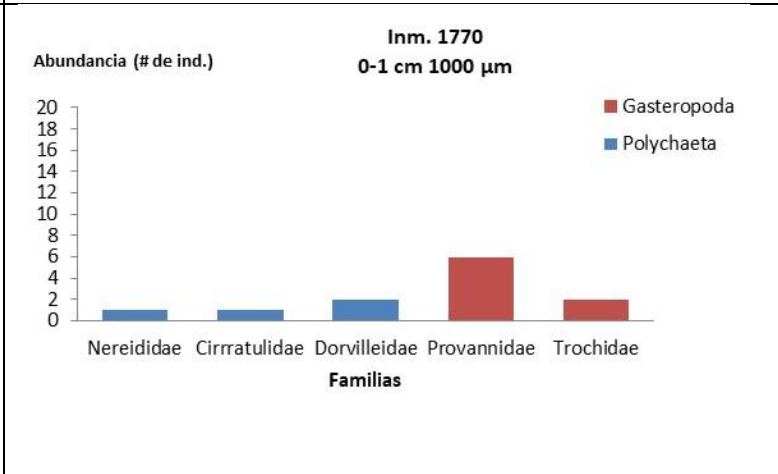
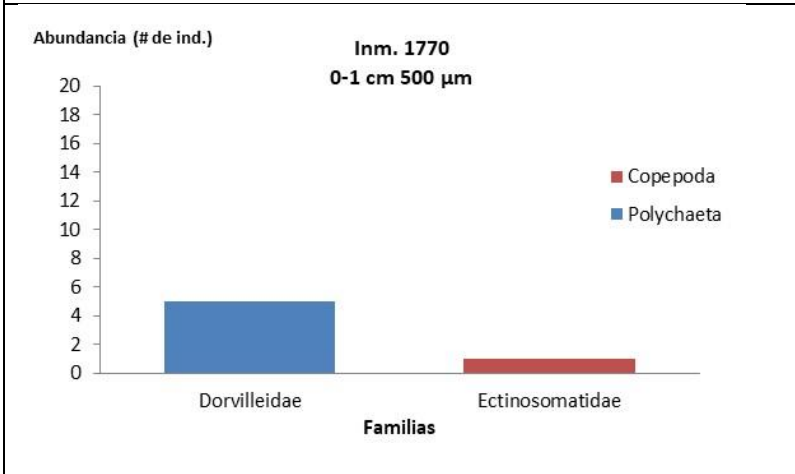
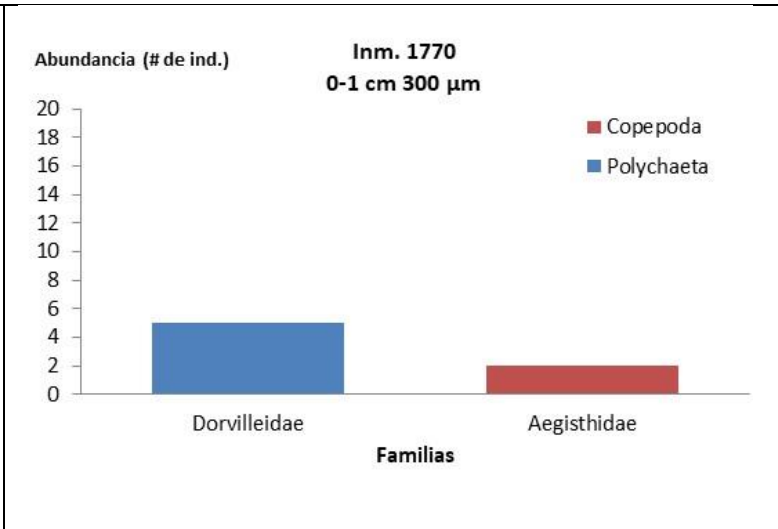
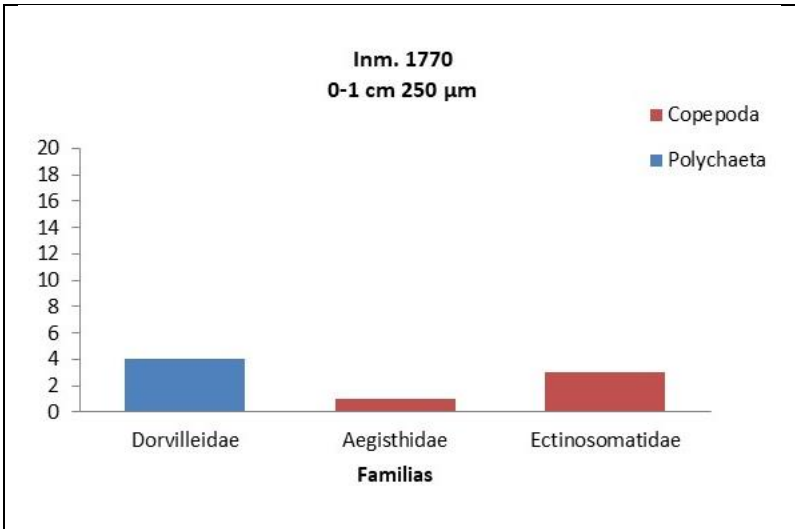
27	Arthropoda	Crustacea	Copepoda	Clausidiidae	<i>Hyphalion captans</i>	Humes, 1987	Guaymas
28	Arthropoda,	Crustacea	Copepoda	Dirivultidae	<i>Aphotopontius forcipatus</i>	Humes, 1987	Gorda; JFR; Guaymas
29	Arthropoda	Crustacea	Copepoda	Dirivultidae	<i>Aphotopontius mammillatus</i>	Humes, 1987	EPR: 13°N, 21°N, 13°N; Galapagos; Guaymas
30	Arthropoda	Crustacea	Copepoda	Dirivultidae	<i>Stygiopontius flexus</i>	Humes, 1987	EPR: 9°N; Guaymas
31	Arthropoda,	Crustacea	Copepoda	Dirivultidae	<i>Stygiopontius mucroniferus</i>	Humes, 1987	EPR: 9°N; Guaymas
32	Arthropoda	Crustacea	Copepoda	Lubbockiidae	<i>Laitmatobius crinitus</i>	Humes, 1987	Guaymas
33	Arthropoda	Crustacea	Copepoda	Oncaeiidae	<i>Oncaea praeclara</i>	Humes, 1988	EPR: 21°N, 13°N, 9°N; Galapagos; Guaymas
34	Arthropoda	Crustacea	Amphipoda	Ampeliscidae	<i>Ampelisca romigi</i>	Barnard, 1954	EPR, Guaymas, zona inactiva
35	Arthropoda	Crustacea	Amphipoda	Lysianassidae	<i>Cyclocaris tahitensis</i>	Stebbing, 1888	Guaymas, zona inactiva
36	Arthropoda	Crustacea	Amphipoda	Phoxocephalidae	<i>Harpiniopsis fulgens</i>	Barnard, 1960	EPR, Guaymas
37	Arthropoda	Crustacea	Amphipoda	Stenothoidae	<i>Metopa (Prometopa) samsiluna</i>	Barnard, 1966	Guaymas, zona inactiva

**ANEXO VII.** Gráficas de barra de la abundancia para cada familia, en cada inmersión y apertura de tamiz para los estratos de 0-1 y 1-3 cm.









**ANEXO VIII. Ejemplo de fotografías de la biota:**

**Ecosistema Infiltraciones frías de metano | Margen de Sonora**

**Hábitat Tapete microbiano | Inmersión 1755 (S\_Mat)**

**Taxón: Polychaeta**



Taxón: Copepoda



Ecosistema Infiltraciones frías de metano | Margen de Sonora

Hábitat Vesicómidos | Inmersión 1757 (S\_VesA)

Taxón: Bivalvia

