



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ciencias

---

---

Estructura comunitaria de la macrofauna de invertebrados abisales  
asociados a ecosistemas basados en quimiosíntesis  
en las cuencas Alfonso y Pescadero  
en el golfo de California, México.

T E S I S

Que para obtener el título de:

**BIÓLOGA**

Presenta:

Karla Trejo Rodríguez

Director de Tesis:

Dra. Elva Guadalupe Escobar Briones





Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## Hoja de datos del jurado

**1. Datos del alumno**

Trejo  
Rodríguez  
Karla María  
5573934293  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Biología  
310132477

**2. Datos del tutor**

Dra.  
Elva Guadalupe  
Escobar  
Briones

**3. Datos del sinodal 1**

Dra.  
María del Carmen  
Hernández  
Álvarez

**4. Datos del sinodal 2**

Dr.  
Pablo  
Hernández  
Alcántara

**5. Datos del sinodal 3**

M. en C.  
Adriana  
Gaytán  
Caballero

**6. Datos del sinodal 4**

M. en C.  
Elvira Leticia  
Jiménez  
Guadarrama

**7. Datos del trabajo escrito**

Estructura de la macrofauna abisal afectada por quimiosíntesis en las cuencas Alfonso y Pescadero en el golfo de California, México  
103 p.  
2019



---

## Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ciencias, por abrirme sus puertas y formarme como profesional, además de ofrecerme la infraestructura necesaria.

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, de la UNAM, por las facilidades brindadas con infraestructura para el desarrollo de este estudio en el Laboratorio de Biodiversidad y Macroecología.

Al Monterrey Bay Aquarium Research Institute por el financiamiento de la expedición oceanográfica Gulf of California Expedition “Vents and seeps” en colaboración con el ICML de la UNAM.

Al capitán y tripulación y personal científico participante a bordo del R/V Western Flyer, en especial a Yosselin Tapia de la O por la colecta y ayuda en el procesado de muestras, a los pilotos del ROV Doc Ricketts y al equipo técnico del AUV.

Al CONACyT por el apoyo económico brindado como “Ayudante de Investigador” Exp. Ayte. 15382 que permitió cooperar en el desarrollo del proyecto de investigación “Descripción del macrobentos asociado a ventilas hidrotermales de la cuenca Alfonso y Pescadero”.

A la Dra. Elva Escobar Briones por permitirme trabajar en este proyecto, por la instrucción y el conocimiento compartido.

A los miembros de jurado: Dra. Ma. del Carmen Hernández., Dr. Pablo Alcántara, M. en C. Adriana Gaytán y M. en C. Leticia Jiménez por sus oportunos comentarios y observaciones dirigidas a la mejora de este trabajo y de mi formación profesional.

Al Dr. Pablo Hernández Alcántara por el apoyo en la identificación de los poliquetos y el uso del programa Primer 7.

Al Dr. Raúl Gío Argáez por las facilidades brindadas en su laboratorio para el pesaje de los organismos con mayor biomasa.

Al Dr. Pierre Legendre, Université de Montréal por la asesoría brindada en el marco del análisis de resultados.



---

## Agradecimientos personales

A la Dra. Elva por los consejos, la enorme paciencia y el gran apoyo brindado. Muchas gracias por la confianza puesta en mí.

A la Dra. Carmen Hernández por el enorme apoyo en mi formación como bióloga, por los consejos y las buenas charlas.

A mis compañeros y amigos del Laboratorio de Biodiversidad y Macroecología, en especial a Letty y Esme por la compañía, consejos y ayuda. A Adriana Gaytán Caballero por apoyarme para que este proyecto pudiese llevarse a cabo. A Darién y Thalía por los buenos momentos compartidos, por su compañía y apoyo.

A mis amigos de la facultad Lalo, Brenda y Mau quienes hicieron de la carrera una gran época, por los momentos divertidos, por el compañerismo y su gran amistad. En especial a Erick, quien en todo momento me brindó su apoyo y nunca dejo de animarme a continuar, te admiro.

A mis amigos de toda la vida Paty, Alex, Vic e Irving, gracias por estar, los quiero muchísimo.

A Esteban López por tu gran apoyo, compañía y motivación. Gracias por alentarme, por estar conmigo y escucharme.

A mi mejor amigo y compañero Sebastian Guerrero por los buenos y malos momentos vividos, por apoyarme a alcanzar mis metas, por tu amor y comprensión.

A toda mi familia, en especial a Lala, Miri, Mary quienes estuvieron animándome y apoyándome cuando lo necesité, muchas gracias las quiero mucho. A mis tíos María Helena y Marcos por apoyarme y estar al pendiente, los quiero.

A mis abuelitos, por su apoyo, por su ejemplo y sabiduría, son parte de mí y los llevaré siempre conmigo.

A mis papás, por darme todo su amor, esfuerzo y apoyo incondicional, por estar siempre conmigo, por hacerme la persona que soy. GRACIAS, los amo.

A mis hermanos, por su apoyo, por las enseñanzas, por los momentos juntos. Son mi motor para salir adelante, los amo muchísimo.



## Índice de contenido

<b>Resumen</b> .....	<b>10</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>11</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>12</b>
1.1 Talud continental .....	12
1.2 Planicie abisal .....	12
1.3 Ecosistemas sustentados en quimiosíntesis (ventilas hidrotermales e infiltraciones frías) .....	13
1.3 El bentos: generalidades de la macrofauna .....	19
1.4 El estudio ecológico de las comunidades .....	21
<b>2. Antecedentes</b> .....	<b>22</b>
2.1 Exploración .....	22
2.1.1 Ventilas hidrotermales e infiltraciones frías. ....	22
2.2 Estudios de macrofauna béntica de ventilas hidrotermales e infiltraciones frías .....	24
<b>3. Justificación</b> .....	<b>25</b>
<b>4. Hipótesis</b> .....	<b>25</b>
4.1 Hipótesis biológica .....	25
4.2 Hipótesis estadística .....	26
<b>5. Objetivos</b> .....	<b>26</b>
5.1 Objetivo general .....	26
5.2 Objetivos particulares .....	26
<b>6. Área de estudio</b> .....	<b>27</b>
6.1 El golfo de California .....	27
6.1.1 Cuenca Alfonso .....	28
6.1.2 Cuenca Pescadero .....	28
<b>7. Metodología</b> .....	<b>29</b>
7.1 Trabajo de campo.....	29
7.1.1 Obtención de muestras .....	29
7.1.2 Registro fotográfico y de video .....	31
7.1.3 Procesado de las muestras .....	32
7.2 Trabajo de laboratorio.....	32
7.2.1 Registro y procesado de muestras .....	32
7.2.2 Descripción de hábitats.....	33
7.2.3 Composición taxonómica.....	34
7.2.4 Riqueza taxonómica .....	34
7.2.5 Abundancia y densidad.....	35
7.2.6 Biomasa.....	35
7.3 Trabajo de gabinete .....	36



---

7.3.1 Análisis de resultados .....	36
<b>8. Resultados.....</b>	<b>36</b>
8.1 Descripción del hábitat muestreado en cada ecosistema .....	36
8.1.1 Talud continental superior sin actividad quimiosintética.....	37
8.1.2 Planicie abisal afectada por actividad quimiosintética de la infiltración fría.....	38
8.1.3 Planicie abisal afectada por actividad quimiosintética de ventilas hidrotermales .....	39
8.1.5 Parámetros fisicoquímicos .....	42
8.2 Composición y riqueza taxonómica.....	43
8.3 Abundancia/densidad y biomasa .....	51
8.3.1 Abundancia .....	51
8.3.2 Densidad .....	57
8.3.3 Biomasa.....	60
<b>9. Discusión.....</b>	<b>66</b>
9.1 Hábitats en los ecosistemas.....	66
9.2 Comunidad macrofaunal .....	68
9.2.1 Composición y riqueza taxonómica .....	68
9.2.2 Abundancia y densidad.....	70
9.2.3 Biomasa.....	73
<b>10. Conclusiones.....</b>	<b>75</b>
<b>11. Referencias .....</b>	<b>78</b>
<b>12. Anexos .....</b>	<b>86</b>



## Índice de figuras

Figura 1. Distribución global de infiltraciones frías. Levin (2005). .....	15
Figura 2. Distribución global de ventilas hidrotermales. InterRidge (2010). .....	16
Figura 3 Dinámica de ventilas hidrotermales (Karson A. et al., 2015). .....	17
Figura 4 Comparación de estructuras hidrotermales carbonatadas. Material audiovisual proporcionado por MBARI, 2015. ....	19
Figura 5. Perfil al interior del sedimento (Bilyard, 1987). .....	20
Figura 6 Área de estudio de la presente investigación. ....	29
Figura 7 Mapa batimétrico del sur del Golfo de California (Goffredi et al., 2017) .....	31
Figura 8 Descripción del hábitat, inmersión I-749. ....	38
Figura 9. Descripción del hábitat, inmersión I-756. ....	39
Figura 10 Descripción del hábitat, inmersión I-750. ....	40
Figura 11 Descripción del hábitat, inmersión I-757. ....	41
Figura 12 Descripción del hábitat, inmersión I-751 .....	42
Figura 13. Abundancia relativa en porcentaje por taxones .....	52
Figura 14 Gráficas de caja y bigotes de la abundancia de organismos por hábitat y nivel de sedimento. ....	54
Figura 15 Valores en percentiles de la densidad por taxones y hábitat. ....	58
Figura 16 Contribución porcentual a la biomasa por los componentes taxonómicos del phylum Mollusca .....	62
Figura 17 Contribución porcentual a la biomasa por los componentes taxonómicos del subphylum Crustacea .....	62
Figura 18 Contribución porcentual a la biomasa por taxones .....	63
Figura 19 Relación del aporte de la biomasa por hábitat. ....	64
Figura 20 Representación en percentiles de los valores de biomasa en mg C m <sup>-2</sup> de cada nivel de sedimento por hábitat muestreado. ....	65





## Índice de tablas

Tabla 1. Información resumida sobre el aporte científico en la exploración del golfo de California en los ecosistemas de ventilas hidrotermales e infiltraciones frías. ....	23
Tabla 2. Muestras de sedimento obtenidas en la campaña “Gulf of California Expedition, 2015 LEG 6: Vents and Seeps” .....	30
Tabla 3. Núcleos, réplicas y niveles por localidad de recolecta.....	32
Tabla 4 Valores de los factores ambientales por sitio. ....	42
Tabla 5 Arreglo sistemático de los taxones.....	44
Tabla 6 Organismos presentes por hábitat .....	46
Tabla 7 Matriz de presencia y ausencia de los taxones en el primer nivel de sedimento.....	49
Tabla 8 Matriz de presencia y ausencia de los taxones en el segundo nivel de sedimento. ....	50
Tabla 9 Matriz de presencia y ausencia de los taxones en el tercer nivel de sedimento.....	51
Tabla 10 Matriz de abundancia por hábitat, réplica y nivel del sedimento.....	55
Tabla 11 Promedios y desviaciones estándar de abundancia.....	56
Tabla 12 Promedios y desviaciones estándar de la densidad.....	57
Tabla 13. Matriz de la densidad (ind.m <sup>-2</sup> ) por sitio-hábitat, réplica y nivel del sedimento.....	59
Tabla 14. Valores de biomasa mgC m <sup>-2</sup> (Promedio y desviación estándar). ....	61
Tabla 15. Comparación de las densidades por profundidad, ecosistema y hábitat .....	71
Tabla 16. Comparación de los valores promedios de biomasa (mgC m <sup>-2</sup> ). ....	74
Tabla A17. Registro de especies identificadas como componentes de las comunidades de macrofauna. ....	86
Tabla A18. Abundancias por taxón, inmersión y nivel, de los fondos blandos de ventilas hidrotermales .....	99
Tabla A19. Abundancias por taxón, inmersión y nivel, de los fondos blandos de la infiltración fría.....	100
Tabla A20. Abundancias por taxón, inmersión y nivel, de los fondos blandos del talud continental. ....	101
Tabla A21. Resultados de ANOVA para densidad.....	102
Tabla A22. Resultados de Tukey HSD para densidad. ....	102



---

Tabla A23. Resultados de ANOVA para la biomasa entre los diferentes hábitats para el primer nivel de sedimento.....	103
---	-----

Tabla A24. Resultados de ANOVA para la biomasa entre los diferentes hábitats para el segundo nivel de sedimento.....	103
--	-----

## Índice de Anexos

Anexo 1. Tabla de antecedentes en la macrofauna identificada .....	86
Anexo 2. Listado taxonómico ilustrado .....	90
Anexo 3. Tablas de abundancias por .....	99
Anexo 4. Resultados de análisis estadísticos .....	102

## Índice de Láminas

Lámina 1. Phylum Porifera.. .....	90
Lámina 2. Phylum Cnidaria.....	91
Lámina 3 Phylum Platyhelminthes.....	92
Lámina 4. Clase Kinorhyncha.....	92
Lámina 5. Phylum Nematoda.....	93
Lámina 6. Phylum Sipuncula.. .....	93
Lámina 7. Clase Polychaeta y subclase Oligochaeta.....	94
Lámina 8. Subphylum Crustacea.....	95
Lámina 9. Subphylum Crustacea superorden Peracarida.....	95
Lámina 10.Subclase Acari .....	96
Lámina 11. Phylum Mollusca.....	96
Lámina 12. Phylum Echinodermata .....	97
Lámina 13. Phylum Chaetognatha.....	97
Lámina 14. Phylum Foraminifera .....	98



## Resumen

El golfo de California es un mar marginal que presenta una diversidad elevada de ecosistemas. Algunos de ellos se sostienen con base en quimiosíntesis. Este proceso tiene influencia limitada sobre la zona abisal colindante, donde la macrofauna béntica presenta una elevada riqueza taxonómica y densidad. Las fronteras entre estos ecosistemas son importantes para el ciclo de nutrientes, aumentando la complejidad del fondo marino.

El presente trabajo describe los hábitats bénticos, a partir de videos e imágenes, y analiza la estructura comunitaria de la macrofauna de fondos blandos en las inmediaciones de ventilas hidrotermales y en una zona de fractura con infiltración fría en la cuenca Pescadero y en una zona batial del talud continental, en la cuenca Alfonso. Para esto último se registraron: taxones, densidad y biomasa en una distribución vertical de tres niveles del sedimento superficial: 0-1 cm, 1.1-5 cm y 5.1-10 cm. Dichos ecosistemas se compararon entre sí a una escala de hábitat y a microescala por niveles del sedimento superficial.

Las muestras de sedimento, los vídeos y las imágenes analizadas, se obtuvieron durante la campaña oceanográfica “Gulf of California expedition 2015 LEG 6 Vents and Seeps” en abril del 2015. Se reconocieron cinco hábitats, en las cinco inmersiones realizadas (I-749, I-750, I-751, I-756 e I-757): 1) sustrato blando con tapete bacteriano (I-749); 2) sustrato blando con tapete bacteriano y agregación de actinarios y vesicómidos (I-750); 3) sustrato blando con agregación de actinarios y holoturoideos (I-751); 4) sustrato blando inmediato a *Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami* (I-756); y 5) sustrato blando con agregación de holoturoideos (I-757); uno de ellos en la cuenca Alfonso (I-749) y el resto en la cuenca Pescadero (I-750, I-751, I-756 e I-757). De estos hábitats se extrajeron núcleos de sedimento superficial para el análisis de la macrofauna. En total se separaron del sedimento 4,583 organismos clasificados en 23 taxones. Tres taxones contribuyeron con el 91% de la densidad: Nematoda (80% del total de organismos), Polychaeta (6%) y Copepoda (5%). La riqueza taxonómica mostró ser mayor en los hábitats abisales aledaños a los sistemas quimiosintéticos. La mayor densidad de organismos se registró en I-749 (324, 324 ind. m<sup>-2</sup>) y la menor en I-751 (7,969 ind. m<sup>-2</sup>). El análisis de varianza de una vía (ANOVA) mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los niveles de sedimento, mientras que Tukey HSD reconoció que el sustrato blando con tapete bacteriano (I-749) contrasta ( $p < 0.05$ ) con el resto de los hábitats. Los hábitats aledaños a la infiltración fría y ventilas hidrotermales son similares en estructura comunitaria. La densidad promedio varió de  $87 \pm 150$  hasta  $211,929 \pm 87,286$  inds. /m<sup>2</sup>. Se reconocieron diferencias significativas entre hábitats para el primer nivel de sedimento ( $p < 0.05$ ). Los taxones Polychaeta (99% del total de la biomasa) y Mollusca (0.8%) contribuyeron con la mayor parte de la biomasa registrada, mientras que el ecosistema con mayor contribución es la planicie abisal inmediata a las ventilas hidrotermales ( $p < 0.05$ ) con un promedio de biomasa de  $201,568.5 \pm 171,589$  mgC m<sup>-2</sup>. La riqueza taxonómica y densidad disminuyeron al interior del sedimento, no así, la biomasa. Con base en estos resultados se sugiere que los fondos blandos inmediatos a las zonas quimiosintéticas reciben la influencia de la productividad elevada vecina.



## Abstract

The gulf of California is a marginal sea with a high diversity of ecosystems. Some of them are supported on chemosynthesis. This process has limited influence over the surrounding abyssal areas, where the benthic macrofauna has a high taxonomic diversity and density. The boundaries between these ecosystems are important for the nutrient cycle, increasing the complexity of the seabed.

This investigation describes the benthic habitats, based on videos and images, and analyses the community structure of the soft-bottomed macrofauna in the vicinity of hydrothermal vents and in the transform with a cold seep in the Pescadero basin, and in the bathyal area of the continental slope, in the Alfonso basin. For the latter, the taxa, abundance, density and biomass were recorded in a vertical distribution in three superficial layers of the sediment: 0-1 cm, 1.1-5 cm and 5.1-10 cm. These ecosystems were compared to each other at a habitat scale and microscale by superficial sediment levels.

Sediment samples, videos and images analysed were obtained during the oceanographic campaign "Gulf of California expedition 2015 LEG 6 Vents and Seeps" in April 2015. Five habitats were recognized, in the five dives made (I-749, I-750, I-751, I-756 and I757): 1) soft substrate with bacterial mat (I-749); 2) soft substrate with bacterial mat and actinarians and vesicomids aggregation (I-750); 3) soft substrate with an aggregation of actinarians and holoturoids (I-751); 4) soft substrate near *Escarpia spicata* and *Lamellibrachia barhami* (I-756); and 5) soft substrate with an aggregation of holoturoids (I-757); one of them in the Alfonso basin (I-749) and the rest in the Pescadero basin (I-750, I-751, I-756 and I-757). Sediment cores were extracted from these habitats for macrofauna analysis. In total, 4583 organisms were separated from the sediment, classified into 23 large taxonomic groups. Three taxa contributed 91% of density: Nematoda (80% of total organisms), Polychaeta (6%) and Copepoda (5%). Taxonomic wealth proved to be higher in abyssal habitats surrounding chemosynthetic systems. The highest density of organisms was recorded in I-749 (324, 324 ind. m<sup>-2</sup>) and the lowest in I-751 (7,969 ind. m<sup>-2</sup>). The one-way analysis of variance (ANOVA) showed significant differences ( $p < 0.05$ ) between sediment strata, while Tukey HSD recognized that the bacterial mat (I-749) contrast ( $p < 0.05$ ) with the rest of habitats, while the habitat with cold seep does not show differences with those plains adjacent to hydrothermal vents. The density recorded in the five habitats sampled had an average range of  $87 \pm 150$  to  $211,929 \pm 87,286$  inds. / m<sup>2</sup>. The ANOVA showed significant differences between habitats, in the first sediment level ( $p < 0.05$ ). Polychaeta (99% of total biomass) and Mollusca (0.8%) contributed most of the recorded biomass, while the ecosystem with the greatest contribution is the immediate abyssal plain to hydrothermal vents ( $p < 0.05$ ) with an average of biomass of  $201,568.5 \pm 171,589$  mgC m<sup>-2</sup>. The ANOVA showed that there is no significant difference between sediment strata ( $p > 0.05$ ). Taxonomic wealth and density decrease inside the sediment, not so biomass. Based on these results it is suggested that the studied habitats near the chemosynthetic ecosystems are influenced by adjacent high productivity.



## 1. Introducción

El mar profundo es el bioma más grande del planeta Tierra y se define como la porción del océano que se localiza a profundidades mayores a los 200 m (Van Dover & Trask, 2000). Sus hábitats se caracterizan por una productividad biológica baja, energía física relativamente baja, tasas biológicas reducidas, baja temperatura y un aporte de nutrientes escaso (Lara-Lara, 2008; Van Dover, 2000)

En México el mar profundo presenta ecosistemas sedimentarios diversos en taludes continentales, planicies abisales y zonas hadales como son: dorsales y zonas de subducción y expansión, ventilas hidrotermales, infiltraciones frías, montes y cañones submarinos, todos ellos con características y particularidades únicas (Lara-Lara, 2008).

### 1.1 Talud continental

El talud continental es una unidad geomorfológica que va desde la plataforma continental hasta la planicie abisal, que se caracteriza por presentar sustrato de origen continental, el cual se acumula a través de millones de años (American Museum of Natural History, 2014). Los sedimentos que predominan en el área son limos los cuales sustentan hábitats bénticos con una elevada diversidad de organismos (Flach & Heip, 1996). En dichos hábitats se generan servicios ecosistémicos tales como el flujo y almacén de carbono en los sedimentos y en la fauna local. En el golfo de California, parte centro y sur, estos hábitats se encuentran dentro de una zona de mínimo oxígeno ( $<0.5 \text{ ml L}^{-1}$ ) que va desde los 25- 1,500 m de profundidad e influye en la estructura comunitaria de la fauna y genera que se sostengan ensambles de bacterias por las condiciones reductoras (Cossio *et al.*, 2012).

### 1.2 Planicie abisal

La planicie abisal es la zona geomorfológica extensa cubierta por sedimento de origen hemipelágico que se deposita en el fondo oceánico. Es el ecosistema de mar profundo con la mayor extensión, ocupa hasta el 84.7% del fondo marino, siendo considerado el ecosistema típico del fondo oceánico (Harris *et al.*, 2014). El golfo de California presenta grandes áreas cubiertas por planicies abisales, en las cuales se ha encontrado que la diversidad de la meiofauna y macrofauna es elevada y su distribución es afectada principalmente por la concentración de oxígeno disuelto y ecosistemas quimiosintéticos aledaños (Mejía Mercado *et al.*, 2014).



### 1.3 Ecosistemas sustentados en quimiosíntesis (ventilas hidrotermales e infiltraciones frías)

Las ventilas hidrotermales se caracterizan por poseer temperaturas elevadas, en contraste con las infiltraciones frías cuya temperatura es similar a la del agua circundante, son ecosistemas altamente explorados, a pesar de su reciente descubrimiento en el año de 1977 y en la década de los 1980's respectivamente (Levin *et al.*, 2012).

Aunque los contextos geológicos por los cuales se originan las infiltraciones frías y las ventilas hidrotermales son distintos, comparten grandes similitudes entre sí y por ello se piensa que están evolutivamente relacionados (Kiel, 2016). Ambos ecosistemas tienen emanaciones de fluidos ricos en compuestos como metano ( $\text{CH}_4$ ) (infiltraciones frías) y sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) (ventilas hidrotermales), los cuales se encuentran en concentraciones elevadas. Las fluctuaciones en los gradientes fisicoquímicos ocurren en una escala espacio-temporal reducida en comparación con las planicies abisales. La distribución de los organismos es heterogénea, generalmente en forma de parches que siguen una sucesión ecológica típica de estos ecosistemas (Levin *et al.*, 2012; Portail *et al.*, 2015; Qiu, 2010), donde la limitante alimenticia se resuelve mediante la producción primaria de las bacterias quimioautolitotróficas, que cumplen la función de fijar el carbono inorgánico a partir de compuestos reducidos y convertirlo en carbohidratos simples (Portail *et al.*, 2016; Van Dover & Fry, 1994).

A nivel global las comunidades de dichos ecosistemas tienen una densidad de organismos elevada, una diversidad taxonómica baja y un nivel alto de endemismos en comparación con otros ecosistemas de mar profundo que carecen de actividad quimiosintética (Portail *et al.*, 2015)

Algunos trabajos mostraron que el porcentaje de fauna presente que comparte un ecosistema con otro es elevado (~85%) a nivel de familia o género, sin embargo a nivel especie éste descende dramáticamente alcanzando no más del 10% de similitud (Goffredi *et al.*, 2017; Kiel, 2016; Portail *et al.*, 2016, 2015).

Así, las ventilas hidrotermales e infiltraciones frías se reconocen como ecosistemas quimiosintéticos con características tan particulares que han revolucionado el conocimiento que se tenía sobre el fondo



oceánico, cambiando paradigmas acerca de las características de los hábitats de mar profundo, consecuente a esto cada vez se dedica mayor esfuerzo para su estudio (Lara-Lara, 2008; Von Damm, 1990).

*Infiltraciones frías.* - Las infiltraciones frías a diferencia de las ventilas hidrotermales no necesariamente se encuentran asociadas a márgenes activos, se localizan en áreas de fractura en donde es posible el escape de gases del subsuelo hacia la columna de agua y se encuentran distribuidas de manera aislada en forma de parches (NOAA, 2013; fig.1). A pesar de las similitudes que comparten con las ventilas hidrotermales el origen geológico es distinto, por ello se encuentran en sitios alejados unos de otros, sin embargo en el golfo de California estos ecosistemas ocurren cercanos, por la geología del lugar y la elevada productividad en superficie (Portail *et al.*, 2015).

Estos ecosistemas ocurren en el talud continental y planicie abisal superior, donde la tasa de sedimentación de material orgánico pueda ser elevada. A través del tiempo la materia orgánica se acumula y queda cubierta por sedimento que se va depositando y a lo largo del tiempo llega a transformarse en hidrocarburos, por efecto de la presión. La salida de gases provenientes del proceso de descomposición del material orgánico, sepultado hace millones de años, se lleva a través de fracturas, resultado de los movimientos geológicos o diferencias de densidad, provocando el reacomodo de los sedimentos (Levin, 2005).

Los sedimentos contiguos a la infiltración fría tienen concentraciones elevadas de metano y sulfuros, los carbonatos que llegan a precipitar en el área son de origen biogénico, producto de bacterias anaerobias que se encargan de oxidar el metano presente (Levin *et al.*, 2012)

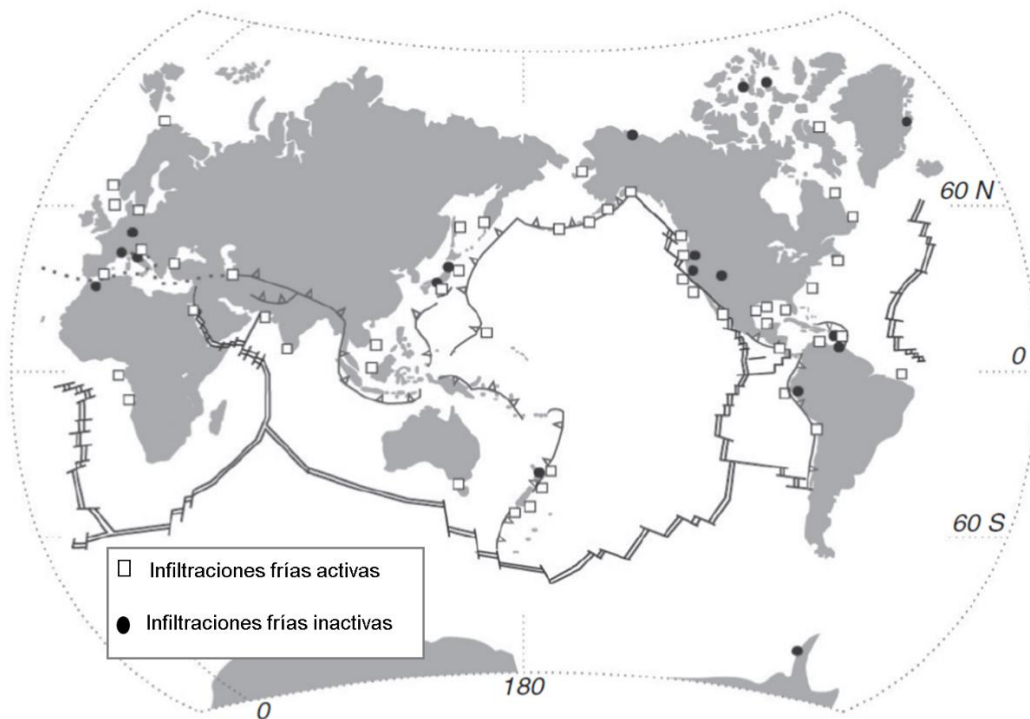


Figura 1. Estado del conocimiento en la distribución global de infiltraciones frías. Modificado de Levin (2005).

Ventilas hidrotermales. – Se forman en márgenes de placas activas donde el fenómeno tectónico se expresa en dorsales oceánicas, zonas de fractura y centros de dispersión trasarco (fig. 2). En estas zonas el magma de la Tierra emerge a una distancia relativamente cercana a la superficie, lo suficiente para encontrarse con el agua oceánica que se permea por las grietas de basalto o sedimento formadas por choque térmico o movimientos terrestres (American Museum of Natural History, 2014; Von Damm, 1990). Conforme el agua recorre estas grietas, adentrándose en la corteza, cerca de cámaras magmáticas, localitos, o regiones expuestas, alcanza una temperatura mayor a la de ebullición; incluso hasta tres o cuatro veces más elevada, es decir a 350-400°C; sin embargo, la ebullición no excede las 294 atmósferas y 407°C, punto conocido como “punto crítico del agua de mar”, donde se forman gotas de salmuera y el líquido pasa a una fase de condensación (Karson A. *et al.*, 2015; Von Damm, 1990).

El agua transportada al interior de la corteza terrestre es capaz de disolver los minerales de la roca a su paso, transportando con ella metales como: hierro, cobre y zinc (fig. 3) conformando así el fluido





hidrotermal, que en contacto con el agua marina precipitan por diferencia en temperatura, se consolida y forma las estructuras llamadas chimeneas (American Museum of Natural History, 2014; Van Dover, 2000)

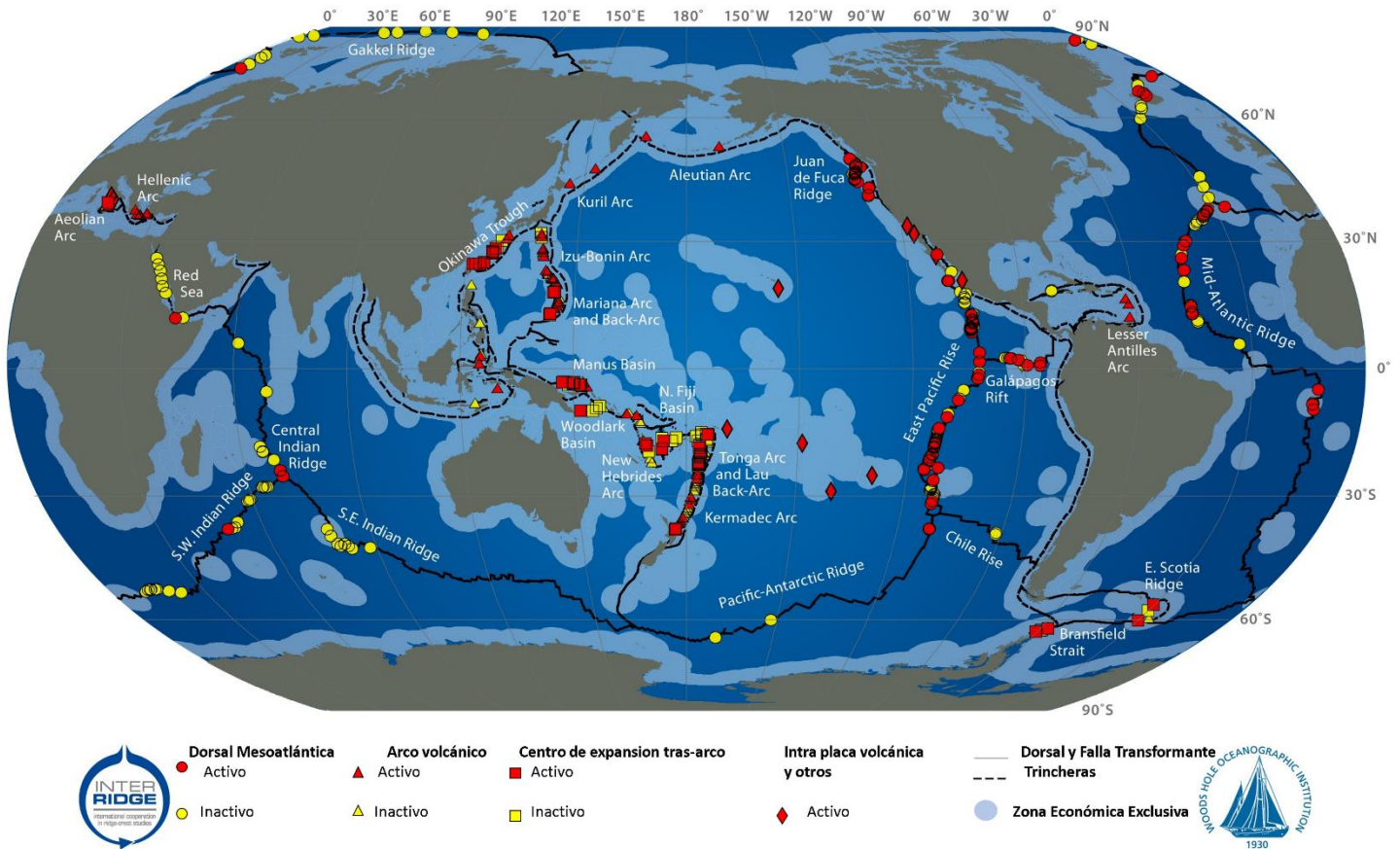


Figura 2. Estado actual del conocimiento en la distribución global de ventilas hidrotermales. Modificado de Inter Ridge (2010).

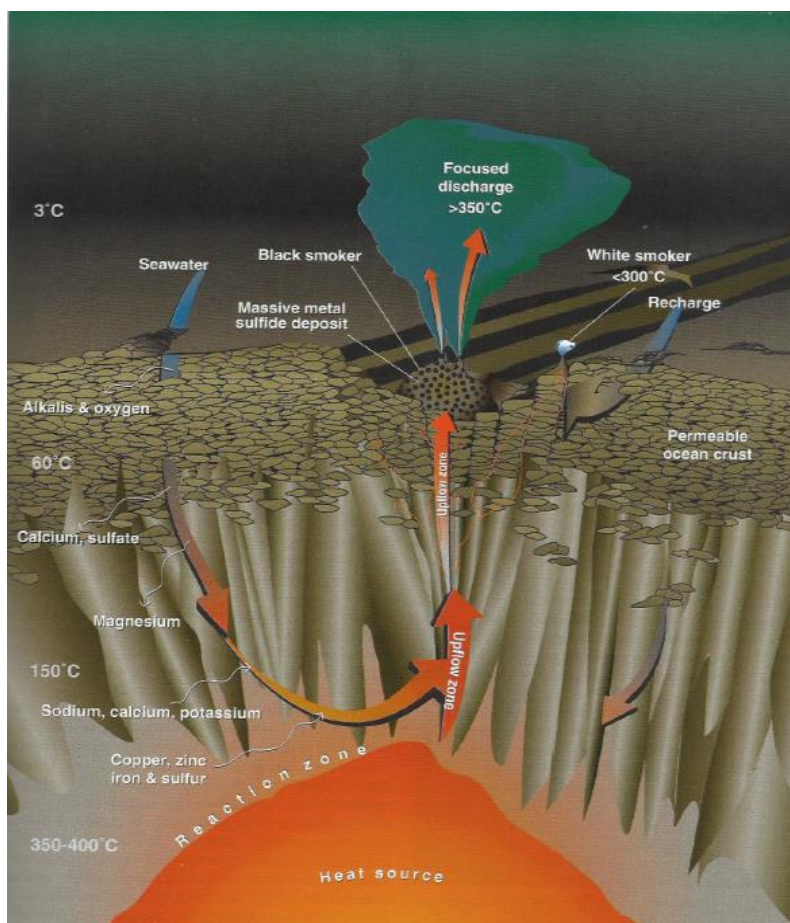


Figura 3. Proceso que sigue el agua marina al percolarse por las fisuras del piso oceánico y calentarse en la cámara magmática. El ejemplo muestra la formación de vapor a ~400°C y el depósito de minerales que conforman las chimeneas. Imagen tomada de (Karson A. *et al.*, 2015)

En mar profundo se han reconocido tres tipos de ventilas hidrotermales (Karson *et al.*, 2015; Ohara *et al.*, 2012), sus diferencias se basan en temperatura, composición química del fluido y reacciones entre agua y roca. Estas varían por la geología entre cuencas ( Karson *et al.*, 2015; Von Damm, 2002; Fouquet *et al.*, 1988; ).

El tipo I de ventila hidrotermal se caracteriza por temperaturas elevadas (hasta 400°C) en el sitio de emanación del fluido. La composición química del fluido está determinada por la interacción que existe entre el agua marina caliente y las rocas basálticas, la cual genera concentraciones elevadas de sulfuros, metales (Mg, Li, Sr) y metales de transición (Fe, Mn y Zn), pH ácido (2-3) y fumarolas negras (Karson *et al.*, 2015; Ohara *et al.*, 2012; Van Dover, 2000). También presentan dióxido de carbono



(CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y dihidrógeno (H<sub>2</sub>) y elevadas concentraciones de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S; Karson *et al.*, 2015; Martin *et al.*, 2008)

Este tipo de ventila es característica de la dorsal del Pacífico Este y la del medio-Atlántico. En México, ocurren en el golfo de California, principalmente en la cuenca de Guaymas (Von Damm, 1990; Van Dover, 2000).

El tipo II se caracterizan por el origen de las reacciones del agua con rocas ultramáficas y gabro; presentan fluidos de ~360°C, concentraciones elevadas en metales y son de fumarolas típicamente negras (Ohara *et al.*, 2012). Difieren del tipo I por fluidos con elevadas concentraciones de gases y vapores de origen magmático, altas concentraciones en CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, además de hidrocarburos de bajo peso molecular. Estas se presentan en discontinuidades o fallas donde el material rocoso del manto de la Tierra queda expuesto (Karson A. *et al.*, 2015).

El tipo III (fig. 4) se genera de ~ 40 a 90°C, en contraste con los primeros dos tipos, carece de CO<sub>2</sub> y tiene escasa concentración en metales. En ellas, parte del calor emitido es causado por serpentización, una reacción exotérmica que produce serpentinita de origen termal por la que se cubre la ventila hidrotermal. Estas ventilas son carbonatadas, presentan un ph alcalino entre 9 y 11, sus estructuras son de color blanco y el fluido es transparente o blanco. (Karson *et al.*, 2015; Ohara *et al.*, 2012; Kelley, 2005).

Su ocurrencia es a 15 km al oeste de la dorsal media del Atlántico en “Lost City” y potencialmente, en otro sitio al sur del golfo de California, en la cuenca de Pescadero, cercano a la dorsal del Pacífico este, en la localidad de Auka (Goffredi *et al.*, 2017; Kelley, 2005). A pesar de las similitudes entre estos dos sitios, la fauna asociada presenta diferencias (Goffredi *et al.*, 2017; Kelley, 2005; Paduan *et al.*, 2018) al igual que el origen de los carbonatos, de acuerdo a estudios isotópicos realizados en cuencas aledañas. (Canet *et al.*, 2013; Paull *et al.*, 2007).

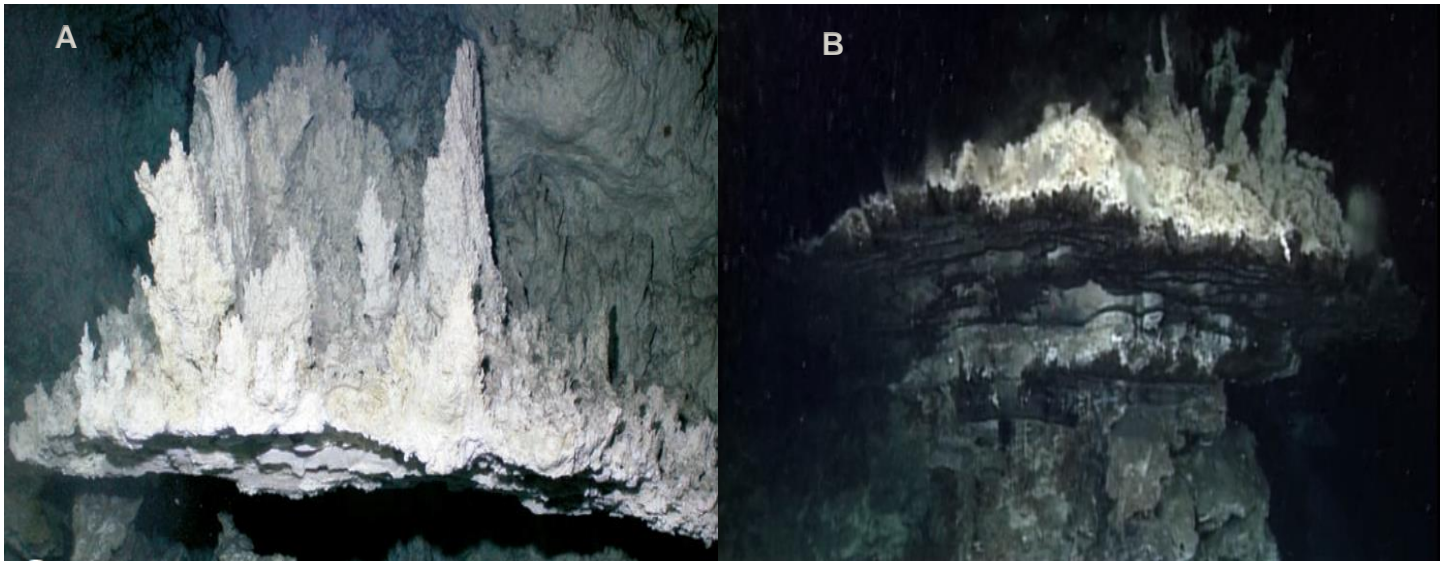


Figura 4. Comparación de estructuras hidrotermales carbonatadas. a) estalagmitas de flanco de “Lost City” en el Atlántico, aprox. 1 m de ancho. b) pagoda u hongo bautizado el “castillo de sirenas” en la cuenca Pescadero, con estalagmitas, y clara emanación hidrotermal con espejo en la parte inferior (indicadas con flechas); aprox. 3 m de ancho (Fig.4A. Tomada de: Kelley, 2005; Fig. 4B. Tomada de material audiovisual proporcionado por MBARI, 2015).

### 1.3 El bentos: generalidades de la macrofauna

Bentos es un término utilizado para referirnos a los organismos que viven asociados a los sedimentos de los ecosistemas acuáticos, comprende una amplia diversidad taxonómica que realiza diversas funciones en el ecosistema. En función de su talla la densidad puede alcanzar hasta miles de organismos por metro cuadrado (Kröncke & Bergfeld, 2003).



El bentos para su estudio se clasifica por su posición en el sedimento en epifauna e infauna; esta segunda comprende a los organismos que viven en los intersticios del sedimento (Kröncke & Bergfeld, 2003; Giere, 1993; fig. 5).

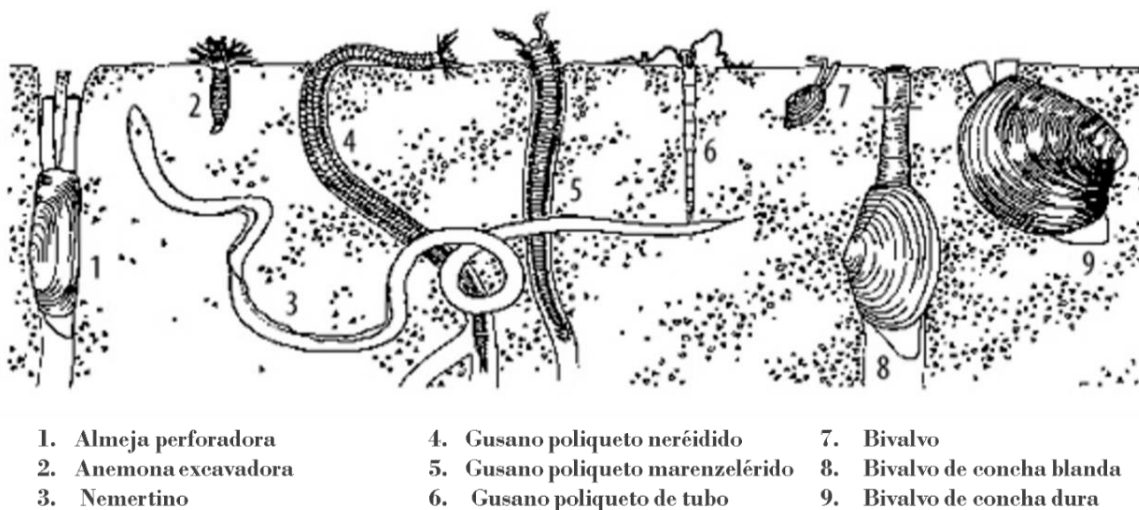


Figura 5. Perfil al interior del sedimento que muestra las diferentes formas de vida pertenecientes a la infauna. Tomado de Bilyard, 1987.

Algunos autores (Nicholls, 1935) definen los intersticios como los espacios que existen entre los granos de sedimento. La infauna o fauna intersticial se clasifica por talla (Warwick, 1984), en meiofauna y macrofauna, está última también llamada macrobentos, incluye al grupo de metazoarios desde 0.250 mm como límite inferior y hasta 1.00 mm como límite superior, de acuerdo con la clasificación propuesta por Khripounoff *et al.* (1980) y Rowe (1983). La infauna habita sedimentos blandos, en el caso de las infiltraciones frías y ventilas hidrotermales éstos rodean las estructuras minerales (Van Dover, 2000).

Muchas de las especies que componen la macrofauna producen bioturbación y bioirrigación por diferentes procesos que realizan los propios organismos, tales como el movimiento, la alimentación, la excavación y la creación de túneles, agujeros, cuevas y galerías de una heterogeneidad y complejidad muy amplia; estos procesos son llevados a cabo en los primeros 10 o 20 cm del sedimento donde favorecen la oxigenación y promueven la degradación de la materia orgánica, por medio de la proliferación de bacterias; favoreciendo a su vez, el reciclado de los nutrientes y la remineralización (Lázaro, 2011). Además, la macrofauna juega un papel muy importante en redes tróficas contribuyendo



---

a casi la totalidad de la producción secundaria de los fondos marinos (Kröncke & Bergfeld, 2003; Rowe, G.T. & Kennicutt, 2009)

Los taxones más representativos de la macrofauna son: Polychaeta, Crustacea, Bivalvia y Gastropoda, el subphylum Crustacea es el grupo dominante que presenta la mayor riqueza taxonómica y abundancia después del phylum Nematoda (Giere, 2009). A pesar de que se cuenta con una estimación de la biodiversidad existente en ventilas hidrotermales e infiltraciones frías (Lara Lara *et al.*, 2008; Portail *et al.*, 2016) esta estimación exime a la diversidad de la infauna a pesar de tener una gran importancia sobre los ecosistemas.

#### **1.4 El estudio ecológico de las comunidades**

El funcionamiento de los ecosistemas, requiere de conocer la riqueza de taxones, su abundancia y cómo estas se relacionan en tiempo y espacio de la misma forma que en los sistemas terrestres o en aguas costeras, sin embargo, existe un retraso en describir el funcionamiento en ecosistemas profundos por las limitantes en tecnología y personal altamente calificado (Snelgrove *et al.*, 2014).

Mediante el estudio de la ecología de comunidades se pretende develar la variabilidad en la composición y abundancia de los organismos, las interacciones entre ellos y los flujos y transformaciones de la materia y de la energía (Granado, 2000)

Las comunidades son un ensamble de organismos que coexisten en un espacio y tiempo particulares cuyas necesidades fisiológicas y requerimientos de hábitat son semejantes y pueden o no estar relacionados taxonómicamente o pertenecer a la misma trama trófica (Underwood, 1986).

Partiendo desde este punto de vista, en ambientes quimiosintéticos, como lo son las ventilas hidrotermales e infiltraciones frías, la estructura de la comunidad macrobéntica se ve afectada por los fluidos emergentes, teniendo como consecuencia cambios en la composición, la riqueza, abundancia y biomasa (Snelgrove *et al.*, 2014; Sahling *et al.*, 2002).



---

## 2. Antecedentes

### 2.1 Exploración

#### 2.1.1 Ventilales hidrotermales e infiltraciones frías.

En el año de 1977, durante la campaña de expedición denominada *Pléyades*, realizada por el Instituto de Oceanografía SCRIPPS, en el centro de expansión de las islas Galápagos en el océano Pacífico, se descubren por primera vez ecosistemas de profundidad con temperaturas elevadas sustentadas por quimiosíntesis, nombradas ventilales hidrotermales (Aguayo & Trápaga, 1996).

Dos años más tarde en 1979 se descubrieron las infiltraciones frías en la zona circundante a la falla de San Clemente en el límite de California a 1,800 m de profundidad y posteriormente en 1983 en el escarpe de Florida se identifica otro ecosistema similar (Kallmeyer, 2017).

En México, la primer ventila de profundidad descubierta se halló en la dorsal Rivera a 2,500 m, frente a la costa de Nayarit (Pantoja & Gómez, 2004). Seguido de este descubrimiento, con el objetivo de buscar recursos geotérmicos en el país se comienza la exploración en el golfo de California, en cuenca de Guaymas, parte de la dorsal oceánica del Pacífico oriental, la cual se prolonga 8,000 km hasta la dorsal de la Antártida. En esta cordillera se han descubierto desde entonces por lo menos siete sitios con actividad hidrotermal en profundidades promedio de 2,500 m (Soto & Estradas, 2013). Las principales exploraciones de los últimos años realizadas en el golfo de California en ecosistemas quimiosintéticos o sitios aledaños se muestran en Tabla 1.



Tabla 1. Información resumida sobre el aporte científico en la exploración del golfo de California en fondos blandos cercanos a ventilas hidrotermales e infiltraciones frías.

1998-2009	Proyecto "TALUD", uno de los más grandes esfuerzos mexicanos que abarca diversas áreas de estudio y registra una importante cantidad de nuevas especies bénticas (Hendrickx, 2012).
2007	Exploraciones geológicas y biológicas realizada con apoyo de los sumergibles "Alvin" y "MIR y MIR 1" que contribuyen nuevas especies de especies (Mejia-Mercado <i>et al.</i> , 2014)
2008	Recolecta de muestras geológicas con el ROV Jason en campaña a bordo del B/O Atlantis contribuyó con documentar la estructura y fauna de los ecosistemas bénticos diversos (Mejia- Mercado <i>et al.</i> , 2014)
2010	Campaña "Biodiversity and Interactions in the Guaymas Basin" (BIG) a bordo del buque oceanográfico R/V <i>L'Atlante</i> y el sumergible <i>Nautile del IFREMER</i> que contribuyó con mapas de pequeña escala y descripción de la comunidad macrobéntica (Portail <i>et al.</i> , 2015; Michel <i>et al.</i> , 2018).
2012	Campaña "2012 Gulf of California Expedition" de MBARI, que incluye las cuencas de Guaymas, Pescadero y Alarcón, que contribuye sobre la química del agua y la biodiversidad pelágica y béntica (Álvarez & Hernández, 2013). En la etapa "Volcanes y montes submarinos" es cuando se descubren ventilas hidrotermales en cuencas Pescadero y Alarcón (Paduan, <i>et al.</i> , 2012; MBARI, 2012-2017).
2015	Campaña de MBARI con estudios en cuencas Alfonso y Pescadero obteniéndose muestras del bentos (Goffredi <i>et al.</i> , 2017) y mapas batimétricos (Paduan <i>et al.</i> , 2009).





## 2.2 Estudios de macrofauna béntica de ventilas hidrotermales e infiltraciones frías

Éstos datan en el Pacífico oriental desde 1989 y han continuado hasta la fecha en colaboraciones con UNAM y diversos países.

Sahling *et al.* (2002) describen la macrofauna en infiltraciones frías, del margen convergente Cascadia del Pacífico NE; asociada a tres ensamblajes de bivalvos (*Calyplogena*: *C. pacifica* y *C. killmeri*, *Acharax* sp. y *Beggiatoa*) (ver Anexo I; Tabla 1).

Las muestras de macrofauna colectadas en Lost City (ubicada en la dorsal Mesoatlántica) registró anfípodos, gasterópodos, poliquetos, nemátodos, eufásidos, foraminíferos, ostrácodos, estomatópodos y demosponjas en fondos blandos cercanos al sitio activo (Kelley *et al.*, 2007).

Portail *et al.* (2015) realizaron un estudio comparativo-descriptivo de la macrofauna asociada a sedimento blando en las inmediaciones de ventilas hidrotermales e infiltraciones frías en la cuenca de Guaymas (Anexo I Tabla 1).

En el 2017 Goffredi *et al.* realizan el primer trabajo llevado a cabo en las ventilas hidrotermales de la cuenca Pescadero y Alarcón, en él describen la estructura y la riqueza taxonómica específica de la megafauna asociada. Este trabajo contribuye al conocimiento de la biodiversidad del área con registros de especies y a la descripción de los hábitats formados por ensambles de megafauna. También establece las bases de la estructura ecológica de las comunidades y plantea hipótesis sobre el reclutamiento larval.

En este mismo año Rivera-Sánchez publica un estudio sobre los copépodos de infiltraciones frías y ventilas hidrotermales, describe la composición específica de los ejemplares encontrados y registra una diferencia significativa en la densidad y abundancia de los organismos entre los diferentes hábitats muestreados y niveles del sedimento, además de una riqueza taxonómica baja y densidad elevada que caracteriza estos ecosistemas quimiosintéticos en comparación con un sitio de referencia.



### 3. Justificación

En 2010 se tenían documentados 327 sitios activos e inactivos (Hoagland *et al.*, 2010). En 2015 se alcanzaron 600 sitios, identificados a partir de las anomalías biogeoquímicas o por observaciones directas, de estos se han estudiado un número muy reducido (Karson *et al.*, 2015). En México, la cuenca de Guaymas, ha sido la más estudiada, por ser uno de los sitios con mayor actividad (Lonsdale *et al.*, 1980). En general, el estudio de ventilas hidrotermales e infiltraciones frías de México, es limitado dada la dificultad técnica y costo elevado que implica un estudio en ecosistemas de mar profundo (Lonsdale, 1977; Snelgrove *et al.*, 2014); sin embargo, debido a su importancia por el volumen que representa del planeta y servicios ecosistémicos que provee es necesario estudiarlos (Escobar, 2000; Wilcock, 2004; Thompson, 2017).

Desde el descubrimiento de las ventilas hidrotermales y sus depósitos masivos de sulfuro y diversos metales de gran importancia humana como el cobre, la plata y el oro, empresas privadas, *e. g.* Anglo American and Teck, y gubernamentales, *e.g.* Nautilus minerals, New Zealand Petroleum and minerals, de varios países han puesto gran atención y dedicado esfuerzos en la investigación de la factibilidad que tiene la extracción y uso de recursos en estos sistemas (Hoagland *et al.*, 2010). El impacto de la minería sería devastador ante la biodiversidad poco conocida y vulnerable lo que implica elaborar normas ambientales y generar áreas protegidas (Boschen *et al.*, 2013; CONANP, 2012a, 2006; Van Dover, 2011).

Este estudio ampliará el conocimiento biológico de las ventilas hidrotermales e infiltraciones frías del país con registros de la localidad recientemente descubierta (2012) junto con la zona de fractura (Goffredi *et al.*, 2017). Su importancia radica en describir cómo se estructura la comunidad béntica de sedimentos blandos en mar profundo que es afectada por la presencia de quimiosíntesis.

### 4. Hipótesis

#### 4.1 Hipótesis biológica

Gollner *et al.* (2015) describe la distribución de las especies fundadoras en ecosistemas quimiosintéticos y su periferia como mosaicos densos y heterogéneos. Con base en Portail *et al.* (2015) la diversidad taxonómica y la estructura de la comunidad de la macrofauna están determinadas por la composición de especies constructoras del hábitat, mientras que la actividad quimiosintética tiene una influencia secundaria sobre su estructuración.



En este mismo trabajo se plantea que el porcentaje de los grupos taxonómicos que comparten ventilas hidrotermales e infiltraciones frías es alto (~85%), además de mostrar niveles de abundancia y densidad elevados, y una baja diversidad taxonómica en comparación con ambientes no quimiosintéticos típicos.

Con base en lo anterior, el presente estudio espera encontrar similitud en la estructura y composición taxonómica de las comunidades de macrofauna entre ventilas hidrotermales e infiltraciones frías, y diferencias con el sitio sin influencia quimiosintética, así como entre hábitats y niveles en el sedimento.

#### **4.2 Hipótesis estadística**

El análisis de una comparación a macro y microescala sugiere que:

Ho: La estructura de la comunidad de la macrofauna es puntualmente homogénea entre los hábitats y niveles del sedimento de ecosistemas con diferentes fuentes de energía (*in situ* o quimiosintéticas, y *ex situ* a partir de la fotosíntesis en superficie).

Ha: La estructura de la comunidad de la macrofauna es contrastante entre los hábitats y niveles de sedimento de ecosistemas con diferentes fuentes de energía (*in situ* o quimiosintéticos, y *ex situ* a partir de la fotosíntesis en superficie).

### **5. Objetivos**

#### **5.1 Objetivo general**

Describir la estructura de la comunidad de la macrofauna, desde una macro a microescala, en ecosistemas afectados por quimiosíntesis y sin influencia aparente.

#### **5.2 Objetivos particulares**

1. Describir los hábitats muestreados en cada ecosistema.
2. Describir la composición y riqueza taxonómica de la macrofauna.
3. Determinar la abundancia, densidad y biomasa de los taxones.
4. Comparar la estructura comunitaria de la macrofauna entre los ecosistemas, hábitats y niveles del sedimento superficial.



## 6. Área de estudio

### 6.1 El golfo de California

**Ubicación.**- El golfo de California en el noreste de México se localiza entre 123° y 32° de latitud norte y 117° longitud oeste (Nava-Sánchez *et al.*, 2001), está delimitado al oeste por la península de Baja California y al este por la costa de los estados de Sonora y Sinaloa; hacia el sur, se comunica con el océano Pacífico (CONANP, 2006).

**Geomorfología.** - El golfo de California es un mar marginal, largo y estrecho con casi 1,500 km de longitud y ancho variable de 92 km al norte a 222 km al sur. El golfo tiene su origen con la expansión del piso oceánico, hace aproximadamente 4 millones de años (Alvarez-Borrego, 1983).

Topográficamente se conforma por 14 cuencas tectónicas, separadas por cordilleras transversales conectadas con el océano Pacífico a través del canal de las Ballenas (Jiménez *et al.*, 2005); alcanzan profundidades de 180 m en la región norte, hasta cerca de 4,000 m en el centro y boca (Alvarez-Borrego, 1983). Se encuentra dividido en cuatro regiones: alto golfo, de las grandes islas, golfo central y golfo sur (De la Lanza, 1991). La zona sur es la más extensa, está delimitada entre Cabo San Lucas, en la península con Cabo Corrientes, Jalisco; con El Dorado, Sinaloa, y la línea de costa entre El Dorado y Cabo Corrientes. Incluye las cuencas de Carmen, Farallón, Alfonso, Pescadero y Alarcón con una profundidad máxima de 4,947 m (Alvarez-Borrego, 1983; Lavin *et al.*, 1997)

El fondo del golfo de California se caracteriza por montes submarinos, cañones, dorsales, talud pronunciado atravesado por una zona de oxígeno mínimo (ZOM), plataforma continental estrecha, numerosas islas, infiltraciones frías y ventilas hidrotermales (Wilkinson *et al.*, 2009).

Geológicamente, es un mar reciente, lo que se refleja en sus condiciones físico-químicas asociadas a la actividad volcánica y agua de mar; generando así ecosistemas de ventilas hidrotermales que a proximidad favorecen la abundancia de organismos abisales (Calmus, 2010).

**Hidrología.** - El golfo de California es una cuenca de evaporación semicerrada, en constante comunicación con el agua del océano Pacífico. La masa de agua que se encuentra por debajo de la termoclina entre los 400 y 800 m tiene una salinidad promedio de 34.6 ups y concentraciones mínimas de oxígeno de 0.2 ml. L<sup>-1</sup> entre los 200 y 800 m de profundidad, mientras que la temperatura promedio es de 4°C. A profundidades de entre los 2,500 y 3,000 m la temperatura es de 1.85°C en promedio,



mientras que la salinidad se mantiene y la concentración de oxígeno disminuye hasta un mínimo de  $0.05 \text{ ml.L}^{-1}$  (Roden J., 1962).

En cada región del golfo ocurren procesos físicos diferentes, mezcla de vientos y mareas, arrastre, intercambio de calor y evaporación. Todos ellos controlan la salinidad, la circulación, la estructura termohalina y las corrientes (Bray & Robles, 1991; Lavin *et al.*, 1997)

### **6.1.1 Cuenca Alfonso**

Se ubica en la zona norte de la Bahía La Paz, frente a la costa suroriental del golfo de California (Jiménez *et al.*, 2005) en  $24^{\circ} 40'$  latitud norte y  $110^{\circ} 38'$  longitud oeste; a 415 m de profundidad, es una de las cuencas de menor amplitud (Hakspiel-Segura *et al.*, 2015).

El sedimento se compone por limos y arcillas de origen biogénico. El tipo de roca que domina es ígnea y en algunas partes sedimentaria (CONANP, 2012b).

Esta cuenca presenta una capa hipóxica ( $<1.4 \text{ ml. L}^{-1}$ ) a una profundidad mayor a los 150 m, generada por la elevada producción primaria y subsecuente oxidación de la materia orgánica depositada, así como la topografía de la cuenca que dificulta la recirculación de agua de fondo (Monreal-Gómez *et al.*, 2001).

### **6.1.2 Cuenca Pescadero**

Se ubica en el sur del golfo de California a  $23^{\circ} 30'$  y  $25^{\circ} 00'$  latitud norte y  $108^{\circ} 00'$  y  $109^{\circ} 30'$  de longitud oeste. La profundidad máxima es de 3,800 m y tiene una extensión aproximada de 15 km.

El sedimento es de origen terrígeno y biogénico calcáreo y ocurren limos y arcillas (CONANP, 2012b). La cuenca es un sitio marino prioritario para la conservación (CONABIO, 1999) ya que presenta ventilas hidrotermales carbonatadas las cuales son las más profundas en el Pacífico oriental (Michel *et al.*, 2018).

En el golfo de California, se encuentra la frontera entre las placas Pacífico y Norteamericana, la cual está conformada por una sucesión de fallas laterales que van desde la falla de San Andrés hasta el desemboque del golfo en la parte sur, como parte de estas fallas se encuentra la falla transformante localizada en la cuenca Pescadero, que a su vez conecta directamente con la cuenca Farallón y Alarcón (Calmus *et al.*, 2017).



## 7. Metodología

### 7.1 Trabajo de campo

#### 7.1.1 Obtención de muestras

El material biológico se recolectó en las cuencas Alfonso y Pescadero, (fig. 6) durante la campaña oceanográfica “Gulf of California Expedition 2015 LEG 6: Vents and Seeps” llevada a cabo del 17 al 25 de abril del año 2015, a bordo del B/O “Western Flyer” del Monterey Bay Aquarium Research Institute en colaboración con el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

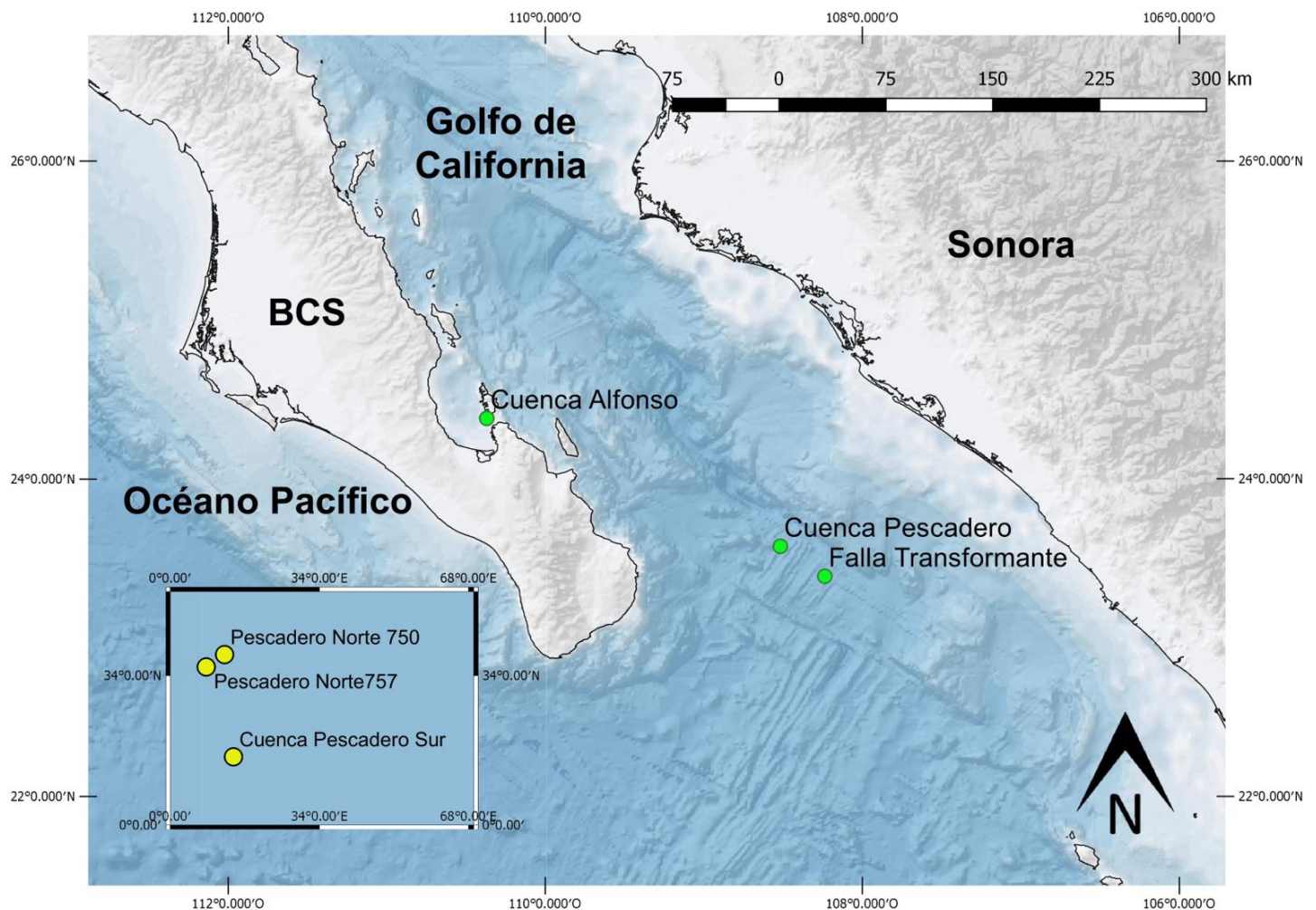


Figura 6. Área de estudio del presente trabajo, se muestran los sitios muestreados con un acercamiento a los puntos ubicados en la zona norte y sur de la cuenca Pescadero.



Las muestras de sedimento de este estudio se recolectaron en cinco inmersiones usando para ello el brazo robótico del ROV “Doc Ricketts” con “nucleadores de tubo” con un diámetro de 7 cm y un área interna de 38.48 cm<sup>2</sup> en las cuencas Alfonso y Pescadero (Tabla 2).

Tabla 2. Muestras de sedimento obtenidas en la campaña “Gulf of California Expedition, 2015 LEG 6: Vents and Seeps”.

<i>Inmersión</i>	<i>Sitio</i>	<i>Profundidad (m)</i>	<i>Latitud N</i>	<i>Longitud O</i>
I-749	Cuenca Alfonso	410	24°37.9960'	110° 36.9080'
I-750	Cuenca Pescadero (Norte)	3681	23°57.4209'	108°51.7115'
I-751	Cuenca Pescadero Sur	3676	23°57.4722'	108° 51.7545'
I-756	Pescadero Falla Transformante	2392	23°38.5169'	108°23.6619'
I-757	Cuenca Pescadero (Norte)	3676	23°57.3839'	108°51.7220'

La inmersión I-749 se hizo en cuenca Alfonso sobre los fondos blandos del talud continental caracterizados por presentar tapetes bacterianos.

La inmersión I-756 se realizó al sur de la cuenca, en la falla transformante. Sobre un hábitat perteneciente al ecosistema de infiltración fría.

La inmersión I-750 realizada en el sector norte de la cuenca, se caracterizó por su cercanía a un sitio activo de ventilas hidrotermales con emisión de compuestos volátiles disueltos en el sedimento.

La inmersión I-751 se realizó en las inmediaciones de otro hábitat hidrotermal activo, caracterizado por fondo blando con tapetes de bacterias.



La inmersión I-757 se realizó en las inmediaciones de la ventila hidrotermal activa sobre la planicie abisal.

### 7.1.2 Registro fotográfico y de video

En cada inmersión la cámara Ikegami HDL45 del ROV Doc Ricketts registró con fotografías y video de alta definición la colecta y el tipo de hábitat. La realización de los video transectos se describe en Goffredi *et al.* (2017). En este estudio se analizaron dichas imágenes y videos permitiendo la descripción de hábitats y asociaciones biológicas. La ubicación de los sitios de muestreo en las inmersiones: I-750, I-751, I-756 e I-757 se representa en un mapa de fina escala (fig. 7) con base en la batimetría realizada alrededor de las ventilas hidrotermales.

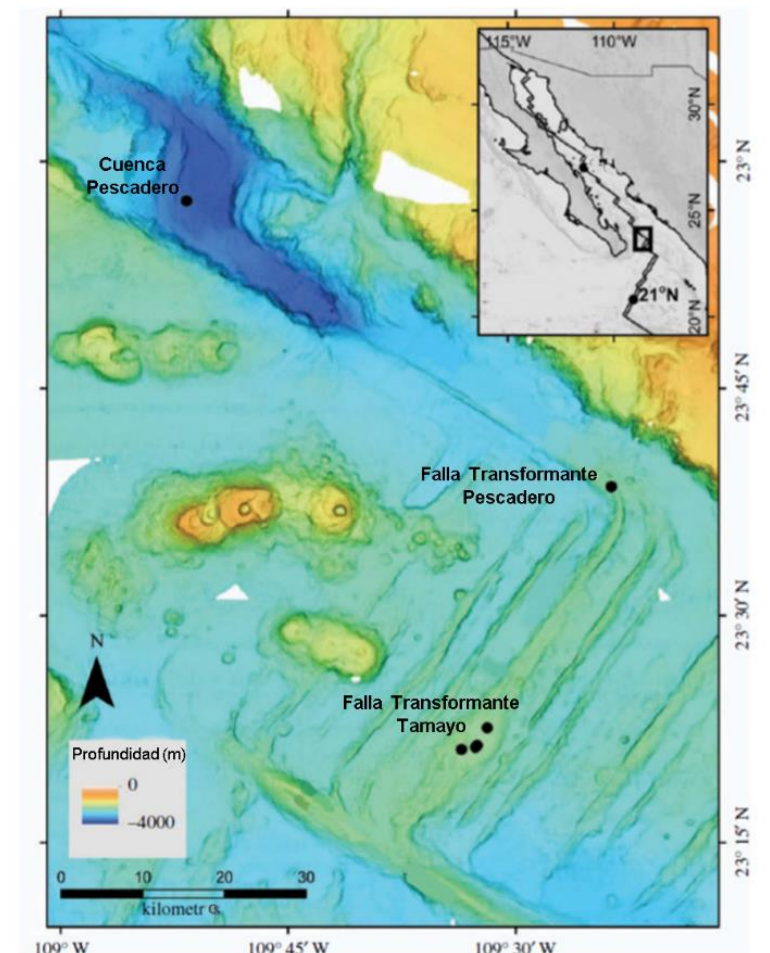


Figura 7. Mapa batimétrico del sur del Golfo de California donde se muestran los sitios muestreados de la Cuenca Pescadero y la Falla Transformante. Tomado de Goffredi *et al.*, 2017





### 7.1.3 Procesado de las muestras

Una vez obtenidas las muestras se colocaron inicialmente en refrigeración (5°C) con objeto de estabilizarlas a una temperatura similar a la del sitio de colecta. Cada núcleo se seccionó en tres niveles de sedimento (Tabla 3) que correspondieron a:

Nivel 1 de 0 a 1 cm

Nivel 2 de 1.1 a 5 cm y

Nivel 3 de 5.1 a 10 cm.

En la localidad norte en Pescadero (I-750) los núcleos solamente fueron cortados en dos niveles debido a que fueron extraordinariamente cortos dado que la composición del sedimento superficial no se prestó para coleccionar núcleos de mayor longitud.

Tabla 3. Núcleos, réplicas y niveles por localidad de recolecta.

Sitio	ID Núcleos	No. de réplicas	No. de niveles
Cuenca Alfonso (I-749)	N53, N67	2	3
Cuenca Pescadero (I-750)	N45, N58, N70	3	2
Cuenca Pescadero Sur (I-751)	N41, N74, N76	3	3
Pescadero Falla Transformante (I-756)	N45, N51, N53	3	3
Cuenca Pescadero (I-757)	N53, N41, N70	3	3

Una vez cortados los núcleos, el sedimento de cada nivel y réplica, se fijó con formol al 10% en cada localidad. Cada frasco se etiquetó debidamente por fuera y en el interior con una etiqueta de papel albanene y se registró en la bitácora de cada inmersión. Las muestras se empacaron con una guía para importarlas y repatriarlas a México, haciendo un recambio previo del dicho fijador para garantizar su arribo en buenas condiciones.

## 7.2 Trabajo de laboratorio

### 7.2.1 Registro y procesado de muestras

Al llegar al laboratorio de Biodiversidad y Macroecología (ICML) las muestras se identificaron con base a la bitácora de campo, se confirmó recepción y condiciones de arribo; con esta información se generó una bitácora de laboratorio.



Cada muestra se procesó con un tamiz con apertura de malla de 250  $\mu\text{m}$  y de 42  $\mu\text{m}$  con agua corriente para eliminar la fracción menor a 42  $\mu\text{m}$  y la solución de formol al 10 %. Cada tamiz retuvo fracciones diferentes de fauna, la malla de 250  $\mu\text{m}$  retuvo la macrofauna y la de 42  $\mu\text{m}$  la meiofauna.

Cada fracción se colocó en frascos por separado siguiendo la misma organización por réplicas y niveles, se preservaron en etanol al 70% y tinción de rosa de bengala y se colocaron etiquetas externa e interna con la información correspondiente. Los frascos se sellaron con *Parafilm* para evitar cualquier evaporación y se registraron en la bitácora de laboratorio, así como en una hoja de cálculo en Excel. Este estudio solamente consideró la macrofauna, es decir, la fracción retenida en el tamiz de 250  $\mu\text{m}$ . La separación de los organismos del sedimento se realizó a través de un microscopio estereoscópico Zeiss Discovery V.8 hasta a 80 aumentos, bajo el método estandarizado del laboratorio de Biodiversidad y Macroecología, el cual consiste en poner una cantidad minúscula de sedimento (aproximadamente 1g) en la orilla superior de una caja de revisión de 5.5 cm x 5.5 cm de área, con cuadrícula de fondo de 5 mm<sup>2</sup> por cuadro, posterior a ello con la ayuda de una aguja de disección se revisa el sedimento llevándolo a la parte inferior de la caja, en cuanto un organismo es reconocido e identificado se separa, se cuenta y es colocado con ayuda de un pincel, pinzas de relojero o la misma aguja de disección en el vial rotulado con los datos del grupo taxonómico correspondiente, así como datos de la muestra de donde se obtuvo. Estos viales forman parte de la colección de infauna del laboratorio.

### 7.2.2 Descripción de hábitats

Las imágenes, videos y video-transectos tomados en cada una de las inmersiones, se analizaron y se describieron con detalle los hábitats donde se obtuvo cada núcleo de sedimento bajo los siguientes criterios y descriptores:

- a) Sustrato, tipo, color, presencia de galerías y caminos trazados en el sedimento generados por la actividad biológica (*Lebensspuren*, Häntzscehl, 1962).
- b) Asociaciones biológicas y
- c) Factores físicos obtenidos de los sensores del ROV (oxígeno disuelto ml. L<sup>-1</sup>, temperatura °C, salinidad y profundidad)



La información se vació en la bitácora por inmersión, junto con los resultados de los núcleos procesados (Anexo III).

### **7.2.3 Composición taxonómica**

Con objeto de identificar los taxones reconocidos en las muestras se realizó una revisión bibliográfica de macrofauna abisal, para los ecosistemas de ventilas hidrotermales e infiltraciones frías, y batial, para el talud continental, reportada en publicaciones tanto de artículos como de libros del Web of Science, así como por autores para ecosistemas sustentados en quimiosíntesis, y registros en la base de datos OBIS, WORMS para el intervalo geográfico desde la cuenca de Guaymas al margen de Costa Rica (ver Anexo I; Tabla 1).

Los organismos se separaron por grandes grupos. La determinación taxonómica de los organismos siguió la literatura zoológica de Brusca *et al.* (2016), los organismos del phylum Foraminifera se identificaron con base en el catálogo fotográfico del laboratorio y los trabajos de Rathbun & Gooday (1999). Para el caso de los organismos de menor talla fue necesario el uso del microscopio óptico Zeiss Axiostarplus a 50 y 100 aumentos para poder observar ciertas estructuras anatómicas consideradas como caracteres diagnósticos.

Una vez identificados los organismos se realizó un listado taxonómico ilustrado con fotografías del ejemplar representante de cada grupo taxonómico. Las fotografías se tomaron con la cámara fotográfica Axiocam ICc3 del microscopio estereoscópico mencionado (Anexo II).

Para cada análisis posterior, de la estructura comunitaria, la descripción se realizó por ecosistema, hábitat, réplica y nivel de sedimento, en ambas cuencas (Pescadero y Alfonso).

### **7.2.4 Riqueza taxonómica**

La riqueza taxonómica se determinó con el número de taxones presentes, estos datos se registraron en la bitácora del laboratorio y en hojas de cálculo del programa Excel. Con esta información se generaron matrices de ausencia (0) / presencia (1) de cada taxón.

Con estas matrices se calcularon valores promedio del número de taxones presentes, así como se realizaron análisis, que se describen más adelante, para describir el cambio hacia el interior del sedimento en cada muestra reconociendo con ello tendencias entre hábitats.



### 7.2.5 Abundancia y densidad

La abundancia se registró con el conteo de los organismos por taxón. Los datos del número de individuos se integraron en hojas de cálculo del programa Excel y se registraron en la bitácora del laboratorio. Por muestra se estimaron valores promedio por nivel para los análisis posteriores.

Los valores de densidad se obtuvieron de transformar los valores obtenidos de la abundancia a valores de ind. m<sup>-2</sup>, connotación usada para macrofauna en la literatura internacional (Bernardino *et al.*, 2012; Cuvelier *et al.*, 2014; Husson *et al.*, 2017; Van Hoey *et al.*, 2013)

### 7.2.6 Biomasa

*Obtención del peso húmedo fijado.* - La biomasa expresada como peso húmedo fijado (phf) se determinó con el pesado de los organismos por taxón con la microbalanza electrónica marca Mettler-Toledo MX5 con precisión de 0.001mg. El peso se expresó en unidades de mg de peso húmedo fijado (mg phf).

La microbalanza se calibró, previo a iniciar el pesado, con un sistema manual de nivelación y otro de pesas con un pesaje de 5 mg y 2 mg, así como con el sistema automático de calibración. El exceso de líquido de los organismos se removió con papel absorbente y se les agregó una gota de glicerina para eliminar el error causado por la evaporación de residuos de alcohol.

Antes de colocar a los organismos en la microbalanza se colocó en ella un recipiente con glicerina, una vez registrado su peso se taró la balanza y se prosiguió a colocar al organismo en dicho recipiente. Esta estrategia se realizó para todos los organismos, en el caso de los moluscos con concha (bivalvos y gasterópodos) se incluyó la concha.

*Estimación de biomasa en unidades de carbono.* - La biomasa en unidades de phf se transformó a unidades carbono (mg C) para lo cual se usaron las constantes de Rowe (1983); éstas consideran que cada mg de peso húmedo fijado representa una fracción porcentual en mg carbono, presentado en una tabla por el autor y con base en la literatura general para mar profundo (Rowe, & Kennicutt, 2009; Tilot, 2006).

Los datos en peso húmedo fijado como su respectiva transformación a mg C se integraron a la base de datos en Excel.



## 7.3 Trabajo de gabinete

### 7.3.1 Análisis de resultados

*Similitud.* – El grado de similitud entre niveles del sedimento por hábitats se analizó para los datos de riqueza taxonómica, densidad y biomasa con análisis de varianza (ANOVA de una vía) estimándose las diferencias con un nivel de significancia del 5% (Roberts & Russo, 1999). La prueba de Tukey HSD permitió reconocer las diferencias entre cada hábitat por nivel de sedimento. Las pruebas se aplicaron con datos de riqueza taxonómica, abundancia, densidad y biomasa. Todos los análisis se realizaron con el apoyo de la paquetería STATISTICA 7. Los resultados de cada grupo de datos (riqueza taxonómica, abundancia, densidad y biomasa) se expresaron gráficamente.

## 8. Resultados

### 8.1 Descripción del hábitat muestreado en cada ecosistema

En el intervalo batimétrico que va desde los 410 m hasta los 3,681 m de profundidad se reconocieron tres ecosistemas con distintos hábitats:

1. Talud continental superior sin actividad quimiosintética; fondos blandos batiales (I-749). Se reconocieron dos hábitats de los cuáles sólo uno fue muestreado y descrito (inciso b).
  - a) Sustrato blando
  - b) Sustrato blando con tapete bacteriano**
  
2. Planicie abisal afectada por actividad quimiosintética de la infiltración fría en falla transformante (I-756). Se reconocieron cinco diferentes hábitats, de ellos únicamente se muestreó y describió d).
  - a) Sustrato blando
  - b) Sustrato blando con tapete bacteriano blanco
  - c) Sustrato blando con agregación de vesicómidos
  - d) Sustrato blando inmediato a *Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami***
  - e) Sustrato duro



3. Planicie abisal afectada por actividad quimiosintética de ventilas hidrotermales (I-750, I-751, I-757). Se reconocieron siete distintos hábitats en las tres inmersiones realizadas. Los hábitats que se muestrearon y describen más adelante son: b), c) y d).
- a) Sustrato blando con tapete bacteriano blanco
  - b) Sustrato blando con tapete bacteriano y agregación de actinarias y vesicómidos**
  - c) Sustrato blando con agregación de actinarias y holoturoideos**
  - d) Sustrato blando con agregación de holoturoideos**
  - e) Sustrato blando con tapete bacteriano con agregación de gasterópodos
  - f) Sustrato duro con tapete bacteriano
  - g) Sustrato duro con tapete bacteriano y agregación de *Oasisia* sp.

#### **8.1.1 Talud continental superior sin actividad quimiosintética**

Cuenca Alfonso (24°37.9960' N; 110° 36.9080' O)

Hábitat: Sustrato blando con tapete bacteriano (Inmersión I-749)

Los tapetes bacterianos se distinguieron por estar delimitados y ser de color blanco y naranja (fig. 7;B y C); se encontraron sobre un sustrato blando batial de origen hemipelágico, además se observaron agregaciones de pterópodos (fig. 7;A) y *Lebbenspuren* (Häntzschel, 1962; fig. 8)

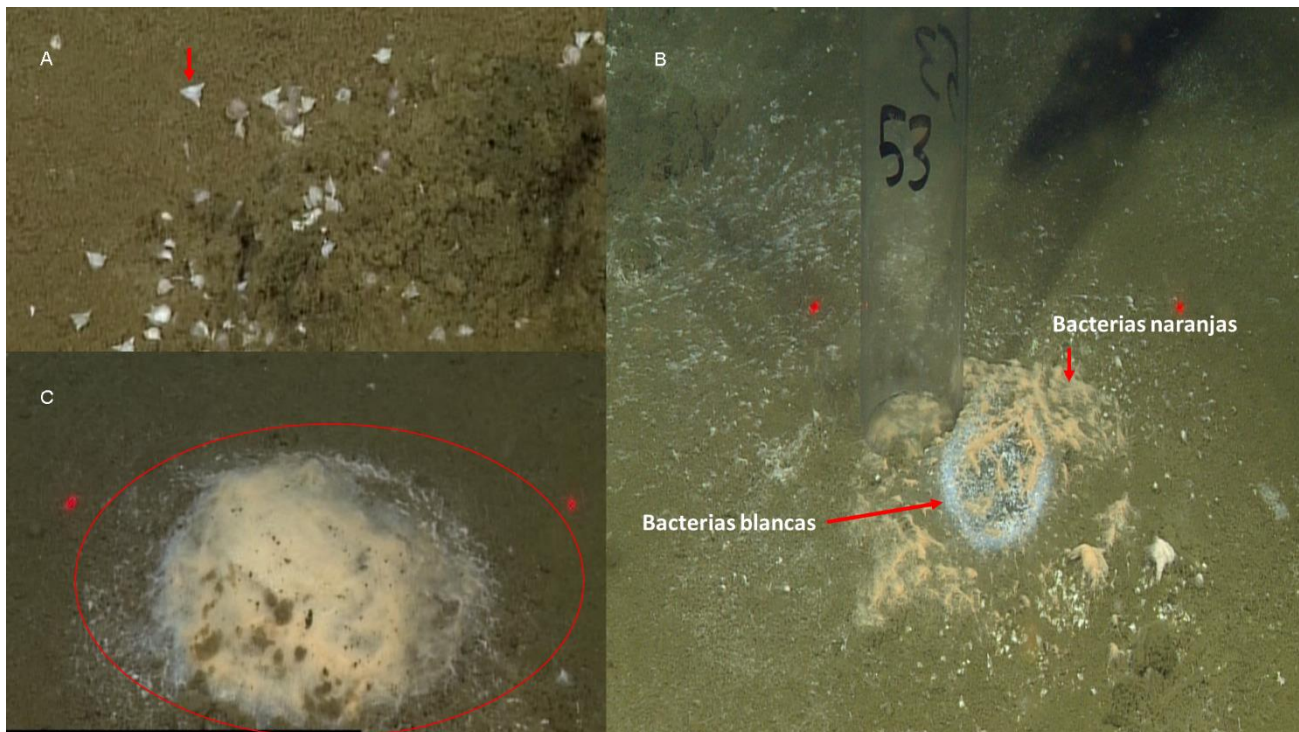


Figura 8. Inmersión I-749 A) Agregaciones de pterópodos característicos del origen hemipelágico del sedimento. B) Tapete de bacterias de morfotipo naranja y blanco de donde se extrajeron réplicas de núcleos. C) Tapete bacteriano morfotipo blanco, característico de fondos hipóxicos.

### 8.1.2 Planicie abisal afectada por actividad quimiosintética de la infiltración fría

Cuenca Pescadero, Falla Transformante (23°38.5169' N; 108°23.6619' O)

Hábitat: sustrato blando inmediato a *Escarpia spicata* y *Lamellibranchia barhami* (Inmersión I- 756)

El hábitat (fig. 9 D) presenta sustrato blando con parches de tapetes bacterianos blancos y difusos (fig. 9 B); asociados al hábitat coexisten galatéidos y carideos, cangrejos litódidos con anémonas simbiotas, gasterópodos de talla pequeña, equinodermos de las clases Holothuroidea, Asteroidea y Echinoidea. Además, cercano al hábitat se identifican agregaciones de vesicómidos en asociación con polinoídeos (fig. 9 C) y rocas ígneas dispersas sobre las que ocurren holoturoideos (fig. 9 A).

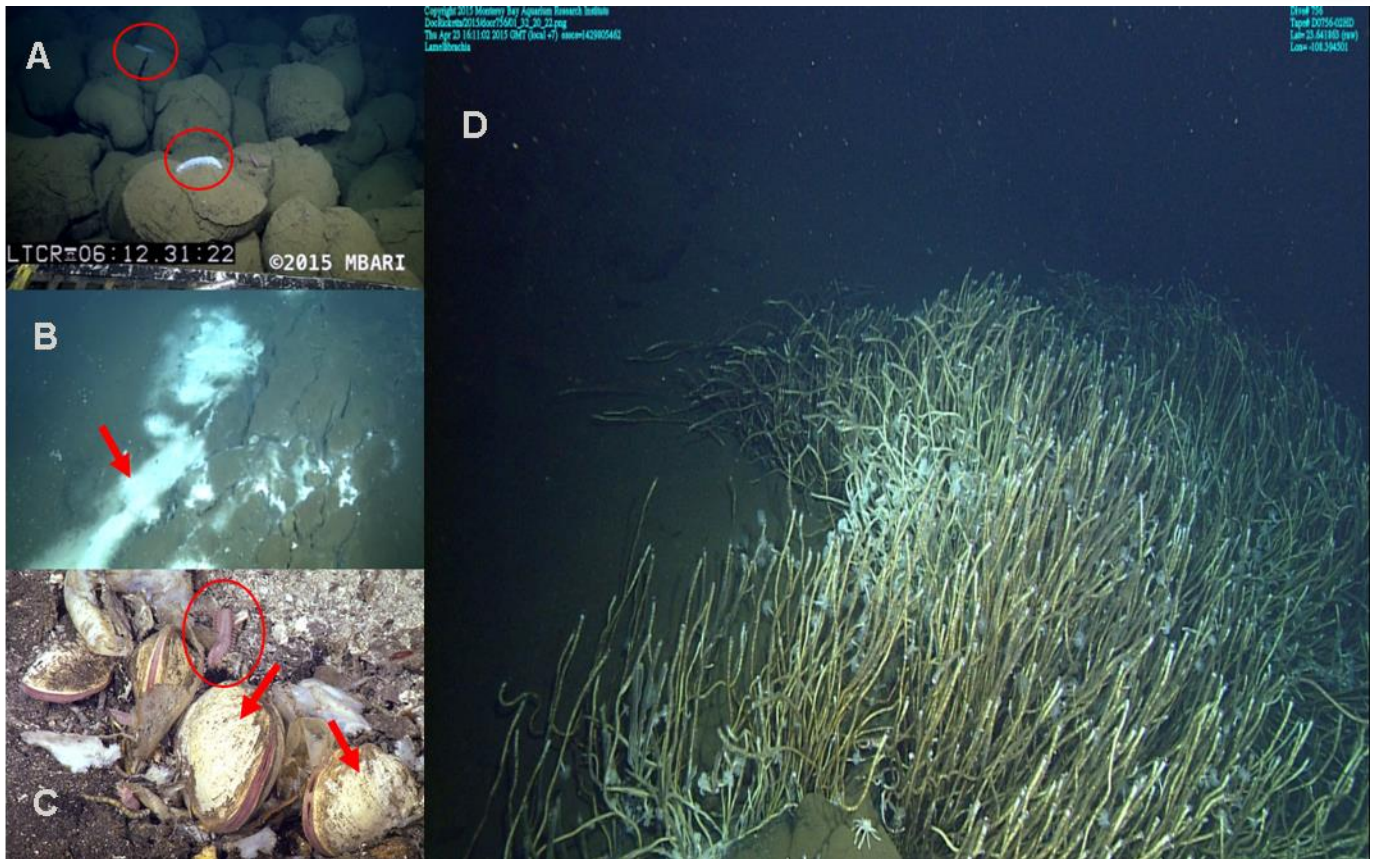


Figura 9. Inmersión I-756. Hábitat: sustrato blando inmediato a *Escarpia spicata* y *Lamellibranchia barhami* A) Sustrato duro compuesto por rocas ígneas cubiertas por una fina capa de limos y arcillas sobre el cual ocurren holoturoideos. B) Tapete de bacterias blanco en fondo blando. C) Agregación de vesicómidos y poliquetos asociados a tapete de bacterias. D) Hábitat sustrato blando inmediato a *Escarpia spicata* y *Lamellibranchia barhami*.

### 8.1.3 Planicie abisal afectada por actividad quimiosintética de ventilas hidrotermales

Cuenca Pescadero (23°57.4209' N; 108°51.7115' O)

Hábitat: Sustrato blando con tapete bacteriano y agregación de actinarios y vesicómidos (Inmersión I-750)

Sobre el fondo blando del hábitat se presentan tapetes bacterianos extensos, blancos y difusos en los que ocurren agregaciones de vesicómidos, actinarios de dos morfoespecies (blancas y moradas) y polinoideos (fig. 10 A y B), además se pueden apreciar: galatéidos, poríferos y acelomorfos de la especie *Xenoturbella churro*.

Alrededor del hábitat se encontraron fondos duros con agregaciones de *Oasisia* sp. y tapete bacteriano blanco (fig. 10 B) con ocurrencias puntuales de *Riftia pachyptyla*, fondos blandos con ocasionalmente





corales penatuláceos y holoturoideos y raramente se observaron picnogónidos y enteropneustos (Figura 10 D)

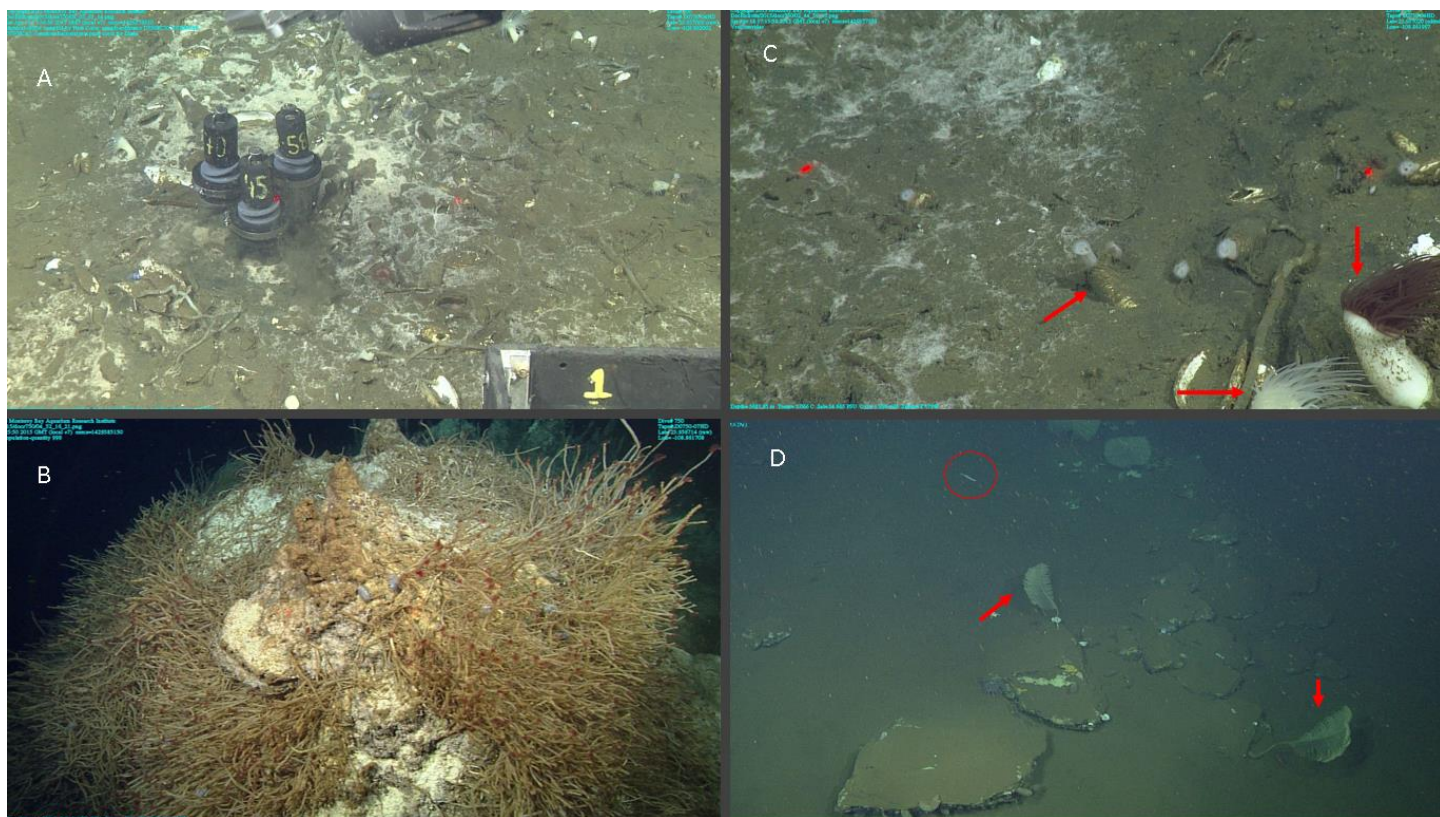


Figura 10. Inmersión I-750 A) Toma de réplicas núcleo en el hábitat B) Asociación de vesicómidos, actinarios (morfoespecies blanca y morada) y tapete bacteriano C) Sustrato duro con agregación de *Oasisia* sp. y tapete bacteriano D) Ocurrencia de corales penatuláceos y holoturoideos.

Cuenca Pescadero ( $23^{\circ}57.3839' N$ ;  $108^{\circ}51.7220' O$ )

Hábitat: Sustrato blando con agregación de holoturoideos (Inmersión I-757)

Se reconoció un sustrato blando con *Lebensspuren* y galerías de origen biogénico, sobre esto ocurrieron holoturoideos en agregaciones extensas (fig. 11 A). Alrededor de este hábitat se observaron otros de sustrato duro y blando; los blandos presentaron tapetes bacterianos blancos y difusos, sobre ellos agregaciones de gasterópodos alternados con xenoturbélidos, polinoideos y vesicómidos, túneles de enteropneustos y además agregaciones de actinarios de la morfoespecie morada (fig. 11 B y C); los fondos duros presentaron tapetes blancos extensos de bacterias en asociación con agregaciones



de *Oasisia* sp., donde concurren polinoideos y actinarios de las dos morfoespecies (blanca y morada) (fig. 11 D).



Figura 11. Inmersión I-757. A) Planicie con “Lebensspuren” y holoturoideos; lugar de toma de muestras, B) Asociación de tapetes bacterianos, *Xenoturbella churro*, polinoideos y actinarios junto al hábitat muestreado C) Agregación de vesicómidos D) Agregaciones de *Oasisia* sp., actinarios (morfoespecie blanca), tapete bacteriano y polinoideos.

Cuenca Pescadero Sur (23°57.4722' N; 108° 51.7545' S)

Hábitat: Sustrato blando con agregación de actinarios y holoturoideos (Inmersión I-751)

Se reconoció un sustrato blando con *Lebensspuren* y una extensa agregación de actinarios del morfotipo morado con holoturoideos concurrentes y ocasionalmente corales penatuláceos (fig. 12 A). Alrededor de este hábitat se encontraron agregaciones de *Oasisia* sp., vesicómidos, gasterópodos del género *Provanna* sp., *Xenoturbella churro*, polinoideos (fig. 12 B) y galatéidos concurrentes, además se observó sustrato duro cubierto por extensos tapetes bacterianos blancos; raramente se encontraron algunos picnogónidos.

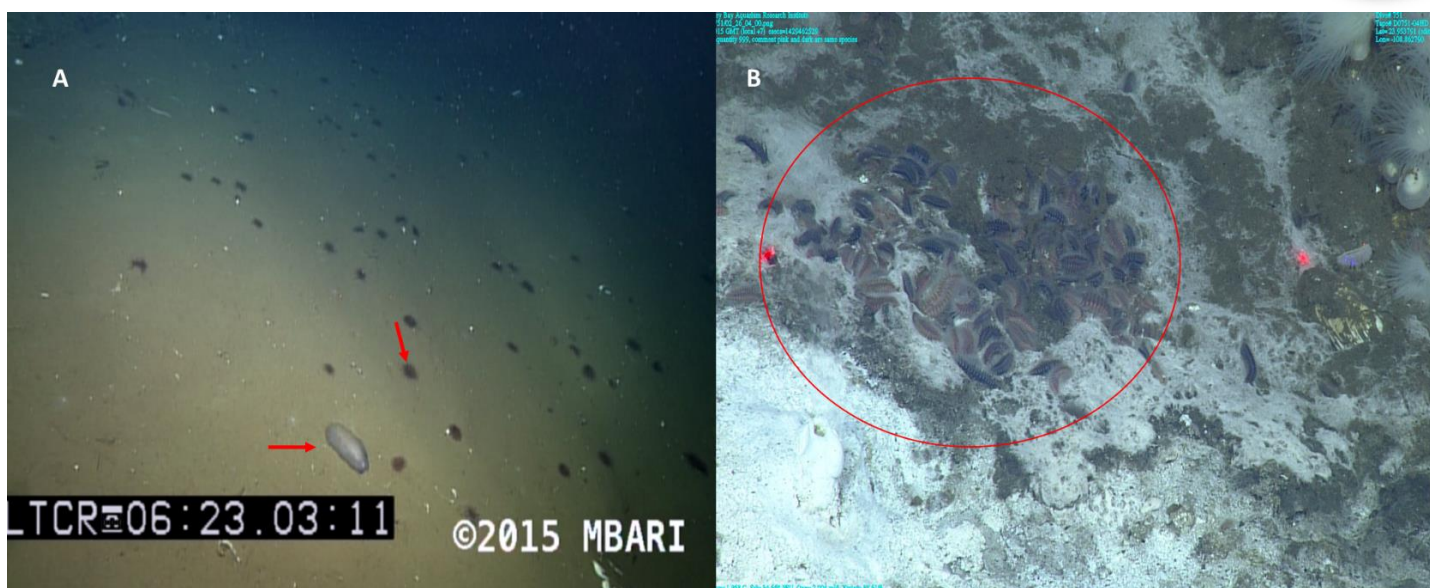


Figura 12. Inmersión I-751 A) Fondo blando de planicie abisal con agregaciones de actinarios morados y holoturoideos concurrentes (lugar de muestreo). B) Agregación de polinoideos sobre tapete bacteriano blanco, encontrado en las inmediaciones con otro hábitat.

### 8.1.5 Parámetros fisicoquímicos

De las cinco inmersiones realizadas se obtuvieron valores de oxígeno disuelto, temperatura en sedimento, profundidad y salinidad éstos se resumen en la Tabla 5, cada uno vinculado con el hábitat descrito y el tipo de sustrato.

Tabla 4. Valores de los factores ambientales tomados sobre cada uno de los hábitats. En la última columna se agrega el hábitat de sustrato blando hallado en cada sitio de colecta.

Inmersión	Oxígeno ml.L <sup>-1</sup>	Temperatura °C	Salinidad ups	Profundidad (m)	Ecosistema	Hábitat	Sustrato
I-749	0.010	9.568	34.638	410	Talud continental	Tapete bacteriano	Blando batial
I-750	1.997	2.037	34.666	3,681	Planicie abisal (ventila hidrotermal)	Tapete bacteriano con agregación de actinarios y vesicómidos	Blando



I-751	2.067	1.889	34.662	2,886	Planicie abisal (ventila hidrotermal)	Agregación de actinarios y holoturoideos	Blando
I-756	2.011	1.886	34.658	2,392	Planicie abisal (infiltración fría)	<i>Escarpia spicata</i> y <i>Lamellibrachia barhami</i>	Blando
I-757	0.002	7.587	34.524	3,632	Planicie abisal (ventila hidrotermal)	Agregación de holoturoideos	Blando

La profundidad es contrastante entre la cuenca Alfonso y aquellos puntos de colecta de la cuenca Pescadero. El sitio con la mayor profundidad es I-750, seguido por I-757.

La temperatura muestra valores bajos en los puntos con las mayores profundidades, excepto en I-757; entre I-756, I-751 e I-750 fue similar. La salinidad, no presento cambios entre los puntos de muestreo, mientras que los valores de oxígeno indican que I-749 e I-757 tienen las menores concentraciones.

## 8.2 Composición y riqueza taxonómica

En las 17 réplicas colectadas de las cinco localidades, se separó un total de 4,583 organismos que se clasificaron en los reinos Animalia (4,488 individuos) y Protista (95 individuos). Resultado de la identificación se preparó el listado taxonómico ilustrado (Anexo II).

El número de grupos taxonómicos reconocido fue 23 (22 Animalia y 1 Protista). Para el reino Animalia se reconocieron: 11 phyla, 13 clases, 5 órdenes, 2 familias y 2 géneros; el reino Protista se identificó a nivel de phylum (Foraminifera; Tabla 5).



Tabla 5. Arreglo sistemático (según Brusca et al., 2016) de los taxones identificados en la planicie abisal para la cuenca Pescadero con su Falla Transformante y para el talud continental de la cuenca Alfonso, en el sur del golfo de California, México.

---

---

Reino Chromista *incertae sedis*

---

---

Phylum Foraminifera *incertae sedis*

---

---

Reino Animalia *incertae sedis*

---

---

Phylum Porifera Grant, 1836

---

---

Phylum Cnidaria Verrill, 1865

---

---

Clase Hydrozoa Owen, 1843

Subclase Hydroidolina Collins, 2000

Orden Anthoathecata Cornelius, 1992

Suborden Aplanulata Collins, Winkelman, Hadrys & Schierwater, 2005

Familia Corymorphidae Allman, 1872

Género *Euphysa* Forbes, 1848

Orden Siphonophorae Eschscholtz, 1829

Suborden Physonectae Haeckel, 1888

Familia Rhodaliidae Haeckel, 1888

Género *Dendrogramma* Just, Kristensen & Olesen, 2014

Clase Anthozoa Ehrenberg, 1834

---

---

Phylum Chaetognatha

---

---

Phylum Platyhelminthes Minot, 1876

---

---

Phylum Mollusca *incertae sedis*

---

---



---

Clase Aplacophora

Clase Gastropoda Cuvier, 1795

Subclase Patellogastropoda Lindberg, 1986

Clase Bivalvia Linnaeus, 1758

---

Phylum Annelida *incertae sedis*

---

Clase Polychaeta Grube, 1850

Clase Clitellata

Subclase Oligochaeta Grube, 1850

---

Phylum Sipuncula *incertae sedis*

---

Clase Sipunculidea Rafinesque, 1814

---

Phylum Nematoda *incertae sedis*

---

Phylum Cephalorhyncha Adrianov, 1999 in Adrianov & Malakhov, 1999

---

Clase Kinorhyncha Neuhaus, 2018

---

Phylum Arthropoda *incertae sedis*

---

Subphylum Crustacea Brünnich, 1772

Clase Malacostraca Latreille, 1802

Subclase Eumalacostraca

Superorden Peracarida Calman, 1904

Orden Amphipoda Latreille, 1816

Orden Isopoda Latreille, 1817

Orden Tanaidacea Dana, 1849

Clase Ostracoda Latreille, 1802

Clase Hexanauplia Oakley, Wolfe, Lindgren & Zaharof, 2013

---



Subclase Copepoda Milne Edwards 1840  
 Subphylum Chelicerata Bamber, El Nagar, & Arango, 2018  
 Clase Arachnida Cuvier, 1812  
 Subclase Acari Leach, 1817

Phylum Echinodermata Bruguière, 1791 [ex Klein, 1734]

Clase Asteroidea Blainville, 1830

Los taxones reconocidos (23) son la suma de los taxones registrados en los distintos hábitats de sustrato blando en las inmersiones realizadas (Tabla 6).

Tabla 6. Organismos presentes (x) por hábitat muestreado.

Taxón	I-749	I-750	I-751	I-756	I-757
Foraminifera	X		X	X	X
Porifera					X
Euphysa		X			
Dendrogramma	X	X			
Anthozoa				X	
Chaetognatha				X	
Platyhelminthes		X			
Aplacophora		X			
Gastropoda	X	X			X
Patellogastropoda		X			X
Bivalvia	X	X	X	X	X
Polychaeta	X	X	X	X	X
Oligochaeta		X	X	X	X
Sipunculida	X	X		X	X
Nematoda	X	X	X	X	X
Kinorhyncha			X		X
Amphipoda				X	
Isopoda				X	X



Tanaidacea			X	X
Ostracoda	X		X	X
Copepoda	X	X	X	X
Acari			X	
Asteroidea				X

**Riqueza taxonómica por ecosistema.** – El ecosistema que presentó la riqueza taxonómica más elevada fue la planicie abisal cercana a ventilas hidrotermales (19 taxones), en tres inmersiones I-750, I-751 e I-757 (en nueve núcleos con tres niveles, excepto I-750 con dos). Continúo la planicie abisal cercana a la infiltración fría (14 taxones), la menor riqueza taxonómica se registró en el talud continental (7 taxones).

En los fondos blandos del talud continental, en dos réplicas y tres niveles se reconocieron los taxones: Foraminifera, *Dendrogramma* sp., Gastropoda, Bivalvia, Polychaeta Sipunculidea y Nematoda. Representando el 17.5% del total identificado.

En la planicie abisal con influencia de la infiltración fría los taxones reconocidos fueron: Foraminifera Anthozoa, Chaetognatha, Bivalvia, Polychaeta, Oligochaeta, Sipunculidea, Nematoda, Amphipoda, Isopoda, Tanaidacea, Ostracoda, Copepoda, y Acari, identificados en tres núcleos y tres niveles, representando el 35% de la riqueza taxonómica.

En la planicie abisal con influencia hidrotermal los taxones reconocidos fueron: Foraminifera, Porifera, *Euphysa* sp., *Dendrogramma* sp., Platyhelminthes, Aplacophora, Gastropoda, Patellogastropoda, Bivalvia, Polychaeta, Oligochaeta, Sipunculidea, Nematoda, Kinorhyncha, Isopoda, Tanaidacea, Ostracoda, Copepoda y Asteroidea; representaron el 47.5% de la riqueza taxonómica total.

Foraminifera, Bivalvia, Polychaeta y Nematoda, estuvieron presentes en todos los ecosistemas; en el talud continental no se presentaron taxones exclusivos del ecosistema, cuatro de siete taxones reconocidos fueron comunes en todos los sitios muestreados; de los tres restantes, Sipunculidea se presentó en las planicies abisales aledañas a la infiltración fría y a ventilas hidrotermales; Gastropoda y *Dendrogramma* sp se registraron también en inmediaciones de las ventilas hidrotermales.; Amphipoda, Acari y Chaetognatha ocurrieron exclusivamente en planicie abisal inmediata a infiltración fría; *Euphysa* sp., Platyhelminthes, Aplacophora, Patellogastropoda, Kinorhyncha y Asteroidea





ocurrieron únicamente en las inmediaciones de las ventilas hidrotermales, como taxones raros se reconocieron *Euphysa* sp., Platyhelminthes, Aplacophora y Asteroidea.

*Riqueza taxonómica por hábitat y nivel en el sedimento.* - La riqueza taxonómica promedio por nivel del sedimento varió de  $9 \pm 0.6$  taxones a  $0.3 \pm 0.6$  taxones ( $n=23$ ). El valor más elevado (14 taxones) se reconoció en el primer nivel del hábitat sustrato blando con agregación de holoturoideos (I-757). El valor más bajo (un taxón) se registró en el tercer nivel del hábitat sustrato blando con agregación de actinarios y holoturoideos (I-751). Entre los niveles de sedimento se reconoció una diferencia significativa para cada hábitat (ANOVA  $F_{(13,25)} = 9.9191$ ,  $p < 0.05$ ).

En el tapete bacteriano del sustrato blando batial (I-749), se identificaron siete taxones; en el primer nivel se encontraron siete taxones: Foraminifera, *Dendrogramma* sp., Gastropoda, Bivalvia, Polychaeta, Sipunculidea y Nematoda, representando el 44% de la riqueza taxonómica; en el segundo nivel seis taxones: Foraminifera, Gastropoda, Bivalvia, Polychaeta, Sipunculidea y Nematoda, con representación del 37%; en el tercer nivel tres taxones: Foraminifera, Bivalvia y Nematoda, representado el 19%.

El hábitat sustrato blando inmediato a *Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami* (I-756) presentó 14 taxones; en el primer nivel se presentaron 12 taxones: Foraminifera, Bivalvia, Polychaeta, Oligochaeta, Sipunculidea, Nematoda, Amphipoda, Isopoda, Tanaidacea, Ostracoda, Copepoda y Acari, representando el 52%; en el segundo nivel ocho taxones: Chaetognatha, Bivalvia, Polychaeta, Oligochaeta, Nematoda, Tanaidacea, Ostracoda y Copepoda, con un 35% de representación; en el tercer nivel tres taxones: Anthozoa, Nematoda y Polychaeta, representando el 13%.

El sustrato blando con tapete bacteriano y agregación de actinarias y vesicómidos (I-750), registró 13 taxones; en el primer nivel se identificaron 13 taxones: *Euphysa* sp., *Dendrogramma* sp., Platyhelminthes, Aplacophora, Gastropoda, Patellogastropoda, Bivalvia, Polychaeta, Oligochaeta, Sipunculidea, Nematoda, Ostracoda y Copepoda del total de la riqueza taxonómica representaron el 56%; en el segundo 10 taxones: Foraminifera, Aplacophora, Gastropoda, Patellogastropoda, Bivalvia, Polychaeta, Oligochaeta, Nematoda, Ostracoda y Copepoda, representando el 44%.

En el hábitat de sustrato blando con agregación de actinarios y holoturoideos (I-751) se identificaron 8 taxones; en el primer nivel la riqueza taxonómica fue de siete taxones: Foraminifera, Bivalvia, Polychaeta, Nematoda, Kinorhyncha, Ostracoda y Copepoda, representando el 47%; en el segundo



nivel siete taxones: Bivalvia, Oligochaeta, Polychaeta, Nematoda, Kinorhyncha, Ostracoda y Copepoda, con una representación del 47%; en el tercer nivel un taxón: Bivalvia, representado el 6% de la riqueza taxonómica.

En el sustrato blando con agregación de holoturoideos (I-757), se registraron 15 taxones; en el primer nivel se encontraron 14 taxones: Foraminifera, Porifera, Gastropoda, Bivalvia, Polychaeta, Oligochaeta, Sipunculidea, Nematoda, Kinorhyncha, Isopoda, Tanaidacea, Ostracoda, Copepoda y Asteroidea, con una representación del 48%; en el segundo nivel 10 taxones: Foraminifera, Patellogastropoda, Bivalvia, Polychaeta, Oligochaeta, Sipunculidea, Nematoda, Kinorhyncha, Ostracoda y Copepoda, representando el 35%; en el tercer nivel cinco taxones: Bivalvia, Polychaeta, Oligochaeta, Nematoda y Ostracoda, con una representación del 17%.

*Riqueza taxonómica por nivel del sedimento.* - El nivel 1 (0-1 cm) registró la mayor riqueza taxonómica (21 taxones; Tabla 7) representando el 50% del total de la riqueza taxonómica, seguido por el nivel 2 (1.1-5 cm) con 14 taxones (Tabla 9), es decir el 33% de la riqueza taxonómica y el nivel 3 (5.1-10 cm) obtuvo el menor valor (7 taxones; Tabla 10), representando el 17%.

Tabla 7. Presencia (x) de los taxones que componen la riqueza taxonómica del primer nivel de sedimento (0-1 cm).

Taxón	I-749		I-750			I-751			I-756			I-757		
	Alfonso		C. Pescadero			C. Pescadero Sur			Falla Transformante			C. Pescadero		
	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1	N1
	R1	R2	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Foraminifera	X	X				X	X		X		X	X	X	X
Porifera														X
<i>Euphysa</i> sp.			X											
<i>Dendrogramma</i> sp.		X	X											
Platyhelminthes					X									
Aplacophora					X									
Gastropoda	X		X		X									X



Patellogastropoda			X	X	X									
Bivalvia	X		X	X	X		X	X	X		X	X	X	X
Polychaeta	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X
Oligochaeta				X	X				X				X	X
Sipunculidea	X		X						X			X		
Nematoda	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
Kinorhyncha								X				X		X
Amphipoda									X					
Isopoda									X	X	X			X
Tanaidacea										X	X		X	
Ostracoda			X		X	X		X	X	X	X	X	X	X
Copepoda					X			X	X	X	X	X	X	X
Acari											X			
Asteroidea													X	

Tabla 8. Presencia (x) de los taxones que componen la riqueza taxonómica del segundo nivel de sedimento (0-1 cm).

Taxón	I-749		I-750			I-751			I-756			I-757		
	C. Alfonso		C. Pescadero			C. Pescadero Sur			Falla Transformante			C. Pescadero		
	N2	N2	N2	N2	N2	N2	N2	N2	N2	N2	N2	N2	N2	N2
	R1	R2	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Foraminifera	X	X			X								X	X
Chaetognatha									X					
Aplacophora			X											
Gastropoda	X	X		X										
Patellogastropoda			X	X	X							X		
Bivalvia	X	X	X	X	X			X	X			X	X	X
Polychaeta		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Oligochaeta				X	X	X					X		X	



Sipunculidea	X	X										X		
Nematoda	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Kinorhyncha						X	X					X	X	
Tanaidacea												X		
Ostracoda				X	X	X	X					X		X
Copepoda					X		X	X		X	X	X	X	X

Tabla 9. Presencia (x) y ausencia de los taxones que componen la riqueza taxonómica del tercer nivel de sedimento (0-1 cm).

Taxón	I-749		I-751			I-756			I-757			
	C. Alfonso		C. Pescadero Sur			Falla Transformante			C. Pescadero			
	N3	N3	N3	N3	N3	N3	N3	N3	N3	N3	N3	
	R1	R2	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
Foraminifera	X	X										
Anthozoa						X						
Bivalvia	X	X	X							X		
Polychaeta						X			X		X	X
Oligochaeta												X
Nematoda	X	X						X	X	X		X
Ostracoda										X	X	X

Finalmente, en los tres ecosistemas y hábitats reconocidos, el primer nivel de sedimento registró constantemente la mayor riqueza taxonómica, seguido por el segundo nivel mientras que el tercer nivel presentó el menor número de grupos taxonómicos.

### 8.3 Abundancia/densidad y biomasa

#### 8.3.1 Abundancia

De un total de cinco hábitats diferentes y tres distintos ecosistemas, se registró una abundancia de 4,583 organismos. El taxón con la mayor abundancia fue Nematoda con aproximadamente el 80% del total de organismos (3664 organismos), seguido por Polychaeta con aproximadamente el 6 % (254



organismos), en tercer lugar, se encontró Copepoda con casi el 5% (227 organismos).

El 9% faltante se dividió entre los 20 taxones restantes (fig. 13).

Los taxones que registraron la menor abundancia fueron: Acari, Amphipoda, Anthozoa, Asteroidea, Chaetognatha, *Euphysa* sp. y Porifera; cada uno con un único ejemplar registrado en las 17 réplicas (ver Anexo III).

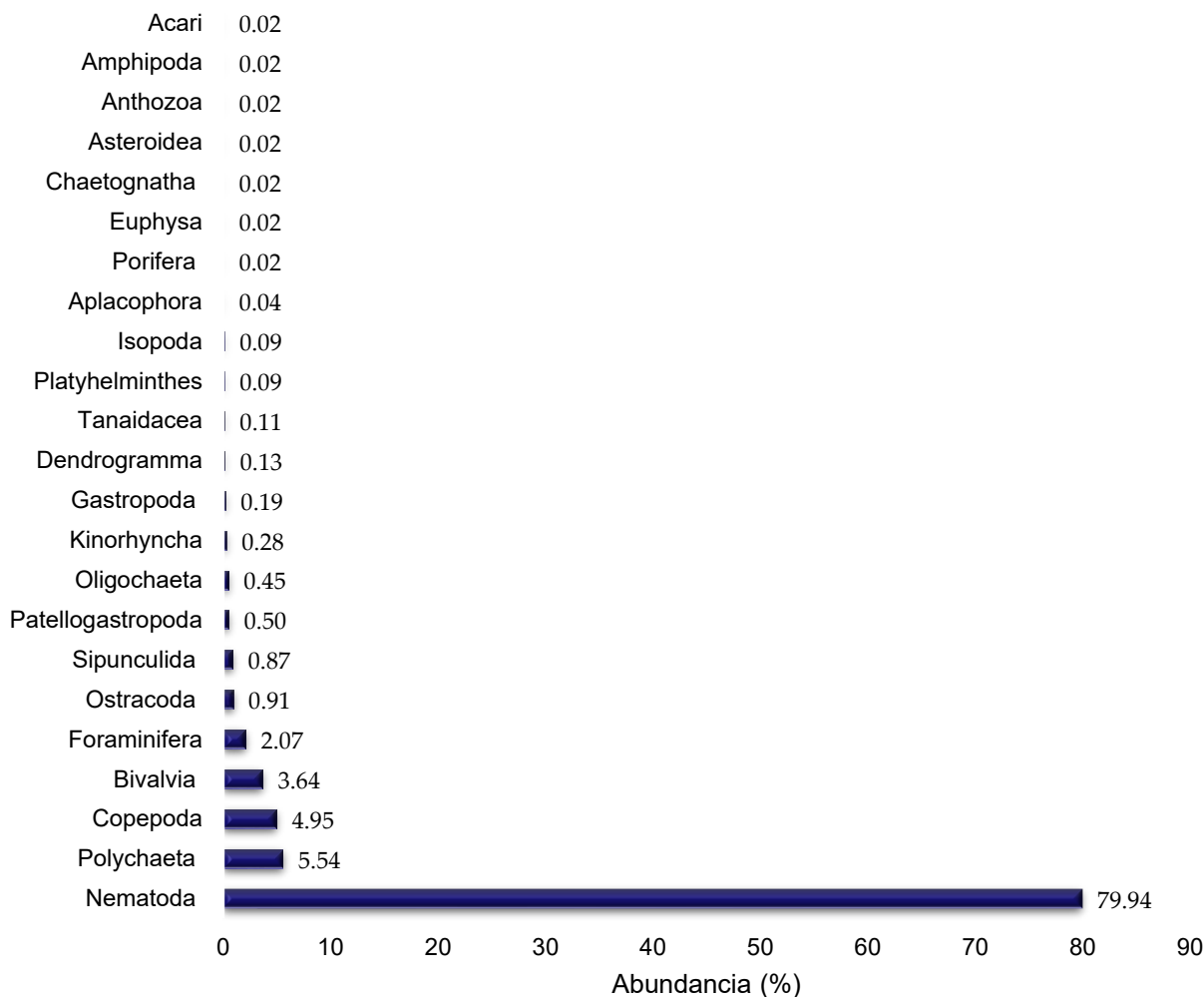


Figura 13. Muestra la abundancia relativa en porcentaje de cada grupo taxonómico identificado en la totalidad de muestras analizadas.

**Abundancia por ecosistema.** – El ecosistema que registró la mayor abundancia, fue el talud continental, en total se registraron 2532 organismos. Los taxones más abundantes fueron: Nematoda (2344 organismos), Bivalvia (57 organismos) y Polychaeta (47 organismos). En la planicie abisal



inmediata a ventilas hidrotermales se contaron 1867 organismos, siendo el segundo ecosistema más abundante. Los taxones más abundantes fueron: Nematoda (1252 organismos), seguido por Copepoda (179 organismos) y Polychaeta (169 organismos). En tercer lugar, se encontró la planicie abisal de la infiltración fría con 502 organismos. Los grupos taxonómicos más abundantes fueron: Nematoda (68 organismos), Copepoda (48 organismos) y Polychaeta (38 organismos).

*Abundancia por hábitat y nivel del sedimento.* – El hábitat sustrato blando con tapete bacteriano (I-749) registró la mayor abundancia con 2532 organismos. La distribución de organismos vista por nivel en el sedimento resultó con una mayor carga biológica constante en el primer nivel del sedimento con un registro de 1631 organismos, el 94% de ellos pertenece al taxón Nematoda, en el segundo nivel se registra una abundancia de 865 organismos, el taxón dominante continuó siendo Nematoda, mientras que en el tercer nivel se encontraron 36 organismos y el taxón dominante fue Bivalvia.

En el hábitat sustrato blando inmediato a *Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami* (I-756), el primer nivel del sedimento fue el que registró una mayor abundancia con 97 organismos, de los cuales el 42% fueron copépodos, el nivel dos registró 67 organismos y el tercer nivel 20 organismos, sumando un total de 184 organismos.

El hábitat de tapete bacteriano con agregación de actinarias y vesicómidos (I-750) fue el segundo más abundante con 1272 organismos. La mayor abundancia se registró en los primeros dos niveles de sedimento con un total de 1035 y 237 organismos, respectivamente. En el primer nivel el 91 % de los organismos pertenecen al taxón Nematoda.

En el hábitat de sustrato blando con agregaciones de actinarios y holoturoideos (I-751) se registraron 54 organismos en el primer nivel, 56% pertenecieron al taxón Nematoda; 38 organismos en el segundo nivel y un organismo en el tercer nivel. Registrando un total de 93 organismos.

El hábitat de sustrato blando con agregación de holoturoideos (I-757) registró 502 organismos distribuidos de la siguiente manera: 340 organismos en el primer nivel, 46% fueron copépodos, 147 organismos en el segundo y 15 organismos en el tercer nivel (Tabla 10).

De acuerdo con el análisis estadístico Tukey HSD (fig. 14; Anexo IV), en el primer nivel I-749 mostró una diferencia significativa con todos los demás sitios muestreados ( $p < 0.05$ ); mientras que I-750 no muestra tener una diferencia significativa con I-757 ( $p > 0.05$ ), e I-751 no tiene diferencia significativa con I-756 e I-757 ( $p > 0.05$ ).



En el segundo nivel, el único sitio que obtuvo diferencias significativas con el resto de los sitios fue I-749 ( $p < 0.05$ ).

En el tercer nivel, I-749 e I-751 fueron los únicos sitios que obtuvieron una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre sí y con los otros sitios, mientras que I-756 e I-757 no registraron una diferencia significativa entre ellos ( $p > 0.05$ ).

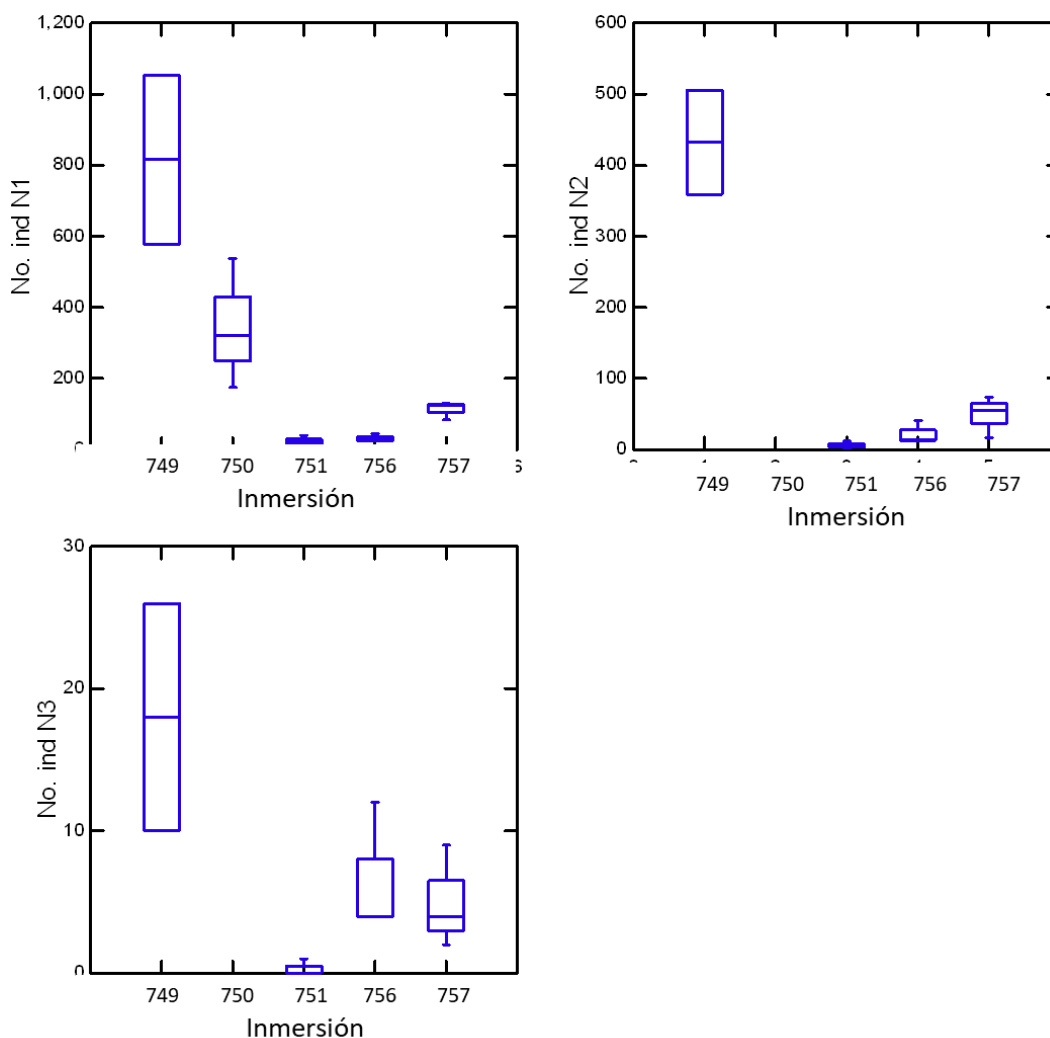


Figura 14. Gráficas de caja y bigotes de la abundancia de organismos por sitio-hábitat (Inmersión) y nivel de sedimento (No. ind N1, No. ind N2, No. ind N3).

**Abundancia por nivel del sedimento.** - El nivel 1 (0-1 cm) registró la mayor abundancia de organismos (3,176), seguido por el nivel 2 (1.1-5 cm) con 1,335 organismos, mientras que en el nivel 3 (5.1-10 cm) se encontró la menor abundancia (72 organismos).



El primer nivel de sedimento obtuvo constantemente la mayor abundancia, seguido por el segundo nivel.

En el primer nivel la abundancia del talud continental obtuvo el mayor número de organismos contados (1631) en un solo hábitat. Las planicies abisales inmediatas a ventilas hidrotermales registraron 1448 organismos en tres diferentes hábitats muestreados. Por último, el hábitat de la planicie abisal inmediata a la infiltración fría registró 97 organismos. En el segundo nivel de sedimento con una minoría constante de organismos, en comparación con el primer nivel, mostró un conteo de 865 organismos en la planicie abisal del talud continental, 403 organismos en la planicie inmediata a ventilas hidrotermales y 67 individuos en la planicie abisal de la infiltración fría.

En el tercer nivel de sedimento, se obtuvieron, constantemente en todos los ecosistemas, los valores más bajos en abundancia, en la planicie abisal del talud continental, se contaron 36 organismos, en la planicie abisal inmediata a ventilas hidrotermales, se registraron 16 organismos, mientras que, en la planicie de infiltración fría, el conteo llegó a 20 organismos.

Tabla 10. Matriz de la abundancia por hábitat de sustrato blando, réplica y nivel del sedimento. En “negritas se muestran los valores más altos de abundancia. Los valores no determinados (nd) son aquellos que no fueron obtenidos durante el muestreo.

Cuenca/Hábitat	Inmersión	Réplicas	Nivel/Nivel (cm)		
			1 0-1	2 1.1-5	3 5.1-10
<b>Alfonso</b>	749	1	<b>578</b>	359	26
Tapete bacteriano		2	<b>1053</b>	506	10
<b>Pescadero</b>	750	1	175	80	nd
Tapete bacteriano con agregación de actinarias		2	<b>538</b>	74	nd
y vesicómidos		3	322	83	nd
<b>Pescadero Sur</b>	751	1	12	5	1





<i>Agregación de actinarios y holoturoideos</i>		2	21	2	0
		3	40	12	0
<b>Pescadero Falla Transformante</b>		1	27	12	4
	756	2	25	14	4
<i>Escarpia spicata y Lamellibrachia barhami</i>		3	45	41	12
<b>Pescadero</b>		1	130	74	4
<i>Agregación de holoturoideos</i>	757	2	84	17	2
		3	126	56	9

Estadísticamente la abundancia varió en un rango promedio de  $35.456 \pm 14.603$  a  $0.014 \pm 0.025$  (n= 4583) por nivel en el sedimento en los tres ecosistemas muestreados (Tabla 11.) El valor más alto ( $35.456 \pm 14.603$ , n= 1631) corresponde al Nivel 1 (0-1 cm) de la planicie abisal del talud continental y el valor más bajo ( $0.014 \pm 0.025$ , n=1) al nivel 3 de la planicie abisal aledaña al ecosistema de ventilas hidrotermales (I-751). Los valores de abundancia por nivel en el sedimento variaron significativamente (ANOVA  $F_{(4,9)} = 22.037$ ,  $p < 0.05$ ; Anexo IV).

Tabla 11. Promedios y desviaciones estándar de la abundancia presente en los diferentes hábitats por inmersión y nivel de sedimento. En negritas se muestran los valores promedio de abundancia más altos obtenidos.

Nivel (cm)	I-749 $x \pm \sigma$	I-750 $x \pm \sigma$	I-751 $x \pm \sigma$	I-756 $x \pm \sigma$	I-757 $x \pm \sigma$
1 (0-1)	<b><math>35.456 \pm 14.603</math></b>	<b><math>13.623 \pm 9.962</math></b>	$0.783 \pm 0.856$	$1.405 \pm 0.479$	$4.927 \pm 1.108$
2 (1.1-5)	<b><math>18.804 \pm 4.519</math></b>	$4.812 \pm 2.430$	$0.551 \pm 0.277$	$0.942 \pm 0.728$	$2.130 \pm 1.267$
3 (5.1-10)	$0.783 \pm 0.492$		$0.014 \pm 0.025$	$0.319 \pm 0.251$	$0.217 \pm 0.157$



### 8.3.2 Densidad

La densidad registrada en los cinco sitios muestreados tuvo un intervalo en promedios de  $87 \pm 150$  (n=3) hasta  $211,929 \pm 87,286$  (n=3). El valor más alto se obtuvo en el sitio de la cuenca Alfonso en el primer nivel del sedimento y el valor más bajo se obtuvo en el sitio de la cuenca Pescadero Sur en el tercer nivel del sedimento (Tabla 12)

Tabla 12. Promedios y desviaciones estándar de la densidad de individuos por metro cuadrado del sedimento por sitio de colecta (inmersión) y nivel del sedimento. En negritas se muestra el valor más alto y el más bajo obtenidos.

Nivel (cm)	I-749 $x \pm \sigma$	I-750 $x \pm \sigma$	I-751 $x \pm \sigma$	I-756 $x \pm \sigma$	I-757 $x \pm \sigma$
1 (0-1)	<b>211,929</b>	89,657	6,323	8,403	29,453
	$\pm$ 87286	$\pm$ 47451	$\pm$ 3715	$\pm$ 2863	$\pm$ 6622
2 (1.1-5)	112,396	20,530	1,646	5,804	12,734
	$\pm$ 27013	$\pm$ 1191	$\pm$ 1333	$\pm$ 4209	$\pm$ 7572
3 (5.1-10)	4,678		<b>87</b>	1,732	1,299
	$\pm$ 2940		$\pm$ <b>150</b>	$\pm$ 1200	$\pm$ 937

Los taxones con la mayor densidad registrada fueron Nematoda ( $952,183 \text{ ind.m}^{-2}$ ), Polychaeta ( $66,008 \text{ ind.m}^{-2}$ ) y Copepoda ( $58,992 \text{ ind.m}^{-2}$ ), mientras que aquellos con los valores más bajos fueron Porifera, *Euphysa* sp., Anthozoa, Amphipoda, Acari, Asteroidea y Chaetognatha con  $260 \text{ ind.m}^{-2}$ .

**Densidad por ecosistema.**- El talud continental superior contribuye con la mayor densidad por  $\text{m}^2$  registrando un promedio de  $109,668 \pm 101,324$  (n=2) organismos, se encontró que los valores promedio con las densidades más altas pertenecen a los taxones: Nematoda ( $609,148 \text{ ind.m}^{-2}$ ; n=3), Bivalvia ( $14,813 \text{ ind.m}^{-2}$ ; n=3) y Polychaeta ( $12,214 \text{ ind.m}^{-2}$ ; n=3); mientras que, los taxones con los valores promedio más bajos de densidad fueron: *Dendrogramma* ( $260 \text{ ind.m}^{-2}$ ; n=3) y Gastropoda



(1,040 ind.m<sup>-2</sup>;n=3). Seguido de este ecosistema están las planicies abisales cercanas a ventilas hidrotermales con promedio de 20,216 ± 31,988 individuos. Los valores de densidad más altos registrados fueron Nematoda (352,364 ind.m<sup>-2</sup>), Copepoda (46,518 ind.m<sup>-2</sup>) y Polychaeta (43,919 ind.m<sup>-2</sup>); mientras que los grupos taxonómicos con los valores más bajos registrados fueron Porifera, *Euphysa* sp., Isopoda, Tanaidacea y Asteroidea con 260 ind.m<sup>-2</sup>.

Finalmente, en el ecosistema de la planicie abisal cercana a la infiltración fría se obtuvo un promedio de 5,313 ± 3,914 individuos m<sup>-2</sup>(n=3). Los taxones con los valores de densidad más elevada son: Nematoda (17,672 ind.m<sup>-2</sup>), Copepoda (12,474 ind.m<sup>-2</sup>) y Polychaeta (9,875 ind.m<sup>-2</sup>); mientras que los que obtuvieron los valores más bajos son: Anthozoa, Sipunculidea, Amphipoda, Acari y Chaetognatha con 260 ind.m<sup>-2</sup> (Tabla 13 y fig.15).

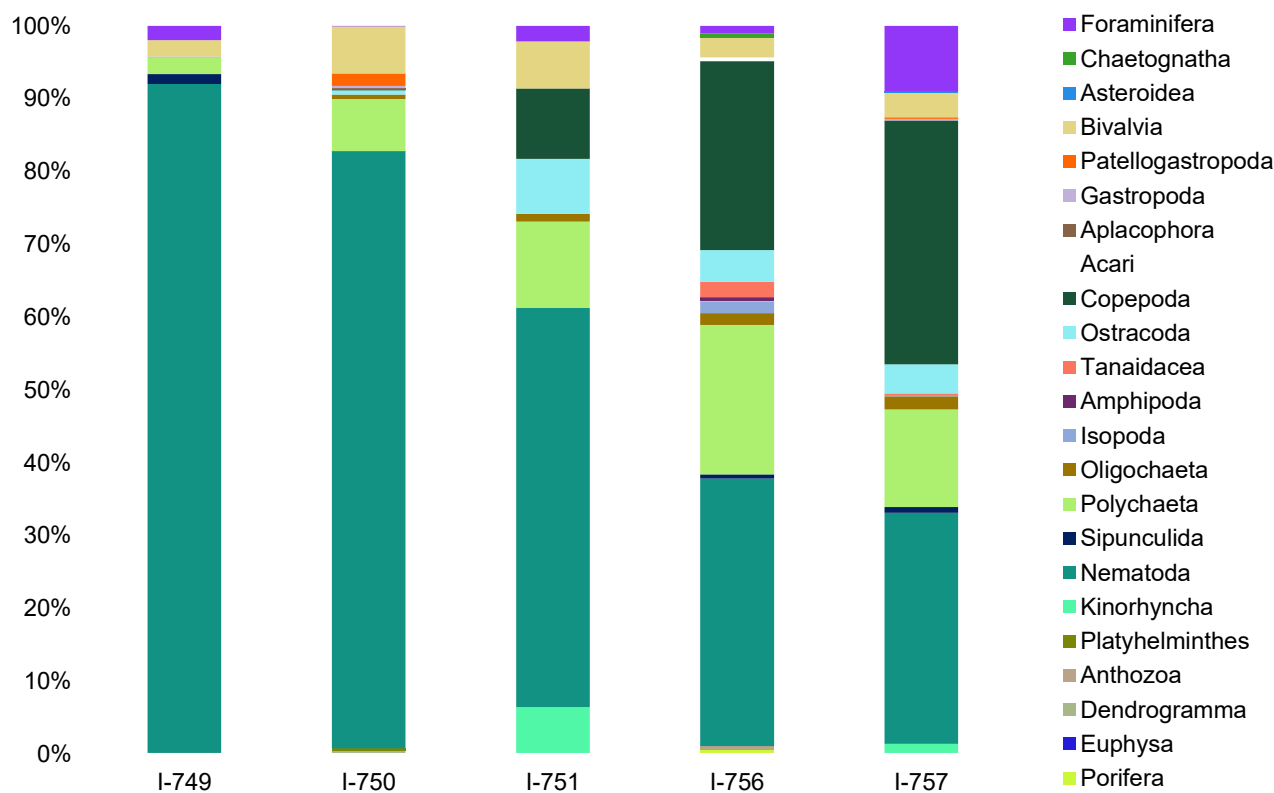


Figura 15. Valores en percentiles de la densidad obtenida en ind.m<sup>-2</sup> por grupo taxonómico y sitio (I-749: Cuenca Alfonso; I-750: Cuenca Pescadero 1; I-751: Cuenca Pescadero Sur; I-756: Falla Transformante; I-757: Cuenca Pescadero 2).

**Densidad por hábitat y nivel del sedimento.** - El hábitat de sustrato blando con tapete bacteriano (I-749) con la mayor densidad registrada con un promedio de 211,929 ± 87,286 (n=2) en el primer nivel



de sedimento, mientras que, en el segundo nivel el promedio fue de  $112,396 \pm 27,013$  (n=2) y en el tercer nivel de  $4,678 \pm 2,940$  (n=2).

El hábitat sustrato blando inmediato a *Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami* obtuvo un promedio de densidad de  $8,403 \pm 2,863$  (n=3) en el primer nivel menor al de los demás ecosistemas.

En los hábitats de las planicies cercanas a las ventilas hidrotermales el sustrato blando con tapete bacteriano y agregación de actinarios y vesicómidos (I-750) fue el que registró la mayor densidad, en el primer nivel de sedimento se registró un promedio de  $89,657 \pm 47,451$  ind.m<sup>-2</sup> (n=3), en el segundo nivel el promedio fue de  $20,530 \pm 1,191$  ind.m<sup>-2</sup> (n=3).

El segundo hábitat con mayor densidad fue el sustrato blando con agregación de holoturoideos, el valor promedio fue de  $14,495 \pm 13,262$  ind.m<sup>-2</sup>(n=3).

Estadísticamente se encontró que existe diferencia significativa entre los diferentes hábitats en el primer y segundo nivel de sedimento (ANOVA, p<0.05).

De acuerdo con el análisis estadístico Tukey HSD, en el primer nivel de sedimento, I-749 (sustrato blando con tapete bacteriano) mostró una diferencia significativa (p<0.05) con I-751 (sustrato blando con agregación de actinarios y holoturoideos) e I-756 (sustrato blando inmediato a *Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami*), mientras que I-751 es diferente a I-749 e I-750 (Tapete bacteriano con agregación de vesicómidos y actinarios).

En el segundo nivel, se determinó que I-149 tiene diferencias significativas con los sitios I-751, I-756 e I-757(sustrato blando con agregación de holoturoideos), mientras que, I-750 e I-751 muestran tener una diferencia significativa entre sí (p=<0.05).

Tabla 13. Matriz de la densidad (ind.m<sup>-2</sup>) por sitio-hábitat, réplica y nivel del sedimento. En “negritas se muestran los valores más altos de densidad. Los valores no determinados (nd) son aquellos que no fueron obtenidos durante el muestreo.

Cuenca/Hábitat	Inmersión	Réplicas	Nivel/Nivel (cm)		
			1	2	3
			0-1	1.1-5	5.1-10
<b>Alfonso</b>	<b>749</b>	<b>1</b>	<b>150,208</b>	93,295	6,757



<i>Tapete bacteriano</i>		2	<b>273,649</b>	131,497	2,599
<b>Pescadero</b>		1	45,478	20,790	nd
<i>Tapete bacteriano con agregación de actinarios y holoturoideos</i>	750	2	<b>139,813</b>	19,230	nd
		3	83,680	21,570	nd
<b>Pescadero Sur</b>		1	3,118	1,299	260
<i>Agregación de actinarios y holoturoideos</i>	751	2	5,457	520	0
		3	10,395	3,118	0
<b>Pescadero Falla Transformante</b>		1	7,017	3,118	1,039
<i>Escarpia spicata y Lamellibrachia barhami</i>	756	2	6,497	3,638	1,039
		3	11,695	10,655	3,118
<b>Pescadero</b>		1			
			33,784	19,231	1,039
<i>Agregación de holoturoideos</i>	757	2	21,830	4,418	520
		3	32,744	14,553	2,339

*Densidad por nivel del sedimento.* – El primer nivel de sedimento constantemente tuvo la mayor densidad en todos los hábitats y en todos los ecosistemas, obteniendo un valor promedio de la densidad de:  $3,656,111.7 \pm 5,192,690.2$  (n=5).

El segundo nivel tuvo un valor promedio de  $2,057,691.1 \pm 2,908,437.8$  (n=5) y finalmente en el tercer nivel de sedimento el valor promedio fue  $102,777.6 \pm 87,558.9$  (n=5).

### 8.3.3 Biomasa

Los valores promedio de biomasa variaron de  $6,314.0 \pm 29,404.8$  a  $0.1 \pm 0.2$  mg C m<sup>-2</sup> en el segundo nivel del sitio Pescadero (I-750) a el sitio Pescadero Sur (I-751) primer nivel, respectivamente-(Tabla 14).



Tabla 14. Valores de biomasa mgC m<sup>-2</sup> (Promedio y desviación estándar) por nivel y hábitat de sustrato blando para cada inmersión. En “negritas” se resaltan los valores registrados más elevados. Los valores no determinados (nd) son aquellos que no fueron obtenidos durante el muestreo.

Cuenca/Hábitat	Inmersión	Réplicas	Nivel/Nivel (cm)		
			1	2	3
			0-1	1.1-5	5.1-10
<b>Alfonso</b>	749	1	3.8 ± 10.8	4.2 ± 14	0.5 ± 1.9
Tapete bacteriano		2	5.5 ± 19.5	2.5 ± 8.0	0.1 ± 0.3
<b>Pescadero</b>	750	1	1,930.7 ±	391.6 ±	nd
Tapete bacteriano, con			8,783.5	1,814.0	
agregación de actinarios y		2	<b>3,816.3 ±</b>	<b>6,314.0 ±</b>	nd
vesicómidos			<b>17,805.3</b>	<b>29,404.8</b>	
		3	54.1 ± 199.5	<b>4,423.6 ±</b>	nd
				<b>20,456.6</b>	
<b>Pescadero Sur</b>	751	1	0.1 ± 0.2	104.6 ±	10.7 ± 34.7
Agregación de actinarios y				490.5	
holoturoideos		2	9.3 ± 43.4	3.0 ± 13.7	nd
		3	3.3 ± 15.0	2,371.9 ±	nd
				11115.9	
<b>Pescadero Falla</b>	756	1	4.9 ± 18.1	8,70.7 ±	0.1 ± 0.6
<b>Transformante</b>				4,083.4	
Escarpia spicata y		2	7.1 ± 32.1	4.1 ± 18.9	284.9 ±
Lamellibrachia barhami					1,336.1
		3	1,158.4 ±	10.1 ± 46.2	2.7 ± 12.7
			5,431.2		
<b>Pescadero</b>	757	1	43.3 ± 170.4	35.1 ± 144.5	0.1 ± 0.2
Agregación de holoturoideos		2	17.1 ± 81.3	7.0 ± 31.7	23.5 ± 109.9
		3	11.0 ± 48.8	206.0 ±	6,897.2 ±
				957.2	32,350.7



Annelida tuvo el mayor aporte de biomasa con  $8.09 \pm 3.53 \text{ mg C m}^{-2}$ , en contraste los Porifera fue el taxón que contribuyó con la menor biomasa con  $0.0006 \pm 0.001 \text{ mg C m}^{-2}$ . La contribución a la biomasa por los componentes taxonómicos del phylum Mollusca se distribuyó de la siguiente manera: Aplacophora con  $62.95 \pm 140.78 \text{ mg C m}^{-2}$ , Gastropoda con  $2.82 \pm 5.94 \text{ mg C m}^{-2}$  y Bivalvia con  $240.67 \pm 534.30 \text{ mg C m}^{-2}$  (fig. 16).

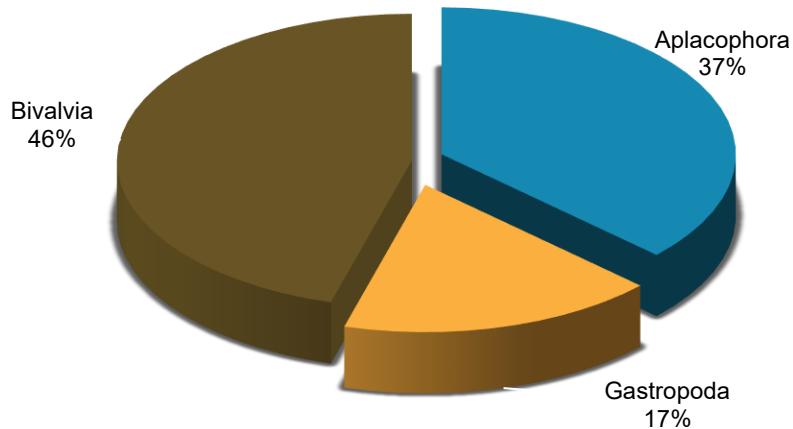


Figura 16. Contribución porcentual a la biomasa por los componentes taxonómicos del phylum Mollusca

La contribución del subphylum Crustacea se distribuyó en: Amphipoda con un  $0.02 \pm 0.04 \text{ mg C m}^{-2}$ , Isopoda con  $0.09 \pm 0.19 \text{ mg C m}^{-2}$ , Tanaidacea con  $0.02 \pm 0.03 \text{ mg C m}^{-2}$ , Ostracoda con  $0.76 \pm 0.59 \text{ mg C m}^{-2}$  y Copepoda con  $0.57 \pm 0.81 \text{ mg C m}^{-2}$  (fig. 17)

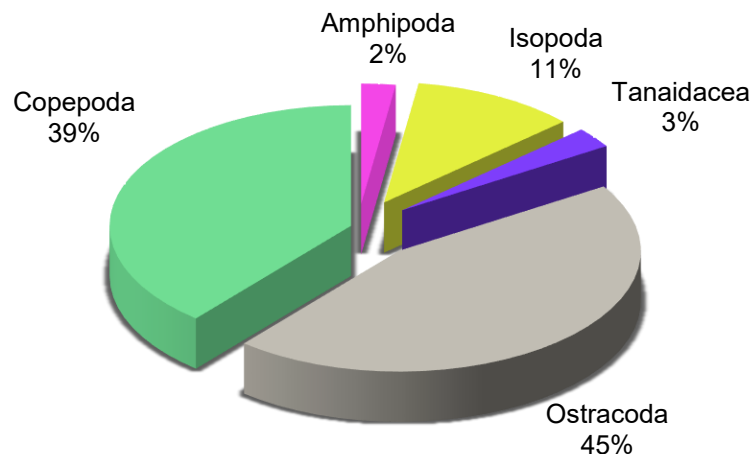


Figura 17. Contribución porcentual a la biomasa por los componentes taxonómicos del subphylum Crustacea



**Biomasa por ecosistema.** – El ecosistema que presentó la mayor biomasa es la planicie abisal inmediata a las ventilas hidrotermales con un promedio de biomasa de  $201,568.5 \pm 171,589$  mg C m<sup>-2</sup> entre los tres hábitats muestreados, Polychaeta contribuyó con el mayor aporte de biomasa ( $193,376.10 \pm 159,264.1$ ), por el contrario, Porifera tuvo el menor aporte a la biomasa ( $0.01 \pm 0.01$ ). El ecosistema de la planicie abisal de la infiltración fría registró una biomasa de  $51,543.9$  mg C m<sup>-2</sup>, donde Polychaeta fue el que aportó la mayor biomasa ( $51,494.5$  mg C m<sup>-2</sup>), mientras que el taxón con la biomasa más baja fue Acari ( $0.2$  mg C m<sup>-2</sup>). Para finalizar, el talud continental registró una biomasa de  $359.2$  mg C m<sup>-2</sup> donde Polychaeta es el taxón con la mayor biomasa ( $166.4$  mg C m<sup>-2</sup>) para este ecosistema, en contraste el taxón con la menor biomasa fue Sipunculidea ( $4.7$  mg C m<sup>-2</sup>) (fig. 18).

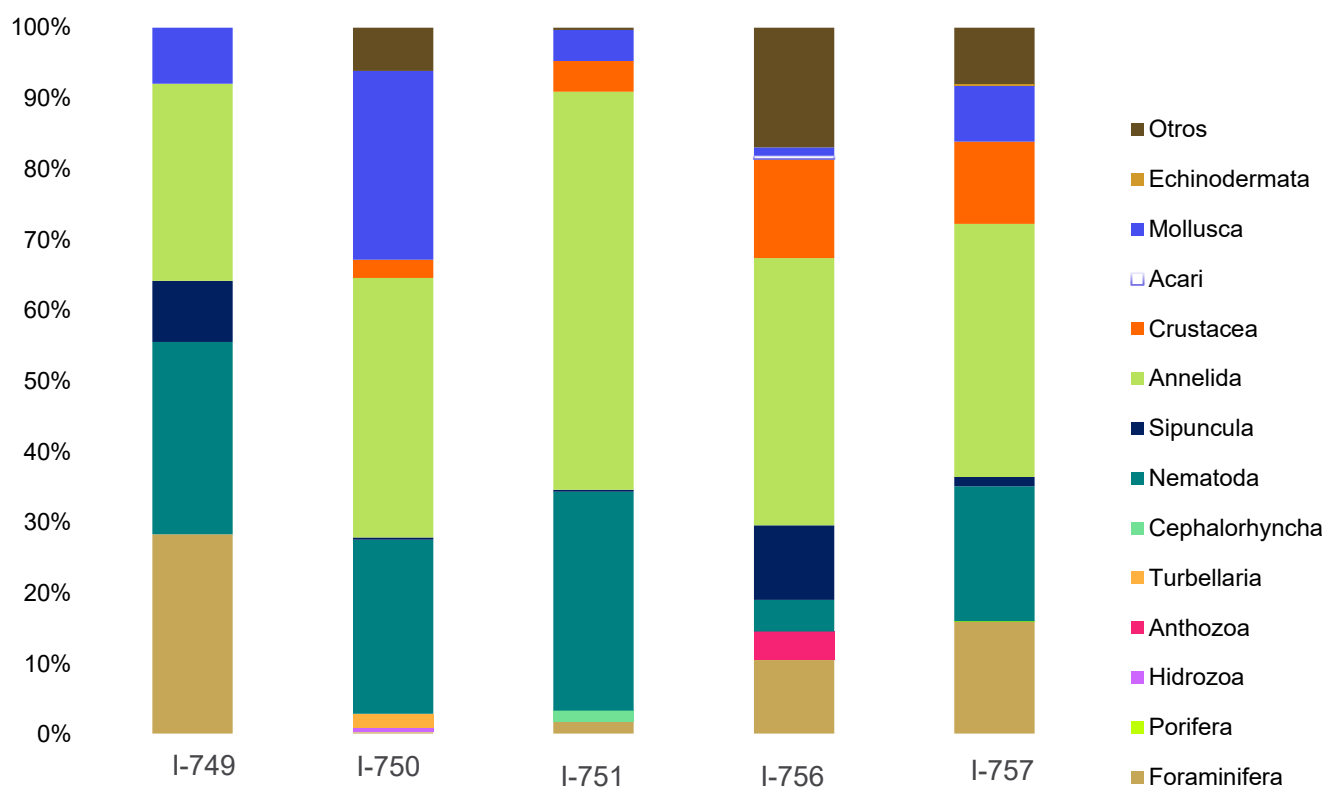


Figura 18. Contribución porcentual a la biomasa por los componentes taxonómicos para cada inmersión (I-749: Cuenca Alfonso; I-750: Cuenca Pescadero 1; I-751: Cuenca Pescadero Sur; I-756: Falla Transformante; I-757: Cuenca Pescadero 2).

**Biomasa por hábitat y nivel del sedimento.** – Dentro del ecosistema de la planicie abisal cercana a ventilas hidrotermales, se encuentran los tres hábitats que presentaron el mayor aporte a la biomasa:





Sustrato blando con tapete bacteriano y agregación de actinarios y vesicómidos (I-750) contribuyó con una biomasa de 373,382.8 mg C m<sup>-2</sup>, de los cuales el 60% resultó estar en el segundo nivel de sedimento, el taxón más abundante en el hábitat fue Polychaeta con 367,255.5 mg C m<sup>-2</sup> representando el 98% del total de biomasa. El segundo hábitat sustrato blando con agregación de holoturoideos (I-757) contribuyó con una biomasa de 159,296.7 mg C m<sup>-2</sup>, de este aporte, el 98% fue encontrado en el tercer nivel de sedimento, siendo Polychaeta el taxón con la mayor biomasa. El hábitat sustrato blando con agregación de actinarios y holoturoideos (I-751) fue el tercer hábitat con el mayor aporte de biomasa (55,065.5 mg C m<sup>-2</sup>), se registró el 95% del total de biomasa en el tercer nivel de sedimento, el taxón con la mayor contribución fue Polychaeta con el 99 % del total de la biomasa.

El hábitat sustrato blando inmediato a *Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami* obtuvo una biomasa total de 51,543.9 mg C m<sup>-2</sup>. El hábitat con el menor aporte fue sustrato blando con tapete bacteriano, obtuvo una biomasa total de 359.2 mg C m<sup>-2</sup> (fig. 19). Estadísticamente se encontró que no existe diferencia significativa entre cada uno de los niveles de sedimento de los diferentes hábitats (ANOVA, p>0.05).

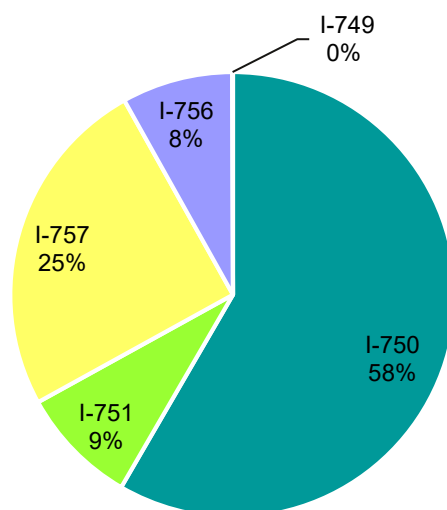


Figura 19. Relación del aporte de la biomasa por hábitat. I-749: tapete microbiano; I-750: tapete microbiano con actinarios y vesicómidos; I-751: Agregación de actinarios y holoturoideos; I-757: Asociación de vesicómidos y actinarios; I-756: Asociación de gusanos de tubo.



**Biomasa por nivel del sedimento.** - El primer y segundo nivel de sedimento presentaron constantemente la mayor cantidad de biomasa. Sin embargo, fue en el tercer nivel del hábitat: Tapete microbiano con agregación de actinarias y vesicómidos donde se presentó la mayor biomasa registrada ( $152,257.1 \text{ mg C m}^{-2}$ ).

De la obtención de promedios, se registró que el nivel con la mayor contribución a la biomasa total fue el nivel dos, contribuyendo con el 53%, seguido de este el tercer nivel contribuyó con el 29% y el primer nivel con el 18%.

El hábitat de sustrato blando con tapete bacteriano (I-749) y sustrato blando inmediato a *Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami* (I-756) almacenaron la mayor biomasa en su primer nivel, el hábitat sustrato blando con tapete bacteriano y agregación de actinarios y vesicómidos (I-750) y sustrato blando con agregación de actinarios y holoturoideos (I-751) de las planicies cercanas a las ventilas hidrotermales, presentaron el mayor almacenaje de biomasa en el segundo nivel de sedimento. Mientras que en este mismo ecosistema el hábitat de sustrato blando con agregación de holoturoideos (I-757) tuvo el mayor aporte de biomasa en su tercer nivel (fig. 20).

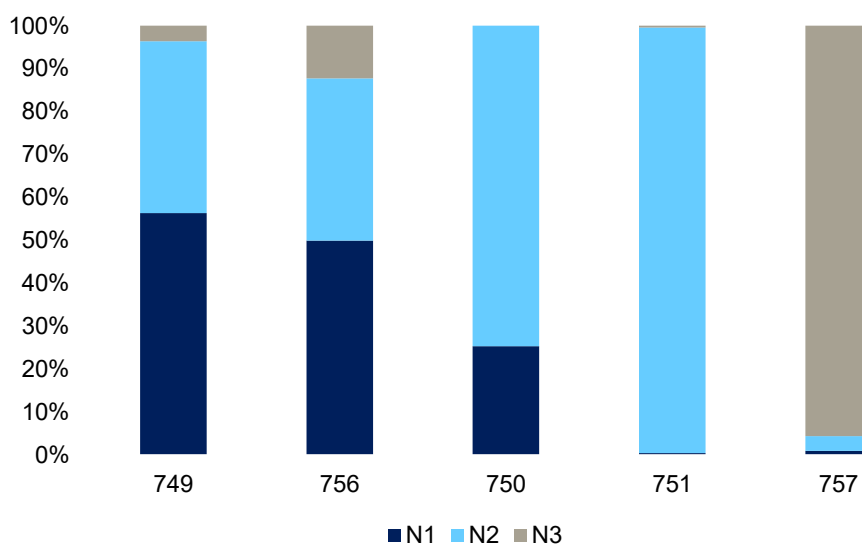


Figura 20. Representación en percentiles de los valores de biomasa en  $\text{mg C m}^{-2}$  de cada nivel de sedimento por hábitat muestreado.



## 9. Discusión

### 9.1 Hábitats en los ecosistemas

En la cuenca Alfonso, los fondos blandos del talud continental mostraron parches de tapetes bacterianos bien definidos y concentraciones de oxígeno bajas comparadas con las registradas por otros autores (Levin, 2003; Levin *et al.*, 1991; Levin & Gage, 1998). Estos resultados pueden deberse a la localización del muestreo, ya que al ser una zona batial perteneciente al talud continental superior del sur del golfo de California, el aporte de la materia orgánica es mayor (Zamorano *et al.*, 2014a); otra característica de los sedimentos de esta región es la existencia de tapetes bacterianos de los géneros *Thioploca*, *Beggiatoa* y *Thiomargarita* (Levin, 2003).

En la cuenca Pescadero Falla Transformante, *Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami*, son los organismos que predominan como especie fundadora del hábitat, concordando con el trabajo de Goffredi *et al.* (2017) en el mismo sitio, de igual manera que las asociaciones reportadas en este estudio, tales como agregaciones de vesicómidos y poliquetos y tapetes bacterianos. Sin embargo, a diferencia de este estudio no se reportan galatéidos, carideos, cangrejos litódidos con anémonas simbiontes, holoturoideos y asteroideos. A comparación con otros sitios donde se presentan infiltraciones frías (Atlántico Norte y golfo de México) el tipo de hábitat (sustrato blando con *Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami*) y las asociaciones (agregaciones de vesicómidos, poliquetos, holoturoideos y asteroideos) descritas en éste trabajo, concuerdan con los registros existentes para dichos sitios, con la diferencia de que en el presente no se reportó el género *Alasya* en las agregaciones de vestimentíferos descritas, así como tampoco estuvieron presentes agregaciones de cinidarios y gasterópodos (Levin, 2005).

En un estudio realizado en el golfo de México se registró que la densidad y presencia de agregaciones de gusanos de tubo en infiltraciones frías están controladas por la dinámica en el flujo de hidrocarburos que cambia con la profundidad, registrando que en profundidades por encima de los <1,000 y por debajo de los >2,500 las densidades son mayores. El sitio de muestreo de este trabajo se encuentra entre los 2,300 y 2,500 m de profundidad por lo que se puede encontrar concordancia en la predominancia del hábitat descrito, para la región.

En contraste con los ecosistemas de ventilas hidrotermales, las infiltraciones frías presentan sustratos blandos en cercanía a la emanación de gases (Levin, 2005), por ello la recolecta de muestras para el estudio de la macrofauna puede realizarse en puntos más cercanos a la actividad quimiosintética.



En la cuenca Pescadero se registró que en los fondos blandos más cercanos a la ventila hidrotermal predominan tapetes bacterianos, agregaciones de vesicómidos y actinarias como especies fundadoras de hábitats, concordando con lo reportado por Portail *et al.* (2015) en la cuenca de Guaymas y Goffredi *et al.* (2017) en la cuenca Pescadero y Alarcón, además de lo registrado en los márgenes de Costa Rica y Perú (Bernardino *et al.*, 2012; Grassle, 1987; Levin *et al.*, 2012, 2000; Portail *et al.*, 2015). Teniendo en cuenta la diferencia geológica de las cuencas, a nivel de hábitat se han encontrado similitudes debido a que las especies que colonizan son endémicas o extremadamente comunes en estos ecosistemas ya que han desarrollado adaptaciones para tolerar los factores fisicoquímicos de los fluidos hidrotermales, a diferencia de otros organismos que concurren únicamente en planicies abisales sin influencia de actividad quimiosintética (Bernardino *et al.*, 2012). En el caso de los hábitats localizados en las inmediaciones de los ecosistemas hidrotermales se presentaron diferencias en la composición taxonómica de organismos fundadores y sus asociaciones, en I-751 e I-757 se registró una dominancia de holoturoideos y actinarios, así como asociaciones de corales del orden Pennatulacea, los cuales han sido reportados en estudios anteriores (Gollner *et al.*, 2015; Grassle, 1987; Levin *et al.*, 2000) como taxones asociados a sistemas hidrotermales que concurren en las planicies abisales inmediatas.

En contraste con estas similitudes, se pudieron identificar diferencias en la cobertura y distribución de los organismos fundadores del hábitat y sus asociaciones. Estas diferencias se pueden atribuir a que diferentes factores son los que influyen en el área, tal como lo es la profundidad de la cuenca Pescadero, a la que son encontrados los ambientes sustentados en quimiosíntesis, y el origen carbonatado del lugar (Canet *et al.*, 2013). Además, se ha reportado que los fluidos ricos en sulfuros, amonio y metano tienen una influencia directa sobre la distribución, composición y densidad de las especies fundadoras. Bernardino *et al.* (2012) propone un modelo teórico para explicar lo anterior, planteando que la densidad de las especies fundadoras incrementa o disminuye a lo largo del gradiente establecido por la influencia del fluido hidrotermal, de manera que las densidades más altas se encuentran en donde el flujo es intermedio, mientras que a concentraciones bajas del fluido la colonización de especies es la suma de aquellas que habitan las planicies abisales típicas y aquellas comunes de ventilas hidrotermales, así mismo en las concentraciones altas del fluido colonizan únicamente especies tolerantes a este, aumentando el grado de endemismo.



De los ecosistemas descritos se puede notar diferencia en la conformación y complejidad entre los hábitats sin influencia de actividad quimiosintética y aquellos con dicha influencia. Kiel (2016) menciona que el golfo de California posee una gran riqueza en las planicies abisales y ambientes quimiosintéticos, debido a la característica particular de tener diferentes ecosistemas en un espacio reducido. Hasta el momento pocos autores (Zamorano *et al.*, 2014) han descrito los hábitats encontrados en planicies abisales cercanas a ecosistemas sustentados en quimiosíntesis, en este trabajo se ha encontrado que los hábitats I-750, I-751, I-756 e I-757 tienen las características de aquellos que se encuentran en concentraciones bajas a intermedias en el gradiente del flujo de fluidos quimiosintéticos (Bernardino *et al.*, 2012; Portail *et al.*, 2015; Zamorano *et al.*, 2014b). De acuerdo con Ray & Hayden (1992), aquellos lugares que se encuentran entre dos ecosistemas diferentes y mezclan características de ambos, son definidos como ecotonos, cuya característica emergente es la productividad y complejidad elevada.

## 9.2 Comunidad macrofaunal

### 9.2.1 Composición y riqueza taxonómica

La presencia de la ZOM que atraviesa las localidades muestreadas coincide con estudios previos (Hendrickx y Serrano, 2010) donde la macrofauna se conforma de poliquetos aplacóforos, peracáridos, quetognatos y equinodermos (Levin, 1991). En este estudio se presentaron otros taxones (Nematoda, Copepoda, Ostracoda y Kynorhyncha) que por su talla (>0.250 mm) y debido a que la región se caracteriza por un alto aporte de alimento *in situ* y a partir del depósito de materia orgánica generada en la superficie (Levin *et al.*, 1991; Nava-Sánchez *et al.*, 2001), fueron considerados como parte de la macrofauna, a diferencia de otros estudios que los consideran parte de la meiofauna (Giere, 2009; Gómez & Morales-Serna, 2012; Snelgrove *et al.*, 2014; Traunspurger & Majdi, 2017). En estudios de macrofauna batial en zonas hipóxicas (Levin, 2003; Levin *et al.*, 2010, 1991; Levin & Gage, 1998), ventilas hidrotermales e infiltraciones frías (Levin, 2005; Levin *et al.*, 2010, 2009; Portail *et al.*, 2015) se han registrado los taxones Nematoda, Copepoda, Bivalvia, Gastropoda, Kinorhyncha y Ostracada, como domominantes. De acuerdo con Portail (2015) y Kiel (2016) las tallas de la infauna y su riqueza taxonómica aumentan en hábitats cuya producción primaria es elevada y ocurren en proximidad diferentes ecosistemas basados en quimiosíntesis. En el presente estudio los hábitats I-749, I-750, I-



751 e I-756 presentaron tapetes bacterianos, mientras que I-757 a pesar de no presentar densas comunidades bacterianas, tiene características de ser un hábitat con influencia hidrotermal.

Por otro lado, en este estudio, del total de taxones reportados para sistemas basados en quimiosíntesis el 50% son compartidos entre las planicies abisales aledañas a ventilas hidrotermales y la cercana a la infiltración fría. Portail *et al.* (2015) reporta que existe una similitud del 85% en la composición de la macrofauna entre ventilas hidrotermales e infiltraciones frías, a niveles taxonómicos de familia, y disminuye conforme al grado de especificidad. Esta similitud de taxones compartidos se explica por la coexistencia en proximidad donde el grado de endemismo en las ventilas hidrotermales e infiltraciones frías aumenta proporcionalmente con la profundidad, como es el caso en la cuenca Pescadero (Kiel, 2016). La riqueza taxonómica no se redujo como se esperaría por las condiciones reducidas, con excepción de la cuenca Alfonso.

De acuerdo con los resultados en los tres niveles de sedimento, se encontró que en el primer nivel la mayoría de los taxones estuvieron presentes, teniendo así la mayor riqueza taxonómica. Este resultado concuerda con lo reportado en estudios anteriores (Danovaro *et al.*, 2008; Levin *et al.*, 1991) donde además los taxones más frecuentes son Nematoda, Copepoda y Polychaeta. Así mismo, al igual que en este estudio, registraron que la riqueza taxonómica decrece conforme a la profundidad hacia el interior del sedimento, al igual que existe una diferencia en la composición taxonómica. En este estudio se encontró que Bivalvia, Polychaeta, Oligochaeta y Nematoda, frecuentemente se presentaron en el nivel más profundo del sedimento, mientras que Copepoda que resultó dominante en los niveles más superficiales estuvo ausente. Este resultado concuerda con Cabrera-Peralta (2019), quien reporta la distribución y composición taxonómica vertical en la planicie abisal del golfo de México. A pesar de la diferencia geológica entre el sitio de estudio y el comparado, se ha reportado que la macrofauna sigue un patrón general de distribución en los fondos blandos (Bernardino *et al.*, 2012; Levin *et al.*, 1991). El cambio en la composición taxonómica se debe a las características fisiológicas y de comportamiento de cada taxón. Se ha registrado que los copépodos son sensibles a la concentración de oxígeno que hay en el sedimento, dada su elevada tasa de respiración, necesitan concentraciones elevadas, las cuales son inexistentes en los niveles más profundos (Rivera Sánchez, 2017). En cuanto a comportamiento, los anélidos y bivalvos tienden a construir galerías hacia el interior



del sedimento superficial lo cual les permite establecerse en los niveles profundos (Cabrera Peralta, 2019).

### 9.2.2 Abundancia y densidad

En este estudio se obtuvieron como taxones dominantes y con mayor abundancia: Nematoda, Polychaeta, Bivalvia y Copepoda, de forma similar a la comunidad de la macrofauna de la cuenca de Guaymas (Portail *et al.*, 2015), donde se reportan los taxones: Polychaeta, Bivalvia y Gastropoda, lo cual contrasta con la composición de este tipo de comunidad en otras regiones y ecosistemas (e. g. en Levin *et al.*, 1991).

A nivel hábitat los resultados obtenidos, en cuanto a densidad de organismos, concuerdan con algunos datos registrados para ecosistemas y hábitats similares, sin embargo, otros parecen ser contrastantes (Tabla 15). La mayor densidad registrada en el hábitat de sustrato blando con tapete bacteriano en el talud continental ( $324,324 \text{ ind m}^{-2}$ ) tiene un orden de magnitud mayor a lo que se había reportado anteriormente para este mismo ecosistema ( $13,993 \text{ ind m}^{-2}$ ; Levin *et al.*, 2010) esto puede deberse a diversos factores, como el aporte de materia orgánica característico de la región, la profundidad a la que se encuentra y la ZOM que atraviesa, la cual eleva la productividad primaria y se refleja en la actividad bacteriana que caracteriza el hábitat (Levin *et al.*, 1991).

El estudio de Portail *et al.* (2015), registró una similitud entre infiltraciones frías y ventilas hidrotermales debido a que son ecosistemas con un aporte de alimento constante generado por sus propios productores primarios, debido a esto se ha observado que en términos de abundancia y densidad de macrofauna sus valores son similares, este estudio sustenta este patrón, lo cual contrasta con los ecosistemas sin influencia quimiosintética en donde se disminuyen drásticamente estos valores (Levin *et al.*, 2009, 2000).

Además del factor alimenticio, la profundidad es un factor importante en la densidad de las comunidades (Goffredi *et al.*, 2017; Kiel, 2016; Portail *et al.*, 2015; Levin *et al.*, 2000, 1991) la cual tiende a decrecer conforme al aumento de profundidad. Entre los sitios de ambos estudios existen diferencias en las profundidades de las cuencas y el tiempo evolutivo de formación de los ecosistemas, siendo la cuenca de Guaymas más somera y relativamente más joven, que la cuenca Alfonso y



Pescadero, en cuanto al origen geológico (Calmus, 2010; Calmus *et al.*, 2017). Además, la cuenca Alfonso pertenece a una zona batial, mientras que la cuenca Pescadero pertenece a una zona abisal.

Tabla 15. Comparación de las densidades por profundidad, ecosistema y hábitat de sustrato blando en diferentes regiones del Pacífico norte

<i>Región</i>	<i>Profundidad (m)</i>	<i>Ecosistema/Hábitat</i>	<i>Densidad reportada en la literatura (ind m<sup>-2</sup>)</i>	<i>Autor y año</i>
Cuenca de Guaymas, golfo de California	1,900	Ventilas hidrotermales	710 – 94,400	Portail, 2015
	1,550	Infiltración fría	880 – 25,000	Portail, 2015
	1,500	Planicie abisal	570	Portail, 2015
Pacífico Norte, Middle Valley	2,406	Ventilas hidrotermales/ tapete bacteriano	8,191	Levin, 2009
	2,410	Ventilas hidrotermales/ agregación de almejas	19,984	Levin, 2009
Margen de California	500	Infiltración de metano/ agregación de almejas	12,518	Levin, 2000
	500	Inmediaciones con infiltración fría	13,860	Levin, 2010
	500	Talud continental/ Zona batial	13,993	Levin, 2010





Cuenca Alfonso, golfo de California	410	Talud continental/ Tapete bacteriano	324,324	Presente estudio
Falla Transformante Pescadero, golfo de California	2,392	Planicie abisal (infiltración fría) / <i>Escarpia spicata</i> y <i>Lamellibrachia barhami</i>	14,207	Presente estudio
Cuenca Pescadero, golfo de California	2,886	Planicie abisal (ventila hidrotermal) / Agregación de actinarios y holoturoideos	7,969	Presente estudio
	3,632	Planicie abisal (ventila hidrotermal) / Agregación de holoturoideos	37,812	Presente estudio
	3681	Planicie abisal (ventila hidrotermal) / Tapete bacteriano con agregación de actinarios y vesicómidos	83,680	Presente estudio

En el análisis de microescala, la mayor densidad de organismos, al igual que en otros estudios (Jensen *et al.*, 1992; Levin *et al.*, 1991) ocurrió en el primer nivel de sedimento superficial, lo cual se asocia a un mayor recambio de oxígeno por el contacto con la masa de agua y propia bioturbación (Lázaro, 2011). Nematoda mostró ser un taxón tolerante a bajas concentraciones de oxígeno y a condiciones quimiosintéticas, presentando la mayor abundancia por ecosistema, hábitat y estrato de sedimento.



Sin embargo, algo a notar es el patrón de distribución del taxón Copepoda cuya abundancia parece estar controlada por el oxígeno, teniendo una ausencia en el talud continental (zona de hipoxia) y una mayor abundancia en el primer nivel de sedimento en los demás ecosistemas, presentando incluso una mayor abundancia que el taxón Nematoda en I-756 e I-757, dichos resultados concuerdan con lo establecido por Levin *et al.* (1991).

### 9.2.3 Biomasa

Diversos autores (Levin *et al.*, 2009, 2000) reportan que el aporte de carbono en el ecosistema, por parte de la macrofauna, es mayormente representado por los taxones: Annelida (Polychaeta y Oligochaeta), Mollusca (Bivalvia y Aplacophora) y Crustacea (Copepoda y Ostracoda). En este estudio uno de los taxones con mayor biomasa fue Nematoda en conjunto con Annelida y Mollusca. Como se ha mencionado, Nematoda es un grupo típico de la comunidad de infauna, pero con base en su talla se consideró como macrofauna, más aún su aporte en biomasa resultó significativamente elevado en contraste con otros grupos propios de la macrofauna (e.g. Crustacea y Asteroidea). Este estudio propone incluir a este tipo de taxones que por clasificación de infauna *sensu lato* juegan un papel relevante en la comunidad de la macrofauna desde el punto de vista del reciclamiento de la materia orgánica.

En cuanto a los valores de biomasa registrados en este estudio se encuentran similitudes con los trabajos en el Pacífico noreste (Levin *et al.*, 2009; Tabla 16). El estudio de Levin *et al.* (2000) reconoció que existen diferencias entre los ecosistemas quimiosintéticamente activos y los inactivos; concordando con los de este estudio, por ecosistemas, se puede reconocer que el mayor aporte de biomasa se genera en los que tienen influencia de actividad quimiosintética, mientras que en el talud continental que no tiene dicha influencia, tiene el menor valor de biomasa. Esto se puede explicar mediante el aporte de alimento *in situ* de la región, que como se ha mencionado anteriormente es mayor en los ecosistemas con actividad quimiosintética, generando que el peso corporal y la talla de los organismos sea mayor (Boschen *et al.*, 2013; Levin *et al.*, 1991). Además, la composición y riqueza taxonómica podrían también estar jugando un papel importante en la biomasa, en la presente investigación el talud continental presentó una dominancia del taxón Nematoda (mayor al 90% de



abundancia), cuyo peso corporal es menor al de otros taxones (Aplacophora y Polychaeta) encontrados en las planicies abisales afectadas por la quimiosíntesis (Hernández, 2005).

Tabla 16. Comparación de los valores promedios de biomasa ( $\text{mgC m}^{-2}$ ), por profundidad, ecosistema y hábitat de sustrato blando en diferentes regiones del Pacífico norte.

Región	Profundidad (m)	Ecosistema/Hábitat	Biomasa reportada en la literatura ( $\text{mgC m}^{-2}$ )	Autor y año
Margen de California	500	Infiltración de fría/ cama de almejas	24,000	Levin, 2000
Pacífico Norte, Middle Valley	2406	Ventilas hidrotermales/ tapete bacteriano	4,227	Levin, 2009
	2410	Ventilas hidrotermales/ cama de almejas	4,456	Levin, 2009
Cuenca Alfonso, golfo de California	410	Talud continental/ Tapete bacteriano	359	Presente estudio
Falla Transformante Pescadero, golfo de California	2,392	Planicie abisal (infiltración fría) / <i>Escarpia spicata</i> y <i>Lamellibrachia barhami</i>	51,544	Presente estudio
	2,886	Planicie abisal (ventila hidrotermal) /Agregación de	55,065	Presente estudio



Cuenca		actinarios y		
Pescadero, golfo de California		holoturoideos		
	3,632	Planicie abisal (ventila hidrotermal) / Agregación de holoturoideos	159,297	Presente estudio
	3681	Planicie abisal (ventila hidrotermal) / Tapete bacteriano con agregación de actinarios y vesicómidos	373,372	Presente estudio

A nivel de hábitats y niveles de sedimento, a pesar de que no se observaron diferencias estadísticas en los valores de biomasa entre los niveles de sedimento por hábitat, se observó un leve incremento en los primeros dos niveles superficiales, debido a que en estos se reporta la mayor abundancia de organismos. Este patrón es consistente con lo reportado por otros autores (Jensen *et al.*, 1992; Levin *et al.*, 2009; Ohara *et al.*, 2012; Sahling *et al.*, 2002). Sin embargo, el no obtener una diferencia significativa se debe a que los taxones Bivalvia, Aplacophora y Polychaeta contribuyeron mayoritariamente a la biomasa y se presentaron en el estrato más profundo de sedimento debido a que forman galerías. Mismo caso es reportado también en el estudio realizado por Flach y Heip (1996) y Cabrera-Peralta (2019) que encontraron organismos de mayor peso y talla en los niveles profundos del sedimento superficial.

## 10. Conclusiones

Retomando la hipótesis planteada para este estudio, se confirma que existe una diferenciación de la estructura comunitaria de la macrofauna entre ecosistemas basados en quimiosíntesis con aquellos cuya fuente de energía es externa, es decir aquellos sin influencia quimiosintética. A nivel de hábitats



por niveles de sedimento superficial, existe también una diferenciación en la composición y riqueza taxonómica y en la abundancia y densidad de la comunidad. Sin embargo, entre los dos ecosistemas con actividad quimiosintética (planicies abisales de ventilas hidrotermales e infiltraciones frías), esta diferencia no fue estadísticamente probada. Se concluye que esto se debe al nivel taxonómico analizado en este estudio, y se sugiere un análisis a nivel especie para sustentar este patrón. A continuación, se presentan conclusiones de cada punto tratado en este estudio:

## I. Reconocimiento de hábitats

- a) El talud continental superior de la cuenca Alfonso es un sitio influenciado por la ZOM que atraviesa el sur del golfo de California, presentando tapetes bacterianos como evidencia de ser una zona hipóxica.
- b) El análisis de videos en las diferentes inmersiones resultó en la identificación de una elevada diversidad de hábitats y asociaciones en ecosistemas afectados por quimiosíntesis, en contraste con el fondo blando del talud continental.
- c) Entre las planicies abisales de ventilas hidrotermales e infiltraciones frías se observó que aquellas cercanas a ventilas hidrotermales presentan un mayor número de asociaciones.

## II. Composición y riqueza taxonómica

- a) Los taxones: Nematoda, Polychaeta, Bivalvia y Foraminifera estuvieron presentes en todos los hábitats. En contraste Copepoda mostró estar presente únicamente en los ecosistemas afectados por quimiosíntesis; Amphipoda, Acari y Chaetognatha se presentaron exclusivamente en el hábitat de sustrato blando inmediato a *Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami* (I-756); Porifera y Asteroidea en el sustrato blando con agregación de holoturoideos (I-757); *Euphysa* sp., Aplacophora y Platyhelminthes en el sustrato blando con tapete bacteriano y agregación de actinarios y vesicómidos (I-750)
- b) De los resultados obtenidos se puede reconocer que la riqueza taxonómica incrementa con el número de muestras revisadas y suma del área por ello, los sitios reconocidos como



ecotonos registraron una mayor riqueza taxonómica, resultado de la mezcla entre grupos representativos de ecosistemas con y sin influencia quimiosintética.

- c) La mayor riqueza taxonómica la sustenta la cuenca Pescadero, en el hábitat de sustrato blando con sustrato blando con agregación de holoturoideos.
- d) En la microescala, el primer nivel de sedimento alberga la más elevada riqueza taxonómica.

### III. Abundancia y densidad

- a) A diferencia de los fondos típicos de mar profundo, la presente investigación muestra abundancia y densidad elevadas.
- b) El taxón Copepoda es indicador de la concentración baja de oxígeno, teniendo mayor abundancia en los diferentes hábitats de la cuenca Pescadero que en el talud continental de la cuenca Alfonso donde no se registraron representantes.
- c) El taxón Nematoda obtuvo una dominancia en los fondos blandos de la cuenca Alfonso, indicando una posible hipoxia en los sedimentos.
- d) La abundancia y densidad más elevada la sustentó la cuenca Alfonso en el hábitat de sustrato blando con tapete bacteriano.
- e) En la microescala, el primer nivel sustentó la mayor cantidad de organismos en todos los hábitats.

### IV. Biomasa

- a) Los taxones Aplacophora, Polychaeta y Bivalvia son determinantes en la estimación de la biomasa considerando su distribución vertical en el sedimento.
- b) El taxón Polychaeta tiene la mayor contribución a la biomasa por su talla, abundancia y peso corporal.
- c) La mayor contribución de biomasa por parte de la macrofauna fue en la cuenca Pescadero en el hábitat sustrato blando con tapete bacteriano y agregaciones de



actinarios y vesicómidos, siendo este el más cercano al ecosistema de ventilas hidrotermales y el que sustenta la mayor productividad en términos de carbono.

- d) La contribución de biomasa en los ecosistemas con afectación por quimiosíntesis es mayor en comparación con la que no es afectada por dicha influencia, por lo que se puede concluir que la producción de materia orgánica es mayor.

## 11. Referencias

(Formato Deep Sea Research II)

- Aguayo, J.E., Trápaga, R., 1996. Geodinámica de México y Minerales del Mar, 1ª ed. Fondo de Cultura Económica, México.
- Alvarez-Borrego, S., 1983. Gulf of California, in: B.H. Ketchum (Ed.), Estuaries and Enclosed Seas. ELSEVIER, Amsterdam, p. 500.
- Álvarez Borrego, S., Hernández A., J., 2013. Sobre la química y el plancton del golfo de California. Ciencias Mar. 39, 1–2.
- American Museum of Natural History, 2014. Ocean: The visual Guide. Dorling Kindersley, New York, USA.
- Bernardino, A.F., Levin, L.A., Thurber, A.R., Smith, C.R., 2012. Comparative composition, diversity and trophic ecology of sediment macrofauna at vents, seeps and organic falls. PLoS One 7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033515>
- Boschen, R.E., Rowden, A.A., Clark, M.R., Gardner, J.P.A., 2013. Mining of deep-sea seafloor massive sulfides: A review of the deposits, their benthic communities, impacts from mining, regulatory frameworks and management strategies. Ocean Coast. Manag. 84, 54–67. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.07.005>
- Bray, N., Robles, J.M., 1991. Physical Oceanography of the Gulf of California, in: B., Simoneit, P.D. (Ed.), The Gulf and Peninsular Province of the Californias. American Association of Petroleum Geologist, U.S.A, pp. 551–553.
- Brusca C., R., Moore, W., Shuster, S.M., 2016. Invertebrates, 3rd ed. Sinauer Associates, Inc., Massachusetts.
- Cabrera Peralta, S.D., 2019. Distribución vertical de la macrofauna en el sedimento superficial de cuatro localidades en el mar profundo del golfo de México. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Calmus, T., 2010. El Mar de Cortés: un océano incipiente.
- Calmus, T., Búrquez, A., Martínez, A., 2017. El Golfo de California: un océano joven, región megadiversa, vínculo entre tectónica y ecología. Cienc. UANL 59–64.



- Canet, C., Anadón, P., Alfonso, P., Prol-Ledesma, R.M., Villanueva-Estrada, R.E., García-Vallès, M., 2013. Gas-seep related carbonate and barite authigenic mineralization in the northern Gulf of California. *Mar. Pet. Geol.* 43, 147–165. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2013.02.011>
- Cary, S.C., Campbell, B.J., DeLong, E., 2004. Studying the deep subsurface biosphere: emerging technologies and applications, in: Wilcock, W.S., DeLong, E.F., Kelley, D.S., Baross, J.A., Cary, S.C. (Eds.), *The Subseafloor Biosphere at Mid-Ocean Ridges*. American Geophysical Union, pp. 383–399.
- Castro, R., Lavín, M.F., Ripa, P., 1994. Seasonal heat balance in the Gulf of California. *J. Geophys. Res.* 99, 3249. <https://doi.org/10.1029/93JC02861>
- CONABIO Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad, The Nature Conservancy Protecting nature, Preserving Life, CONANP Comisión Nacional para las Áreas Naturales Protegidas, Pronatura A.C., 1999. Ficha técnica para la evaluación de los sitios prioritarios para la conservación de los ambientes costeros y oceánicos de México.
- CONANP, C.N. de la Á.N.P., 2012a. Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del área natural protegida con la categoría de Reserva de la Biosfera: Zona marina profunda golfo de California. México, D.F.
- CONANP, C.N. de la Á.N.P., 2012b. Zona marina profunda golfo de California. México.
- CONANP, C.N. de la Á.N.P., 2006. Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Santuario Ventilas Hidrotermales de la Cuenca de Guaymas y de la Dorsal del Pacífico Oriental. México, D.F.
- Cuvelier, D., Legendre, P., Laes, A., Sarradin, P.-M., Sarrazin, J.E., 2014. Rhythms and Community Dynamics of a Hydrothermal Tubeworm Assemblage at Main Endeavour Field-A Multidisciplinary Deep-Sea Observatory Approach. *PLoS One* 9, 96924. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096924>
- Danovaro, R., Gambi, C., Lampadariou, N., Tselepides, A., 2008. Deep-sea nematode biodiversity in the Mediterranean basin: testing for longitudinal , bathymetric and energetic gradients 231–244. <https://doi.org/10.1111/j.2007.0906-7590.05484.x>
- De la Lanza, G., 1991. Oceanografía de mares mexicanos. México.
- Escobar-Briones, E., 2000. La Biodiversidad del mar profundo en México. *Biodiversitas* 29, 1–6.
- Flach, E., Heip, C., 1996. Vertical distribution of macrozoobenthos within the sediment on the continental slope of the Goban Spur area (NE Atlantic). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 141, 55–66. <https://doi.org/10.3354/meps141055>
- Fouquet, Y., Auclair, G., Cambon, P., Etoubleau, J., 1988. Geological setting and mineralogical and geochemical investigations on sulfide deposits near 13 N on the East Pacific Rise. *Mar. Geol.* 84, 145–178.
- Giere, O., 2009. *Meiobenthology The microscopic Motile Fauna of Aquatic Sediments*, 2nd ed. Hamburg





---

Alemania.

- Giere, O., 1993. *Meiobenthology: The microscopic fauna in aquatic sediments*, Springer Berlin.
- Goffredi, S.K., Johnson, S., Tunnicliffe, V., Caress, D., Clague, D., Escobar, E., Lundsten, L., Paduan, J.B., Rouse, G., Salcedo, D.L., Soto, L.A., Spelz-Madero, R., Zierenberg, R., Vrijenhoek, R., 2017. Hydrothermal vent fields discovered in the southern Gulf of California clarify role of habitat in augmenting regional diversity. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 284, 20170817. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.0817>
- Gollner, S., Govenar, B., Fisher, C.R., Bright, M., 2015. Size matters at deep-sea hydrothermal vents: Different diversity and habitat fidelity patterns of meio- and macrofauna. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 520. <https://doi.org/10.3354/meps11078>
- Gómez, S., Morales-Serna, F.N., 2012. Meiofauna de mar profundo del golfo de California: algunos aspectos acerca de la distribución y abundancia de Copepoda, in: Zamorano, P., Hendrickx, M.E., Caso, M. (Eds.), *Biodiversidad y Comunidades Del Talud Continental Del Pacífico Mexicano*. Instituto Nacional de Ecología, Ciudad de México, pp. 123–144.
- Gooday, A.J., Rathburn, A.E., 1999. Temporal variability in living deep-sea benthic foraminifera: a review, Gooday, A.E. *Rathburn Earth-Science Reviews*.
- Granado, L., 2000. *Ecología de comunidades: El paradigma de los peces de agua dulce*, Springer Berlin. Universidad de Sevilla, España.
- Hakspiel-Segura, C., Martínez-López, A., Escobedo-Urías, D., Verdugo-Díaz, G., Yuri, A., Ozono, C., 2015. Variación temporal del trazador N\*, implicaciones sobre la biogeoquímica del nitrógeno en la Cuenca Alfonso, Golfo de California, México. *Hidrobiológica* 25, 293–301.
- Häntzschel, W., 1962. Trace fossils and problematic, in: Moore, R.C. (Ed.), *Treatise on Invertebrate Paleontology*. Geological Society of America and University of Kansas Press, New York, pp. 177–245.
- Hendrickx, M.E., 2012. Operaciones oceanográficas en aguas profundas: los retos del pasado, del presente y del proyecto TALUD en el Pacífico mexicano (1989-2009). *Biodivers. y comunidades del talud Cont. del Pacífico Mex.* 23–104.
- Hoagland, P., Beaulieu, S., Tivey, M.A., Eggert, R.G., German, C., Glowka, L., Lin, J., 2010. Deep-sea mining of seafloor massive sulfides. *Mar. Policy* 34, 728–732. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2009.12.001>
- Husson, B., Sarradin, P.-M., Zeppilli, D., Sarrazin, J., 2017. Picturing thermal niches and biomass of hydrothermal vent species. *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.* 137, 6–25. <https://doi.org/10.1016/J.DSR2.2016.05.028>
- InterRidge, 2009. InterRidge statement of commitment to responsible research practices at deep-sea hydrothermal vents [WWW Document]. URL <http://www.interridge.org/IRStatement> (accessed 10.11.17).



- Jensen, A.C., 2013. Abyssal plain. Salem Press Encycl. Sci.
- Jiménez, A., Marinone, S.G., Páres-Sierra, A., 2005. Efecto de la variabilidad espacial y temporal del viento sobre la circulación en el golfo de California. *Ciencias Mar.* 1, 357–368.
- Kallmeyer, J., 2017. Life at Vents and Seeps.
- Karson A., J., Kelley S., D., Fornari J., D., Perfit R., M., Shank M., T., 2015. Discovering the deep: A Photographic Atlas of the Seafloor and Ocean Crust, in: *Discovering the Deep: A Photographic Atlas of the Seafloor and Ocean Crust.* Cambridge University, p. 527.
- Kelley, D., Früh-Green, G., Karson, J., Ludwig, K., 2007. The Lost City Hydrothermal Field Revisited. *Oceanography* 20, 90–99. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2007.09>
- Kelley, D.S., 2005. A Serpentinite-Hosted Ecosystem: The Lost City Hydrothermal Field. *Science* (80-. ). 307, 1428–1434. <https://doi.org/10.1126/science.1102556>
- Khripounoff, A., Desbruyères, D., Chardy, P., 1980. Les peuplements benthiques de la faille VEMA: Données quantitatives et bilan d'énergie en milieu abyssal. *Océanologica Acta* 3, 187–198.
- Kiel, S., 2016. A biogeographic network reveals evolutionary links between deep-sea hydrothermal vents and methane seep fauna. *R. Soc.* 283, 1–9.
- Kröncke, I., Bergfeld, C., 2003. North Sea Benthos : a Review. *Senckenbergiana maritima* 205–268.
- Lara-Lara, J., 2008. Los ecosistemas marinos. *Cap. Nat. México I*, 135–159.
- Lara Lara, R., Arenas F, V., Bazán G, C., Díaz C, V., Escobar B, E., García A, M., Gaxiola C, G., Robles J, G., Sosa A, R., Soto G, L., Tapia G, M., Valdéz H, E., 2008. Los ecosistemas marinos, in: *Capital Natural de México Vol 1: Conocimiento Actual de La Biodiversidad.* CONABIO, México, pp. 135–159.
- Lavin, M.F., Beier, E., Badam, A., 1997. Estructura hidrográfica y circulación del golfo de California: escalas estacional e interanual., in: M.F., L. (Ed.), *Contribuciones a La Oceanografía Física En México.* Unión Geofísica Mexicana, pp. 141–171.
- Lázaro, C.S., 2011. La macrofauna del fondo marino. *Rev. Eubacteria* 26, 1–3.
- Levin, L. a., Orphan, V.J., Rouse, G.W., Rathburn, A.E., Ussler, W., Cook, G.S., Goffredi, S.K., Perez, E.M., Waren, A., Grupe, B.M., Chadwick, G., Strickrott, B., 2012. A hydrothermal seep on the Costa Rica margin: middle ground in a continuum of reducing ecosystems. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 279, 2580–2588. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.0205>
- Levin, L.A., 2005. Ecology of cold seep sediments: Interactions of fauna with flow chemistry and microbes, in: Gibson, R.N., Atkinson A., R.J., Gordon M., J.D. (Eds.), *Oceanography and Marine Biology An Annual Review.* CRC Press, p. 600.
- Levin, L.A., 2003. Oxygen minimum zone benthos: Adaptations and community response to hypoxia. *Oceanogr.*



- Mar. Biol. Annu. Rev. 41, 1–45.
- Levin, L.A., Gage, J.D., 1998. Relationships between oxygen, organic matter and the diversity of bathyal macrofauna. *Deep. Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.* 45, 129–163. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(97\)00085-4](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(97)00085-4)
- Levin, L.A., Huggett, C.L., Wishner, K.F., 1991. Control of deep-sea benthic community structure by oxygen and organic-matter gradients in the eastern Pacific Ocean. *J. Mar. Res.* 49, 763–800. <https://doi.org/10.1357/002224091784995756>
- Levin, L.A., Mendoza, G.F., Gonzalez, J.P., Thurber, A.R., Cordes, E.E., 2010. Diversity of bathyal macrofauna on the northeastern Pacific margin: The influence of methane seeps and oxygen minimum zones. *Mar. Ecol.* 31, 94–110. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2009.00335.x>
- Lonsdale, P.F., 1977. Clustering of suspension-feeding macrobenthos near abyssal hydrothermal vents at oceanic spreading centers. *Deep. Res.* 24, 857–863.
- Lonsdale, P.F., Bischoff, J.L., Burns, V.M., Kastner, M., Sweeney, R.E., 1980. A high temperature hydrothermal deposit on the seabed at a Gulf of California spreading center. *Earth Planet* 8–20.
- MacDonald, I.R., Sager, W.W., Peccini, M.B., 2003. Gas hydrate and chemosynthetic biota in mounded bathymetry at mid-slope hydrocarbon seeps: Northern Gulf of Mexico, in: *Marine Geology*. Elsevier B.V., pp. 133–158. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(03\)00098-7](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(03)00098-7)
- Martin, W., Baross, J., Kelley, D., Russell, M.J., 2008. Hydrothermal vents and the origin of life. *Nat. Rev. Microbiol.* 6. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1991>
- Mejia Mercado, B., Hinojosa Corona, A., Hendrickx, M.E., 2014. *Explorando el mar profundo del Golfo de California 2008-2014*.
- Michel, A., Wankel, S., Beaulieu, S., Soule, S.A., Mullineaux, L., Coleman, D., Escobar-Briones, E.G., Gaytán Caballero, A., McDermott, J., Mills, S., Speth, D., Zierenberg, R.A., 2018. Biogeochemical Exploration of the Pescadero Basin Vents. *Oceanography* 42–43.
- Monreal-Gómez, M., Molina-Cruz, A., Salas-de-León, D., 2001. Water masses and cyclonic circulation in Bay of La Paz, Gulf of California, during June 1998. *J. Mar. Syst.* 30, 305–315. [https://doi.org/10.1016/S0924-7963\(01\)00064-1](https://doi.org/10.1016/S0924-7963(01)00064-1)
- Nava-Sánchez, E.H., Gorsline, D.S., Molina-Cruz, A., 2001. The Baja California peninsula borderland: structural and sedimentological characteristics. *Sediment. Geol.* 144, 63–82. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(01\)00135-X](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(01)00135-X)
- Nicholls, A.G., 1935. Copepods from the interstitial fauna of a sandy beach. *J. Mar. Biol. Assoc. United Kingdom* 20, 379–405.



- Ohara, Y., Reagan, M.K., Fujikura, K., Watanabe, H., Michibayashi, K., Ishii, T., Stern, R.J., Pujana, I., Martinez, F., Girard, G., Ribeiro, J., Brounce, M., Komori, N., Kino, M., 2012. A serpentinite-hosted ecosystem in the Southern Mariana Forearc. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 109, 2831–2835. <https://doi.org/10.1073/pnas.1112005109>
- Paduan, J.B., Clague, D.A., Caress, D.W., Lundsten, L., Martin, J.F., Nienves-Cardoso, C., 2012. Newly discovered hydrothermal system on the Alarcón Rise, México., in: Fall AGU Meeting. San Francisco, CA, E.U.A.
- Paduan, J.B., Zierenberg, R.A., Clague, D.A., Spelz, R.M., Caress, D.W., Troni, G., Thomas, H., Glessner, J., Lilley, M.D., Lorenson, T., Lupton, J., Neumann, F., Santa Rosa-del Rio, M.A., Wheat, C.G., 2018. Discovery of Hydrothermal Vent Fields on Alarcón Rise and in Southern Pescadero Basin, Gulf of California. *Geochemistry, Geophys. Geosystems* 19, 4788–4819. <https://doi.org/10.1029/2018GC007771>
- Pantoja A., J., Gómez C., J., 2004. Los sistemas hidrotermales y el origen de la vida. *Ciencias* 75, 14–22.
- Paull, C.K., Ussler, W., Peltzer, E.T., Brewer, P.G., Keaten, R., Mitts, P.J., Nealon, J.W., Greinert, J., Herguera, J.C., Elena Perez, M., 2007. Authigenic carbon entombed in methane-soaked sediments from the northeastern transform margin of the Guaymas Basin, Gulf of California. *Deep. Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.* 54, 1240–1267. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2007.04.009>
- Portail, M., Olu, K., Dubois, S.F., Escobar-Briones, E., Gelinás, Y., Menot, L., Sarrazin, J., 2016. Food-web complexity in Guaymas Basin hydrothermal vents and cold seeps. *PLoS One* 11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162263>
- Portail, M., Olu, K., Escobar-Briones, E., Caprais, J.C., Menot, L., Waeles, M., Cruaud, P., Sarradin, P.M., Godfroy, A., Sarrazin, J., 2015. Comparative study of vent and seep macrofaunal communities in the Guaymas Basin. *Biogeosciences* 12, 5455–5479. <https://doi.org/10.5194/bg-12-5455-2015>
- Qiu, J., 2010. Oceanography: Death and rebirth in the deep. *Nature* 465, 284–286. <https://doi.org/10.1038/465284a>
- Rivera Sánchez, K.I., 2017. Copépodos maiofaunales asociados a hábitats bénticos abisales y quimiosintéticos de la cuenca de Guaymas y el margen de Sonora, México. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Roberts, M.J., Russo, R., 1999. A student's guide to analysis of variance. Routledge.
- Rowe, G.T., 1983. Biomass and production of the deep-sea macrobenthos, in: *The Sea: Deep-Sea Biology*. New York, USA, p. 574.
- Rowe, G.T., Kennicutt, M.C., 2009. Northern Gulf of Mexico continental slope habitats and benthic ecology study: Final report. U.S. Dept. of the Interior, Minerals Management.
- Sahling, H., Rickert, D., Lee, R.W., Linke, P., Suess, E., 2002. Macrofaunal community structure and sulfide flux



- at gas hydrate deposits from the Cascadia convergent margin, NE Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 231, 121–138. <https://doi.org/10.3354/meps231121>
- Snelgrove, P.V.R., Escobar-Briones, E., Prol-Ledesma, R.M., Canet Miquel, C., Olivares Cruz, M., Cabrera Ramírez, M.A., Rosales Hernández, L., Carranza Edwards, A., Vázquez-Figueroa, V., Villanueva-Estrada, R.E., Núñez-Useche, F., Barragán, R., Soto, L.A., Estradas-Romero, A., Zamorano, P., Hendrickx, M.E., Méndez, N., Gómez, S., Serrano, D., Aguirre, H., Madrid, J., Morales-Serna, F.N., Marchain-Castillo, M.L., Gío-Argáez, F.R., Solís-Weiss, V., Hernández-Alcántara, P., Granados Barba, A., Solís-Marín, F.A., Laguarda Figueras, A., Durán González, A., Vázquez-Bader, A.R., Gracia, A., 2014. *La frontera final: El océano profundo*, Primera. ed. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología, México, D.F.
- Soto, L., Estradas, A., 2013. La exploración en el mar profundo de ambientes extremos : sistemas hidrotermales. *La Front. Final El océano profundo* 85–105.
- Thompson, C.C., Kruger, R.H., Thompson, F.L., 2017. Unlocking Marine Biotechnology in the Developing World. *Trends Biotechnol.* xx, 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2017.08.005>
- Tilot, V., 2006. Biodiversity and distribution of megafauna, in: *The Polymetallic Nodule Ecosystem of the Eastern Equatorial Pacific Ocean*. p. 69.
- Torres Orozco, E., 1993. Análisis volumétrico de las masas de agua del golfo de California. Centro de Investigación científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).
- Underwood, A.J., 1986. ¿What is a community? *Patterns Process. Hist. life* 351–367.
- Van Dover, C.L., 2011. Mining seafloor massive sulphides and biodiversity: What is at risk? *ICES J. Mar. Sci.* 68, 341–348. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsq086>
- Van Dover, C.L., 2000. *The Ecology of Deep-Sea Hydrothermal Vents*. Princeton University Press, USA.
- Van Dover, C.L., Fry, B., 1994. Microorganisms as food resources at deep-sea hydrothermal vents. *Limnol. Ocean.* 39, 1–57. <https://doi.org/10.4319/lo.1994.39.1.0051>
- Van Dover, C.L., Trask, J.L., 2000. Diversity at deep-sea hydrothermal vent and intertidal mussel beds. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 195, 169–178. <https://doi.org/10.3354/meps195169>
- Van Hoey, G., Permuy, D.C., Vandendriessche, S., Vincx, M., Hostens, K., 2013. An ecological quality status assessment procedure for soft-sediment benthic habitats: Weighing alternative approaches. *Ecol. Indic.* 25, 266–278. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2012.09.024>
- Von Damm, K.L., 2002. Extraordinary phase separation and segregation in vent fluids from the southern EPR.
- Von Damm, K.L., 1990. Seafloor hydrothermal activity. Black smoker chemistry and chimneys. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 18, 173–204.



---

Warwick, R.M., 1984. Species size distributions in marine benthic communities. *Oecologia* (Berlin) 61, 32–41.

Wilkinson, T., Wiken, E., Bezaury Creel, J., Hourigan, T., Agardy, T., Herrmann, H., Janishevski, L., Maden, C., Morgan, L., Padilla, M., 2009. Ecorregiones marinas de América del Norte.



## 12. Anexos

### Anexo 1. Tabla de antecedentes en la macrofauna identificada

Tabla A17. Registro de especies identificadas como componentes de las comunidades de macrofauna.

	<b>Sahling H. Linke P. y Suess E. (2002)</b>	<b>Portail M. y colaboradores (2015)</b>
<b>Annelida</b>		
<b>-Polychaeta</b>	Ampharetidae	Acoetidae
	Cirratulidae	Ampharetidae
	Dorvilleidae	Amphinomidae
	Flabelligeridae	Archinomidae
	Goniadidae	Capitellidae
	Lacydoniidae	Cirratulidae
	Lumbrineridae	Cossuridae
	Maldanidae	Dorvilleidae
	Nepthydae	Flabelligeridae
	Nereidae	Glyceridae
	Onuphidae	Goniadidae
	Opheliidae	Hesionidae
	Orbiniidae	Lacydonidae
	Paraonidae	Lumbrineridae
	Pectinariidae	Maldanidae



---

Pilargidae	Nautiliellidae
Polynoidae	Nephtyidae
Syllidae	Nereididae
Fam indet. sp. A	Opheliidae
Fam indet. sp. B	Paraonidae
	Pholoidae
	Phyllodocidae
	Pilargidae
	Polynoidae
	Serpulidae
	Sigalionidae
	Sphaerodoridae
	Spionidae
	Sternaspidae
	Syllidae
	Terebellidae
	Trichobranchidae





---

**Mollusca**

**-Bivalvia**

Nuculandiae

Bathyspinulidae

-Nuculana sp. nov.

Nuculidae

Cuspidariidae

-Nucula carlottensis

Solemyidae

Mytilidae

- Acharax sp.

Vesicomomyidae

Solemyidae

-Calyptogena pacifica

-Calyptogena kilmeri

-Vesicomya stearnsii

Thyasiridae

**-Gastropoda**

Columbellidae

Aplustridae

-Astyris sp.

Hyalogyrinidae

Cataegidae

-Hyalogyrina sp. nov.

Philineidae

Hyalogyrinidae

-Philine sp.

Provannidae

Lepetodrilidae

-Provanna laevis

-Provanna lomana



	Pyramidellidae	Neolepetopsidae
	-sp. indet	
	-Pyropelta corymba	
		Neomphaloidae
		Provannidae
		Pyropeltidae
		Pyropeltidae
<b>-Aplacophora</b>	Fam indet.	Fam indet.
<b>-Scaphopoda</b>	-----	Fam indet.
Echinodermata		
<b>-Ophiuroidea</b>	Ophiuridae	Ophiuridae
Cnidaria		
<b>-Anthozoa</b>	Edwardsiidae	Actinaria
Nemertea	Nemertea	Nemertina
Crustacea	-----	
<b>-Malacostraca</b>		
<b>-Amphipoda</b>		Fam indet.
<b>- Cumacea</b>		Fam indet.
<b>-Tanaidacea</b>		Fam indet.
Sipuncula	-----	Fam indet.



## Anexo 2. Listado taxonómico ilustrado

Reino: Animalia

Phylum: Porifera Grant, 1836 (Lámina 1)

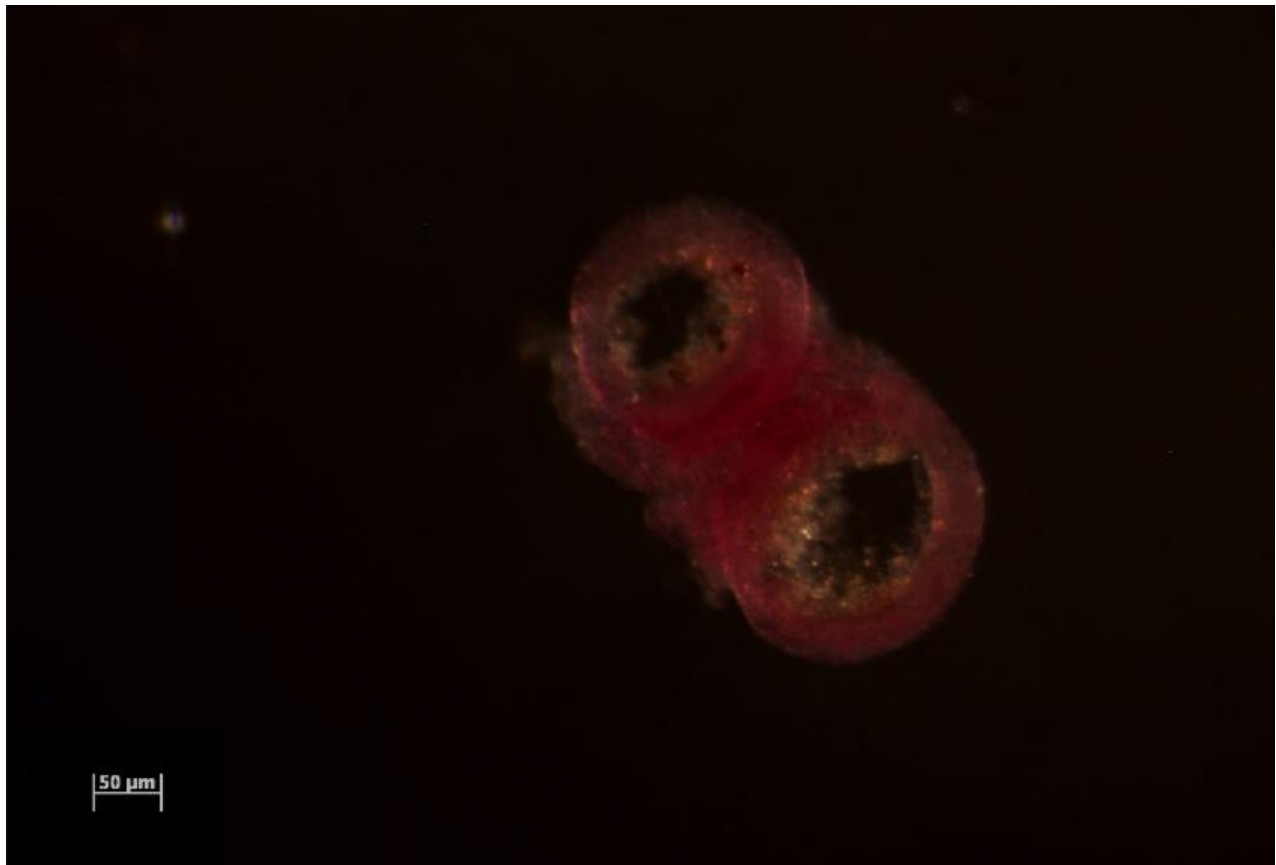


Lámina 1. Fragmento de un ejemplar completo de esponja marina perteneciente al phylum Porifera. El organismo fue encontrado en el primer centímetro de sedimento blando con influencia hidrotermal en la cuenca Pescadero.



Phylum: Cnidaria (Lámina 2)

Clase: Hidrozoa (Lám. 2 A y D); Anthozoa, Ehrenberg, 1834 (Lám. 2 B y C)

Orden: Siphonophorae (Lám. 2 A); Anthoathecata (Lám. 2 D)

Familia: Rhodaliidae (Lám. 2 A); Crynorphidae (Lám. 2 D)

Género: *Dendrogramma* Just, Kristensen & Olesen, 2014 (Lám. 2 A); *Euphysa* Forbes, 1848 (Lám. 2D)

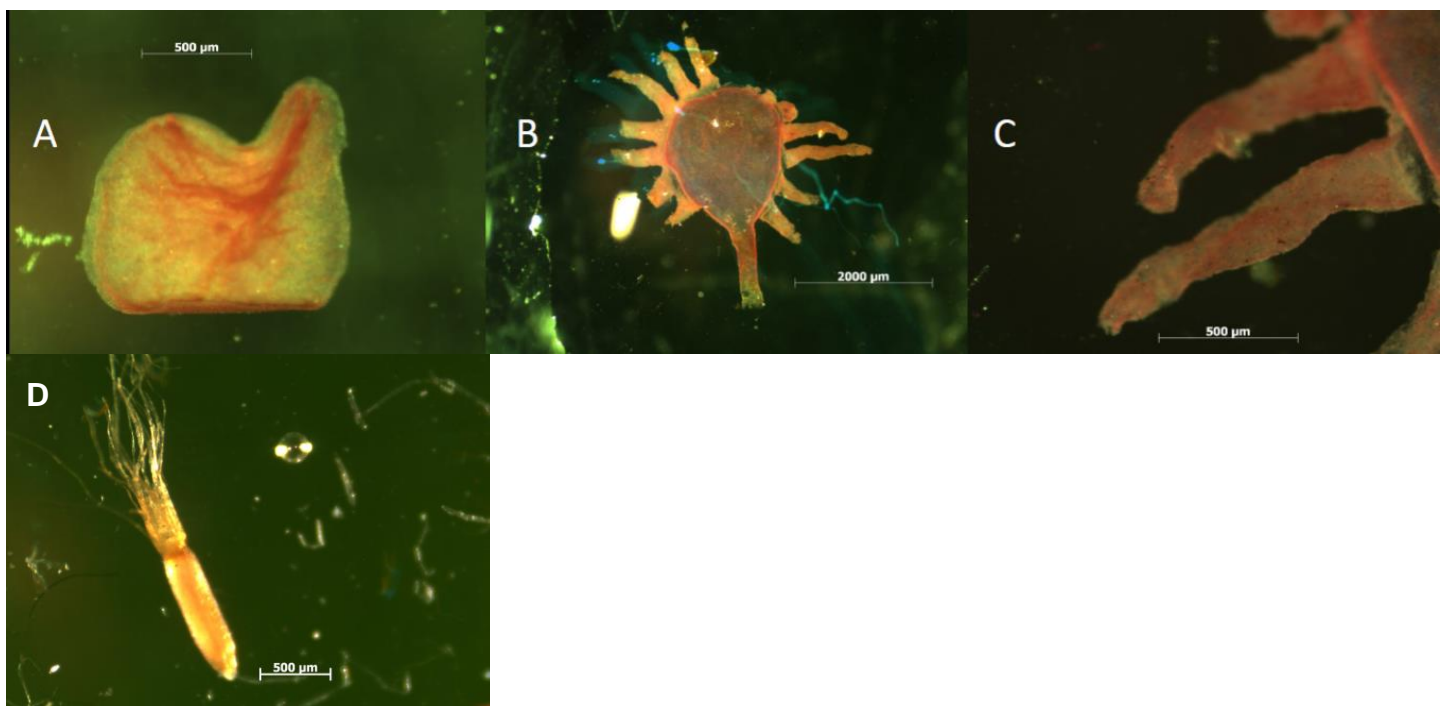


Lámina 2. A) Disco de un ejemplar del género *Dendrogramma* incert. sed., en él se aprecian las ramas gastrovasculares. B) Ejemplar de la clase Anthozoa C) Tentáculos del pólipo D) Ejemplar del género *Euphysa* sp.



Phylum: Platyhelminthes Minot, 1876 (Lámina 3)

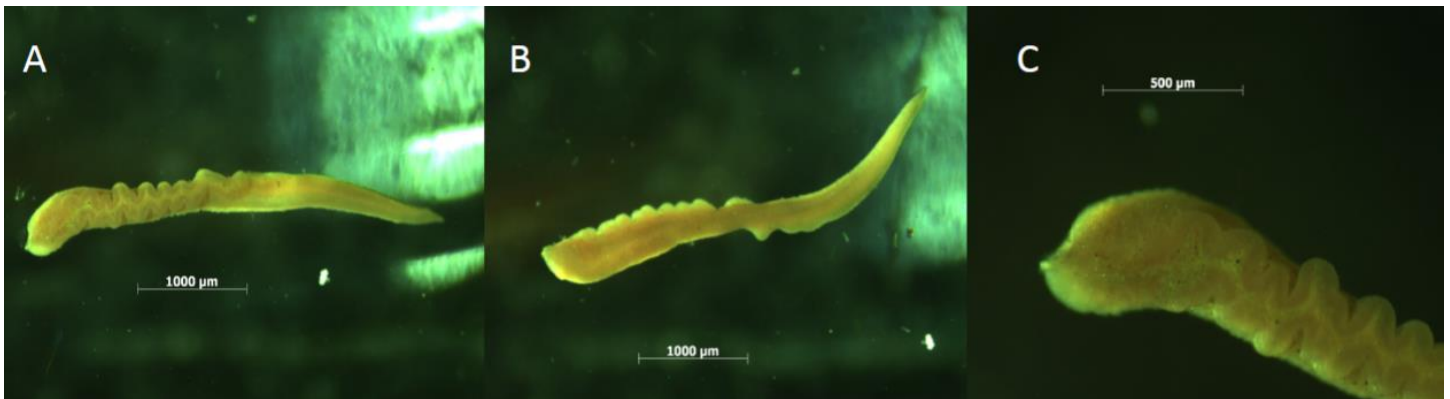


Lámina 3 A) y B) Foto ventral y dorsal respectivamente de un ejemplar del phylum Platyhelminthes. C) Protostomio de un platelminto.

Phylum: Cephalorhyncha Adrianov, 1989

Clase: Kinorhyncha *inc. sed.* (Lámina 4)

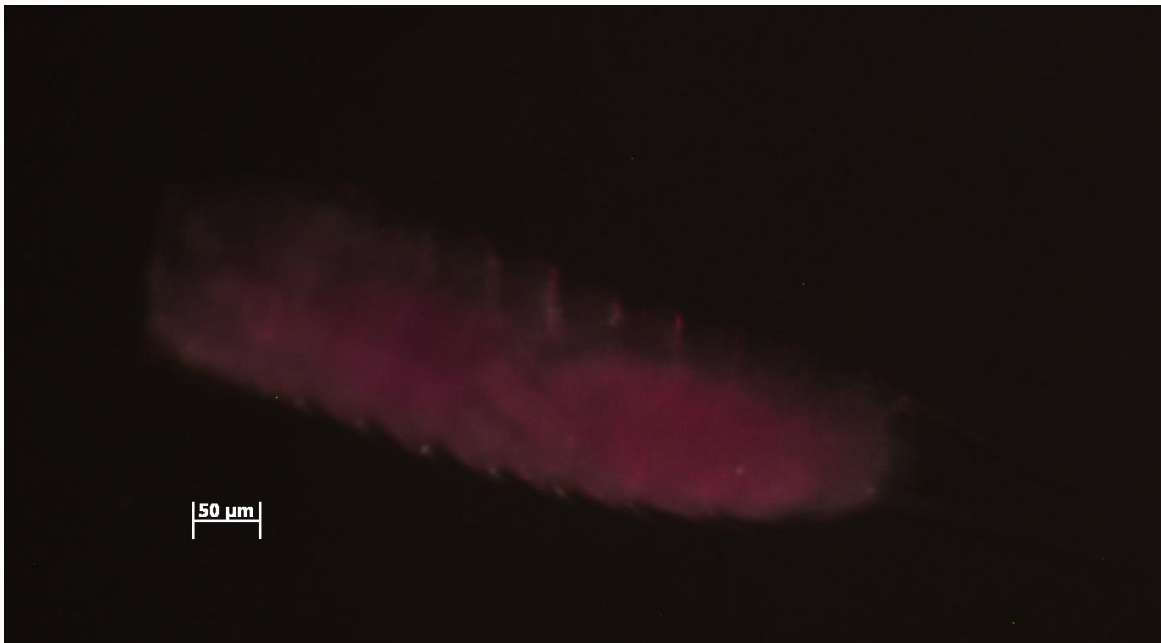


Lámina 4. Cuerpo completo de un ejemplar de la clase Kinorhyncha encontrado en la cuenca Pescadero en sedimentos con influencia termal , se halló en el primer centímetro de sedimento.



Phylum: Nematoda *inc. sed* Margulis, L. y Schwartz, K.V., 1998 (Lámina 5)

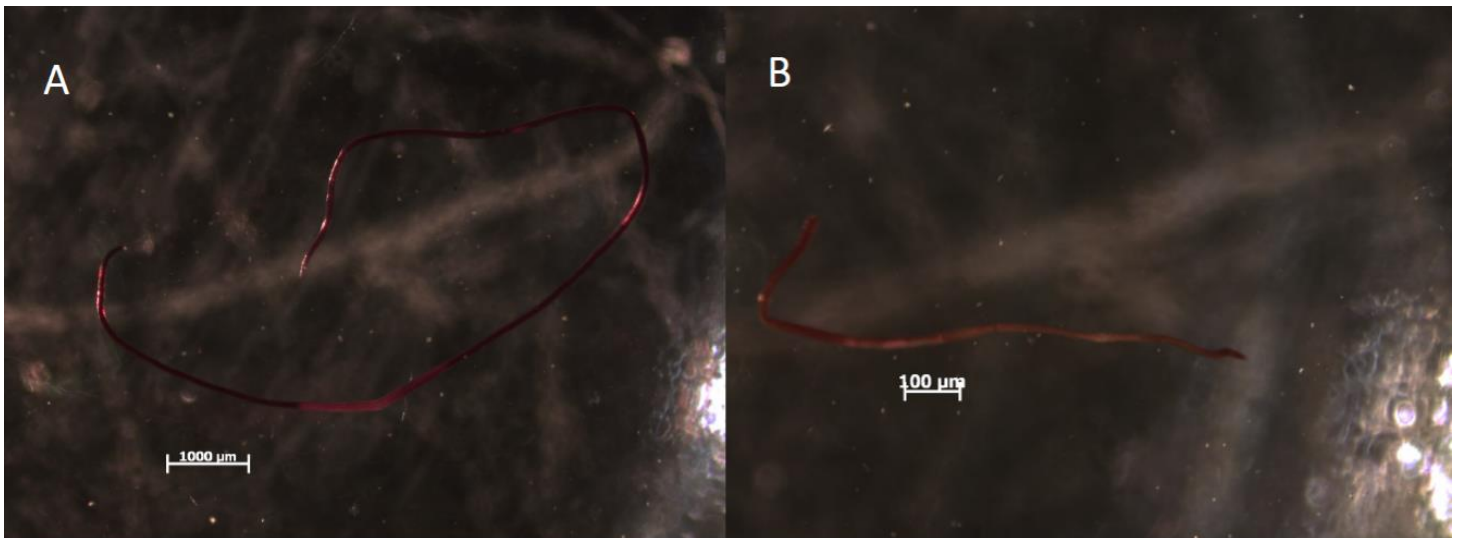


Lámina 5. A) Uno de los ejemplares de mayor tamaño del phylum Nematoda localizado a 3680 m de profundidad en sedimentos con influencia hidrotermal de la Cuenca Pescadero. B) En contraste se muestra un ejemplar de este phylum localizado en la cuenca Alfonso en un sedimento blando de planicie abisal en donde no existe influencia termal y la concentración de oxígeno es mínima.

Phylum: Sipuncula

Clase: Sipunculidea *inc. sed* Margulis, L. y Schwartz, K.V., 1998 (Lámina 6)

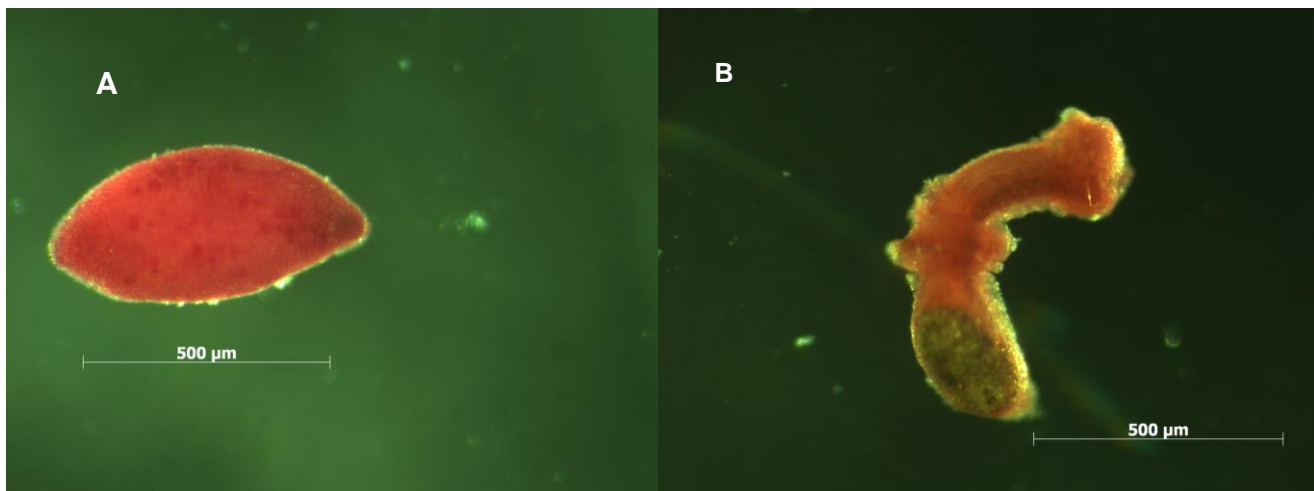


Lámina 6. A) Vista dorsal y ventral de un ejemplar de la clase Sipunculidea. B) Vista lateral de un ejemplar de sipuncúlido con la probóscide expuesta.



Phylum: Annelida

Clase: Polychaeta Grube 1850 (Lámina 7 A); Clitellata (Lámina 7 B)

Subclase: Oligochaeta Grube 1850 (Lámina 5; Figura 29 B)

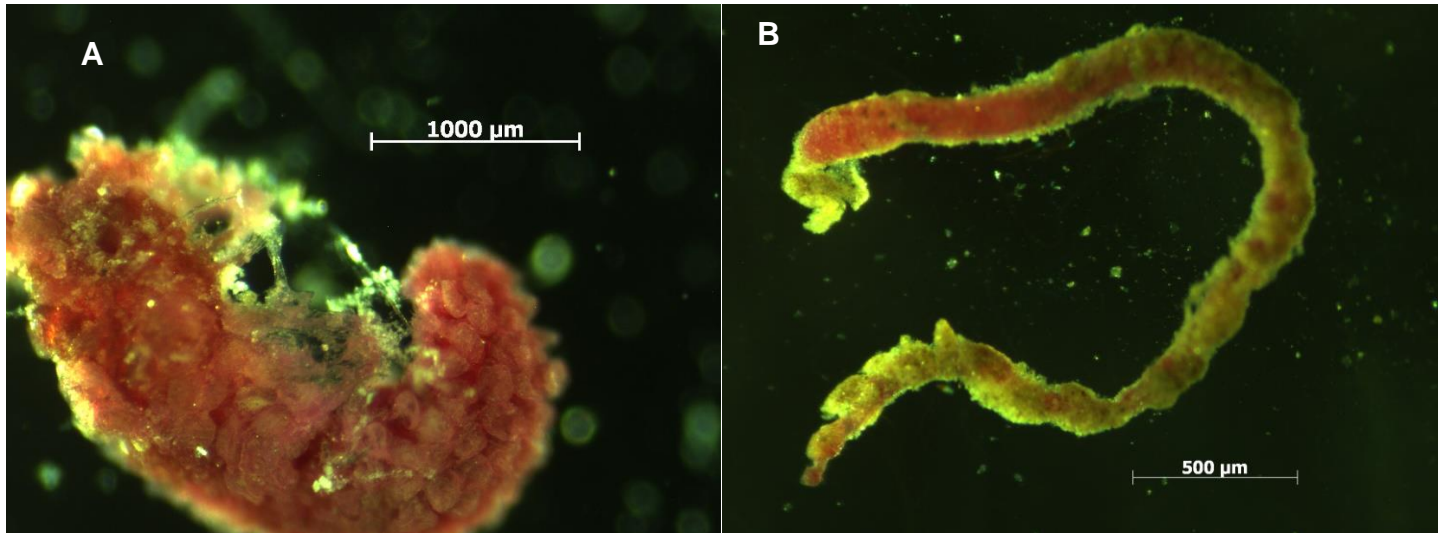


Lámina 7. A) Ejemplar de poliqueto hallado a 2890 m en la planicie abisal cercana a una ventila hidrotermal B) Ejemplar completo de oligoqueto dentro de su galería hallado a 3600 m de profundidad en la planicie aledaña a ventilas hidrotermales.

Phylum: Arthropoda

Subphylum: Crustacea

Clase: Malacostraca (Lámina 9 A, B y C); Ostracoda Latreille, 1802 (Lámina 8 A); Hexanauplia (Lámina 6; Figura 30B)

Subclase: Eumalacostraca (Lámina 9 A, B y C); Copepoda Milne Edwards, 1840 (Lámina 8 B)

Orden: Amphipoda Latreille, 1816 (Lámina 9 B); Isopoda Latreille, 1817 (Lámina 9 A); Tanaidacea Dana, 1849 (Lámina 9 C)

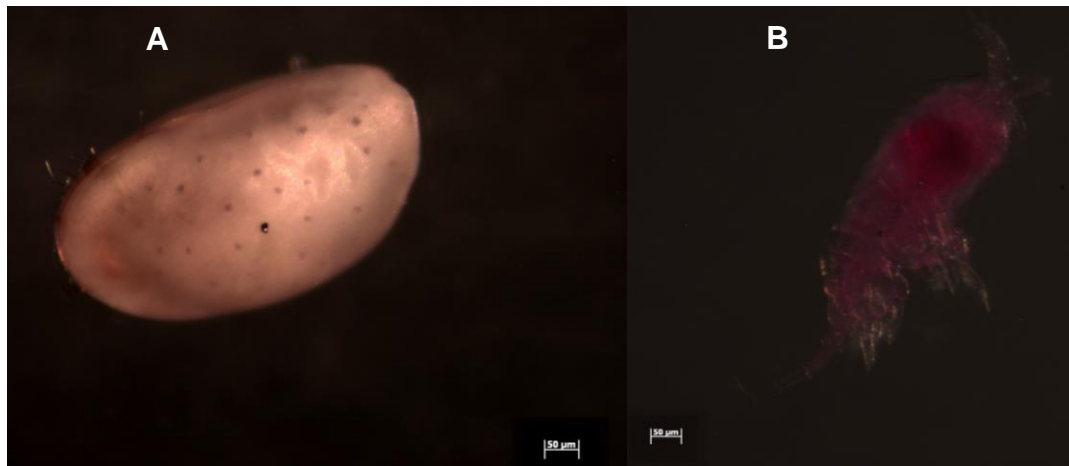


Lámina 8. A) Ostrácodo macrobéntico a 3680 m de profundidad en el primer cm de sedimento con influencia hidrotermal en la cuenca Pescadero, en la imagen podemos notar las ornamentaciones de las balvas y las antenas en la parte anterior. B) Copépodo encontrado en la misma profundidad y en el mismo nivel de sedimento, su hábitat presenta influencia hidrotermal, pertenece a la cuenca Pescadero. Escala de 50 µm.

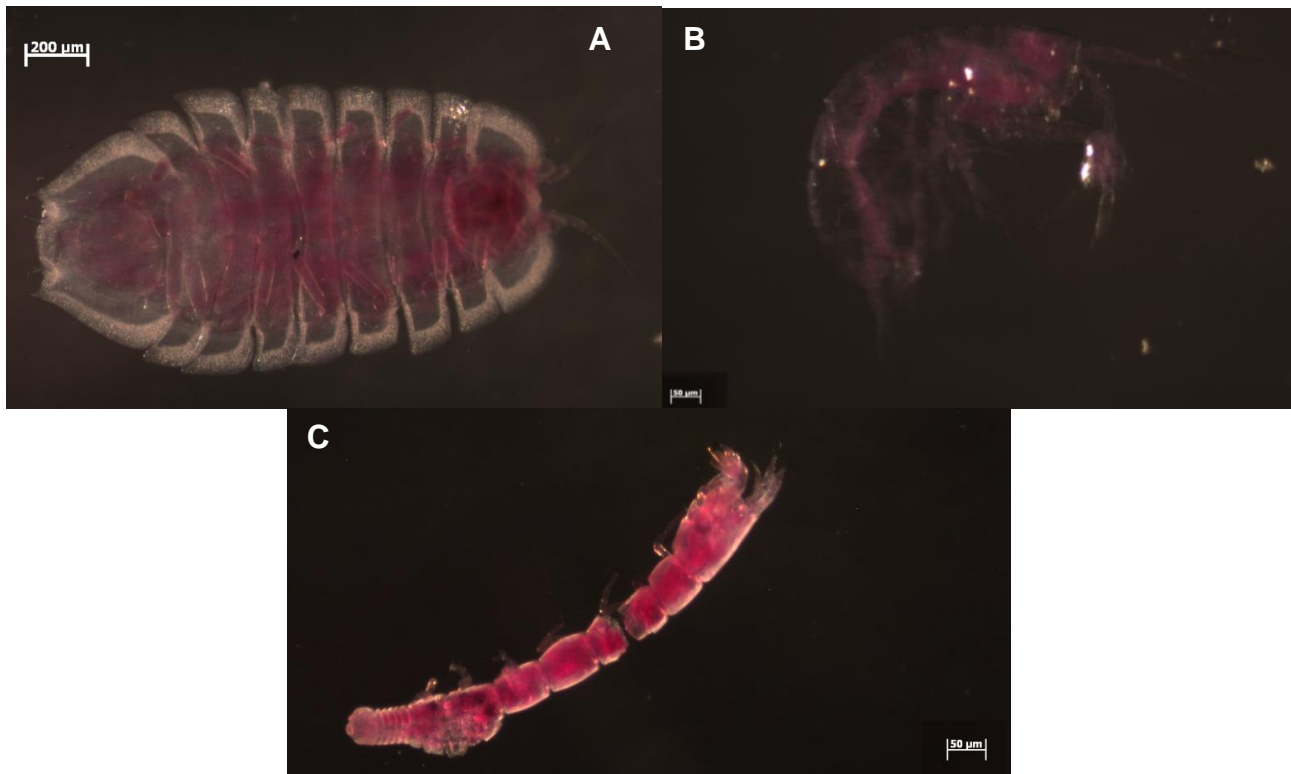


Lámina 9. A) Vista ventral de un isópodo hallado en la Cuenca Pescadero a 3680 metros de profundidad B) Anfípodo encontrado en el primer nivel de sedimento de la Cuenca Pescadero (escala de 50 µm) . C) Ejemplar de tanaidáceo encontrado en la Cuenca Pescadero a 3680 metros de profundidad en el primer centímetro del sustrato (escala de 50 µm).





Subphylum: Chelicerata

Clase: Arachnida

Subclase: Acari Leach, 1817 (Lámina 7; Figura 32)

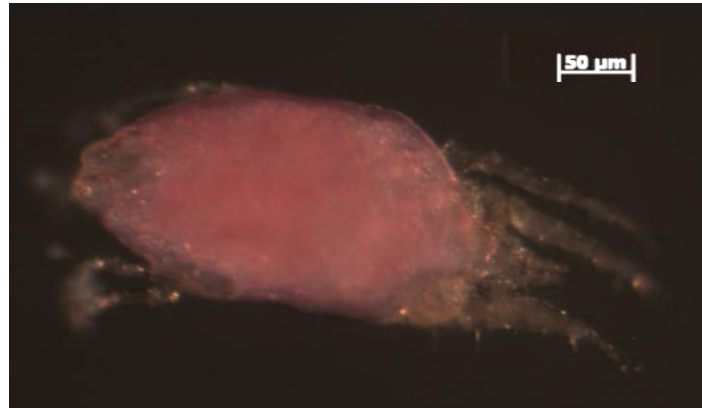


Lámina 10. Ácaro perteneciente al primer nivel de sustrato de la cuenca Alfonso, en dicha cuenca no se encontró ninguna actividad termal que pudiese influir sobre los sedimentos y la fauna residente. Dicho organismo fue hallado en el primer centímetro del sedimento a 407 m

Phylum: Mollusca

Clase: Aplacophora (P) (Lámina 8, Figura 33 A y B); Gastropoda Cuvier, 1795 (Lámina 8, Figura 33 C y D); Bivalvia Linnaeus, 1758 (Lámina 8, Figura 33 E)

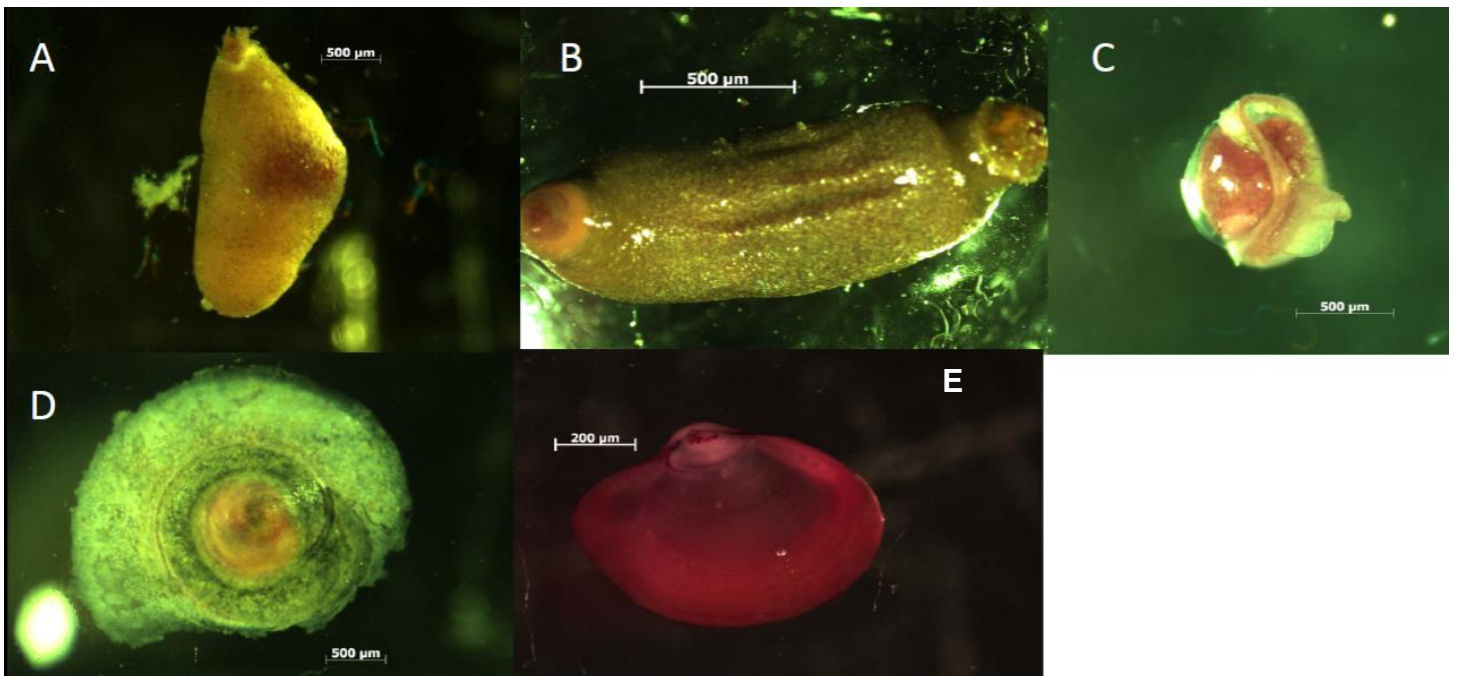


Lámina 11. A) y B) Dos ejemplares de aplacóforos con distintos morfotipos. C) Morfotipo representante de la clase Gastropoda. D) Concha primaria de único morfotipo hallado del superorden Patellogastropoda. E) Morfotipo representante de la clase Bivalvia.



Phylum: Echinodermata

Clase: Asteroidea Blainville, 1830 (Lámina 9; Figura 34)

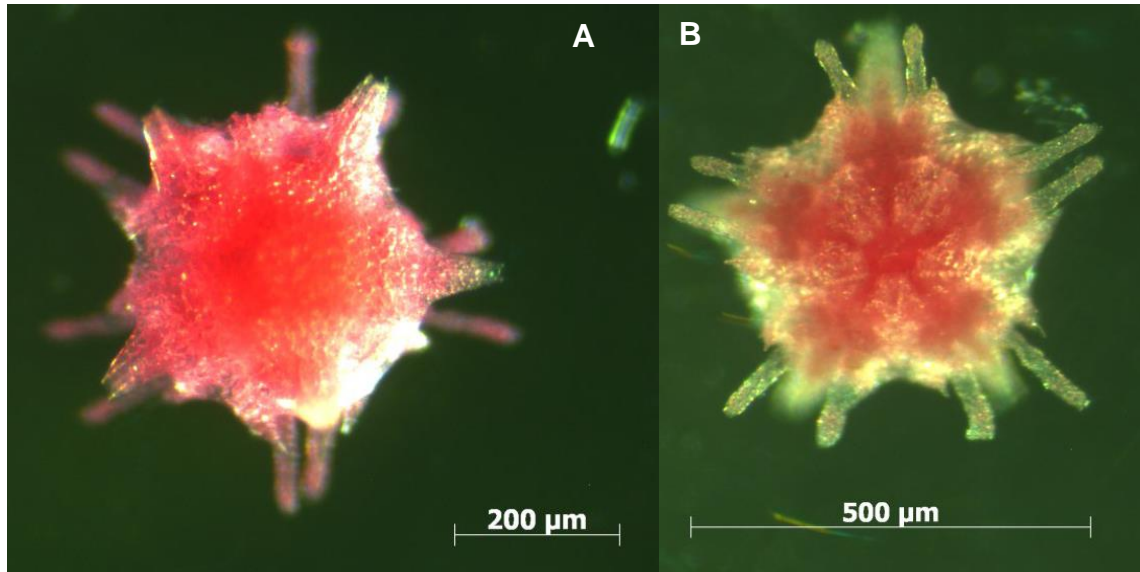


Lámina 12. A) y B) Vista aboral y oral de una estrella de mar en su estado juvenil

Phylum: Chaetogntha Margulis, L. y Schwartz, K.V., 1998 (Lámina 10; Figura 35)



Lámina 13. A) Ejemplar del phylum Chaetognatha, foto de cuerpo completo donde se pueden apreciar las aletas laterales (anteriores y posteriores) y la aleta caudal. B) Cabeza del ejemplar del phylum Chaetognatha donde se aprecian las espinas que rodean la boca C) Vista lateral de la cabeza del chaetognato donde se observan algunas espinas y un tentáculo en la periferia del cuerpo.



Reino: Chromista

Phylum: Foraminifera Margulis, L. y Schwartz, K.V., 1998 (Lámina 11; Figura 36)

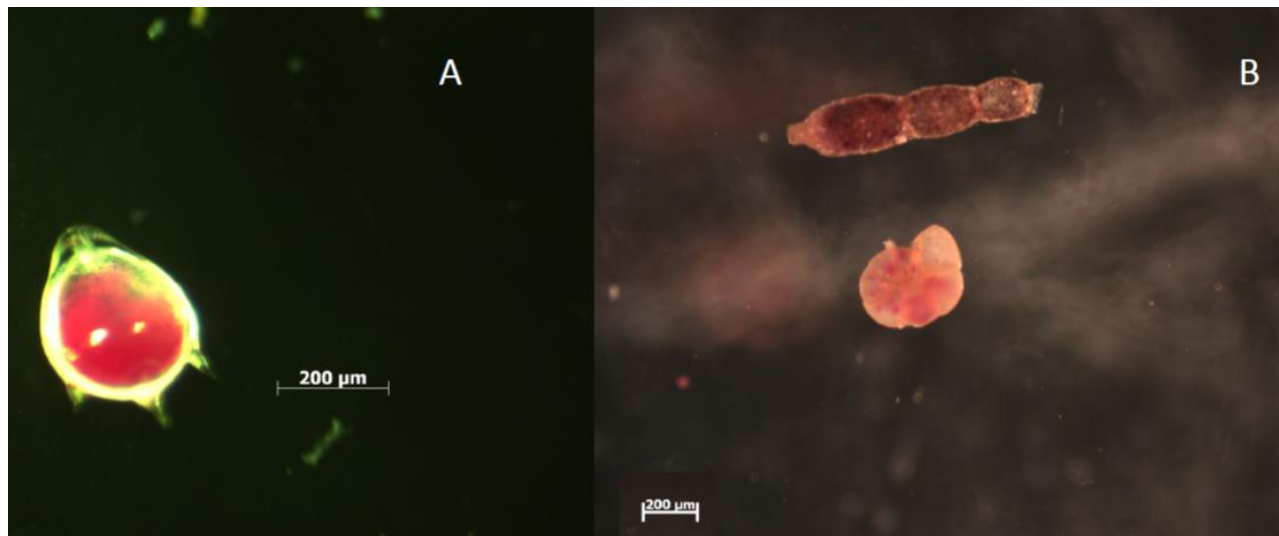


Lámina 14. A) y B) Ejemplares representantes del phylum Foraminifera, encontrados en las diversas inmersiones realizadas, la mayor abundancia se encontró en la cuenca Alfonso con un nivel de profundidad menor a las demás cuencas (407 m).

### Referencias de identificación

Brusca C., R., Moore, W., Shuster, S.M., 2016. Invertebrates, 3rd ed. Sinauer Associates, Inc., Massachusetts.

Just J, Kristensen RM, Olesen J (2014) Dendrogramma, New Genus, with Two New Non-Bilaterian Species from the Marine Bathyal of Southeastern Australia (Animalia, Metazoa incertae sedis) – with Similarities to Some Medusoids from the Precambrian Ediacara. PLoS ONE9(9): e102976. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102976>.

Waren Anders y Bouchet Philippe.1993. New records, species, genera and a new family of gastropods from hydrothermal vents and hydrocarbon seeps. Zoologica Scripta. Vol 22:1,1-90.

McLelland, J.A. 1989. An illustrated key to the Chaetognatha of the northern Gulf of Mexico with notes on their distribution. Gulf Research Reports. 8(2):145-172.

Catálogo fotográfico de ejemplares de foraminíferos del golfo de México, obtenido del laboratorio de Biodiversidad y Macroecología.



### Anexo 3. Tablas de abundancias por taxón

Tabla A18. Abundancias por taxón, inmersión y nivel, de los fondos blandos de ventilas hidrotermales en la cuenca Pescadero.

Taxón	Abundancias								
	I-750		I-751			I-757			
	N1	N2	N1	N2	N3	N1	N2	N3	
Porifera	0	0	0	0	0	1	0	0	
<i>Euphysa</i> sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Dendrogramma</i> sp.	5	0	0	0	0	0	0	0	
Anthozoa	0	0	0	0	0	0	0	0	
Platyhelminthes	4	0	0	0	0	0	0	0	
Kinorhyncha	0	0	2	4	0	5	2	0	
Nematoda	854	188	30	21	0	88	65	6	
Sipunculidea	1	0	0	0	0	3	1	0	
Polychaeta	45	46	5	6	0	42	21	4	
Oligochaeta	4	4	0	1	0	5	3	1	
Isopoda	0	0	0	0	0	1	0	0	
Amphipoda	0	0	0	0	0	0	0	0	
Tanaidacea	0	0	0	0	0	1	0	0	
Ostracoda	3	4	5	2	0	12	5	3	
Copepoda	1	1	6	3	0	156	12	0	
Acari	0	0	0	0	0	0	0	0	
Aplacophora	1	1	0	0	0	0	0	0	
Gastropoda	3	1	0	0	0	1	0	0	
Patellogastropoda	8	14	0	0	0	0	1	0	
Bivalvia	10	72	4	0	1	7	9	1	
Asteroidea	0	0	0	0	0	1	0	0	
Chaetognatha	0	0	0	0	0	0	0	0	
Foraminifera	0	1	2	0	0	17	28	0	



Tabla A19. Abundancias por taxón, inmersión y nivel, de los fondos blandos de la infiltración fría en la falla transformante cuenca Pescadero.

Taxón	Abundancias		
	I-756		
	N1	N2	N3
Porifera	0	0	0
<i>Euphysa</i> sp.	0	0	0
<i>Dendrogramma</i> sp.	0	0	0
Anthozoa	0	0	1
Platyhelminthes	0	0	0
Kinorhyncha	0	0	0
Nematoda	14	37	17
Sipunculidea	1	0	0
Polychaeta	19	15	4
Oligochaeta	2	1	0
Isopoda	3	0	0
Amphipoda	1	0	0
Tanaidacea	3	1	0
Ostracoda	6	2	0
Copepoda	41	7	0
Acari	1	0	0
Aplacophora	0	0	0
Gastropoda	0	0	0
Patellogastropoda	0	0	0
Bivalvia	4	1	0
Asteroidea	0	0	0
Chaetognatha	0	1	0
Foraminifera	2	0	0



Tabla A20. Abundancias por taxón, inmersión y nivel, de los fondos blandos del talud continental, con tapete microbiano, en la cuenca Alfonso.

Taxón	Abundancias		
	I-749		
	N1	N2	N3
Porifera	0	0	0
<i>Euphysa</i> sp.	0	0	0
<i>Dendrogramma</i> sp.	1	0	0
Anthozoa	0	0	0
Platyhelminthes	0	0	0
Kinorhyncha	0	0	0
Nematoda	1540	794	10
Sipunculidea	17	17	0
Polychaeta	42	5	0
Oligochaeta	0	0	0
Isopoda	0	0	0
Amphipoda	0	0	0
Tanaidacea	0	0	0
Ostracoda	0	0	0
Copepoda	0	0	0
Acari	0	0	0
Aplacophora	0	0	0
Gastropoda	1	3	0
Patellogastropoda	0	0	0
Bivalvia	8	34	15
Asteroidea	0	0	0
Chaetognatha	0	0	0
Foraminifera	22	12	11



## Anexo 4. Resultados de análisis estadísticos

Tabla A21. Resultados de ANOVA para densidad entre los primeros dos niveles de sedimento.

	SS	Degr. Of	MS	F	p
Intercept	519.5411	1	519.5411	3550.289	0.000000
Estación (densidad)	5.6664	4	1.4166	9.680	0.002555
Error	1.3170	9	0.1463		

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	478.0921	1	478.0921	6059.507	0.000000
Estación (densidad)	3.9470	4	0.9867	12.506	0.001016
Error	0.7101	9	0.0789		

Tabla A22. Resultados de Tukey HSD para densidad entre los primeros dos niveles de sedimento.

TUKEYHSD1	Estación (densidad)	{1}	{2}	{3}	{4}
1	749				
2	750	0.606287			
3	751	0.002959	0.010808		
4	756	0.020329	0.110451	0.521655	
5	757	0.192429	0.814293	0.050079	0.456645

TUKEYHSD2	Estación (densidad)	{1}	{2}	{3}	{4}
1	749				
2	750	0.187667			
3	751	0.001168	0.013841		
4	756	0.003150	0.056110	0.860003	
5	757	0.020413	0.468737	0.164610	0.551079



Tabla A23. Resultados de ANOVA para la biomasa entre los diferentes hábitats para el primer nivel de sedimento.

	SS	Degr.of	MS	F	p
Intecept	93.77097	1	93.77097	119.0778	0.000002
Estación (Biomasa)	10.82176	4	2.70544	3.4356	0.057383
Error	7.08729	9	0.78748		

Tabla A24. Resultados de ANOVA para la biomasa entre los diferentes hábitats para el segundo nivel de sedimento.

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	136.9002	1	136.9002	144.5230	0.000001
Estación (Biomasa)	13.1035	4	3.2759	3.4583	0.056471
Error	8.5253	9	0.9473		