

**Centro de Investigación Científica y de Educación  
Superior de Ensenada, Baja California**



---

**Programa de Posgrado en Ciencias  
en Ecología Marina**

---

**Estructura comunitaria de invertebrados asociada a las  
ventilas hidrotermales someras de Bahía Concepción, B.C.S.**

Tesis

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias

Presenta:

**Tatiana Oporto Guerrero**

Ensenada, Baja California, México  
2015

Tesis defendida por  
**Tatiana Oporto Guerrero**  
y aprobada por el siguiente Comité

---

Dra. Lydia Betty Ladah  
Codirector del Comité

---

Dr. Héctor Reyes Bonilla  
Codirector del Comité

**Dr. Juan Carlos Herguera García**

**Dr. Luis Alberto Delgado Argote**



---

**Dr. David Alberto Rivas Camargo**  
Coordinador del Posgrado en Ecología Marina

---

**Dr. Jesús Favela Vara**  
Director de Estudios de Posgrado

Resumen de la tesis de **Tatiana Oporto Guerrero**, como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ecología Marina.

**Estructura comunitaria de invertebrados asociada a las ventilas hidrotermales someras de Bahía Concepción, B. C. S.**

Resumen aprobado por:

---

Dra. Lydia Betty Ladah  
Codirector de tesis

---

Dr. Héctor Reyes Bonilla  
Codirector de tesis

Las ventilas hidrotermales someras (VHS) son grietas en la superficie por las que emana agua geotermalmente caliente. Estas emanaciones presentan compuestos reducidos ( $H_2S$ ), gases (principalmente  $CH_4$ ,  $CO_2$  y  $N_2$ ) y metales (Fe, Mn, Zn). Las VHS se encuentran a profundidades menores a 200 m, con temperaturas menores a  $120\text{ }^\circ\text{C}$  y bajos valores de pH. Los fluidos sobrecalentados emitidos por la ventila se enfrían rápidamente cuando salen al mar, y liberan compuestos disueltos que pueden precipitar formando chimeneas de sulfuros de hierro, cobre y de zinc, entre otros. La variabilidad en las condiciones químicas de los conductos de exhalación generan una amplia gama de nichos y fuentes de energía potenciales para los microorganismos. El objetivo del presente estudio fue describir la distribución y la estructura comunitaria de los invertebrados epifaunales e infaunales presentes en las ventilas hidrotermales someras de Bahía Concepción, y relacionarlas con las características fisicoquímicas y sedimentológicas de la zona. En las ventilas del área de estudio se encontraron condiciones de alta temperatura (de hasta  $87\text{ }^\circ\text{C}$ ), acidez (anomalías de pH de  $-0.25$ ) y baja salinidad (30 UPS). Las VHS además presentaron un sustrato arenoso y rocoso, con ausencia de rodolitos, a diferencia del resto de la bahía; esto dio lugar a diferentes microhabitats y una heterogeneidad de sustrato. Las condiciones ambientales asociadas a las zonas de ventilas afectaron la distribución y composición de las comunidades, mostrando diferencias en los índices de abundancia, riqueza, diversidad y equitatividad entre las estaciones control y las ventilas hidrotermales, y esto ocurrió tanto para la epifauna como para la infauna. En el caso de la infauna se puede apreciar un gradiente en estos índices, presentando menor abundancia y equitatividad en las zonas cercanas a la emisión donde había mayores temperaturas y precipitados de sulfuro. Sin embargo, esta variación no se observó en las comunidades epifaunales, las cuales se distribuyeron de manera uniforme a lo largo de la zona de influencia de la ventila. Esto posiblemente ocurrió debido a que el fluido que emana de la ventila se mezcla rápidamente con la columna de agua, y su efecto se vio disminuido.

**Palabras clave:** infauna, epifauna, temperatura, sedimento, mantos de rodolitos,  $^{13}\text{C}$ .

Abstract of the thesis presented by **Tatiana Oporto Guerrero** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Marine Ecology.

**Spatial and temporal variation of phytoplankton biomass and production off Cabo San Lázaro and Cabo San Lucas, B. C. S.**

Abstract approved by:

---

Dra. Lydia Betty Ladah  
Codirector de thesis

---

Dr. Héctor Reyes Bonilla  
Codirector de thesis

Shallow hydrothermal vents (SHV) are cracks in the seafloor from which geothermally heated water emanates. These discharges have several diluted reduced compounds ( $\text{H}_2\text{S}$ ), gases (mainly  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  and  $\text{N}_2$ ) and metals (Fe, Mn, Zn). SHV are found at depths shallower than 200 m, with temperatures below 120 °C and have low pH values. Overheated fluids emitted by the vent are rapidly cooled when contacting surrounding seawater, releasing many dissolved compounds that can precipitate forming chimneys of iron, copper and zinc sulfides, among others. The variability in the chemical conditions of the exhalation ducts generates a wide range of niches and potential sources of energy for microorganisms. The objective of this study was to describe the distribution and community structure of epifaunal and infaunal invertebrates present in a shallow hydrothermal vent system in Bahía Concepción, and relate patterns to the physico-chemical and sedimentological characteristics of the area. In the SHV studied, high temperature (up to 87° C), acidity (pH anomalies of -0.25) and low salinity (30 UPS) was documented, with sandy and rocky substrate containing no rhodoliths, unlike the rest of the bay and the control sites; this resulted in different microhabitats and a heterogeneous substrate. The environmental conditions associated to vent areas affected the distribution and composition of benthic communities, showing differences in abundance, richness, diversity and evenness between control sites and hydrothermal vents, for both epifauna and infauna. Infauna presented a gradient, having lower abundance and greater evenness in areas close to the emission zone, where higher temperatures and sulfide precipitates were seen. However, this variation was not observed for epifaunal communities, which were distributed evenly along the area of influence of the vent, possibly because the fluid that emanates from the vent is rapidly mixed in the water column, and its effect is diminished quickly.

**Key words:** infauna, epifauna, temperature, sediment, rhodolith bed,  $^{13}\text{C}$ .

*A mis padres y a mi hermana que pese a la distancia siempre me han apoyado, animado y aconsejado. Por enseñarme a luchar por lo que se quiere y nunca rendirse ante los obstáculos, sin ellos no habría llegado a ser lo que soy. Sois mi ejemplo a seguir, os quiero.*

## Agradecimientos

En primer lugar, quisiera agradecer a mis directores de tesis Héctor Reyes Bonilla (Investigador de la UABCS) y Lydia Ladah (Investigadora del CICESE), por sus consejos, su confianza en mí, por todas las oportunidades que me han brindado y por su esfuerzo, sin los cuales este trabajo no se hubiera llevado a cabo.

A los miembros de comité, Juan Carlos Herguera y Luis Delgado por guiarme en el proceso, por su paciencia, sobre todo en los avances prolongados, y por sus aportaciones para la realización de este trabajo, las cuales fueron de mucha ayuda.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B. C., por aceptarme en este posgrado y brindarme una oportunidad única para mejorar mi futuro.

A CONACYT por el apoyo económico con el N° de beca 300318 para mis estudios de maestría y la elaboración de ésta tesis.

Al proyecto 183534, CONACYT Ciencia Básica asignado a Héctor Reyes Bonilla, al proyecto 221662, CONACYT Ciencia Básica y al proyecto 646107, CONACYT Ciencia Básica asignados a Lydia Ladah.

A mis compañeros de laboratorio de ecología costera interdisciplinar con los que he coincidido: Andrea, Anita, Anto, Ceci, Gerardo, Lydia, Mariana, Schery, Zyania y por supuesto Mateo. A todos por aconsejarme, por las largas reuniones corrigiendo posters o presentaciones y por la ayuda con esta tesis. A Lydia por preocuparse cuando un huracán quiso dificultar las cosas, Schery por compartir esa llave de piolín y la infinita paciencia escuchando todas mis locuras, Ceci por patrocinarme ante medio congreso, Gera por entrar gritando y cantando en mi cueva para hacerme reír y Anita por darme animo siempre que lo necesitaba.

A mis compañeros de clase, de CICESE y profesores que me han echado un cable y me han aconsejado cuando lo he necesitado como Vicente, Luis Ángeles, Mari Carmen, Edgar, Luis C., Elena, José Carlos y muchos más.

A todos mis amigos y mi familia de Ensenada: Amparo, Bárbara, Magda, Maite, José Carlos, Jorge, Anely, Fer, José, Dani, Pau, Lu, Pablo (Fabas), Laura, Asier, y muchas más personas que han estado estos años. Por la mejor fiesta sorpresa de cumpleaños de la historia, por todos los regalos y recuerdos, por esos viajes 10 personas en una vanS 8h para poder tocar (incluso besar) a una ballena, por esos viajes por la baja y por EEUU, por las excursiones a la playa, por las asadas, los miércoles de cine, jueves de Hussong y taberna, por el apoyo, por preocuparos y sobre todo por hacerme sentir querida tan lejos de casa.

A Martin Hernández y Arturo Siqueiros del Laboratorio de Química del CO<sub>2</sub> Marino del IIO de Ensenada, por asesorarme sobre las mediciones de pH y ofrecerme su ayuda y su equipo.

A la Universidad de Baja California Sur de La Paz por darme la oportunidad de realizar mi labor investigadora en sus instalaciones y acogerme durante mi estancia. Al laboratorio de suelos y agua, en especial a Chelito por su ayuda con el tamizado, por sus consejos y sus regañinas cuando no comía. A las técnicas Fátima y Alejandra por estar siempre pendientes de abrirme los laboratorios y que no me quedara encerrada en las noches, y sobre todo por su amabilidad y animarme en los días de trabajo duro.

Al CICIMAR de La Paz, en especial a Alberto Sánchez y Ángel H. Ruvalcaba del laboratorio de Espectrometría de Masas, cuya colaboración y ayuda fue fundamental en la obtención de los datos de sedimentos.

A Marco por las largas horas bajo la lupa con los poliquetos, por sus consejos, por su ayuda a cualquier hora, por enseñarme con infinita paciencia, por aguantar mis esquizofrenias y por ser un buen amigo.

A Piero Gurgo Salice por ayudarme a identificar esos moluscos rebeldes, ya fuera abriéndome las puertas de su casa o por Facebook en cuanto le escribía desesperada.

A mis compis de los laboratorios vecinos de la Paz, en especial a mi compi de Málaga Javi por ayudarme a identificar, a separar, animarme y apoyarme. A Carmen por ayudarme con esos mini anfípodos y a mamíferos marinos por guardarme las muestras y que nunca les pasara nada. Al resto por los ánimos cuando me veían buscar oro en la solana, por aguantar el pestazo a formol y por echarme una mano en la identificación. Y al laboratorio de Ciencia y Tecnología de Alimentos por dejarme centrifugar mis muestras de sedimento.

A mi otro laboratorio Sistemas Arrecifales de la UABCS y a todos sus miembros. A Héctor por hacerme reír, por no permitir un “no puedo” o “no sé” y por ser un ejemplo a seguir. A Petatán por ser un gran maestro y conseguir que comprendiera el SIG. A Vladimir por su ayuda con estadística y por ayudarme en la albañilería un ratito. A Pancho por ayudarme a separar botes de sedimento a la lupa con positividad y ánimo. Al Shino por solidarizarse y volverse loco conmigo identificando los moluscos. A Deneb, Paco y Alexa por acompañarme en alguna de las travesías a Concepción. A Cham por sus consejos, por hacerme reír y por brindarme la gran oportunidad de mejorar y aprender mucho más en Oaxaca. A Omar por prestarme el equipo. Al resto de mis compañeros y amigos Dani, Jenny, Rebeca M., Ari, Claudia, Viole, Triana, Gabi, Cocho, Silvia, Cristian, David, Shasta y Geraldine, con los que me lo he pasado súper bien, me he reído muchísimo, y que me han ayudado y apoyado en los diferentes momentos de ese gran proceso y que incluso estuvieron dispuestos a ir al basurero municipal de La Paz.

A Martín y Julio (Tulio), porque me ayudaron muchísimo en las salidas de campo e hicieron más de lo que tenían que hacer. Porque sin las ideas, utensilios y actitud de Martín esas salidas habrían sido un caos.

A mis idiotas, que sí que sí que sin ellos esta tesis no sería lo mismo. A Rebeca por las miles de horas delante de un lupa separando bichitos para ayudarme, por ir a campo, por tamizar, por filtrar, por animarme y por estar siempre a mi lado. A la Mom y Kiko por darme todo su apoyo, su ánimo, su cariño y sobre todo por hacerme reír infinidad de veces. A Diego, Janna y Carlos por someterse tres veces al As, por estar horas buceando, cambiando muestras a formol, jugando con lucecitas de navidad y baritas mágicas, siendo atacados por mosquitos, machacarse un dedo, por macerar, por tamizar, ayudarme a preparar materiales, etc. y siempre con una sonrisa y sin permitir que me derrumbara ante la adversidad. Porque lo importante es que nos divertimos.

A mis roomies, Elisú, Celia, María, Lili y Nutela, por escuchar mis historias, por hacerme reír, por apoyarme, por regañarme, por ser mis confidentes, por ir a muestrear, por hacerme mil favores, por consentirme y por los miles de consejos.

A todos mis amigos de Madrid, de Murcia, de Granada y de Cádiz que están repartidos por el mundo y aun así me han apoyado, me han transmitido su positividad y me han escrito para darme ánimos y desearme suerte.

Finalmente agradecer a toda mi familia, la que sigue con nosotros y la que ya se fue: mis padres, mi hermana, mis abuelos, mis tíos, mis primos y mis perris, por todo el apoyo incondicional a lo largo de mi vida, el cariño y por todas las veces que me han dicho que todo saldrá bien.

## Tabla de contenido

---

	Página
<b>Resumen en español</b> .....	ii
<b>Resumen en inglés</b> .....	iii
<b>Dedicatoria</b> .....	iv
<b>Agradecimientos</b> .....	v
<b>Lista de figuras</b> .....	viii
<b>Lista de tablas</b> .....	xii
<b>Capítulo 1 - Introducción</b>	
1.1. Introducción general.....	1
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Justificación.....	6
1.4. Objetivos.....	7
1.5. Hipótesis.....	8
<b>Capítulo 2 – Metodología</b>	
2.1 Zona de estudio.....	9
2.2 Diseño de muestreo.....	12
2.3 Toma de muestras.....	13
2.4 Variables ambientales de la columna y del sedimento.....	13
2.5 Análisis sedimentológicos.....	13
2.6 Caracterización de la comunidad epifaunal e infaunal.....	15
2.7 Análisis estadísticos y numéricos.....	17
<b>Capítulo 3 – Resultados</b>	
3.1 Caracterización sedimentológica y de la columna.....	
3.1.1 Distribución granulométrica.....	19
3.1.2 Variables del C y N del sedimento.....	24
3.1.3 Variables fisicoquímicas de la columna y del sedimento.....	25
3.2 Caracterización de la comunidad bentónica.....	
3.2.1 Porcentaje de cobertura.....	34
3.2.2 Índices ecológicos: Abundancia, riqueza, equirepartición y diversidad.....	37
3.2.3 Dominancias.....	42
3.3 Relaciones entre las variables ambientales y la fauna.....	
3.3.1 Epifauna.....	47
3.3.2 Infauna.....	52
<b>Capítulo 4 - Discusión</b> .....	58
<b>Capítulo 5 - Conclusiones</b> .....	68
<b>Lista de referencias bibliográficas</b> .....	69
<b>Anexos</b> .....	74

## Lista de figuras

---

Figura		Pagina
1	Representación del sistema de fallas que afecta a la actividad hidrotermal de Bahía Concepción. También se muestra las zonas con actividad hidrotermal identificadas por otros autores (Canet et al., 2005).....	9
2	Zona de estudio en Bahía Concepción (A) y localización de las estaciones control y de las ventilas hidrotermales estudiadas (B)....	10
3	Profundidad (m) de cada estación muestreada: C1 (A), C2 (B), VH1 (C) e VH2 (D).....	11
4	Esquema del diseño de muestreo .....	13
5	Clasificación textural del sedimento de la estación C1 en los ocho transectos al metro 0, 10, 20 y 30 de distancia del centro, a partir del diagrama ternario propuesto por Folk, 1954. También se representa el porcentaje en peso del tamaño de grano (grava, arena y fango) de los transectos 1, 2, 3 y 4.....	19
6	Clasificación textural del sedimento de la estación C2 en los ocho transectos al metro 0, 10, 20 y 30 de distancia del centro, a partir del diagrama ternario propuesto por Folk (1954). También se representa el porcentaje en peso del tamaño de grano (grava, arena y fango) de los transectos 1, 2, 3 y 4.....	20
7	Clasificación textural del sedimento de la VH1 en los ocho transectos al metro 0, 10, 20 y 30 de distancia del centro, a partir del diagrama ternario propuesto por Folk (1954). También se representa el porcentaje en peso del tamaño de grano (grava, arena y fango) de los transectos 1, 2, 3 y 4.....	21
8	Clasificación textural del sedimento de la VH2 en los ocho transectos al metro 0, 10, 20 y 30 de distancia del centro, a partir del diagrama ternario propuesto por Folk (1954). También se representa el porcentaje en peso del tamaño de grano (grava, arena y fango) de los transectos 1, 2, 3 y 4.....	21
9	Comparación de la variación del tamaño medio de grano del sedimento de la zona C1 (A), C2 (B), VH1 (C) e VH2 (D), siendo los colores más azules tamaño de grano mayores y los colores más rojizos tamaños de grano menores.....	22

10	Curvas de frecuencia donde se representa el porcentaje en peso del tamaño de grano en escala phi ( $\emptyset$ ) y fotografías del sedimento característico de la estación control (A) y de las VH en la zona centro (0 m; B), la zona cercana a la hidrotermal (10 m del centro; C) y la zona lejana al centro (30 m del centro; D). Curvas hacia la derecha indican una asimetría negativa con predominio de sedimento fino, mientras que curvas hacia la izquierda indican una asimetría positiva con predominio de sedimento grueso.....	24
11	Relación C13 y N15 en las estaciones control (C1 y C2) y las ventilas hidrotermales someras (VH1 y VH2) (A).....	25
12	Representación del valor promedio y desviación estándar de temperatura de la columna, temperatura del sedimento, salinidad y anomalía del pH en las estaciones control (C1, n=248 y C2, n=248) y las ventilas hidrotermales (VH1, n=248 y VH2, n=248).....	26
13	Representación de las variables temperatura de la columna, salinidad y anomalía de pH de la estación C1 a lo largo del área muestreada. En las gráficas de la izquierda se observa la variación de cada variable en los ocho transectos muestreados (T1 a T8).....	28
14	Representación de las variables temperatura de la columna, salinidad y anomalía de pH de la estación C2 a lo largo del área muestreada. En las gráficas de la izquierda se observa la variación de cada variable en los ocho transectos muestreados (T1 a T8).....	29
15	Disminución de la temperatura del sedimento según te alejas del centro de la emanación de VH1 (n=248), se representa el promedio de los ocho transectos para cada metro y la desviación estándar...	30
16	Representación de las variables temperatura de la columna, temperatura del sedimento, salinidad y anomalía de pH de la VH1 a lo largo de la distancia respecto del centro de emanación. En las gráficas de la izquierda se observa la variación de cada variable en los ocho transectos muestreados (T1 a T8).....	31
17	Representación del promedio y desviación estándar de la temperatura del sedimento en la VH 2 frente a cada transecto (A) y frente a la distancia al centro de emanación propuesto inicialmente en este estudio (B).....	32
18	Representación de las variables temperatura de la columna, temperatura del sedimento, salinidad y anomalía de pH de VH2 a lo largo de la distancia respecto del centro de emanación propuesto inicialmente. En las gráficas de la izquierda se observa la variación de cada variable en los ocho transectos muestreados (T1 a T8).....	33

19	Representación del porcentaje de cobertura en promedio de los corales <i>Porites sverdrupi</i> y <i>Porites panamensis</i> , de esponja, de tunicado, de alga coralina o rodolito, de alga parda, de alga verde, de arena y de roca, en las estaciones control (C1 y C2) y las ventilas hidrotermales someras (VH1 y VH2).....	35
20	Porcentaje de cobertura de <i>Porites sverdrupi</i> en las estaciones control C1 (A) y C2 (B).....	35
21	Representación del porcentaje de cobertura de roca (A), arena (B), alga parda C) y <i>Porites panamensis</i> (D) a lo largo del área muestreada en la ventila hidrotermal 1 (VH1).....	36
22	Representación del porcentaje de cobertura de arena (A), alga parda (B) y del coral <i>Porites panamensis</i> (C) a lo largo del área muestreada en la ventila hidrotermal 2 (VH2).....	37
23	Riqueza específica (sp/muestra) y abundancia (ind/m <sup>2</sup> ) de los diferentes grupos faunísticos epifaunales en cada zona estudiada...	38
24	Riqueza específica (sp/muestra) y abundancia (ind/m <sup>2</sup> ) de los diferentes grupo faunísticos infaunales en cada zona estudiada.....	38
25	Abundancia (ind/m <sup>2</sup> ) y riqueza específica (sp/muestra) de infauna en el centro, a 10m y a 20m en la zona C1, C2, VH1 e VH2.....	39
26	Índices ecológicos de las comunidades bentónicas epifaunales de la zona C1, C2, VH1 y VH2. Diversidad (H'), abundancia (N), riqueza específica (S) y equitatividad (J).....	40
27	Índices ecológicos de las comunidades bentónicas infaunales de la zona C1, C2, VH1 e VH2. Diversidad (H'), abundancia (N), riqueza específica (S) y equitatividad (J).....	42
28	Dendograma de las variables ambientales de la columna de agua de las estaciones control (C1, C2), agrupadas por el cuadro azul, y de las ventilas hidrotermales (VH1, VH2), agrupadas por el cuadro rojo.....	50
29	MDS de las variables ambientales de la columna de agua de las estaciones control (C1, C2) agrupadas a la izquierda y de las ventilas hidrotermales (VH1, VH2) agrupadas a la derecha.....	50
30	Dendograma y MDS de las variables ambientales de la columna en promedio de las zonas control (C1, C2) y las ventilas hidrotermales (VH1, VH2).....	51

31	MDS de la matriz de abundancia de epifauna de las estaciones control (C1, C2) y de las ventilas hidrotermales (VH1, VH2).....	51
32	Dendograma y MDS de la matriz de abundancia de epifauna en promedio de las estaciones control (C1, C2), agrupadas a la derecha en el cluster y a la izquierda en el MDS, y de las ventilas hidrotermales (VH1, VH2), agrupadas a la izquierda en el cluster y a la derecha en el MDS.....	52
33	Dendograma de las variables del sedimento de las estaciones control (C1, C2) y de las ventilas hidrotermales (VH1, VH2).....	55
34	MDS de las variables del sedimento de las estaciones control (C1, C2) y de las ventilas hidrotermales (VH1, VH2).....	55
35	Dendograma y MDS de las variables del sedimento en promedio de las estaciones control (C1, C2) y de las ventilas hidrotermales (VH1, VH2) .....	55
36	Dendograma de la matriz de abundancia de infauna de las estaciones control (C1, C2), agrupadas a la derecha, y de las ventilas hidrotermales (VH1, VH2), agrupadas a la izquierda.....	56
37	MDS de la matriz de abundancia de infauna de las estaciones control (C1, C2), agrupadas a la derecha, y de las ventilas hidrotermales (VH1, VH2), agrupadas a la izquierda.....	57
38	Dendograma y MDS de la matriz de abundancia de infauna en promedio de las estaciones control (C1, C2), agrupadas a la derecha, y de las ventilas hidrotermales (VH1, VH2), agrupadas a la izquierda.....	55

## Lista de tablas

---

1	Media y error estándar de los índices granulométricos en la estación control 1, control 2, ventila hidrotermal 1 y ventila hidrotermal 2.....	23
2	Media y error estándar del %C y %N en la estación control C1 y C2 y las ventilas hidrotermales someras VH1 y VH2.....	25
3	Media, error estándar, mínimos y máximos (entre paréntesis) de las variables temperatura de la columna, temperatura del sedimento, salinidad y anomalía del pH en la C1, C2, VH1 e VH2...	27
4	Resultados del análisis de Kruskal-Wallis entre las zonas estudiadas para las coberturas de roca, arena, tunicado, esponja, coral y alga.....	34
5	Índices ecológicos de abundancia (N), riqueza (S), equirepartición (J') y diversidad de Shannon-Wiener (H') de las especies epifaunales.....	39
6	Índices ecológicos de abundancia (N), riqueza (S), equirepartición (J') y diversidad de Shannon-Wiener (H') de las especies infaunales.....	40
7	Resultados del análisis de Kruskal-Wallis entre metros de las ventilas hidrotermales para los índices de riqueza (S), abundancia (N), equitatividad (J') y diversidad de Shanon (H), en las comunidades epi e infaunales.....	41
8	Dominancia (%D) y abundancia (N) de las especies epifaunales en las estaciones control con un porcentaje de dominancia mayor al 2%.....	43
9	Abundancia (N) y dominancia (D) de las especies epifaunales en las ventilas hidrotermales con un porcentaje de dominancia mayor al 2%.....	44
10	Abundancia (N) y dominancia (D) de las especies infaunales en las estaciones control con un porcentaje de dominancia mayor al 2%.....	45
11	Abundancia (N) y dominancia (D) de las especies infaunales con un porcentaje de dominancia mayor al 2% en las zonal VH. También se representa estos isotopos a 0, 10, 20 y 30 m de la VH1 (B).....	46

12	Correlación de Spearman entre los índices ecológicos de epifauna (riqueza (S), abundancia (N), equitatividad (J) y diversidad (H)), y los valores ambientales de la columna y sedimento como son la profundidad (prof), anomalía del pH, salinidad, temperatura del sedimento (temp sed), temperatura de la columna (temp col), porcentaje de roja (roca) y porcentaje de arena (arena).....	47
13	Correlación de Spearman para los datos de las estaciones control entre los índices ecológicos de epifauna (riqueza (S), abundancia (N), equitatividad (J) y diversidad (H)), y los valores ambientales de la columna y sedimento como son la profundidad (prof), anomalía del pH, salinidad, temperatura del sedimento (temp sed), temperatura de la columna (temp col) y porcentaje de arena (arena).....	48
14	Correlación de Spearman para los datos de las VH entre los índices ecológicos de epifauna (riqueza (S), abundancia (N), equitatividad (J) y diversidad (H)), y los valores ambientales de la columna y sedimento como son la profundidad (prof), anomalía del pH, salinidad, temperatura del sedimento (temp sed), temperatura de la columna (temp col), porcentaje de roja (roca) y porcentaje de arena (arena).....	49
15	Correlación de Spearman entre los índices ecológicos de infauna (riqueza (S), abundancia (N), equitatividad (J) y diversidad (H)) y la temperatura del sedimento (T) y parámetros sedimentológicos (porcentaje de grava (Grava), porcentaje de arena (arena), porcentaje de fango (Fango), media (Mz), grado de selección ( $\sigma_1$ ), asimetría (SK1) y angulosidad (KG).....	52
16	Correlación de Spearman para control entre los índices ecológicos infaunales (riqueza (S), abundancia (N), equitatividad (J) y diversidad (H)), y los parámetros sedimentológicos temperatura del sedimento (T), porcentaje de grava (Grava), porcentaje de arena (arena), porcentaje de fango (Fango), media (Mz), grado de selección ( $\sigma_1$ ), asimetría (SK1) y angulosidad (KG).....	53
17	Correlación de Spearman para VH entre los índices ecológicos infaunales (riqueza (S), abundancia (N), equitatividad (J) y diversidad (H)), y los parámetros sedimentológicos temperatura del sedimento (T), porcentaje de grava (Grava), porcentaje de arena (arena), porcentaje de fango (Fango), media (Mz), grado de selección ( $\sigma_1$ ), asimetría (SK1) y angulosidad (KG).....	54

# Capítulo 1- Introducción

---

## 1.1- Introducción general

La actividad hidrotermal submarina se produce en varios entornos tectónicos en todo el mundo, y se encuentra asociada a límites de placas activas (German, Baker, y Klinkhammer, 1995). Estas ventilas hidrotermales también se pueden localizar en zonas fracturadas asociadas con fallas menos impermeables, o en ambientes sedimentarios con rocas porosas y permeables dando lugar al ascenso de fluidos de origen meteorítico y magmático (Villanueva-Estrada et al., 2012). Las ventilas hidrotermales se clasifican como profundas o someras, encontrándose estas últimas a profundidades menores a 200 m (Tarasov, Gebruk, Mironov, y Moskalev, 2005).

La circulación hidrotermal somera se produce cuando el agua de mar percola a través de fracturas en la corteza oceánica, y circula a través de las rocas hacia zonas profundas donde primero se calienta y luego se somete a una modificación química a través de reacciones con la roca huésped (German y Damm, 2003; Panichi y Ruffa, 2007). Por circulación conductiva, y a través de las fracturas generadas por extensas fallas, el agua es de nuevo impulsada hacia la superficie caracterizada por presentar una mayor temperatura (hasta 120° C) y modificaciones químicas (Prol-Ledesma, Canet, Torres-Vera, Forrest, y Armienta, 2004; Tarasov et al., 2005). Los fluidos están formados por sustancias reducidas, metales y gases (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> y en menor cantidad H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>; Tarasov et al., 2005). El CO<sub>2</sub> expulsado puede derivar de la disociación de los carbonatos marinos o de la desgasificación del magma (Dando, Stuben, y Varnavas, 1999), mientras que las altas concentraciones de N<sub>2</sub> pueden derivar de alteración térmica de la materia orgánica sedimentaria. Por el contrario, el CH<sub>4</sub> puede tener origen biogénico debido a la actividad microbiana en ambientes anaeróbicos de baja temperatura, o termogénico, donde las altas temperaturas (> 100° C) son suficientes para romper los enlaces químicos de la materia orgánica (Forrest et al., 2005). Los fluidos hidrotermales sobrecalentados emitidos desde los centros de expansión o centros calientes se enfrían rápidamente cuando se liberan en la columna de agua marina, dando como resultado que muchos

compuestos disueltos precipiten alrededor de las ventilas. Esta reacción ocasionalmente da lugar a la formación de chimeneas por la precipitación de minerales, compuestos principalmente de sulfuros de hierro, cobre y zinc (Fisher, Takai, y Bris, 2007), o bien, es capaz de modificar las condiciones del fondo circundante.

Una combinación de alta temperatura, alta cantidad de sulfuro de hidrógeno, bajo pH y baja salinidad puede dar lugar a la exclusión de la mayoría de la fauna circundante, a excepción de algunas especies capaces de soportar el ambiente de la ventila hidrotermal (Melwani y Kim, 2008). Dicha fauna logra resistir gracias a diferentes adaptaciones como mecanismos de tolerancia y desintoxicación (Arp, Menon, y Julian, 1995); otras desarrollan estrategias biológicas, como tubos, conchas o algas frondosas, que les permiten sobrevivir en estos ecosistemas (Melwani y Kim, 2008), mientras que otros organismos optan por escapar temporalmente de las condiciones de ventilación y así tener más probabilidad de sobrevivir que las especies sésiles o de madrigueras (Tarasov et al., 2005; Melwani y Kim, 2008). En resumen, la alta temperatura y la modificación química del agua y del sedimento producto de la actividad hidrotermal actúa como un fuerte factor de estructuración de la comunidad biológica en sus alrededores (Melwani y Kim, 2008).

Como resultado de lo anterior pueden observarse efectos biológicos interesantes. Estudios realizados con isótopos de carbono indican diversos hábitos de alimentación, dentro de los cuales se observó cómo especies filtradoras y detritívoras se encontraban en la periferia de la hidrotermal (Giménez y Marín, 1991; Southward et al., 1996; Dando et al., 1999). Además, existen especies que pueden obtener alimento por simbiosis con bacterias oxidantes, aunque parecen incapaces de tolerar las altas temperaturas, salinidades, concentraciones de sulfuro o de metales (F. Thiermann, Akoumianaki, Hughes, y Giere, 1997). En general se infiere que en las zonas cercanas a la ventila hidrotermal, las especies residentes dependerán en buena medida del carbono fijado por la quimiosíntesis (Forrest et al., 2005; Dando, 2010) , sin embargo en el caso de las ventilas someras, al encontrarse en la zona eufótica, también reciben aportaciones importantes por parte de las actividades fotosintéticas de algas y bacterias, la cual se ve estimulada por las altas temperaturas y niveles de nutrientes en la zona de emisión (Dando, 2010). Esta mezcla de fuentes de alimentos y microhábitats puede dar lugar a

una alta biodiversidad de especies epifaunales, la cual puede ser incluso superior a la encontrada en el área inmediata a las ventilas (Dando et al., 1999).

Hasta la fecha han sido pocas las ventilas hidrotermales someras identificadas en México, a diferencia de las profundas que se encuentra ampliamente distribuidas a lo largo del Golfo de México y de California. Aunque las ventilas hidrotermales someras no presentan condiciones tan extremófilas como sus homólogos profundos las condiciones que originan también afectan a las comunidades circundantes tanto epifaunales e infaunales. Por ello en este estudio se pretende ver si las condiciones de temperatura y otras variables de las ventilas hidrotermales de Bahía Concepción afectan a la estructura comunitaria epifaunal e infaunal y al grado de tolerancia de los organismos que habitan estos ecosistemas.

## **1.2- Antecedentes**

Entre los primeros reportes que mostraron evidencias de la existencia de actividad hidrotermal en el océano a mediados de la década de 1960 están las investigaciones en el Mar Rojo las cuales revelaron cuencas profundas con agua caliente, salada y con sedimentos ricos en metales (Degens y Ross, 1970). El descubrimiento de actividad hidrotermal en Galápagos también aportó nuevo conocimiento sobre este proceso (Edmond et al., 1979), y posteriormente se ha encontrado actividad hidrotermal en un gran número de lugares en todo el Pacífico, el Atlántico Norte y el Océano Índico (Van Dover, German, Speer, Parson, y Vrijenhoek, 2002).

En años recientes, los estudios referentes a la actividad hidrotermal se han centrado principalmente en sistemas profundos, por lo general relacionados a las dorsales oceánicas y las cuencas oceánicas adyacentes a arcos de islas, mientras que las ventilas hidrotermales poco profundas han sido menos estudiadas a pesar de su accesibilidad para el muestreo (Canet et al., 2005; Forrest et al., 2005). Posiblemente se deba a que estos ecosistemas someros presentan condiciones menos extremas lo que no propicia un contraste sedimentológico, ambiental y faunístico tan drástico respecto a sus alrededores, como sí ocurre en las hidrotermales profundas.

Uno de los primeros estudios sobre ventilas hidrotermales someras se realizó en los años 70, en Punta Banda, Baja California (Vidal, Vidal, Isaacs, y Young, 1978). En este estudio encontraron unas zonas de alta temperaturas ( $102\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), con emanaciones gaseosas ricas en  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2$  y con depósitos de metales ferrosos y pirita. Además, estos autores calcularon el volumen de fluido descargado aproximado del sistema hidrotermal ( $330.000\text{ m}^3 / \text{año}$ ) y el flujo convectivo de calor ( $10^5$  veces mayor al flujo conductor promedio reportado en el fondo marino). Las ventilas hidrotermales someras están ampliamente distribuidas en el mundo como Ambitle y Lihir en Papua New Guinea (Pichler, Veizer, y Hall, 1999), la Bahía Plenty, Nueva Zelanda (Stoffers, Survey, Street, Ka, y Wright, 1999) o Milos, Grecia (Fitzsimons et al., 1997).

En los últimos años los estudios de hidrotermales someras han sido principalmente biogeoquímicos, siendo pocos aquellos relacionados con la distribución de las especies residentes locales. En relación al primer tópico, Yücel y colaboradores (2013) estudiaron la variación de oxígeno, temperatura y algunos metales en transectos de hidrotermal en la isla Milos en el Mediterráneo. Encontraron tres áreas diferentes: una central con mayor temperatura, alta penetración de oxígeno en sedimento, y ausencia de  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$  disueltos. Luego esta una zona intermedia (0.5 metros de la ventila) rica en  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$  disueltos (superior a  $2\text{ mM}$ ) y con un alto potencial de oxidación de sulfuro microbiano, lo que da lugar a tapetes blancos en la superficie de los sedimentos; y, finalmente, una zona de borde exterior (1-1.5 m) con menores concentraciones de  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$ . Otros trabajos observaron, en esta misma zona, una zonación en los precipitados a lo largo de la hidrotermal causada por el aumento de temperatura en los sedimentos en dirección al centro del sistema de ventilación. El máximo de temperatura fue de  $100^{\circ}\text{C}$  en la zona central de la ventila y el piso marino presentaba un color amarillo sulfuroso. En esta zona encontraron zonas oxigenadas en donde existía pequeñas celdas convectivas que reoxidaban eficientemente el  $\text{H}_2\text{S}$  filtrado (Wenzhofer, Holby, Glud, Nielsen, y Gundersen, 2000).

Cardigos y colaboradores (2005) identificaron dos zonas de ventilación en D. João de Castro en el archipiélago de las Azores, con características físicas y químicas diferentes. Por un lado están las áreas blancas con tapetes bacterianos y temperaturas más bajas ( $43^{\circ}\text{C}$ ), que se caracterizan por presentar altas concentraciones de  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$

y H<sub>2</sub>, así como la presencia de especies típicas de sistemas de hidrotermales como la bacteria *Beggiatoa* sp. Por otra parte, el área amarilla presenta temperaturas de hasta 63°C y en ella no hay presencia de fauna típica de los respiraderos hidrotermales, apareciendo especies de ambientes típicamente marinos como el alga *Sargassum* cf. *vulgare*, a solo 70 cm de la ventila hidrotermal.

En el caso de México se han encontrado varias ventilas hidrotermales como es el caso de Puertecitos, en el Golfo de California a lo largo del noreste de la península de Baja California (Barragán, Birkle, Portugal, Arellano, y Alvarez, 2001), Punta Banda, en la costa del Pacífico de Baja California (Vidal et al., 1978), Bahía Concepción, en la costa oriental de Baja California (Prol-Ledesma, 2003) o Punta Mita, en la costa del Pacífico de México central, donde la actividad hidrotermal en estas zonas se debe a la presencia de fallas regionales que ayudan a la penetración de agua a zonas profundas meteóricas (German y Damm, 2003).

Las profundidades donde ocurren estos ecosistemas en el Golfo de California varían de 5 a 30 m y la temperatura del agua emitida alcanza entre 40 y más de 100 ° C (Prol-Ledesma, 2003). El gas descargado se compone principalmente de nitrógeno y metano, ambos presentes en proporciones similares, lo que sugiere un origen meteórico. Por el contrario, en el sistema hidrotermal Bahía Concepción, presenta descargas de gas episódicas hacia el mar, dominadas por nitrógeno y dióxido de carbono; la composición química indica una mezcla de agua meteórica local y agua de mar (Prol-Ledesma, 2003).

En el caso de Bahía Concepción los estudios realizados determinaron la influencia de ventilas hidrotermales someras sobre la composición química de los sedimentos superficiales en la localidad. En relación a esto los datos geoquímicos indican que el sistema hidrotermal de Mapachitos, Bahía Concepción, Baja California Sur, es una fuente clave de As y Hg para el agua, los sedimentos, en donde se forman depósitos, y algas de la bahía. Aunque una pequeña proporción de As y Hg precipita cerca de la ventila hidrotermal, ambos elementos siguen en gran medida en la fracción disuelta, extendiéndose a gran distancia de la fuente. También los autores observaron como el alga parda *Sargassum sinicola* llega a acumular grandes cantidades de estos metales superando su concentración en zonas ajenas a la ventila hidrotermal (Leal-Acosta, Shumilin, Mirlean, Delgadillo-Hinojosa, y Sánchez-Rodríguez, 2013).

Hablando a escala comunitaria, otra investigación en Bahía Concepción sobre la distribución de comunidades bentónicas en los alrededores de ventilas hidrotermales fue la de Melwani y Kim (2008), quienes revisaron la variación de algunos parámetros del sedimento, como el pH, temperatura y la profundidad, en zonas cercanas, de transición y lejanas a la ventila. Los resultados indican una disminución del pH y aumento de temperatura a 15 cm de profundidad de la superficie sedimentaria en zonas cercanas a la ventila. Las zonas alejadas de la emisión no presentaban este patrón. La combinación de estos factores dio lugar a una disminución de la diversidad de comunidades infaunales y a la ausencia de algunas especies. Además especies con adaptaciones al estrés térmico presentaron mayor abundancia en las inmediaciones de las ventilas que el resto en estos ecosistemas.

Finalmente, estudios en Bahía Concepción también han denotado variaciones en la diversidad y abundancia de hábitats rocosos adyacentes a zonas hidrotermales, los cuales presentaron alta diversidad de invertebrados epifaunales filtradores, mientras que los infaunales fueron menos diversos en estas zonas (Forrest y Melwani, 2003). Proporciones de isótopos de carbono indican que los pepinos de mar detritívoros (especie *Holothuria inhabilis*), pueden localizarse en zonas con precipitados de hierro, acompañados de algas que crecen exclusivamente en las zonas de ventilación (Forrest, 2004).

### **1.3- Justificación**

La mayoría de los estudios sobre las ventilas hidrotermales a nivel mundial se han realizado en zonas profundas, siendo pocos los enfocados a formaciones someras. Además, los objetivos de las investigaciones típicamente solo se concentran en los procesos biogeoquímicos. Como resultado, existe escasa información sobre la composición de los ensamblajes biológicos de esas áreas, y casi nada se sabe con relación al efecto que las condiciones ambientales puedan tener sobre la distribución o abundancia de organismos (es decir, sobre su estructura comunitaria). Estos ecosistemas presentan condiciones ambientales particulares como alta temperatura y acidez que

pueden influir sobre la colonización de ciertos organismos, dando lugar a variaciones o gradientes espaciales en la composición de especies, fundamentados en sus tolerancias fisiológicas al agua marina modificada química y termalmente. Todo lo anterior conlleva a la necesidad de estudiar estos ecosistemas bajo una perspectiva integradora entre parámetros ambientales y biológicos, lo que además permitirá sentar las bases para nuevas investigaciones relativas a la posible conservación de estos ecosistemas o a la influencia de la acidificación en los organismos. Otra línea de investigación futura y de gran interés puede estar en el análisis de las adaptaciones genéticas y fisiológicas que permiten la colonización de estos ecosistemas, lo que proveerá una aproximación a cómo puedan adaptarse estos y otros organismos antes cambios futuros en el pH marino, como resultado del cambio climático.

#### **1.4- Objetivos**

Relacionar la distribución y la estructura comunitaria de las especies de invertebrados epifaunales e infaunales residentes en las cercanías de las ventilas hidrotermales someras de Bahía Concepción, Golfo de California, con las características físicoquímicas y sedimentológicas de la zona.

Para ello se establecieron tres objetivos particulares:

- 1) Evaluar la abundancia, dominancia, riqueza, diversidad y equitatividad de la epifauna e infauna asociadas a ventilas hidrotermales someras, y compararla con estaciones control expuestas a condiciones sin influencia de la ventila hidrotermal.
- 2) Contrastar las características sedimentológicas y las variables ambientales (temperatura, salinidad y pH), de las ventilas hidrotermales, con las de las estaciones control.
- 3) Analizar las relaciones de las variables ambientales y sedimentológicas con la estructura comunitaria de las comunidades bentónicas encontradas en cada zona.

## 1.5- Hipótesis

Las hipótesis que se plantean en el presente trabajo son:

- 1) Debido a la mezcla del fluido que emana de la ventila con el agua de la columna y que por ello las condiciones térmicas o químicas generadas no son tan extremas como en el sedimento, existe una mayor diversidad en las comunidades epifaunales en zonas cercanas a la emisión de las ventilas hidrotermales someras, en comparación con las estaciones control.
- 2) Debido a que cerca de la ventila hay condiciones de alta temperatura que dificultan la supervivencia de algunas especies, la diversidad de comunidades infaunales residentes en zonas cercanas a la emisión de las ventilas hidrotermales someras será más baja que la observada en áreas alejadas de la ventila hidrotermal y en áreas control.
- 3) Debido a que cerca de la ventila hidrotermal hay un mayor burbujeo y aporte de carbono y nitrógeno encontraremos variaciones en el tipo de alimentación de las especies, habiendo especies predominantemente filtradoras cerca de la ventila hidrotermal; y herbívoras y carnívoras lejos de la ventila hidrotermal.
- 4) Debido a que los organismos marinos no toleran altas temperatura, ambientes ácidos, baja salinidad y sedimentos fangosos, la composición y estructura de la epifauna e infauna en la zona hidrotermal presentará una correlación positiva con el pH y la salinidad, y tendrá correlación negativa con la temperatura y el tamaño de grano del sedimento.

## Capítulo 2- Metodología

### 2.1. Zona de estudio

El estudio se centra en las ventilas hidrotermales de Bahía Concepción, localizada en el Golfo de California, Baja California Sur. Esta bahía tiene 40 km de largo y en su costado occidental presenta diversas manifestaciones hidrotermales distribuidas a lo largo de un tramo de 700 m de costa rocosa, las cuales están asociadas a la Falla El Requesón (Figura 1; Canet et al., 2005). Las ventilas hidrotermales (VH) se distribuyen de forma lineal debido a la falla, dividiéndose en dos zonas con una dirección NW a SE (Figura 1; Prol-Ledesma et al., 2004):

- 1) Una zona de emanación difusa de agua caliente y gas con temperaturas de hasta 87 °C y pH de 6.2.
- 2) Un grupo de hot springs o aguas termales con burbujeo a 62 °C y pH de 6.68.

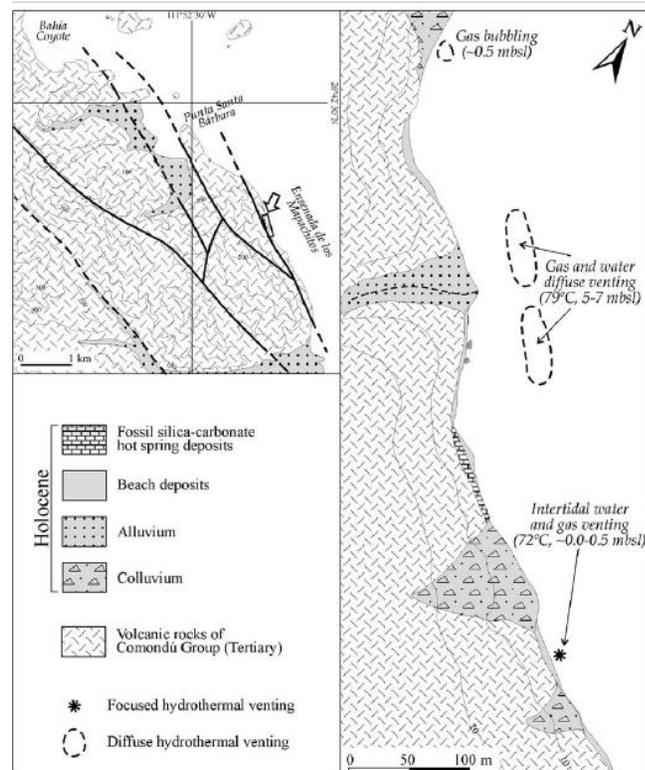
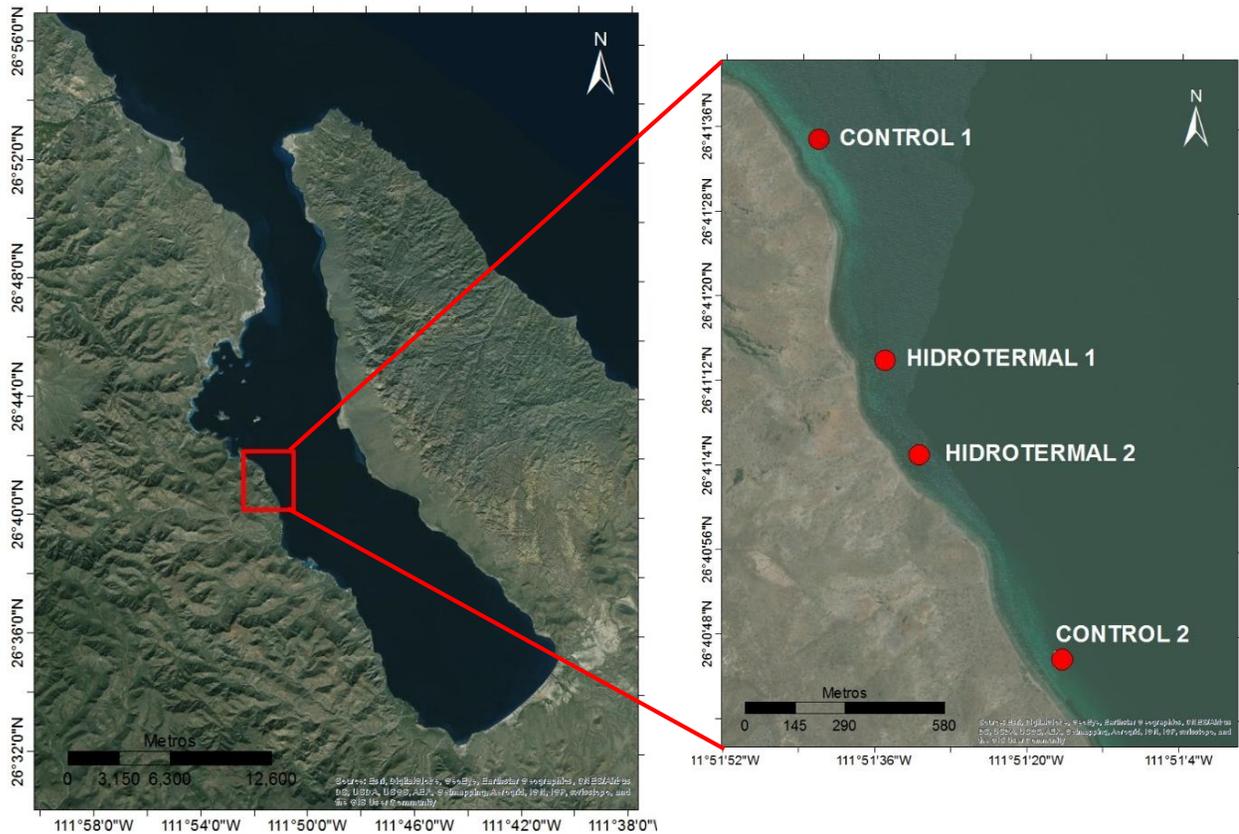


Figura 1. Representación del sistema de fallas que afecta a la actividad hidrotermal de Bahía Concepción. También se muestra las zonas con actividad hidrotermal identificadas por otros autores (Canet et al., 2005).

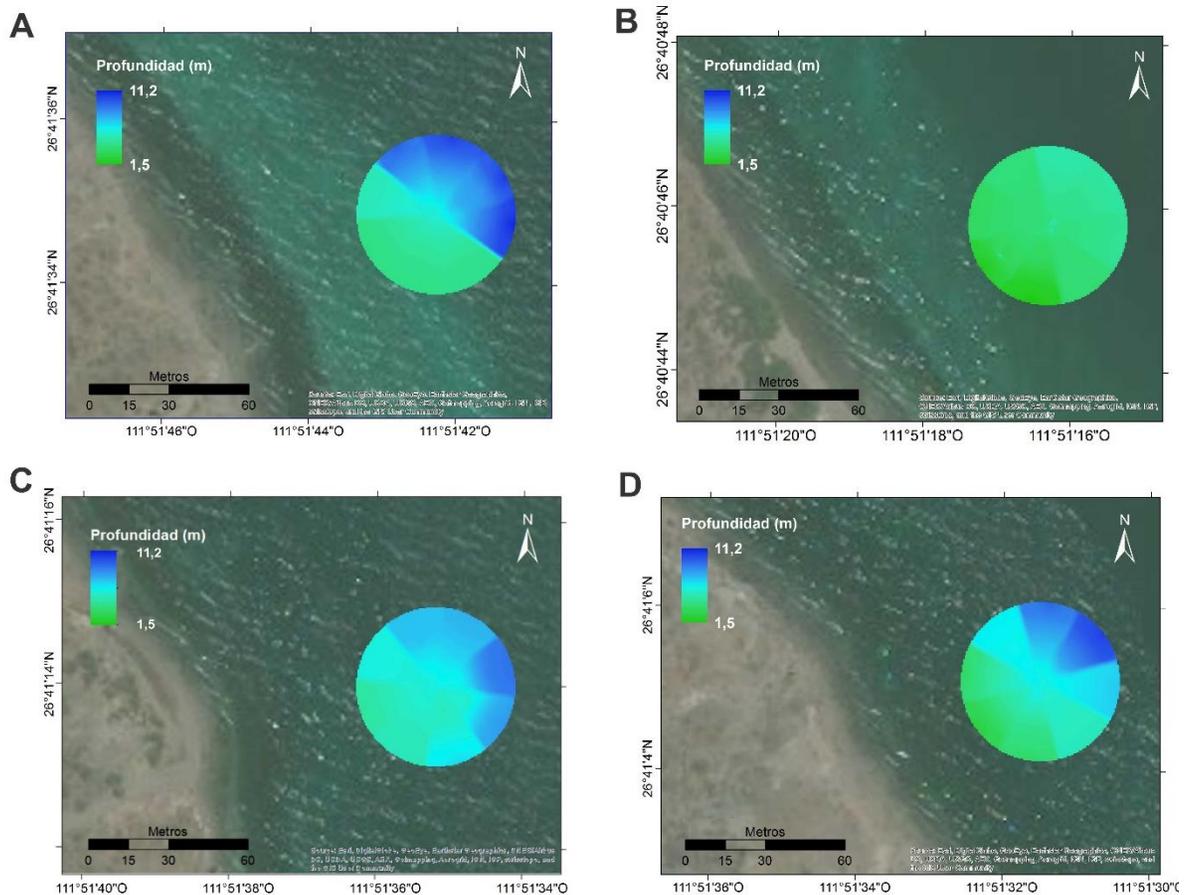
El agua que emana debido a la actividad hidrotermal de esta zona no está vinculada a actividad volcánica sino que presenta un origen meteórico, que penetra a través de las fallas extensionales, y calentado por el elevado gradiente geotérmico (Prol-Ledesma, 2003; Villanueva-Estrada et al., 2012).

Se estudiaron dos VH y se compararon con dos estaciones control alejadas 800 m de las salidas de agua del fondo, una situada al norte y otra al sur de la bahía, y con características semejantes en batimetría y velocidad y dirección de la corriente. Aunque, debido a la irregularidad en la línea de costa presentaron diferente exposición a las corrientes, estando la estación control 1 más expuesta que las VH y, de ellas, la más protegida parece ser la VH1 (Figura 2).



**Figura 2.** Zona de estudio en Bahía Concepción (A) y localización de las estaciones control y de las ventilas hidrotermales estudiadas (B).

La primera de las ventilas hidrotermales muestreada tiene una profundidad entre 4.5 y 9.3 m y se localizó en 26.6874 N y -111.8600 W; esta zona se la denominará hidrotermal 1 (VH1). La segunda hidrotermal (VH2) presentó una profundidad entre 2.2 y 10.5 m y su posición fue 26.6887 N y -111.8604 W (Figura 3). En el caso de las estaciones control, la estación situada al norte o control 1 (C1), tiene una profundidad entre 3.9 y 11.2 m y sus coordenadas fueron 26.6930 N y -111.8617 W. La estación control situada al sur o control 2 (C2), es más somera con una profundidad entre 1.5 y 5.6 m y se localizó a 26.6794 N y -111.8545 W (Figura 3).



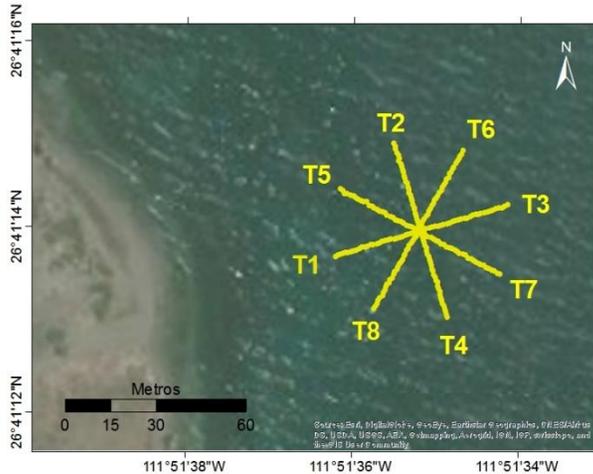
**Figura 3. Profundidad (m) de cada estación muestreada: C1 (A), C2 (B), VH1 (C) e VH2 (D).**

Estas ventilas hidrotermales se localizan en la zona conocida como Mapachitos, Bahía Concepción (Figura 1), a profundidades entre 5 y 15 m. La temperatura y el pH de los fluidos hidrotermales varía desde 72 hasta 87 °C y el pH entre 5.95-6.02 en la zona de emanación difusa submarina (Prol-Ledesma et al., 2004). El gas descargado contiene

principalmente CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> (con concentraciones medias de 44% y 54% respectivamente, a partir de dos muestras de gases tomadas de la ventila) y cantidades menores de CH<sub>4</sub> (2,2%), Ar (0,7%), He (0,04%), VH<sub>2</sub> (0,007%) y O<sub>2</sub> (0,2%) (Forrest y Melwani, 2003). Además, esta zona se caracteriza por presentar alto niveles de arsénico y mercurio debido a las descargas de fluidos geotermales o hidrotermales los cuales son tóxicos para la biota (Leal-Acosta, Shumilin, Mirlean, Sapozhnikov, y Gordeev, 2010). Los respiraderos hidrotermales de Bahía Concepción se caracterizan por precipitados rojos y amarillos brillantes que contienen principalmente oxihidróxido de hierro (Fe(OH)<sub>3</sub>) (Canet et al., 2005). En esta zona se produce una mineralización de Mn-Ba-Hg como resultado de la emanación hidrotermal, lo que sugiere mediación microbiana para la deposición mineral.

## **2.2. Diseño de muestreo**

El muestreo de las cuatros zonas a estudiar se realizó entre los días 19 y 23 de octubre de 2014. Este consistió en una toma de muestras de sedimento, de datos ambientales y de datos faunísticos de cada zona. Se tendieron ocho transectos de 30 m de largo, arreglados en forma de estrella tanto en las dos ventilas hidrotermales como en las dos estaciones control (Figura 4). En el caso de las VH, el centro se eligió en función de dos variables: la temperatura de sedimento y la presencia de un área de burbujeo. Para los controles se intentó que el centro tuviera las mismas profundidades y distancia a costa que las VH. Cada transecto de cada ventila se dividió en tres tramos, de 0 a 10 m se consideró como cerca de la emanación, de 10 a 20 como una zona de transición o media y de 20 a 30 como lejos de la emanación.



**Figura 4. Esquema del diseño de muestreo**

### 2.3. Toma de muestras

En cada zona, a cada 10 metros a lo largo de cada transecto se tomaron 300 g de sedimento para análisis sedimentológico, y se almacenaron en bolsas ziploc. Además, para obtener las muestras de organismos de la infauna se utilizaron nucleadores de poliuretano con 10 cm de diámetro y 15 cm de longitud, con los que se tomaron muestras en el metro 0, en el metro 10 y en el metro 20 respecto al centro de la cruz principal (transecto 1, 2, 3, y 4). Esto se hizo con el fin de buscar la presencia de gradientes en la composición de la infauna.

### 2.4. Variables ambientales de la columna y del sedimento

Se realizaron mediciones de temperatura dentro del sedimento mediante el uso de un termómetro de alcohol (-20 a 110 °C), con una resolución de 0.1 °C, así como mediciones de temperatura de la columna mediante el uso de Hobos Onset, con una precisión de 0.14 °C a 25 °C, distribuidos cada metro en cada transecto y programados para que tomaran datos cada 10 minutos durante un intervalo total de 30 minutos. Además, se tomaron muestras de agua en la columna a cada metro, con el fin de realizar

mediciones de pH y salinidad en panga con el uso de un potenciómetro (Waterproof Double Junction pHTestr® 10) con una resolución de 0.1 pH, y un refractómetro (VEE GEE STX-3 Handheld Refractometer) con una resolución de 0.001 ups. En el caso de los valores de pH se realizó la media de los datos de cada transecto y se le restó al valor de cada punto para así obtener la anomalía en cada zona. La razón de esta corrección se debió a una imprecisión en la calibración del potenciómetro y como consecuencia no se pudo analizar los valores brutos.

## 2.5. Análisis sedimentológicos

De cada muestras de sedimento tomada, una parte se destinó al análisis granulométrico y otras al análisis de la proporción de carbono, nitrógeno, y de las concentraciones de los isótopos C<sub>13</sub> y N<sub>15</sub>. Esas muestras se guardaron refrigeradas (4 °C, para granulometría) o congeladas (-20 °C, para materia orgánica) hasta su posterior análisis en el laboratorio.

Para el análisis granulométrico de las muestras de sedimento, inicialmente se realizó el secado a temperatura ambiente y en sombra. Una vez seco, el material se pasó por un sistema de tamices con el fin de obtener los porcentajes relativos de las fracciones de diferente diámetro. Los datos se agruparon según las clases granulométricas propuestas por Udden-Wentworth (1922) en grava (> 2 mm), arena (2 mm – 63 μm), y limo (<63 μm). La clasificación textural del sedimento se realizó utilizando los diagramas ternarios propuestos por Folk (1954) y (Shepard, 1954), y se calcularon los principales parámetros granulométricos propuestos por Folk y Ward (1957); esos son:

- Media ( $M_z$ ): promedio del tamaño de grano en unidad de diámetro de grano o phi. Se calcula como (1):

(1)

$$phi = -\log_2 (\text{mm}) = -3.3219 \log_{10} (\text{mm})$$

- Grado de selección ( $\sigma_t$ ) o desviación estándar del tamaño de grano.

- Asimetría ( $SK_1$ ): indica qué valor de phi predomina en la muestra. Toma cifras negativas cuando el sedimento es grueso, y positivas cuando es fino.
- Angulosidad ( $K_G$ ): Índice de apuntamiento de la distribución granulométrica, que indica el grado de dispersión y concentración de la curva. Una curva Leptocúrtica es cuando es mas puntiguada, es decir, con valores más concentrados; el caso contrario es una curva platicúrtica o achatada y por tanto más dispersa.

Para el cálculo del contenido de C y N en el sedimento se usó un analizador elemental Costech. Para ello, inicialmente se pesó 10 g de muestra de sedimento, que previamente había sido secado al aire libre, y los granos se homogenizaron con la ayuda de un mortero. Un vez seca y homogeneizada, la muestra se dividió en dos botes, uno con 7 g que se utilizó para el cálculo del carbono y nitrógeno total, mientras que el otro, con 3 g, se usó para el cálculo de carbono orgánico. Para el cálculo del carbono orgánico se acidificaron los 3 g, mediante la adición de 1 ml de ácido clorhídrico al 10%, por 3 días mínimo o hasta que dejó de burbujear, lo que indica que por tanto se eliminó todo el carbonato de la muestra. Tras eliminar el carbono inorgánico se realizaron tres lavados en centrifuga con agua destilada para eliminar los restos de ácido de la muestra. Tras esto se secó el sedimento en una estufa por 24 h a 50 °C. Finalmente, mediante curvas de calibración se estimó la cantidad de muestra necesaria para medir la señal isotópica en el analizador elemental. Para el caso de la muestra sin tratar con ácido clorhídrico se pesaron 15 mg y para las muestras tratadas con ácido 5 mg del material. Ambas muestras, se introdujeron en el analizador elemental para estimar el %C, %N,  $C_{13}$  y  $N_{15}$ .

Hay que aclarar que luego de obtener los resultados de los análisis, en la tesis no se tomaron en cuenta aquellas muestras que tuvieron aquellos valores de  $C_{13}$  mayores a -21 y con %C mayor a 1, ya que posiblemente en esas muestras no se eliminó totalmente el carbono inorgánico. Las muestras descartadas pertenecían a la zona control, la cual está formada principalmente de rodolitos.

## 2.6. Caracterización de la comunidad epifaunal e infaunal

Mediante el empleo de formatos se anotaron las especies epifaunales presentes en cada metro cuadrado, al igual que su abundancia, a lo largo de cada transecto mediante buceo autónomo.

En el caso de las comunidades infaunales recolectadas con el nucleador, el sedimento conteniendo organismos fue almacenado en formaldehído al 10% hasta el análisis en laboratorio. Una vez ahí se hicieron lavados para eliminar el formaldehído y se introdujo la muestra en un sistema de bombeo el cual separó los organismos blandos del sedimento mediante diferencia de densidad. Estas especies, que se clasifican como poliquetos, crustáceos o nematodos, se almacenaron en un bote con etanol neutralizado al 70% para la posterior cuantificación e identificación de los ejemplares. Por otro lado, se separaron e identificaron mediante el uso de la lupa binocular los organismos duros que quedaron en el sedimento como los moluscos.

La identificación se realizó hasta el nivel taxonómico más bajo posible con la ayuda de guías como:

- Common intertidal invertebrates of the Gulf of California (Brusca, 1980);
- Encyclopedia of Texas Seashells (Tunnell, Andrews, Barrera, y Moretzsohn, 2010);
- Bivalve Seashells of Tropical West América (Coan y Valentich-Scott, 2012);
- Sea shells of Tropical West America (Keen, 1971);
- Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México y América Tropical (de León-González et al., 2009)
- Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México (Salazar-Vallejo, de León-González, y Salaices-Polanco, 1989)
- Páginas web para la identificación de gasterópodos y bivalvos (Caro, 2015; Hardy, 2015; Poppe y Poppe, 2015; Sliker, 2015).

Finalmente se actualizo su nomenclatura y posición sistemática con la base de datos de Worms (WoRMS Editorial Board, 2015).

También se separó y analizó la tanatocenosis, aunque no se tomaron en cuenta aquellas especies deterioradas o quebradas que pudieron ser transportadas de otros lugares.

Las comunidades de la infauna y la epifauna se caracterizaron mediante índices ecológicos cuantitativos basados en la riqueza y la abundancia de las diferentes especies. Estas herramientas permitieron describir e interpretar la composición y la estructura de la fauna en cada una de las muestras. Los cálculos se realizaron en el PRIMER 6 (Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research), estimando:

- Riqueza específica (S): número de especies en la muestra.
- Índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ): mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección (Magurran, 1988). Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra.
- Índice de uniformidad, equirrepartición o equitatividad de Pielou (J): mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 0.1, de forma que 0.1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Magurran, 1988).
- Índice de dominancia ( $D\%$ ): porcentaje de individuos de una especie particular dentro de la muestra.

## **2.7. Análisis estadísticos y numéricos**

Se representaron todo los datos de variables ambientales y biológicas mediante extrapolación en el programa Arc-map 10.3, con el fin de observar la variación de estos.

El estudio exploratorio de las relaciones entre variables faunísticas y ambientales se realizó mediante la aplicación del coeficiente de correlación no paramétrico de Spearman (Spearman, 1905), debido a que no se cumplieron los supuestos de

normalidad y homogeneidad de varianza de las variables. Además, con el fin de cubrir el objetivo de saber si existían diferencias entre hidrotermales y controles, se realizaron análisis de rangos de Kruskal-Wallis. También se empleó dicha prueba para saber si existía diferencias entre las zonas cercanas a la ventila hidrotermal y las lejanas a esta. Se utilizó el programa estadístico R para el cálculo del coeficiente de correlación de Spearman y el análisis de rangos de Kruskal-Wallis.

Para identificar si existían patrones espaciales por separado en las especies presentes en la epifauna e infauna, y algún efecto de las variables ambientales y sedimentológicas que caracterizaban las zonas hidrotermal y control, se utilizaron dos técnicas de ordenación complementarias: el análisis de agrupamiento (cluster) y el método de escalamiento multidimensional no-métrico (Multi-Dimensional Scaling, MDS). Estos análisis fueron realizados a partir de una matriz de similitud de Bray y Curtis, basada en los registros de especies y sus abundancias observadas dentro de cada zona y en cada transecto. Mientras que para el caso de las variables ambientales se usó la matriz de similitud a partir de la distancia Euclidiana.

Para evidenciar las posibles diferencias entre la zona hidrotermal y control respecto a la estructura comunitaria y las variables ambientales, se realizó un análisis de similitud (ANOSIM) (Clarke y Green, 1988). A partir de la matriz de similitud, el análisis calcula las diferencias entre sitios y lo contrasta con las diferencias dentro de las réplicas de cada uno de ellos. Genera un coeficiente R, el cual está basado en la diferencia de los rangos medios de las medidas de disimilitud de Bray-Curtis de las abundancias de los organismos entre sitios ( $r_B$ ) y dentro de los sitios ( $r_W$ ):

(2)

$$R = \frac{4(r_B - r_W)}{n(n - 1)}$$

donde n corresponde al número total de muestras. El coeficiente R oscila entre -1 y 1. Cuando los valores son cercanos a 0 la similitud promedio entre y dentro de los sitios es la misma, y cuando son cercanos a 1 las réplicas de cada sitio son más similares entre sí que respecto a otra réplica de otro grupo. Los análisis Cluster, MDS y ANOSIM se realizaron en el PRIMER 6 (Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research).

## Capítulo 3- Resultados

### 3.1. Caracterización sedimentológica y de la columna

#### 3.1.1. Distribución granulométrica

La textura dominante del sedimento en las estaciones control fue de tipo grava-arenoso debido a que el sustrato de estas zonas de la bahía está recubierto de grandes extensiones de rodolitos (Figura 5, Figura 6).

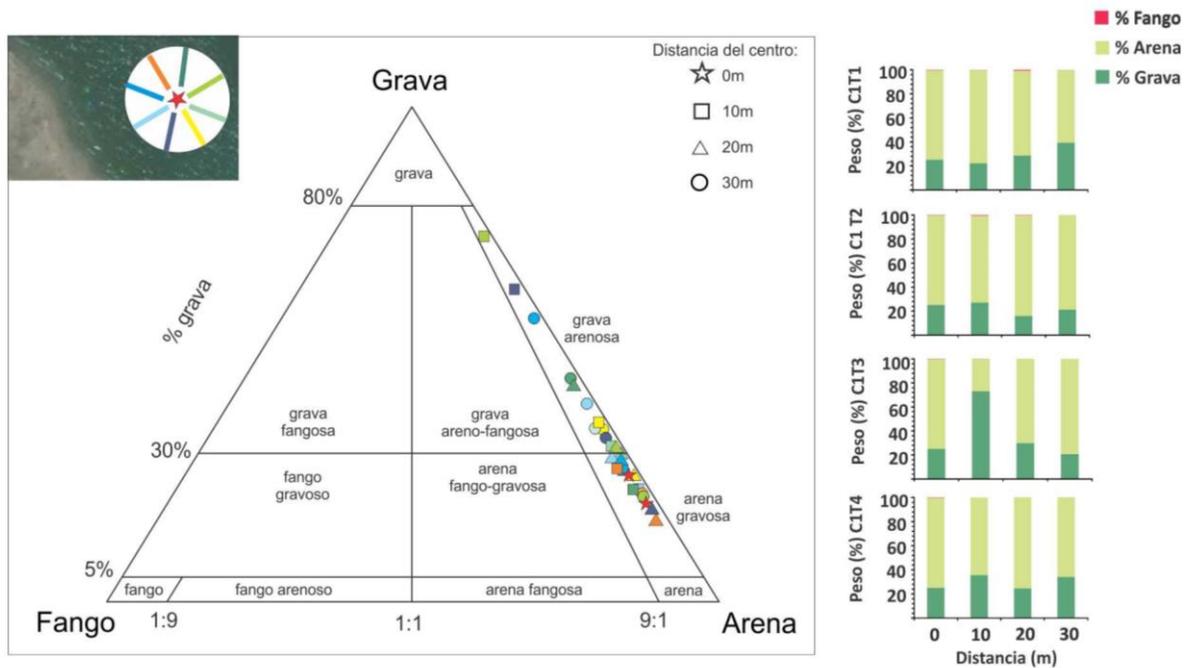
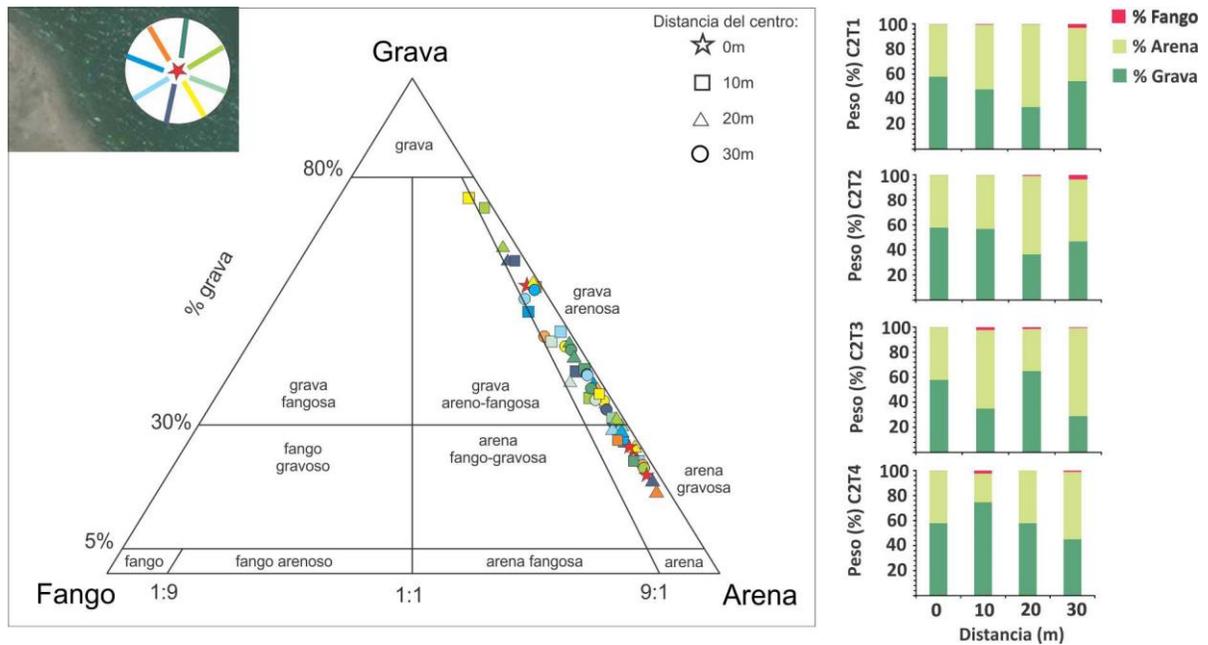


Figura 5. Clasificación textural del sedimento de la estación C1 en los ocho transectos al metro 0, 10, 20 y 30 de distancia del centro, a partir del diagrama ternario propuesto por Folk, 1954. También se representa el porcentaje en peso del tamaño de grano (grava, arena y fango) de los transectos 1, 2, 3 y 4.



**Figura 6. Clasificación textural del sedimento de la estación C2 en los ocho transectos al metro 0, 10, 20 y 30 de distancia del centro, a partir del diagrama ternario propuesto por Folk (1954). También se representa el porcentaje en peso del tamaño de grano (grava, arena y fango) de los transectos 1, 2, 3 y 4.**

Sin embargo, en las zonas con influencia hidrotermal domina un sedimento arenoso-gravoso, con un sustrato rocoso y arenoso con ausencia de rodolitos (Figura 7, Figura 8). Las zonas de VH no presentaron diferencias significativas respecto a la zona control en el porcentaje de fango ( $X_3^2 = 44$ ;  $p=0.22$ ), aunque si fueron diferentes en el porcentaje de grava ( $X_3^2 = 19.26$ ;  $p<0.01$ ) y en el porcentaje de arena ( $X_3^2 = 19.27$ ;  $p < 0.01$ ), con un mayor contenido de arena en las VH y un mayor contenido en grava en las estaciones control. En el caso de la VH1, la zona central presenta un mayor contenido de grava que las zonas alejadas, posiblemente por ser la zona de mayor burbujeo (Figura 7).

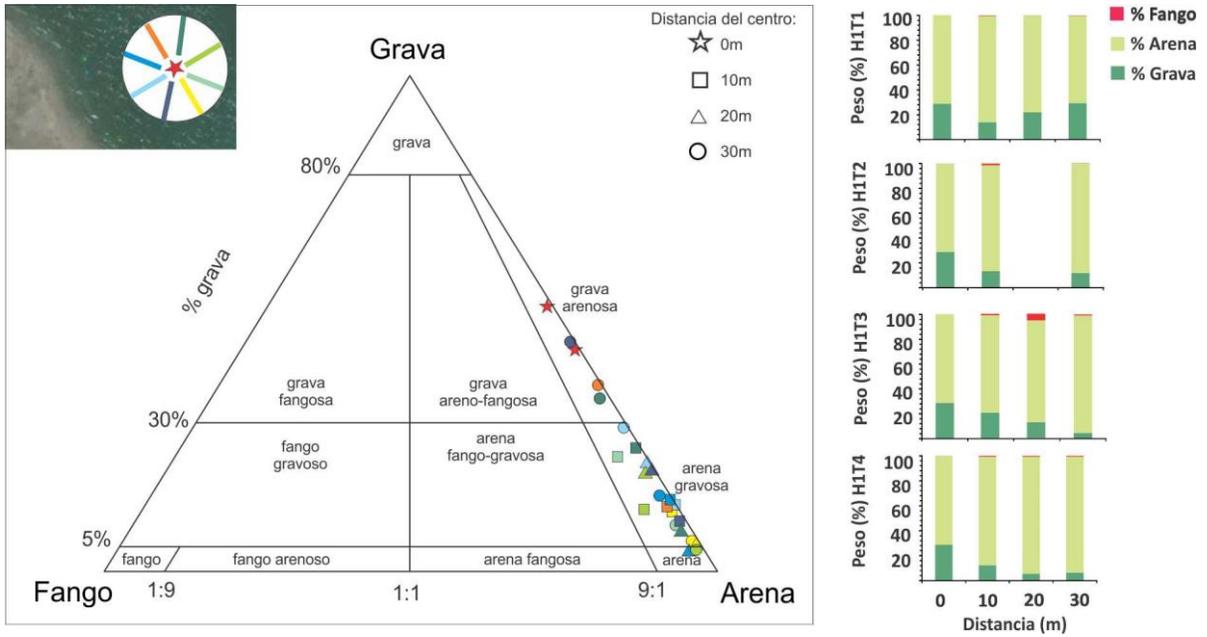


Figura 7. Clasificación textural del sedimento de la VH1 en los ocho transectos al metro 0, 10, 20 y 30 de distancia del centro, a partir del diagrama ternario propuesto por Folk (1954). También se representa el porcentaje en peso del tamaño de grano (grava, arena y fango) de los transectos 1, 2, 3 y 4.

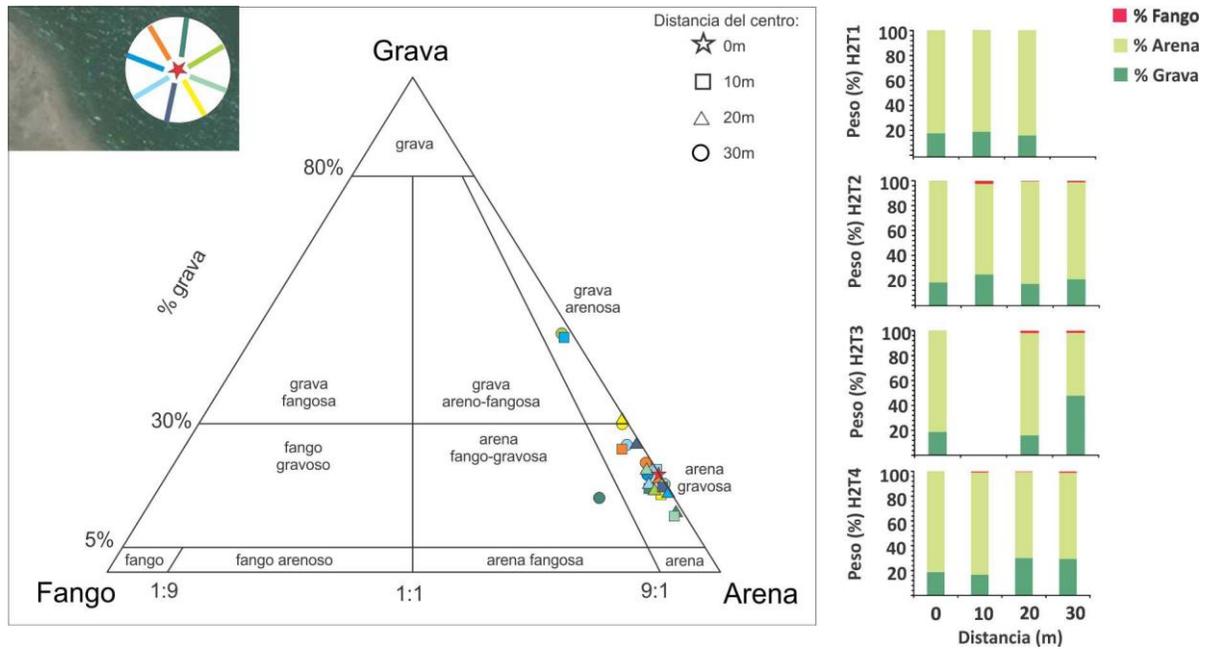
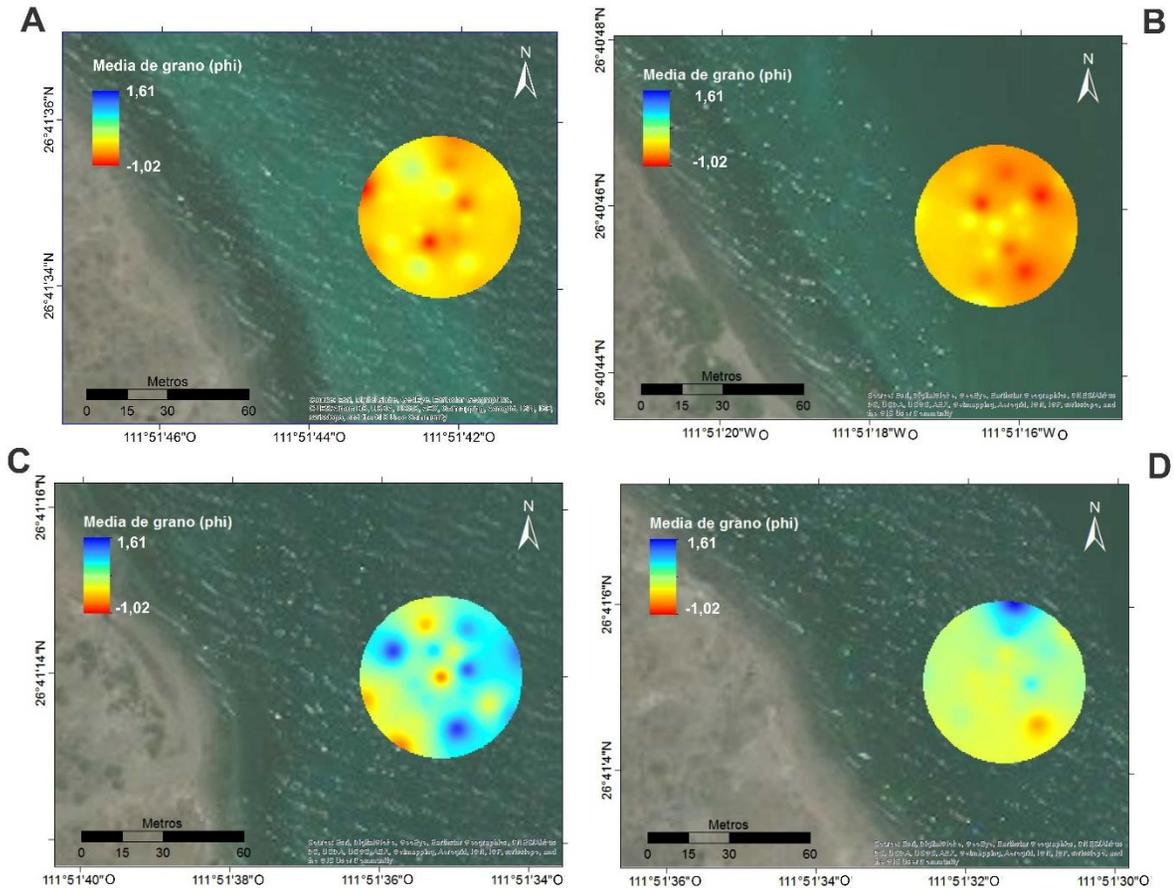


Figura 8. Clasificación textural del sedimento de la VH2 en los ocho transectos al metro 0, 10, 20 y 30 de distancia del centro, a partir del diagrama ternario propuesto por Folk (1954). También se representa el porcentaje en peso del tamaño de grano (grava, arena y fango) de los transectos 1, 2, 3 y 4.

El valor medio del tamaño de grano ( $M_z$ ), según la escala de Udden-Wentworth, varía entre  $-1.02$  a  $0.24 \phi$  para las estaciones control, por lo que predominan los tamaños correspondientes a arena muy gruesa (Anexo 1). En el caso de las VH varía entre  $-0.65$  y  $1.60 \phi$  siendo básicamente arena gruesa, a excepción de la zona centro con arena muy gruesa en ambos casos (Tabla 1; Figura 9). La media de grano mostró diferencias significativas entre las VH y la estación C2, teniendo más contenido en grava en las estaciones control que en la VH ( $X^2_3 = 19.82$ ;  $p < 0.01$ ).



**Figura 9. Comparación de la variación del tamaño medio de grano del sedimento de la zona C1 (A), C2 (B), VH1 (C) e VH2 (D), siendo los colores más azules tamaño de grano mayores y los colores más rojizos tamaños de grano menores.**

**Tabla 1. Media y error estándar de los índices granulométricos en la estación control 1, control 2, ventila hidrotermal 1 y ventila hidrotermal 2.**

	<b>C1 (n=26)</b>	<b>C2 (n=26)</b>	<b>VH1 (n=26)</b>	<b>VH2 (n=26)</b>
<b>Tamaño de grano (<math>M_z; \phi</math>)</b>	-0.28 ± 0.06	-0.44 ± 0.06	0.49 ± 0.13	0.27 ± 0.09
<b>Grado de selección (<math>\sigma_1</math>)</b>	1.24 ± 0.03	38 ± 0.05	1.38 ± 0.05	1.45 ± 0.06
<b>Asimetría (<math>SK_1</math>)</b>	0.29 ± 0.02	0.43 ± 0.03	0.01 ± 0.004	0.15 ± 0.02
<b>Angulosidad (<math>K_G</math>)</b>	1.00 ± 0.02	1.2 ± 0.05	0.89 ± 0.03	0.96 ± 0.02
<b>Moda (<math>\phi</math>)</b>	-0.73 ± 0.08	-1.27 ± 0.08	0.42 ± 0.27	-0.32 ± 0.23

Los sedimentos de las cuatro zonas de estudio no mostraron diferencias significativas respecto a la selección ( $X^2_3 = 10.71$ ;  $p = 0.79$ ), presentando todos ellos una selección pobre debido a la mezcla de partículas de diferentes tamaños (Tabla 1).

El sedimento presentó asimetría diferente significativamente ( $X^2_3 = 21.4$ ;  $p < 0.01$ ) entre estaciones control y las ventilas hidrotermales. En las estaciones control presenta una asimetría ( $SK_1$ ) positiva, como en la C1, y muy positiva, en el caso de la C2, indicando un predominio de la fracción más gruesa del sedimento (Figura 10). Por otro lado, VH1 muestra una distribución simétrica y positiva cerca del centro y una asimetría negativa en zonas alejadas de la hidrotermal, como resultado del aumento en el contenido de partículas de menor tamaño de grano conforme se aleja del centro de la hidrotermal (Figura 10). En el caso de VH2 no presenta un cambio tan brusco en la asimetría, siendo positiva en la mayoría de los casos con excepción del centro que es simétrico (Tabla 1; Anexo 1).

Por último, la angulosidad ( $K_G$ ) varía entre zonas de forma significativa ( $X^2_3 = 16.1$ ;  $p < 0.01$ ), presentando una distribución mesocúrtica en la estación C1 y la VH2; leptocúrtica para la C2 y platicúrtica y mesocúrtica para la VH1 (Tabla 1).

La mayoría de las zonas presentan una distribución granulométrica de tipo unimodal (Anexo 1), en donde las estaciones control están caracterizadas por un tamaño de grano de grava muy fina, debido a la presencia de rodolitos, bioclastos y restos de coral. Las VH se caracterizan por presentar arena menos gruesa dominada por arena y bioclastos. Se encontraron excepciones en las cuatros zonas con distribución bimodal, es decir, con

mayor variación en el tamaño de grano, debido a la presencia de arena, con fragmentos líticos, bioclastos y foraminíferos, y de grava o fango (Figura 10).

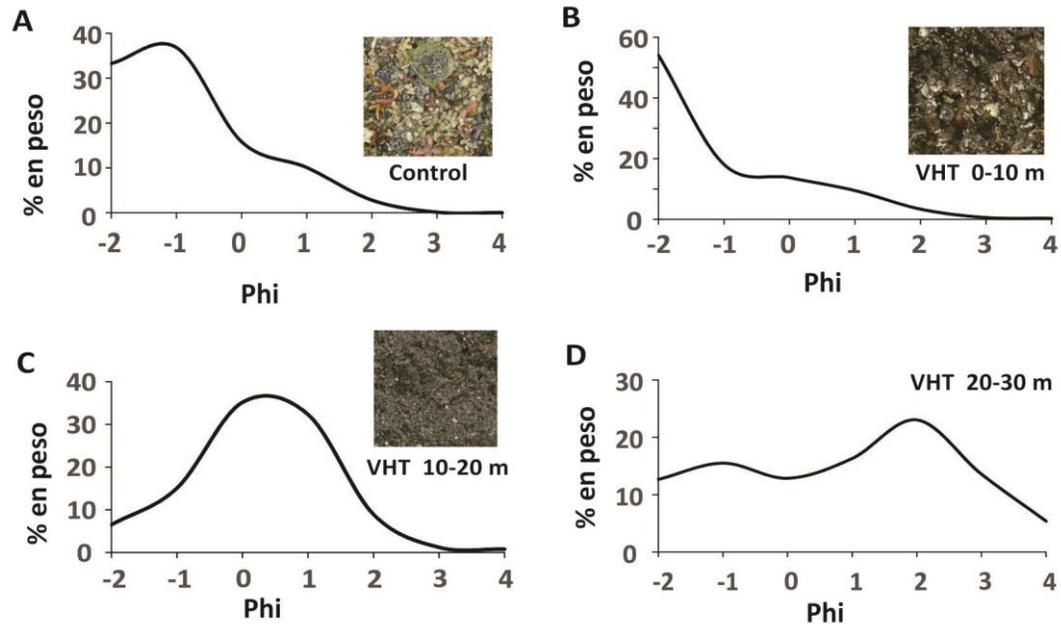


Figura 10. Curvas de frecuencia donde se representa el porcentaje en peso del tamaño de grano en escala phi ( $\phi$ ) y fotografías del sedimento característico de la estación control (A) y de las VH en la zona centro (0 m; B), la zona cercana a la hidrotermal (10 m del centro; C) y la zona lejana al centro (30 m del centro; D). Curvas hacia la derecha indican una asimetría negativa con predominio de sedimento fino, mientras que curvas hacia la izquierda indican una asimetría positiva con predominio de sedimento grueso.

En conclusión, las estaciones control presentan una distribución de sedimentos más heterogéneo, dominado por partículas de gran tamaño, mientras que las ventilas hidrotermales, por el contrario, sedimentos más homogéneo dominado por partículas de menor tamaño, tipo arenoso.

### 3.1.2. Variables del C y N del sedimento

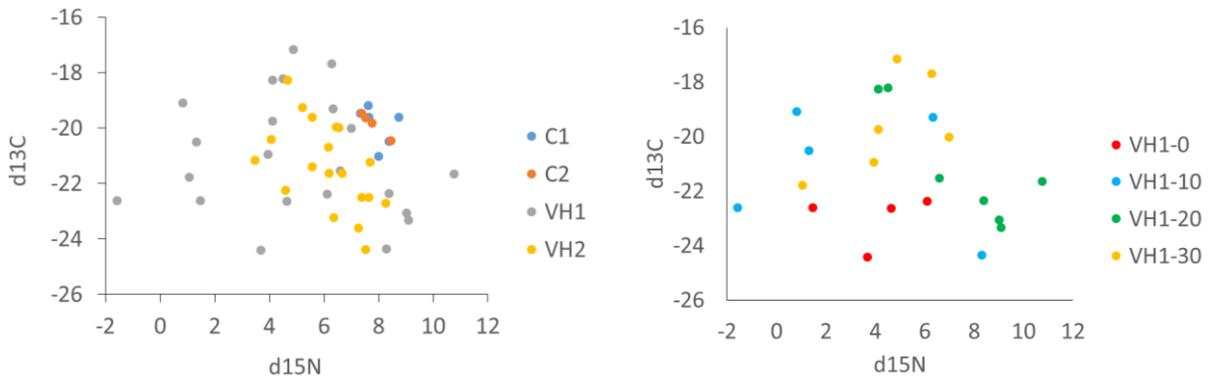
Los valores medios de %C calculados son significativamente menores en la zona VH1 ( $X^2_3 = 18.02$ ;  $p < 0.01$ ), en comparación con las otras zonas. En el caso de los valores de %N no hay gran variación entre zonas y las cuatro zonas tienen valores entre  $0.04-0.06 \pm 0.003-0.007$ . La señal isotópica del  $C_{13}$  es mayor en las VH con valores en torno a  $-21$ , aunque no de forma significativa ( $X^2_3 = 6.1$ ;  $p = 0.1$ ). Los valores del  $N_{15}$  fueron

significativamente menores en la VH1 ( $X^2_3 = 11.8$ ;  $p < 0.01$ ) con un valor promedio de 5.04 (Tabla 2).

**Tabla 2. Media y error estándar del %C y %N en la estación control C1 y C2 y las ventilas hidrotermales someras VH1 y VH2.**

	C1 (n=6)	C2 (n=4)	VH1 (n=22)	VH2 (n=19)
%C	0.41 ± 0.06	0.29 ± 0.06	0.16 ± 0.02	0.35 ± 0.07
%N	0.04 ± 0.003	0.06 ± 0.007	0.04 ± 0.007	0.05 ± 0.007
C/N	11.60 ± 1.10	5.10 ± 0.7	6.20 ± 0.5	7.90 ± 0.5
C <sub>13</sub>	-19.90 ± 0.28	-19.80 ± 0.21	-21.10 ± 0.45	-21.40 ± 0.36
N <sub>15</sub>	7.90 ± 0.21	7.80 ± 0.24	5.00 ± 0.67	6.20 ± 0.31

Al representar los valores de C<sub>13</sub> frente a N<sub>15</sub> se observa una gran dispersión de la señal. En el caso del nitrógeno se observa una mayor amplitud en la distribución de datos relativos a la VH1, desde valores de -2 hasta valores de 12. El C<sub>13</sub> también presenta una gran variación de señal en especial en las hidrotermales, con valores entre -25 y -17 (Figura 1). En el caso de las VH no se observó diferencias entre metros aunque se aprecia valores de C<sub>13</sub> más negativos para el centro de la VH1.



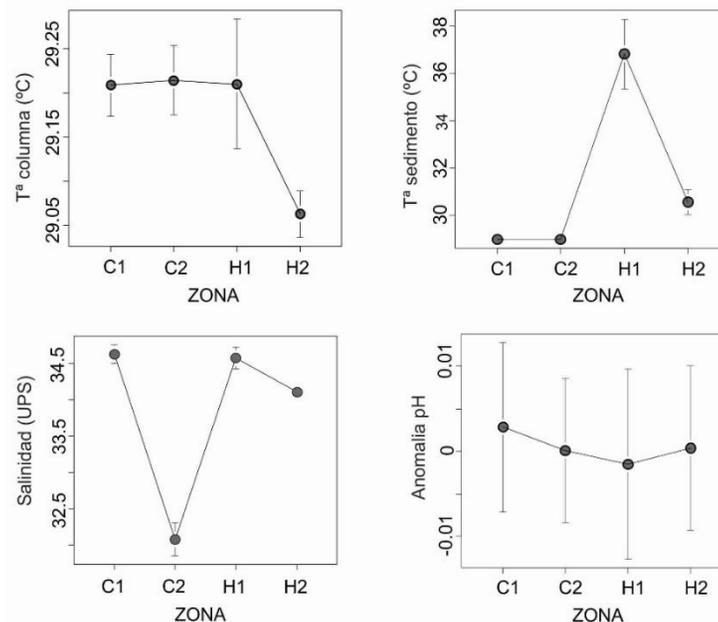
**Figura 11. Relación C<sub>13</sub> y N<sub>15</sub> en las estaciones control (C1 y C2) y las ventilas hidrotermales someras (VH1 y VH2) (A). También se representa estos isotopos a 0, 10, 20 y 30 m de la VH1 (B).**

### 3.1.3. Variables fisicoquímicas de la columna y del sedimento

El valor promedio de la temperatura de la columna es semejante en las cuatro zonas, con una disminución significativa en la VH2 ( $X^2_3 = 59.3$ ;  $p < 0.05$ ) (Figura 12; Tabla 3), aunque hay que resaltar que este valor es muy variable a lo largo de los transectos y los metros, en especial en la VH1. En el caso de la temperatura del sedimento, el valor promedio es el mismo para las dos estaciones control, mientras que es significativamente mayor en la VH1 ( $X^2_3 = 713.1$ ;  $p < 0.05$ ) (Figura 12; Tabla 3).

La salinidad tiene valores cercanos a 34.5 UPS en todas las zonas excepto en la estación C2 en la que tiene un valor promedio de 32.5 UPS (Figura 12; Tabla 3). Se encontraron diferencias significativas entre todas las zonas de estudio, a excepción de la VH1 y estación C1 ( $X^2_3 = 460.88$ ;  $p < 0.01$ ).

Finalmente la anomalía del pH presenta una gran variabilidad en cada zona, teniendo un valor promedio negativo en la VH1, aunque únicamente se encontraron diferencias significativas entre la C2 y la VH2 ( $X^2_3 = 11.86$ ;  $p < 0.01$ ) (Figura 12; Tabla 3).

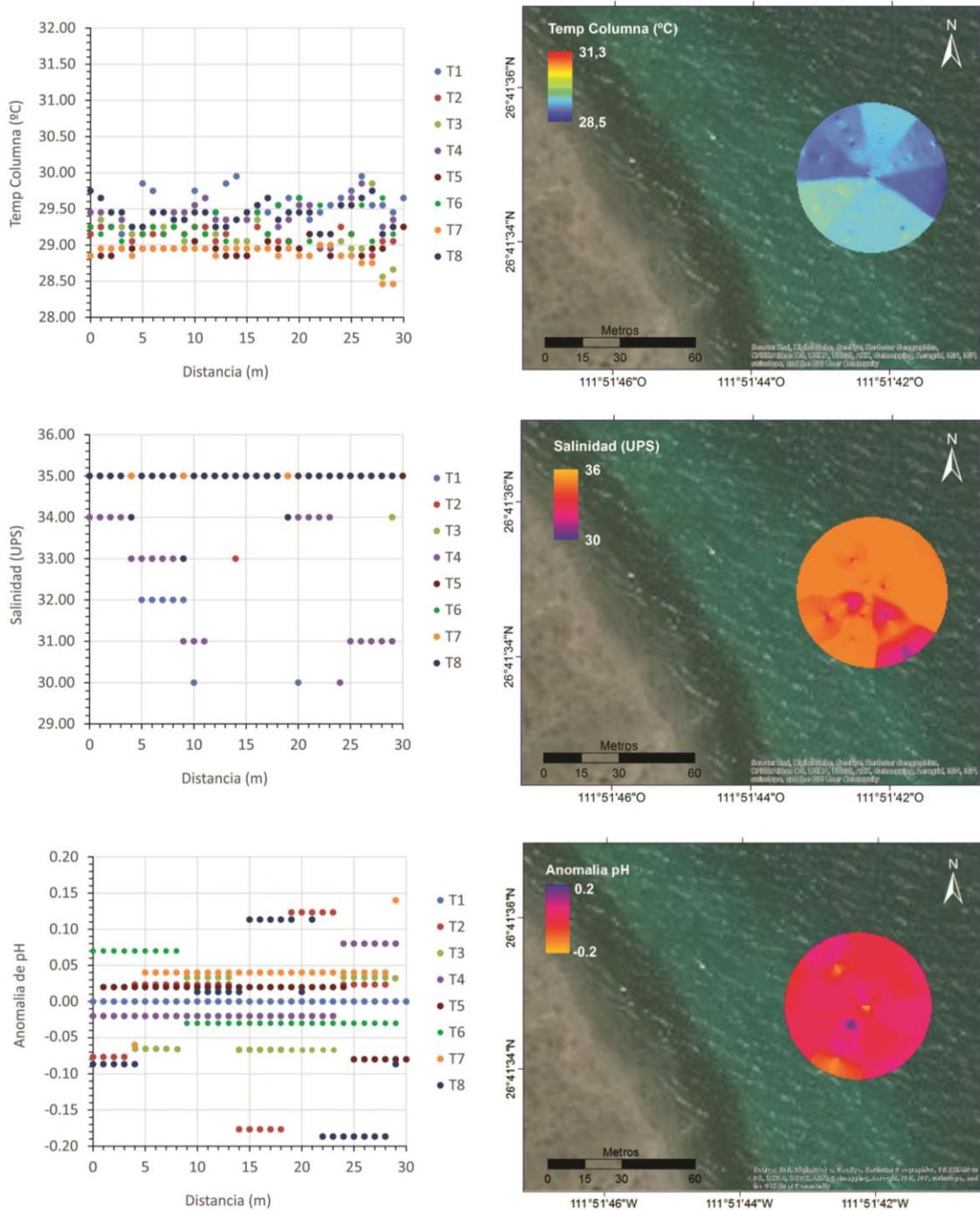


**Figura 12.** Representación del valor promedio y desviación estándar de temperatura de la columna, temperatura del sedimento, salinidad y anomalía del pH en las estaciones control (C1, n=248 y C2, n=248) y las ventilas hidrotermales (VH1, n=248 y VH2, n=248).

**Tabla 3. Media, error estándar, mínimos y máximos (entre paréntesis) de las variables temperatura de la columna, temperatura del sedimento, salinidad y anomalía del pH en la C1, C2, VH1 e VH2.**

	<b>C1 (n=248)</b>	<b>C2 (n=248)</b>	<b>VH1 (n=248)</b>	<b>VH2 (n=248)</b>
<b>Temperatura columna (°C)</b>	29.20 ± 0 (28.4 a 29.9)	29.20 ± 0.02 (28.35 a 30.55)	29.21 ± 0.04 (24 a 31.7)	29.06 ± 0.01 (28.4 a 29.9)
<b>Temperatura sedimento (°C)</b>	29 ± 0	29 ± 0	36.8 ± 0.74 (29 a 87)	30.56 ± 0.27 (29 a 60)
<b>Salinidad (UPS)</b>	34.6 ± 0.06 (30 a 35)	32.07 ± 0.12 (30 a 35)	34.58 ± 0.07 (30 a 35)	34.11 ± 0.02 (33 a 36)
<b>Anomalía del pH</b>	0.000 ± 0.005 (-0.26 a 0.22)	0.000 ± 0.004 (-0.19 a 0.17)	-0.000 ± 0.005 (-0.17 a 0.63)	0.0004 ± 0.004 (-0.24 a 0.27)

Las estaciones control presentan valores de temperatura de sedimento constantes a 29 °C por lo que no se graficó dicha variable (Tabla 3). En la C1 el resto de variables muestran un patrón común en los transectos en dirección al sur, es decir, en dirección a la VH1, con una temperatura de columna mayor, una salinidad menor y una anomalía de pH más negativa (Figura 13).



**Figura 13.** Representación de las variables temperatura de la columna, salinidad y anomalía de pH de la estación C1 a lo largo del área muestreada. En las gráficas de la izquierda se observa la variación de cada variable en los ocho transectos muestreados (T1 a T8).

Por el contrario, la C2 no muestra cambios en la anomalía de pH, estando próxima a cero en toda el área. Los transectos en dirección al norte, es decir, a la VH2 muestran valores de temperatura de columna y salinidad mayor que el resto (Figura 14). En la

temperatura de la columna de la C2 las diferencias observadas entre los transectos 1-4 y los transectos 5-8 se debe a una variación temporal, ya que se muestrearon días diferentes.

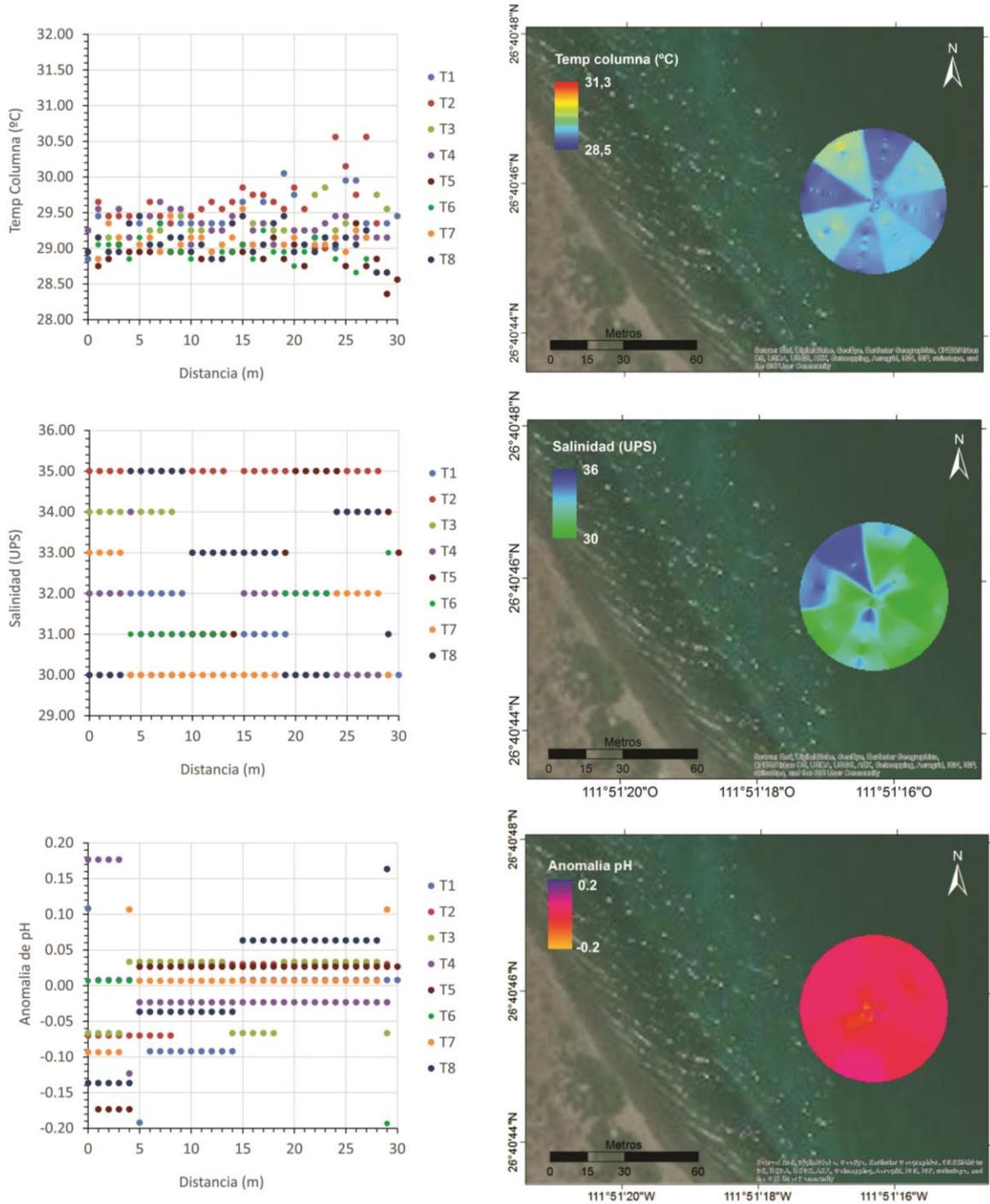
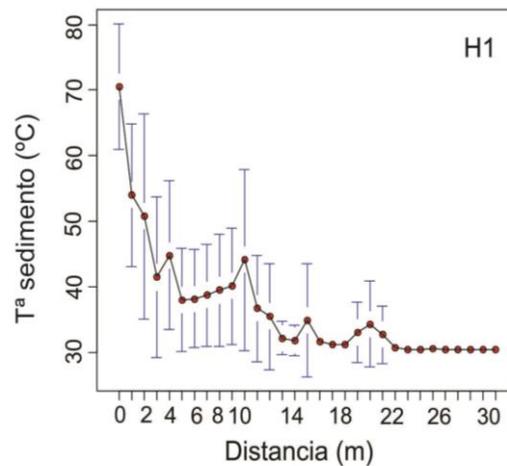


Figura 14. Representación de las variables temperatura de la columna, salinidad y anomalía de pH de la estación C2 a lo largo del área muestreada. En las gráficas de la izquierda se observa la variación de cada variable en los ocho transectos muestreados (T1 a T8).

En el caso de las VH, la temperatura del sedimento alcanza valores de hasta 87°C cerca del centro de la VH1 y disminuye progresiva y significativamente en los cinco primeros metros hasta estabilizarse a partir del metro 15 ( $X^2_{30} = 107.8$ ;  $p < 0.01$ ) (Figura 15; Figura 16). La temperatura de la columna tiene valores mayores en el centro de la VH1 y se va disipando con la distancia, siendo a partir del metro 20 significativamente menor ( $X^2_{30} = 92.7$ ;  $p < 0.01$ ). La salinidad es menor en dirección al norte, es decir, hacia la C1, y la anomalía de pH tiene anomalías negativas a lo largo del área sin mostrar un gradiente de disminución y de aumento con la distancia al centro de la emanación (Figura 16).



**Figura 15.** Disminución de la temperatura del sedimento según te alejas del centro de la emanación de VH1 (n=248), se representa el promedio de los ocho transectos para cada metro y la desviación estándar.

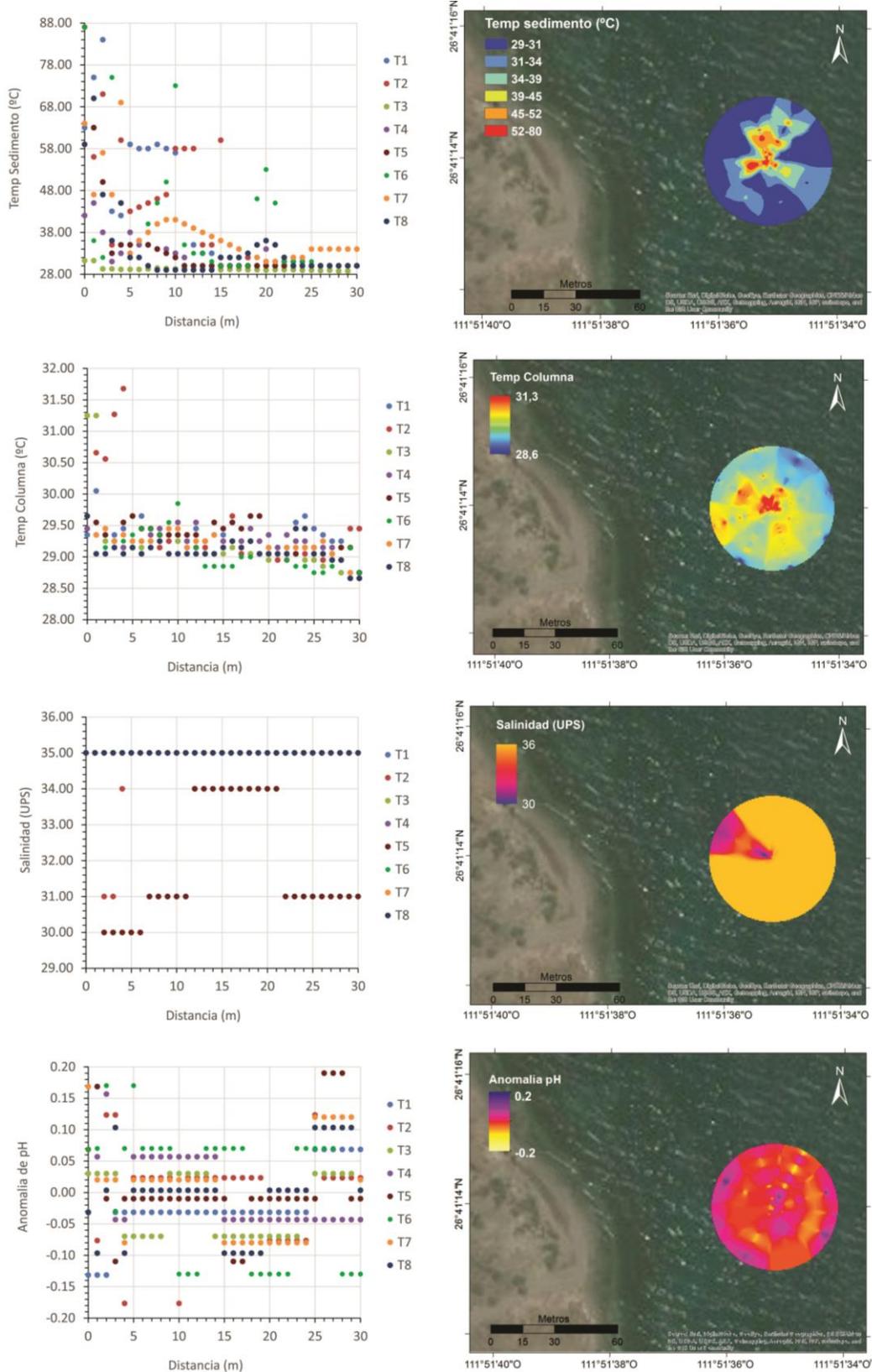
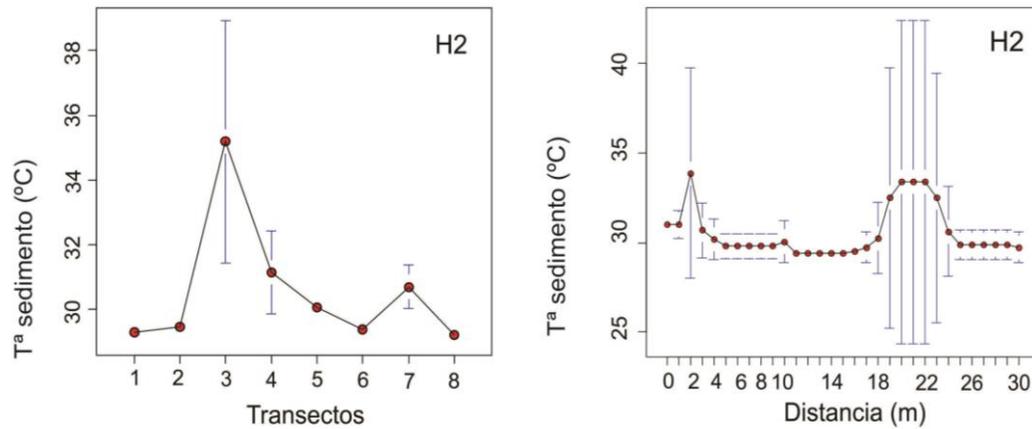


Figura 16. Representación de las variables temperatura de la columna, temperatura del sedimento, salinidad y anomalía de pH de la VH1 a lo largo de la distancia respecto del centro de emanación. En las gráficas de la izquierda se observa la variación de cada variable en los ocho transectos muestreados (T1 a T8).

Tal como se observa en la Figura 17, en el caso de la VH2 la mayor temperatura no se localiza en el centro propuesto inicialmente sino en el metro 20 del transecto 3, donde alcanza hasta 60 °C, aunque no hubo diferencias significativas de esta variable con la distancia ( $X^2_{30} = 43.1$ ;  $p = 0.06$ ). Observando la Figura 18 se ve un ligero cambio en los transectos en dirección al norte, es decir, a la VH1, donde la salinidad tiene valores menores, la temperatura de la columna ligeramente mayores y la anomalía de pH algo más negativa.



**Figura 17. Representación del promedio y desviación estándar de la temperatura del sedimento en la VH 2 frente a cada transecto (A) y frente a la distancia al centro de emanación propuesto inicialmente en este estudio (B).**

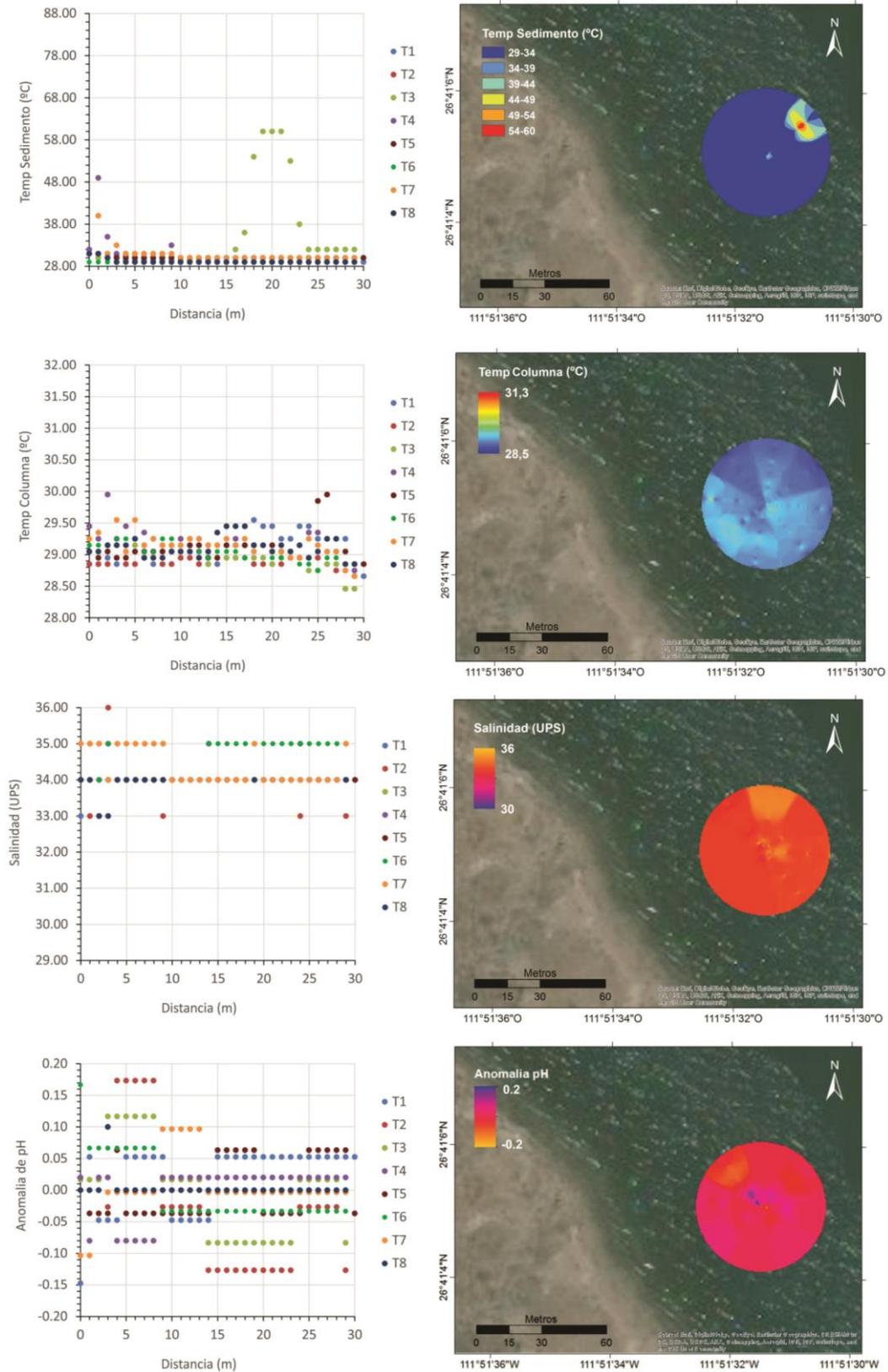


Figura 18. Representación de las variables temperatura de la columna, temperatura del sedimento, salinidad y anomalía de pH de VH2 a lo largo de la distancia respecto del centro de emanación propuesto inicialmente. En las gráficas de la izquierda se observa la variación de cada variable en los ocho transectos muestreados (T1 a T8).

## 3.2. Caracterización de la comunidad bentónica

### 3.2.1. Porcentaje de cobertura

La cobertura del sustrato es significativamente diferente entre las estaciones control y las ventilas hidrotermales (VH) (Tabla 4). En el caso de las estaciones control la mayoría del sustrato está cubierto por rodolitos, es decir, de algas rojas coralinas (Figura 19), aunque también se encontró el coral *Porites sverdrupi*, esponjas de distintas especies y diversas algas verdes. A diferencia de las estaciones control, las VH tuvieron presencia de rocas y un alto porcentaje de cobertura de algas pardas, arena y el coral *Porites panamensis* (Figura 19).

Tabla 4. Resultados del análisis de Kruskal-Wallis entre las zonas estudiadas para las coberturas de roca, arena, tunicado, esponja, coral y alga.

	$X^2_3$	Valor de p
<b>Roca</b>	89.2	<0.01
<b>Arena</b>	393.79	<0.01
<b>Tunicado</b>	70.49	<0.01
<b>Esponja</b>	5.21	0.16
<b>Coral</b>	81.88	<0.01
<b>Alga</b>	70.49	<0.01

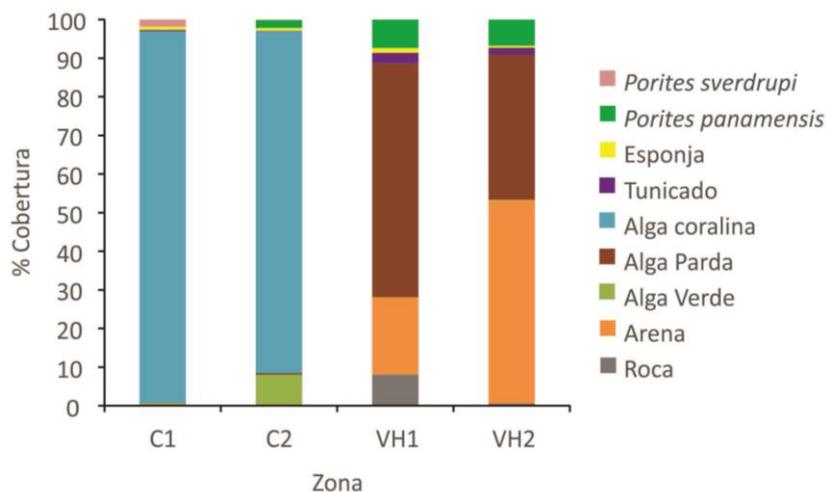


Figura 19. Representación del promedio del porcentaje de cobertura de *Porites sverdrupi*, *Porites panamensis*, de esponja, de tunicado, de alga coralina o rodolito, de alga parda, de alga verde, de arena y de roca, en las estaciones control (C1 y C2) y las ventilas hidrotermales (VH1 y VH2).

Se representa en un mapa las coberturas características de cada zona, en el caso de las estaciones control el 90% eran rodolitos, aunque hay que destacar la presencia de *Porites sverdrupi*, especie ausente en las VH (Figura 20).

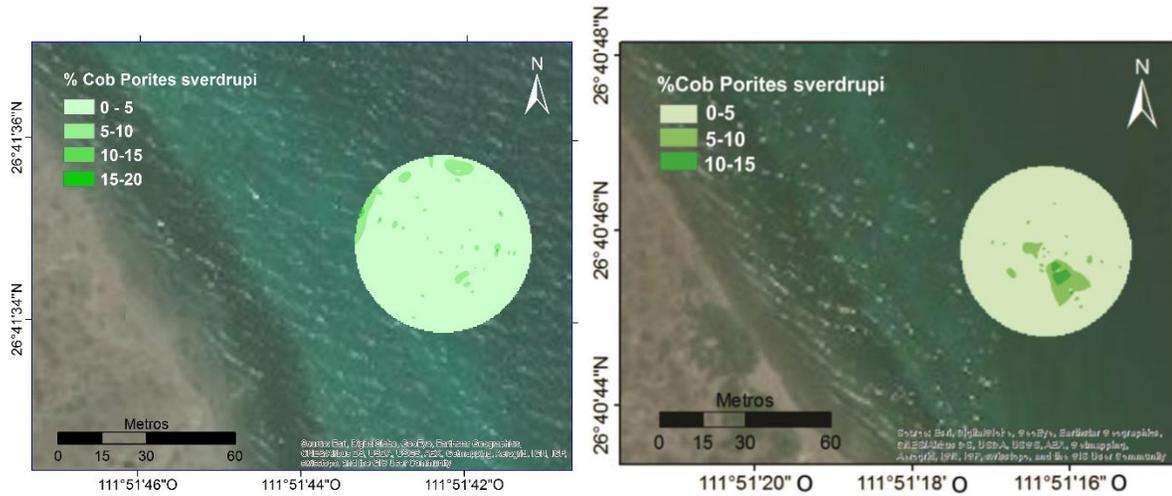
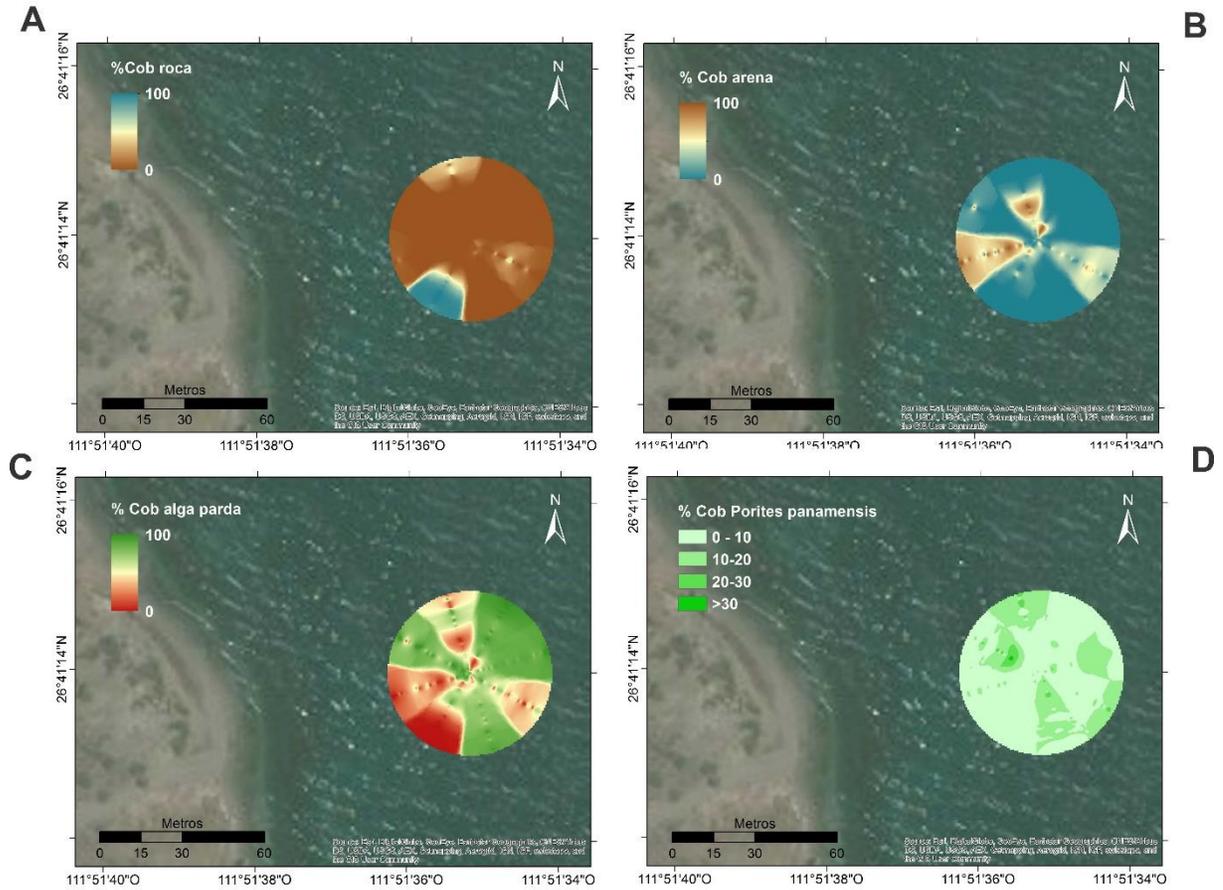
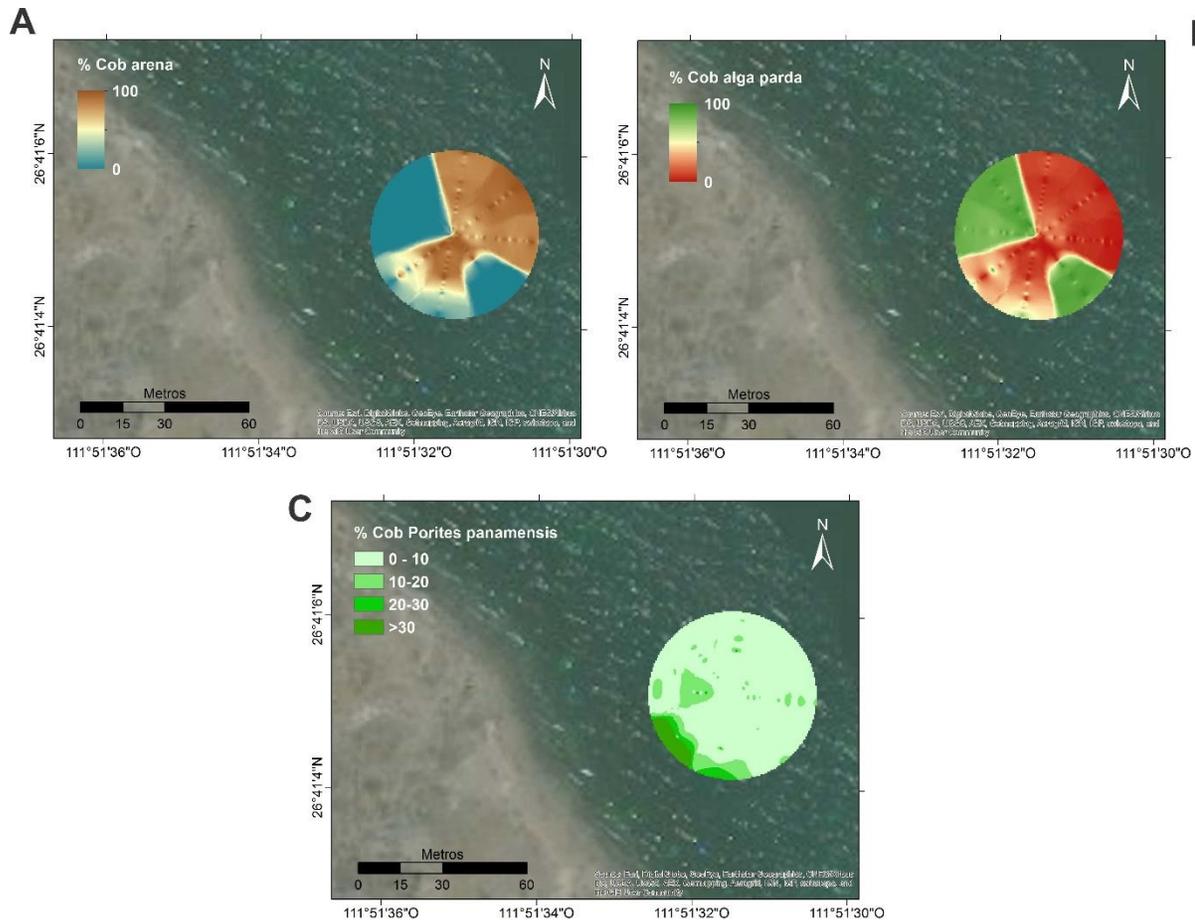


Figura 20. Porcentaje de cobertura de *Porites sverdrupi* en las estaciones control C1 (A) y C2 (B).

Las ventilas hidrotermales están caracterizadas por una cobertura de arena acompañada de alga parda y una zona rocosa en la parte más somera de la VH1 (Figura 21; Figura 22). En ambas ventilas hay que destacar la presencia del coral *Porites panamensis*, el cual tiene mayor cobertura en la VH2 alcanzando valores del 60% (Figura 21; Figura 22). Este coral se localizó a lo largo del área de la ventila, incluso a temperaturas de 50 °C y anomalías de pH de -0.13.



**Figura 21. Representación del porcentaje de cobertura de roca (A), arena (B), alga parda C) y *Porites panamensis* (D) a lo largo del área muestreada en la ventila hidrotermal 1 (VH1).**



**Figura 22.** Representación del porcentaje de cobertura de arena (A), alga parda (B) y del coral *Porites panamensis* (C) a lo largo del área muestreada en la ventila hidrotermal 2 (VH2).

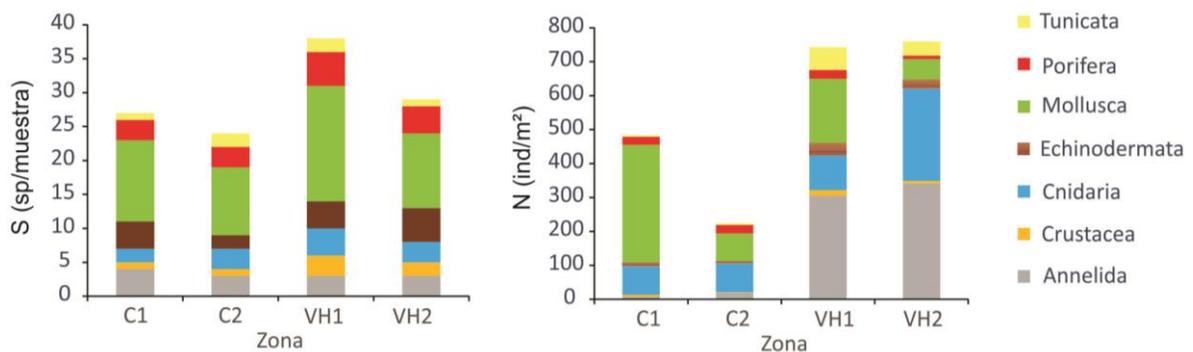
### 3.2.2. Índices ecológicos: Abundancia, riqueza, equirepartición y diversidad

Se observó un total de 58 especies epifaunales en las cuatro zonas muestreadas (Anexo 2), de las cuales 29 aparecieron en la C1, 26 en la C2, 39 en la VH1 y 30 en la VH2, encontrando diferencias significativas entre las VH y la C2 ( $X^2_3 = 289.04$ ;  $p < 0.01$ ) (Figura 23). Además, se recolectaron 121 especies infaunales vivas (Anexo 3), de las cuales 67 se encontraron en la C1, 52 en la C2, 70 en la VH1 y 75 en la VH2, no habiendo diferencias significativas entre las zonas ( $X^2_3 = 6.8$ ;  $p = 0.07$ ) (Figura 24).

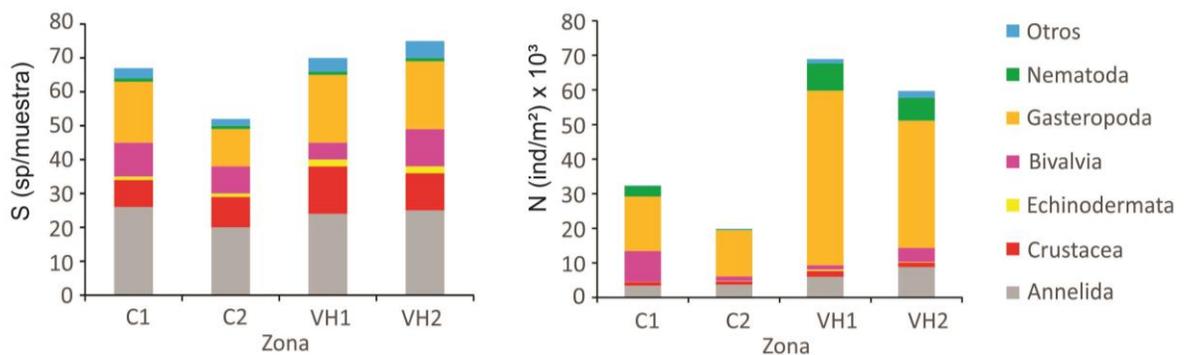
Los valores más altos de abundancia de especies epifaunales se registraron en las VH (743 ind/m<sup>2</sup> en VH1 y 760 ind/m<sup>2</sup> en VH2), seguido de la C1 (483 ind/m<sup>2</sup>) y por último la C2 (224 ind/m<sup>2</sup>). Al igual que la riqueza, solo se encontraron diferencias

significativas entre la abundancia de la C2 y las VH ( $X^2_3 = 91.7$ ;  $p < 0.01$ ). En el caso de la infauna los valores más altos de abundancia también se registraron en las VH (68930 ind/m<sup>2</sup> en VH1 y 59706 ind/m<sup>2</sup> en VH2), seguido de la C1 (32428 ind/m<sup>2</sup>) y por último la C2 (19864 ind/m<sup>2</sup> infaunal), encontrando diferencias significativas entre la VH2 y la C2 ( $X^2_3 = 8.1$ ;  $p = 0.04$ ).

El phylum con mayor riqueza específica en la epifauna son los moluscos en las cuatro zonas, mientras que los más abundantes son los moluscos y cnidarios en las estaciones control, y los anélidos en las VH (Figura 23). En la infauna, en las cuatro zonas los anélidos y gasterópodos tienen mayor riqueza específica y los gasterópodos son los más abundantes (Figura 24).

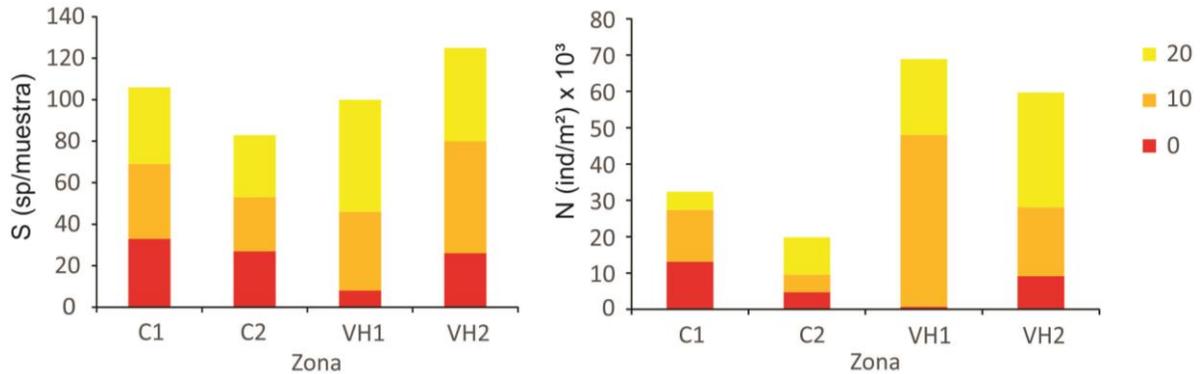


**Figura 23. Riqueza específica (sp/muestra) y abundancia (ind/m<sup>2</sup>) de los diferentes grupos faunísticos epifaunales en cada zona estudiada.**



**Figura 24. Riqueza específica (sp/muestra) y abundancia (ind/m<sup>2</sup>) de los diferentes grupo faunísticos infaunales en cada zona estudiada.**

La abundancia y riqueza de infauna es mucho menor en la zona de emanación de la VH1 y va aumentando según te alejas del centro, siendo mayor en la zona intermedia del transecto (10 m) (Figura 25).



**Figura 25. Abundancia (ind/m<sup>2</sup>) y riqueza específica (sp/muestra) de infauna en el centro, a 10m y a 20m en la zona C1, C2, VH1 e VH2.**

El índice de equitatividad ( $J'$ ) en epifauna mostró diferencias significativas entre las VH y las estaciones control ( $X^2_3 = 75.1$ ;  $p < 0.01$ ) teniendo valores menores en las VH en donde hay especies con mayor abundancia en relación con las especies totales. Por otro lado, en infauna el índice de equitatividad fue menor en VH (0.6-0.75), siendo significativamente menor en la VH1 respecto a la C2 ( $X^2_3 = 10.5$ ;  $p = 0.01$ ). Esto se debe a que en cada metro dominaban una o dos especies sobre el resto con mayor abundancia (Figura 26; Figura 27; Tabla 5; Tabla 6).

El índice de diversidad de Shannon-Wiener es significativamente mayor en la zona VH1 en el caso de las especies epifaunales ( $X^2_3 = 82.5$ ;  $p < 0.01$ ), mientras que en la infauna tal como se observa en la Tabla 5 y Tabla 6 fue mayor en la VH2 aunque no de forma significativa ( $X^2_3 = 6.4$ ;  $p = 0.09$ ) (Figura 26; Figura 27).

**Tabla 5. . Índices ecológicos de abundancia (N), riqueza (S), equirepartición ( $J'$ ) y diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) de las especies epifaunales**

	C1 (n=248)	C2 (n=248)	VH1 (n=248)	VH2 (n=248)
<b>N</b>	1.04 ± 0.07	0.47 ± 0.06	1.51 ± 0.08	0.9 ± 0.07
<b>S</b>	0.89 ± 0.06	0.41 ± 0.05	1.34 ± 0.09	0.77 ± 0.06
<b><math>J'</math></b>	0.98 ± 0.02	0.99 ± 0.002	0.98 ± 0.001	0.97 ± 0.006
<b><math>H'(\log 2)</math></b>	0.22 ± 0.03	0.08 ± 0.02	0.54 ± 0.04	0.23 ± 0.02

Tabla 6. Índices ecológicos de abundancia (N), riqueza (S), equirepartición (J') y diversidad de Shannon-Wiener (H') de las especies infaunales.

	C1 (n=10)	C2 (n=10)	VH1 (n=10)	VH2 (n=10)
<b>N</b>	47.80 ± 8.82	14 ± 2.98	59 ± 11.33	8.82 ± 8.82
<b>S</b>	13.60 ± 1.24	8.1 ± 1.47	10.9 ± 1.90	1.24 ± 1.24
<b>J'</b>	0.73 ± 0.05	0.92 ± 0.03	0.61 ± 0.07	0.73 ± 0.05
<b>H'(log2)</b>	2.73 ± 0.24	2.43 ± 0.36	1.93 ± 0.27	2.73 ± 0.24

Aunque no se observaron diferencias significativas entre metros en ninguno de los índices (Tabla 7), si hubo mayor abundancia y riqueza epifaunal en los transectos más profundos en VH1, como se puede ver en la Figura 26.

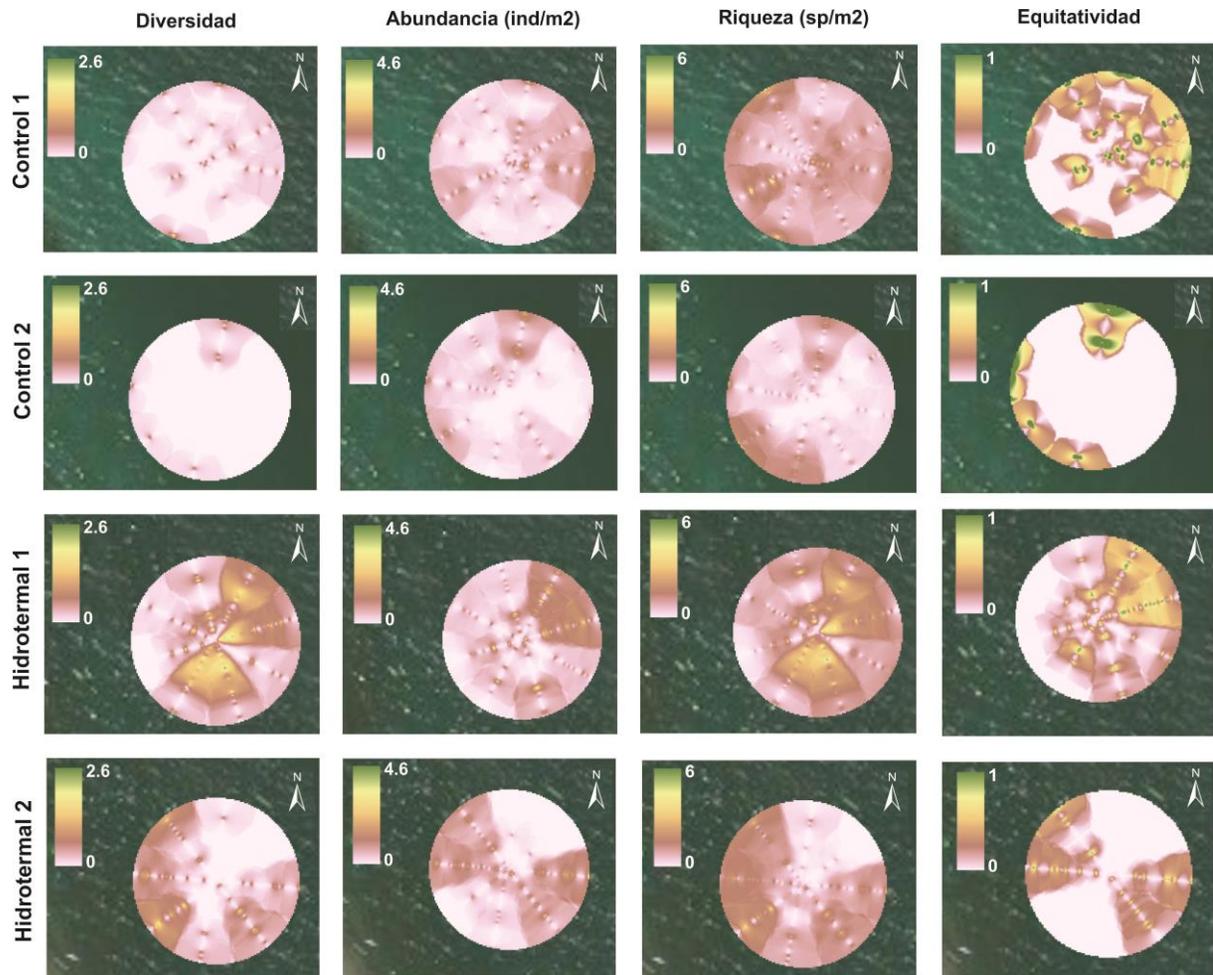


Figura 26. Índices ecológicos de las comunidades bentónicas epifaunales de la zona C1, C2, VH1 e VH2. Diversidad (H'), abundancia (N), riqueza específica (S) y equitatividad (J).

**Tabla 7. Resultados del análisis de Kruskal-Wallis entre metros de las ventilas hidrotermales para los índices de riqueza (S), abundancia (N), equitatividad (J') y diversidad de Shanon (H), en las comunidades epi e infaunales.**

	Infauna		Epifauna	
	VH1	VH2	VH1	VH2
<b>S</b>	$\chi^2_2 = 4.1; p = 0.12$	$\chi^2_2 = 3.5; p = 0.17$	$\chi^2_{29} = 36.6; p=0.19$	$\chi^2_{29} = 35.4; p = 0.23$
<b>N</b>	$\chi^2_2 = 4.4; p = 0.11$	$\chi^2_2 = 2.1; p = 0.36$	$\chi^2_{29} = 37.7; p=0.16$	$\chi^2_{29} = 37.7; p = 0.16$
<b>J'</b>	$\chi^2_2 = 6.5; p = 0.04$	$\chi^2_2 = 2.3; p = 0.32$	$\chi^2_{29} = 24.5; p=0.75$	$\chi^2_{29} = 38.1; p = 0.15$
<b>H</b>	$\chi^2_2 = 3.8; p = 0.14$	$\chi^2_2 = 3.8; p = 0.15$	$\chi^2_{29} = 32.2; p = 0.35$	$\chi^2_{29} = 38.1; p = 0.15$

En el caso de la infauna se observa una disminución, no significativa (Tabla 7), notoria de estos índices de abundancia, riqueza y diversidad en zonas cercanas al centro de la ventilas, donde las temperaturas eran mayores (Figura 16; Figura 27). Esta disminución fue mayor en el caso de la VH1. En el caso de la equitatividad fue mayor en el centro de la VH (Figura 27).

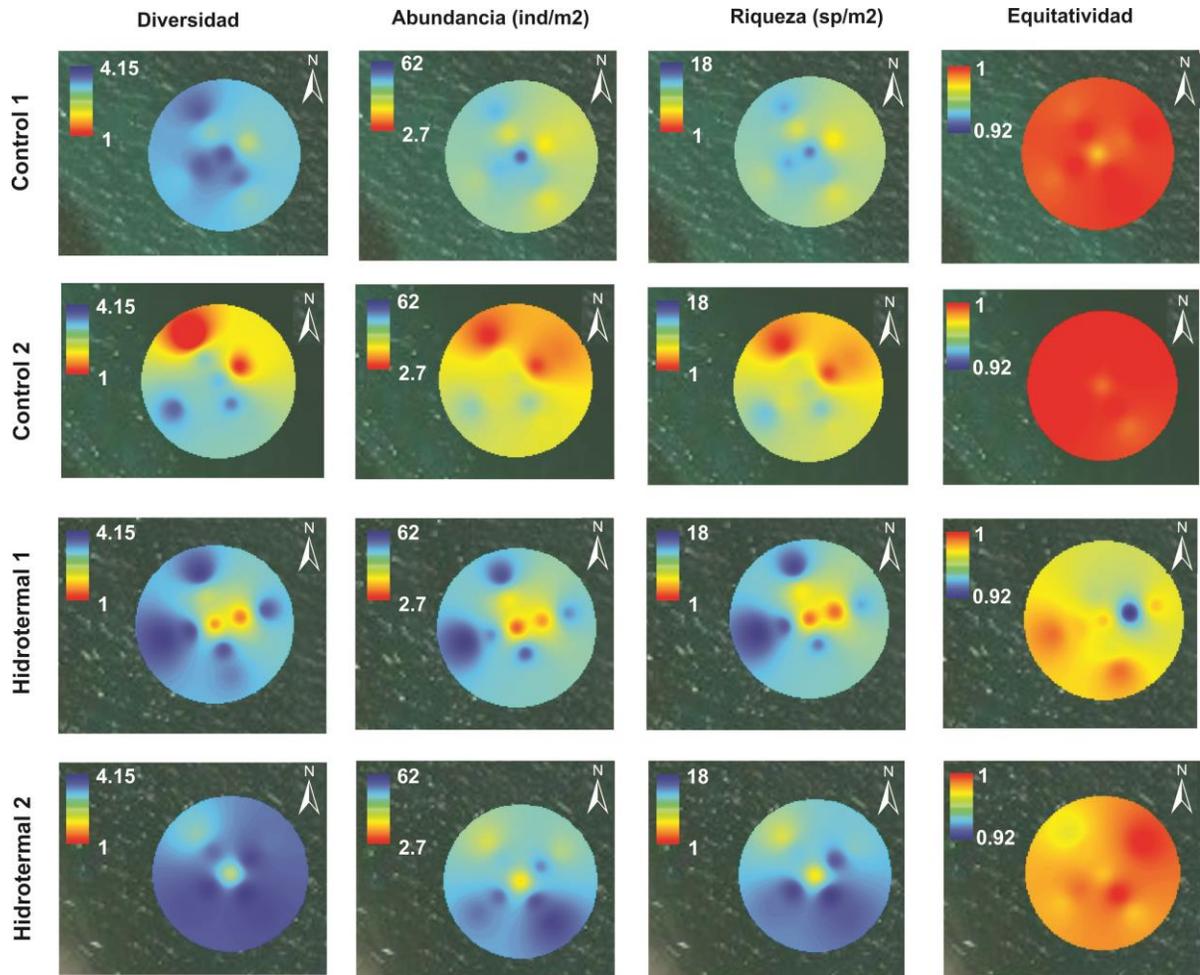


Figura 27. Índices ecológicos de las comunidades bentónicas infaunales de la zona C1, C2, VH1 e VH2. Diversidad ( $H'$ ), abundancia ( $N$ ), riqueza específica ( $S$ ) y equitatividad ( $J$ ).

En el caso de la tanatocenosis, se encontraron restos de ofiuras, foraminíferos, radiolarios y moluscos. En las estaciones control se encontraron alrededor de 850 conchas de moluscos en buen estado, mientras que en las VH unos 1500 conchas de moluscos (Anexo 4). Por otro lado, la riqueza fue similar entre zonas con unas 55 especies en cada una de ellas. En el caso de las VH el mayor número de moluscos se encontraron en el metro 10.

### 3.2.3. Dominancias

Los grupos dominantes de epifauna variaron en cada zona (Anexo 2). En la C1 fueron los moluscos (356 ind., 71.8%), seguido de los cnidarios (84 ind., 17.4%) y los

poríferos (24 ind., 5%). En la C2 los grupos dominantes fueron los cnidarios (84 ind., 37.5%), los moluscos (81 ind., 36.2%), los poríferos (25 ind., 11.12%) y los anélidos (20 ind., 8.9%), el resto de grupos presentan menor abundancia (6.3%). Los grupos más dominantes de la VH1 son los anélidos (305 ind., 41%), seguido de los moluscos (189 ind., 25.4%), seguidos por cnidarios (102 ind., 13.7%), tunicados (67 ind., 9%) y otros grupos (10.7%). Finalmente, en la VH2 los grupos dominantes fueron los anélidos (341 ind., 44.9%) y los cnidarios (271 ind., 35.7%), les seguirían los moluscos (60 ind., 7.9%), y otros grupos con menor abundancia (11.5%).

Las especies epifaunales con mayores dominancias en las estaciones control son el callo de hacha *Pinna rugosa* (49.79% en C1; 14.29% en C2), la vaca marina *Aiptasia californica* (15.35% en C1; 35.27% en C2) y el callo de árbol *Atrina maura* (11.83% en C1) (Tabla 8). Mientras que en las zonas VH la especie más dominante es una especie no identificada de la familia Sabellidae (36.47% en VH1; 43.57% en VH2), seguido de este estaría en VH1 el tunicado *Ascidacea* sp. (8.61%) y la gorgonia *Leptogorgia* sp. (7.13%), mientras que la VH2 son las anemonas *Zoanthus* sp. (26.81%) y *Phialoba steinbecki* (6.17%) (Tabla 9).

**Tabla 8. Dominancia (%D) y abundancia (N) de las especies epifaunales en las estaciones control con un porcentaje de dominancia mayor al 2%.**

C1			C2		
Especie	%D	N	Especie	%D	N
<i>Pinna rugosa</i>	49.79	240	<i>Aiptasia californica</i>	35.27	79
<i>Aiptasia californica</i>	15.35	74	<i>Pinna rugosa</i>	14.29	32
<i>Atrina maura</i>	11.83	57	<i>Sabellidae</i> sp.1	8.04	18
<i>Geodia</i> sp.	4.36	21	<i>Cliona</i> cf <i>celata</i>	5.80	13
<i>Modulus cerodes</i>	2.70	13	<i>Nassarius</i>	4.46	10
<i>Leptogorgia</i> sp.	2.07	10	<i>Porifera</i> sp.	4.46	10
Resto de especies	13.9	67	<i>Strombus</i> sp.	4.46	10
			<i>Atrina maura</i>	4.02	9
			<i>Anachis</i> cf <i>coronata</i>	3.57	8
			Resto de especies	15.6	35

**Tabla 9. Abundancia (N) y dominancia (D) de las especies epifaunales en las ventilas hidrotermales con un porcentaje de dominancia mayor al 2%.**

VH1			VH2		
Especie	%D	N	Especie	%D	N
<i>Sabellidae</i> sp.	36.47	271	<i>Sabellidae</i> sp.	43.57	325
<i>Ascidacea</i> sp.	8.61	64	<i>Zoanthus</i> sp.	26.81	200
<i>Leptogorgia</i> sp.	7.13	53	<i>Phialoba steinbecki</i>	6.17	46
<i>Ostrea</i> sp.	5.92	44	<i>Ascidacea</i> sp.	5.63	42
<i>Phialoba steinbecki</i>	5.11	38	<i>Leptogorgia</i> sp.	3.35	25
<i>Anachis cf coronata</i>	4.58	34	<i>Anachis cf coronata</i>	2.01	15
<i>Pinctada mazatlanica</i>	3.63	27	Resto de especies	12.47	93
<i>Eucidaris thouarsii</i>	3.10	23			
<i>Spondylus limbatus</i>	3.10	23			
<i>Parasabella rugosa</i>	2.96	22			
<i>Olividae</i> sp.	2.29	17			
Resto de especies	17.09	127			

Los grupos dominantes de las especies infaunales son los anélidos, gasterópodos, nematodos y bivalvos en las cuatro zonas aunque en diferente proporción. El grupo más dominante de estas especies infaunales en las cuatro zonas son los gasterópodos, con un porcentaje de dominancia de 48.5% (278 ind.) en la C1, 67.2% (236 ind.) en la C2, 73.3% (892 ind.) en la VH1 y 61.5% (649 ind.) en la VH2. Seguido de los gasterópodos irían los nematodos, anélidos y bivalvos en diferente proporción en cada zona. En la C1 los segundos más dominantes son los bivalvos (158 ind., 27.6%), seguido de los anélidos (60 ind., 10.5%) y nematodos (54 ind., 9.4%). En la C2 son los anélidos (66 ind., 18.8%) y bivalvos (23 ind., 6.5%). En la VH1 seguirían los nematodos (139 ind., 11.4%) y los anélidos (106 ind., 8.7%). Finalmente, en la VH2, al igual que en la C1, los grupos que acompañan a los gasterópodos son los anélidos (156 ind., 14.8%) y nematodos (118 ind., 11.2%).

En el caso de la infauna, las estaciones control presentan diferentes especies dominantes. En la C1 las especies más dominantes son *Nematoda* sp. (22.13%), un juvenil de bivalvo que no se pudo identificar (19.26%), y el gasterópodo *Tegula mariana* (8.19%). En la C2 las más dominantes son el gasterópodo *Caecum* cf *elegantissimum* (10.71%), el poliqueto *Ceratonereis* sp. (8.57%), y el gasterópodo *Tegula mariana* (8.57%) (Tabla 10). Por otro lado, las VH si presentan similar dominancia de especies, siendo el gasterópodo *Caecum* cf *elegantissimum* (41,69% en la VH1; 24,69% en la VH2) y el nematodo *Nematoda* sp. (23,56% en la VH1; 16,53% en la VH2) los más dominantes. Acompañando a estas especies está el poliqueto *Lumbrinerides* sp. (6.27%) en la VH1 y el poliqueto *Goniadides* sp2 y *Hemipodia* sp. (7.74%) en la VH2 (Tabla 11).

**Tabla 10. Abundancia (N) y dominancia (D) de las especies infaunales en las estaciones control con un porcentaje de dominancia mayor al 2%.**

C1			C2		
Especie	%D	N	Especie	%D	N
<i>Nematoda</i> sp.	22.13	54	<i>Caecum</i> cf <i>elegantissimum</i>	10.71	15
<i>Pullus bibalvia</i>	19.26	47	<i>Ceratonereis</i> sp.	8.57	12
<i>Tegula mariana</i>	8.19	20	<i>Tegula mariana</i>	8.57	12
<i>Hemipodia</i> sp.	4.92	12	<i>Finella</i> sp2	7.86	11
<i>Finella</i> sp2	4.51	11	<i>Syllidae</i> sp3	7.14	10
<i>Alpheidae</i> sp1	3.28	8	<i>Hippone gaudichaudi</i>	5.00	7
<i>Syllidae</i> sp3	2.46	6	<i>Syllidae</i> sp2	5.00	7
<i>Prionospio</i> sp.	2.05	5	<i>Cirratulus</i> sp	3.57	5
<i>Syllidae</i> sp1	2.05	5	<i>Maeridae</i> sp1	2.86	4
Resto de especies	31.14	76	<i>Nematoda</i> sp.	2.86	4
			Resto de especies	38	53

Tabla 11. Abundancia (N) y dominancia (D) de las especies infaunales con un porcentaje de dominancia mayor al 2% en las zonal VH.

VH1			VH2		
Especie	%D	N	Especie	%D	N
<i>Caecum cf elegantissimum</i>	41.69	246	<i>Nematoda</i> sp.	24.69	118
<i>Nematoda</i> sp.	23.56	139	<i>Caecum cf elegantissimum</i>	16.53	79
<i>Lumbrinerides</i> sp.	6.27	37	<i>Goniadides</i> sp2	8.37	40
<i>Goniadides</i> sp1	2.88	17	<i>Hemipodia</i> sp.	7.74	37
<i>Sipunculidea</i> sp.	2.37	14	<i>Finella</i> sp2	3.56	17
Resto de especies	23	137	<i>Sipunculidea</i> sp.	3.56	17
			<i>Goniadides</i> sp1	2.93	14
			<i>Lineus</i> sp.	2.30	11
			<i>Leptonereis</i> sp.	2.09	10
			Resto de especies	28	135

La especie *Caecum cf elegantissimum* es de las especies más dominantes tanto cerca (11.76%), en el medio (68.78%) como lejos (10.81%) de la VH1, aunque presenta mayor abundancia en la zona media con 216 ind., mientras que en el centro solo se encontraron 2 individuos y lejos 28 ind. Los nematodos tienen mayor abundancia y dominancia lejos de la VH1 (34.7%, 90 ind.), mientras que a 10m solo aparecieron en el transecto 4 (48 ind.) y en la zona centro son casi ausentes (1 ind.). La especie *Lumbrinerides* sp. solo apareció lejos de la VH1 con 37 ind. En el centro la especie más dominante es *Ophiothrix (Ophiothrix) spiculata* (53%, 9 ind.).

En la VH2 los nematodos y *Caecum cf elegantissimum* son los más dominantes cerca (29.4%; 22.1) y lejos (40.6; 26.5%). Ambos presentan una mayor abundancia lejos con 64 ind. de *Caecum cf elegantissimum* y 98 ind. de nematodos, estando ausentes en la zona intermedia. Mientras que en la zona intermedia los goniadidos (41%) *Goniadides* sp2 (35 ind.) y *Hemipodia* sp. (37 ind.) son los más dominantes.

Los restos de organismos no vivos dominantes en el sedimento de la control es el gasterópodo *Finella* sp. (27.1%), *Caecum cf elegantissimum* (38.3%) y *Finella* sp. (26%),

el juvenil de bivalvo (17.3%), y el bivalvo *Arca pacifica* (24%), el cual hay que destacar que no se encontró vivo en ninguna de las zonas (Tabla 13). Las VH especialmente están dominadas por restos de *Caecum cf elegantissimum* (66% en VH1 y 45.1% en VH2), *Finella* sp2 (17%), *Granulina margaritula* y *Chione* sp1 tienen una dominancia mayor al 10% (Anexo 4: especies de tanatocenosis).

### 3.3. Relaciones entre las variables ambientales y la fauna

Se realizó un análisis de correlaciones Spearman entre las variables ambientales y los índices ecológicos tanto en la epifauna como infauna. Este análisis se realizó tomando todos los datos de las cuatro zonas (Tabla 12 y Tabla 15) y tomando los datos por separado de VH y control (Tabla 13; Tabla 14; Tabla 16; Tabla 17).

#### 3.3.1. Epifauna

Como se observa en la Tabla 12, los índices ecológicos de la epifauna de las cuatro zonas presentaron una correlación positiva con la profundidad, la salinidad y la temperatura del sedimento. Mientras que presentaron una correlación negativa con el porcentaje de arena.

Tabla 12. Correlación de Spearman entre los índices ecológicos de epifauna (riqueza (S), abundancia (N), equitatividad (J) y diversidad (H)), y los valores ambientales de la columna y sedimento como son la profundidad (prof), anomalía del pH, salinidad, temperatura del sedimento (temp sed), temperatura de la columna (temp col), porcentaje de roca (roca) y porcentaje de arena (arena).

	S		N		J'		H	
	r	p	r	P	r	p	r	p
N=992								
<b>Prof</b>	0.13	<0.01	0.12	<0.01	0.13	<0.01	0.12	<0.01
<b>Anomalía H</b>	0	0.8	0.01	0.8	0	<0.8	0	<0.8
<b>Salinidad</b>	0.18	<0.01	0.19	<0.01	0.16	<0.01	0.17	<0.01
<b>Tem sed</b>	0.11	<0.01	0.1	<0.01	0.17	<0.01	0.18	<0.01
<b>Tem col</b>	-0.04	<0.01	-0.03	<0.01	-0.01	<0.01	-0.01	<0.01
<b>Roca</b>	0.01	0.8	0.01	0.6	0	0.9	0.01	0.8
<b>Arena</b>	-0.13	<0.01	-0.13	<0.01	-0.08	0.02	-0.07	0.02

Al ver dichas correlaciones por separado, en las estaciones control la profundidad y la salinidad tienen una correlación positiva con los índices ecológicos; la anomalía del pH presenta una correlación positiva con la riqueza y la abundancia; y la temperatura de la columna una correlación negativa con todos los índices (Tabla 13). Sin embargo, para el caso de las VH la profundidad presentó una correlación negativa con la abundancia y riqueza, la salinidad una correlación positiva con los cuatro índices, la temperatura de la columna una correlación positiva con la equitatividad y la diversidad, y el porcentaje de arena una correlación negativa con todos (Tabla 14).

Hay que destacar que ambas VH presentaron diferente intensidad en algunas variables como la temperatura, y al realizar las correlaciones por separado para cada una de ellas se vio que en la VH1 la anomalía de pH y la temperatura del sedimento si se correlacionó negativamente con la abundancia y con la riqueza. En el caso de la VH2 se vio correlación negativa entre salinidad y temperatura del sedimento y la riqueza y abundancia.

Tabla 13. Correlación de Spearman para los datos de las estaciones control entre los índices ecológicos de epifauna (riqueza (S), abundancia (N), equitatividad (J) y diversidad (H)), y los valores ambientales de la columna y sedimento como son la profundidad (prof), anomalía del pH, salinidad, temperatura del sedimento (temp sed), temperatura de la columna (temp col) y porcentaje de arena (arena).

	S		N		J'		H'(log2)	
	r	p	r	p	r	p	r	p
N=496								
<b>Prof</b>	0.23	0	0.23	0	0.18	0	0.17	0
<b>Anomalia ph</b>	0.09	0.04	0.1	0.02	0.06	0.18	0.06	0.21
<b>Salinidad</b>	0.2	0	0.21	0	0.12	0.01	0.12	0.01
<b>Temp sed</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Temp col</b>	-0.12	0.01	-0.11	0.01	-0.1	0.02	-0.1	0.02
<b>Arena</b>	0.05	0.29	0.07	0.14	-0.02	0.58	-0.02	0.58

Tabla 14. Correlación de Spearman para los datos de las VH entre los índices ecológicos de epifauna (riqueza (S), abundancia (N), equitatividad (J) y diversidad (H)), y los valores ambientales de la columna y sedimento como son la profundidad (prof), anomalía del pH, salinidad, temperatura del sedimento (temp sed), temperatura de la columna (temp col), porcentaje de roca (roca) y porcentaje de arena (arena).

	S		N		J'		H'(log2)	
	r	p	r	p	r	p	r	p
N=496								
<b>Prof</b>	-0.13	0	-0.14	0	-0.05	0.26	-0.08	0.06
<b>Anomalia ph</b>	-0.04	0.33	-0.04	0.34	-0.02	0.6	-0.01	0.75
<b>Salinidad</b>	0.12	0.01	0.12	0.01	0.16	0	0.18	0
<b>Temp sed</b>	-0.04	0.34	-0.05	0.24	0.04	0.37	0.03	0.45
<b>Temp col</b>	0.08	0.08	0.09	0.06	0.1	0.02	0.12	0.01
<b>Roca</b>	-0.03	0.45	-0.02	0.64	-0.06	0.22	-0.04	0.36
<b>Arena</b>	-0.38	0	-0.37	0	-0.3	0	-0.3	0

Con el fin de observar cual era el grado de similitud entre las condiciones ambientales de las VH y las estaciones control, se aplicó un análisis de agrupamiento (cluster) y un método de escalamiento multidimensional no-métrico (Multi-Dimensional Scaling, MDS). A partir del dendograma (Figura 28) se observó tres grupos en el MDS; uno estaría formado por las estaciones control (elipse de la izquierda; Figura 29) y los otros dos por las VH (elipses de la derecha; Figura 29). Además, se realizó de nuevo este mismo MDS pero con los datos promedio por zona observándose una diferencia clara entre control y VH (Figura 30). El análisis ANOSIM indicó que estos grupos si presentaban diferencias significativas ( $R=0.57$ ,  $p<0.01$ ), lo que corrobora la diferencia ambiental entre zonas observada en el MDS. Finalmente el ANOSIM dio diferencias significativas entre los grupos C1 e VH1 ( $R=0.8$ ,  $p<0.01$ ), C1 e VH2 ( $R=0.8$ ,  $p<0.01$ ), C2 e VH1 ( $R=0.8$ ,  $p<0.01$ ) y C2 e VH2 ( $R=0.8$ ,  $p<0.01$ ).

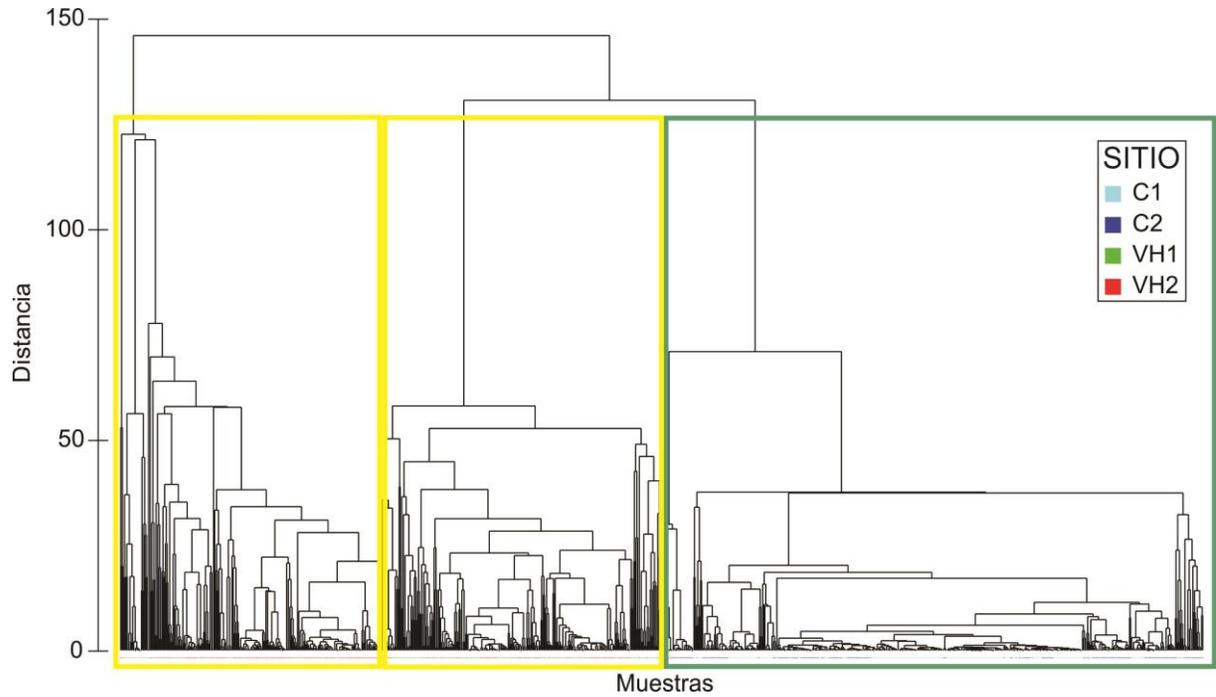


Figura 28. Dendrograma de las variables ambientales de la columna de agua de las estaciones control (C1, C2), agrupadas por el cuadro azul, y de las ventilas hidrotermales (VH1, VH2), agrupadas por el cuadro rojo.

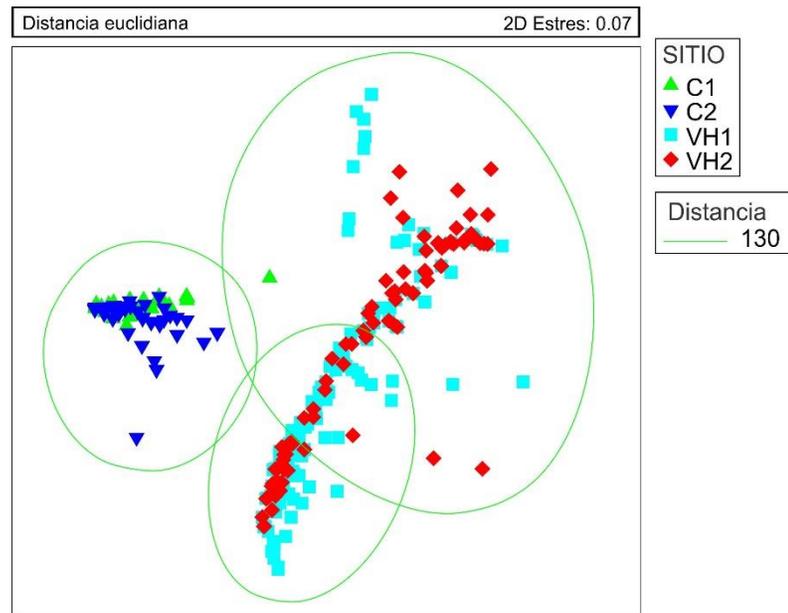
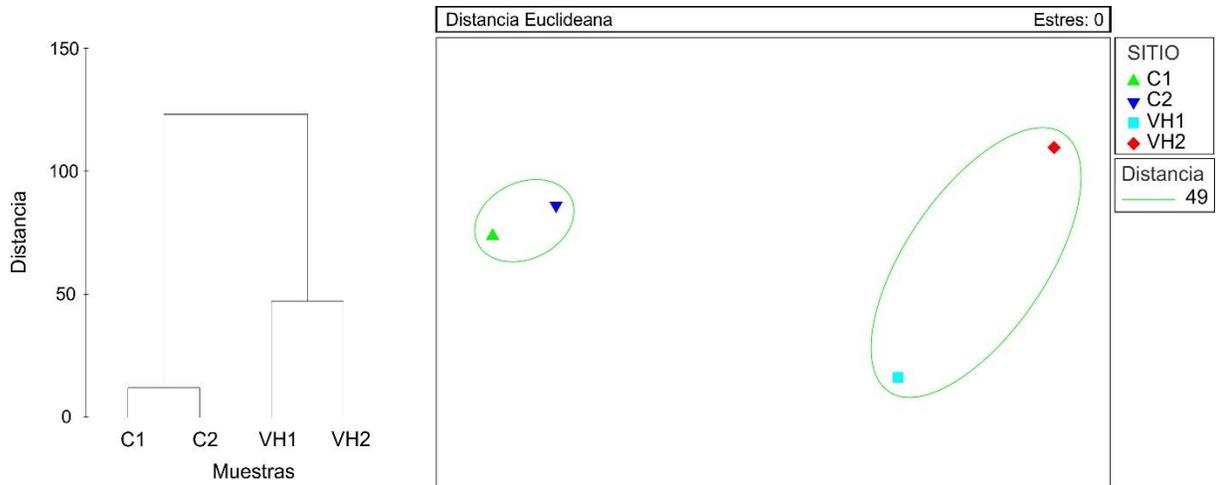
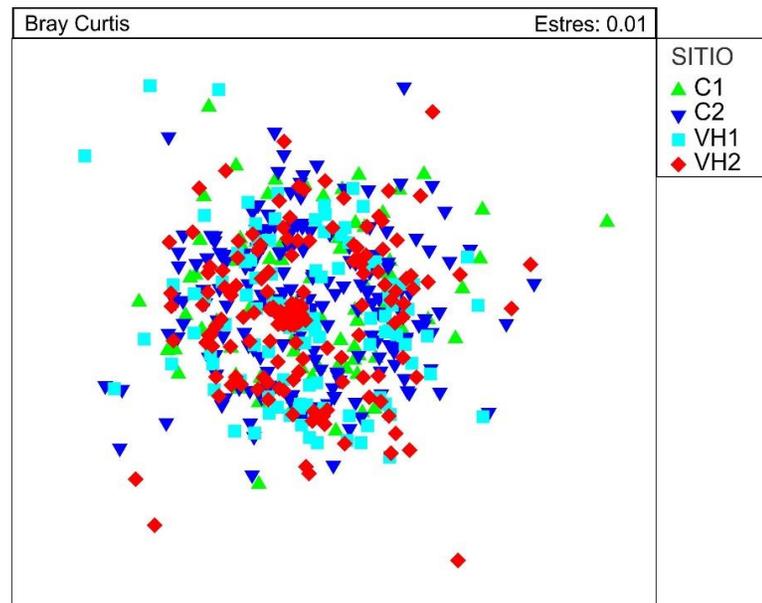


Figura 29. MDS de las variables ambientales de la columna de agua de las estaciones control (C1, C2) agrupadas a la izquierda y de las ventilas hidrotermales (VH1, VH2) agrupadas a la derecha.

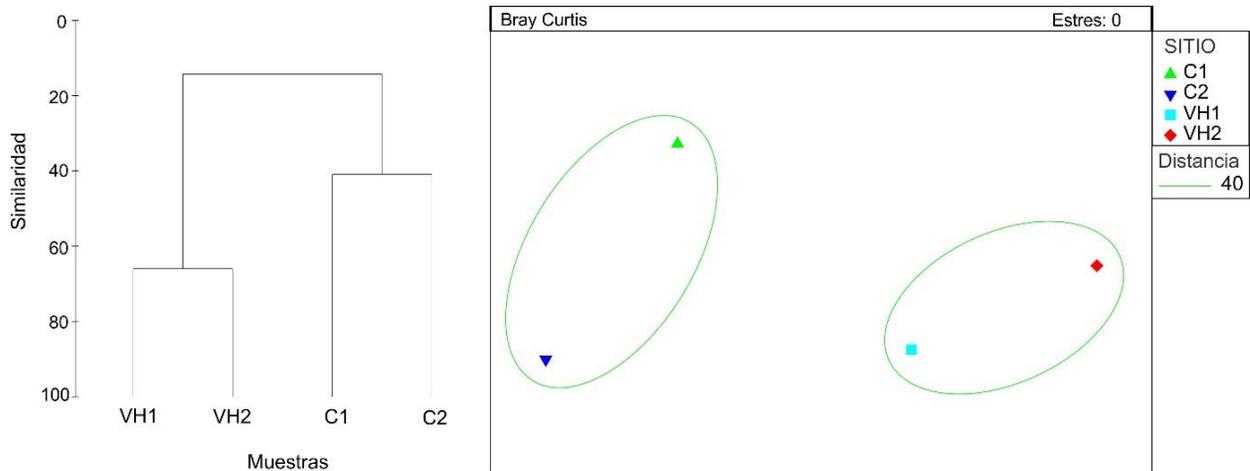


**Figura 30. Dendrograma y MDS de las variables ambientales de la columna en promedio de las zonas control (C1, C2) y las ventilas hidrotermales (VH1, VH2)**

Al representar la matriz de abundancia de epifauna en MDS (Figura 31) y realizar el análisis ANOSIM ( $R = 0.08$ ,  $p < 0.01$ ) con todos los datos en conjunto, no se observó agrupación entre zonas. Esto se puede deber a la gran variabilidad de organismos epifaunales que hay dentro de cada zona, por ello se realizó de nuevo el cluster y el MDS promediado por zona en el que si se obtuvo agrupaciones entre estaciones control (elipse de la izquierda; Figura 32) y VH (elipse de la derecha; Figura 32).



**Figura 31. MDS de la matriz de abundancia de epifauna de las estaciones control (C1, C2) y de las ventilas hidrotermales (VH1, VH2).**



**Figura 32.** Dendrograma y MDS de la matriz de abundancia de epifauna en promedio de las estaciones control (C1, C2), agrupadas a la derecha en el cluster y a la izquierda en el MDS, y de las ventilas hidrotermales (VH1, VH2), agrupadas a la izquierda en el cluster y a la derecha en el MDS.

### 3.3.2. Infauna

En cuanto a la infauna, se observó una correlación negativa entre la temperatura del sedimento y la equitatividad. El porcentaje de grava y la asimetría se correlacionó negativamente con la abundancia, riqueza y diversidad, mientras que el porcentaje de arena se correlacionó positivamente con la abundancia, riqueza y diversidad. En el caso de la media de grano presentó una correlación positiva con la abundancia y riqueza (Tabla 15).

**Tabla 15.** Correlación de Spearman entre los índices ecológicos de infauna (riqueza (S), abundancia (N), equitatividad (J) y diversidad (H)) y la temperatura del sedimento (T) y parámetros sedimentológicos (porcentaje de grava (Grava), porcentaje de arena (arena), porcentaje de fango (Fango), media ( $M_z$ ), grado de selección ( $\sigma_1$ ), asimetría (SK) y angulosidad ( $K_G$ )).

N=40	S		N		J'		H	
	r	p	r	p	r	p	r	p
<b>T</b>	0.12	0.5	0.16	0.3	-0.34	0.03	0.1	0.5
<b>Grava</b>	-0.4	<0.01	-0.42	<0.01	0.45	<0.01	-0.38	<0.01
<b>Arena</b>	0.43	<0.01	0.45	<0.01	-0.46	<0.01	0.41	<0.01
<b>Fango</b>	-0.19	0.2	-0.13	0.4	-0.19	0.3	-0.22	0.1
<b><math>M_z</math></b>	0.32	0.01	0.37	<0.01	-0.47	<0.01	0.3	0.02
<b><math>\sigma_1</math></b>	-0.07	0.6	-0.03	0.8	-0.12	0.4	-0.09	0.6
<b>SK</b>	-0.41	<0.01	-0.46	<0.01	0.53	<0.01	-0.39	<0.01
<b><math>K_G</math></b>	-0.01	0.9	-0.05	0.8	0.27	0.1	-0.01	0.9
<b>Moda</b>	0.37	<0.01	0.4	<0.01	-0.44	<0.01	0.35	<0.01

Al hacer por separado control de VH, se observó para el caso de las estaciones control una correlación positiva entre la abundancia, riqueza y diversidad y el porcentaje en arena y moda. Mientras que el porcentaje de grava y la asimetría tuvieron una correlación negativa con la abundancia, riqueza y diversidad (Tabla 16). Sin embargo, en el caso de la VH únicamente se obtuvo una correlación negativa entre la abundancia y la temperatura del sedimento (Tabla 17).

Al igual que en la epifauna, al realizar el análisis de correlación en cada VH para la infauna se vio como en la VH1 la temperatura del sedimento si presentó correlación negativa con la abundancia ( $r=-0.65$ ,  $p<0.01$ ), riqueza ( $r=-0.59$ ,  $p<0.01$ ) y diversidad ( $r=-0.59$ ,  $p<0.01$ ), mientras que en el caso de la VH2 únicamente hubo correlación positiva entre el apuntamiento y la abundancia ( $r=0.61$ ,  $p<0.01$ ) y diversidad ( $r=0.61$ ,  $p<0.01$ ).

**Tabla 16. Correlación de Spearman para control entre los índices ecológicos infaunales (riqueza (S), abundancia (N), equitatividad (J) y diversidad (H)), y los parámetros sedimentológicos temperatura del sedimento (T), porcentaje de grava (Grava), porcentaje de arena (arena), porcentaje de fango (Fango), media (Mz), grado de selección ( $\sigma$ ), asimetría (SK) y angulosidad ( $K_G$ ).**

N=20	S		N		J'		H'(log2)	
	r	p	r	p	r	p	r	p
<b>T</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Grava</b>	-0.58	0.01	-0.55	0.01	0.27	0.25	-0.6	0.01
<b>Arena</b>	0.58	0.01	0.54	0.01	-0.29	0.21	0.6	0
<b>Fango</b>	-0.23	0.32	-0.17	0.48	-0.11	0.65	-0.25	0.29
<b>Mz</b>	0.46	0.04	0.44	0.05	-0.25	0.29	0.48	0.03
<b><math>\sigma_1</math></b>	-0.08	0.75	-0.01	0.96	-0.08	0.74	-0.09	0.71
<b>SK</b>	-0.55	0.01	-0.46	0.04	0.14	0.55	-0.58	0.01
<b><math>K_G</math></b>	-0.13	0.59	-0.08	0.73	0.12	0.6	-0.16	0.5
<b>Moda</b>	0.67	0	0.62	0	-0.2	0.4	0.69	0

**Tabla 17. Correlación de Spearman para VH entre los índices ecológicos infaunales (riqueza (S), abundancia (N), equitatividad (J) y diversidad (H)), y los parámetros sedimentológicos temperatura del sedimento (T), porcentaje de grava (Grava), porcentaje de arena (arena), porcentaje de fango (Fango), media (Mz), grado de selección ( $\sigma$ ), asimetría (SK) y angulosidad ( $K_G$ ).**

N=20	S		N		J'		H'(log2)	
	r	p	r	p	r	p	r	p
<b>T</b>	-0.43	0.06	-0.46	0.04	0.05	0.84	-0.44	0.05
<b>Grava</b>	0.06	0.79	0.07	0.76	0.26	0.27	0.08	0.75
<b>Arena</b>	0.06	0.81	0.04	0.88	-0.2	0.39	0.05	0.83
<b>Fango</b>	-0.31	0.18	-0.26	0.27	-0.27	0.25	-0.34	0.14
<b>Mz</b>	-0.18	0.44	-0.15	0.53	-0.33	0.16	-0.21	0.38
<b><math>\sigma</math></b>	-0.15	0.53	-0.15	0.51	-0.17	0.48	-0.16	0.5
<b>SK</b>	0.12	0.61	0.05	0.85	0.5	0.03	0.15	0.51
<b><math>K_G</math></b>	0.31	0.19	0.22	0.34	0.16	0.5	0.32	0.17
<b>Moda</b>	-0.08	0.75	-0.01	0.95	-0.5	0.02	-0.11	0.64

Al igual que con las variables de la columna, con el fin de observar cual era el grado de similitud entre los parámetros sedimentológicos de las VH y las estaciones control se realizó un análisis de agrupamiento (cluster) y un método de escalamiento multidimensional no-métrico (MDS). En este caso, no se observó una separación entre estaciones control y ventilas hidrotermales como se puede ver en la Figura 344. Debido a esto se realizó de nuevo el MDS con el promedio por zona para eliminar la variabilidad dentro de cada zona. Se observó que la C1 pertenece al mismo grupo que las VH (Figura 355). Esto fue confirmado por el ANOSIM, el cual arrojó un coeficiente de R de 0.3 y un  $p < 0.01$ . La C2 se diferenció significativamente de las VH ( $R=0.5$ ;  $p < 0.01$ ), mientras que en el caso de la C1 mostró un coeficiente R de 0.08 respecto a la VH2 ( $p < 0.01$ ).

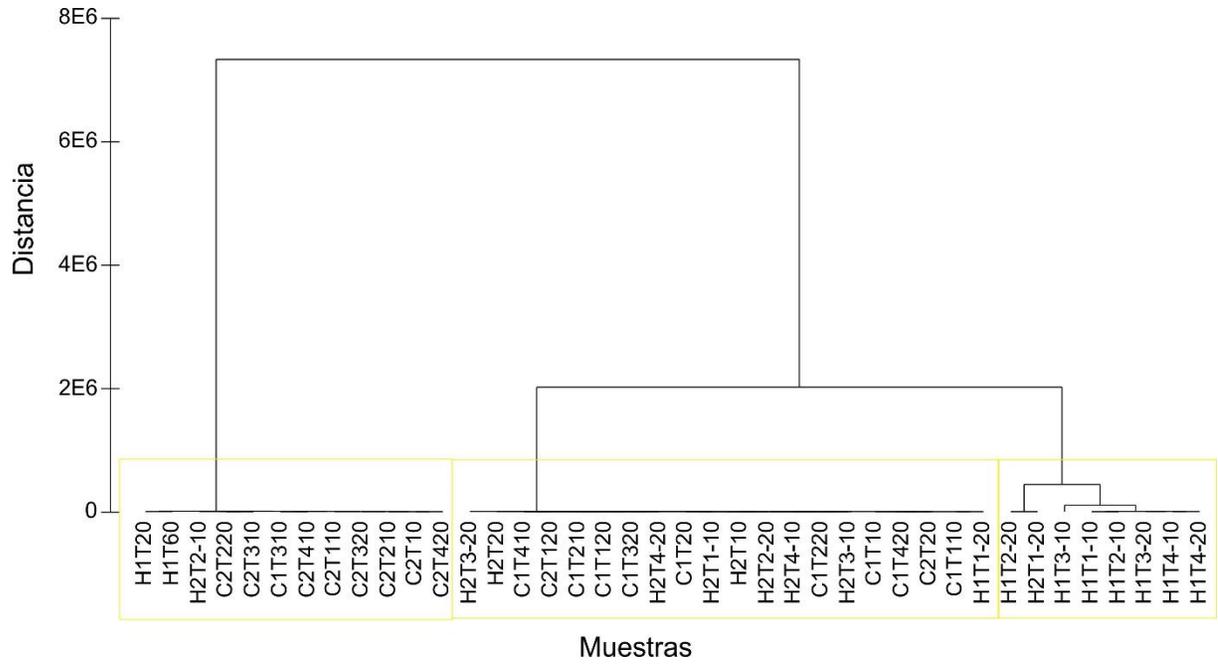


Figura 33. Dendrograma de las variables del sedimento de las estaciones control (C1, C2) y de las ventilas hidrotermales (VH1, VH2).

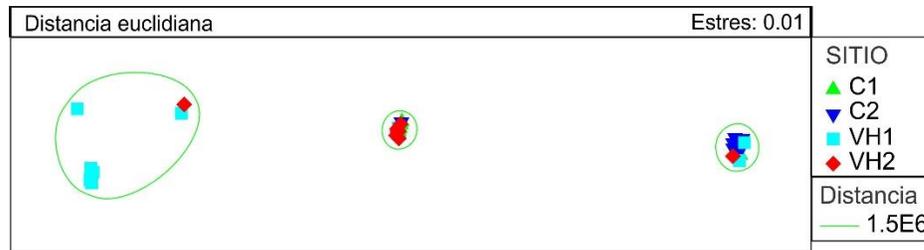


Figura 34. MDS de las variables del sedimento de las estaciones control (C1, C2) y de las ventilas hidrotermales (VH1, VH2).

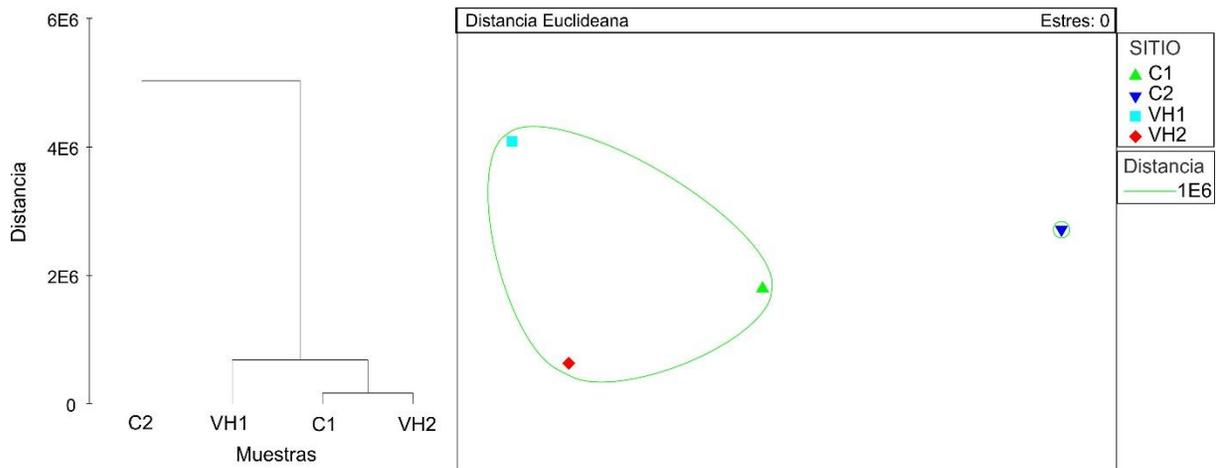
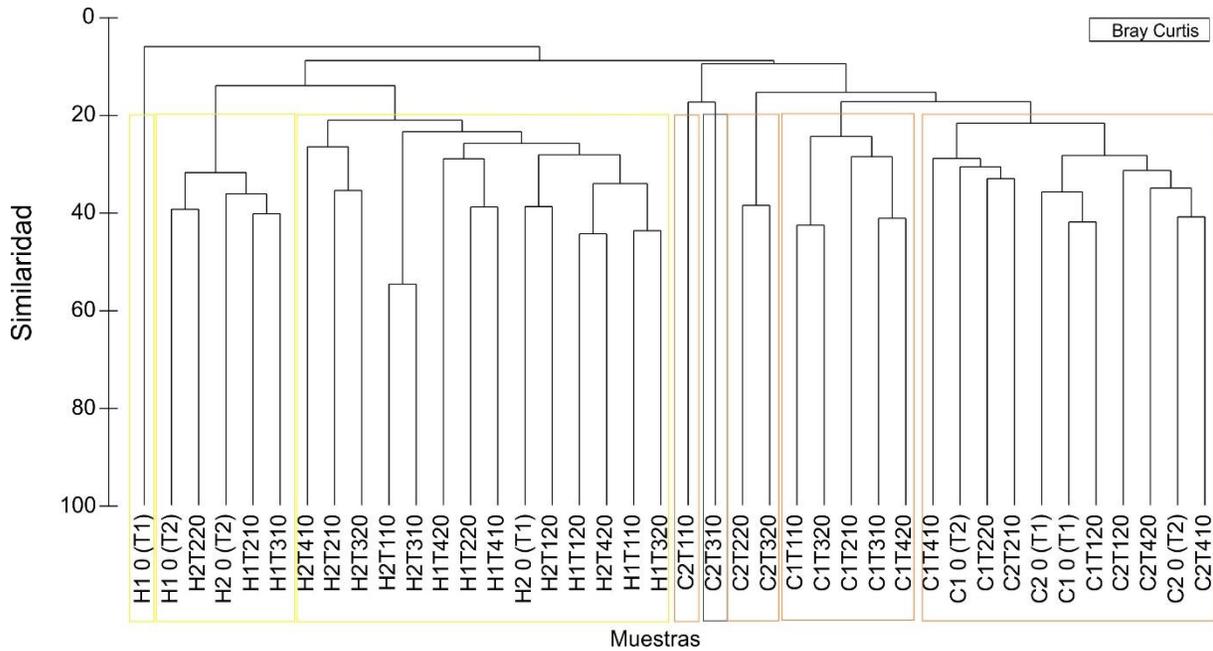
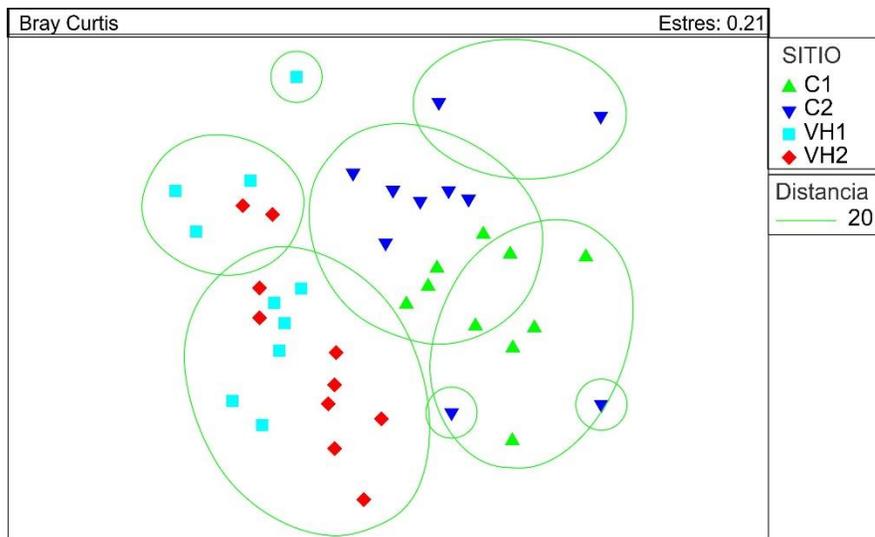


Figura 35. Dendrograma y MDS de las variables del sedimento en promedio de las estaciones control (C1, C2) y de las ventilas hidrotermales (VH1, VH2). La esfera de la izquierda agrupa a las VH y C1 y la esfera de la derecha estaría compuesto únicamente por C2

Por último, se realizó un cluster (Figura 366) y MDS para la abundancia de infauna obteniéndose ocho agrupaciones, cinco grupos estarían formados por las estaciones control (elipses de la derecha; Figura 377) y los otros tres por las VH (elipse de la izquierda; Figura 377). El ANOSIM corroboró esta agrupación con un coeficiente R de 0.5 y  $p < 0.01$ . Este análisis dio diferencias significativas ( $<0.01$ ) entre la C1 y VH1 ( $R=0.7$ ), C1 y VH2 ( $R=0.7$ ), C2 y VH1 ( $R=0.5$ ) y C2 y VH2 ( $R=0.6$ ).

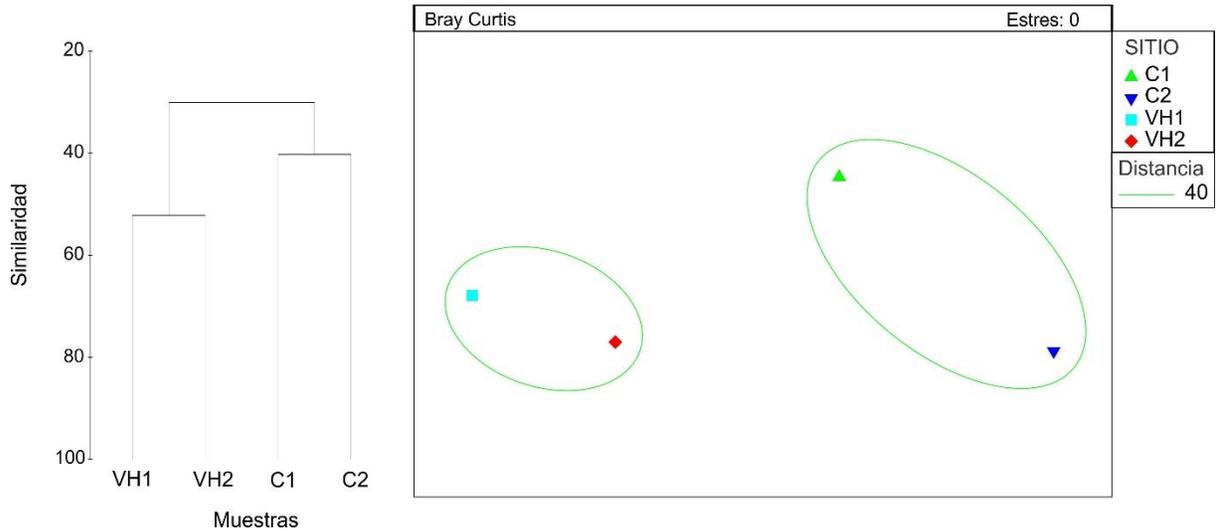


**Figura 36. Dendrograma de la matriz de abundancia de infauna de las estaciones control (C1, C2), agrupadas a la derecha, y de las ventilas hidrotermales (VH1, VH2), agrupadas a la izquierda**



**Figura 37. MDS de la matriz de abundancia de infauna de las estaciones control (C1, C2), agrupadas a la derecha, y de las ventilas hidrotermales (VH1, VH2), agrupadas a la izquierda.**

Se repitieron ambos análisis con el promedio de cada zona, y al igual que la epifauna se agrupó por un lado las estaciones control y por otro lado las ventilas hidrotermales (Figura 388).



**Figura 38. Dendrograma y MDS de la matriz de abundancia de infauna en promedio de las estaciones control (C1, C2), agrupadas a la derecha, y de las ventilas hidrotermales (VH1, VH2), agrupadas a la izquierda.**

## Capítulo 4- Discusión

---

En este trabajo, se encontró diferencias en la composición y estructura de las comunidades bentónicas epifaunales e infaunales entre las estaciones control y las ventilas hidrotermales someras del área de estudio, sugiriendo que las condiciones de la ventila hidrotermal incrementan la abundancia y diversidad. En el caso de la infauna se observó una disminución de la abundancia, riqueza y diversidad en las zonas cercanas a la emisión, sin embargo no se observó este patrón con epifauna. En relación al tipo de alimentación se observó especies de diferente tipo de alimentación a lo largo de la ventila, tanto en infauna como en epifauna, sin un gradiente marcado. Finalmente se encontró una correlación negativa entre la temperatura y el tamaño de grano y la abundancia de infauna, aunque esta correlación no se vio para el caso de la epifauna. En general se apoya las hipótesis propuestas para el caso de infauna, sin embargo la epifauna parece no estar tan afectada por las condiciones de la ventila debido a la mezcla inmediata del fluido exhalado con la columna de agua.

La mayor parte del sedimento de Bahía Concepción presenta extensas poblaciones de algas rojas calcáreas conocidas como mantos de rodolitos que se desarrollan sobre fondos arenosos pero sin sujeción al sustrato, en donde se localizaron las estaciones control. También es posible encontrar, aunque en menor extensión, áreas desprovistas de estos mantos cuya condición podría asociarse a la presencia de actividad hidrotermal. En las estaciones control y como resultado de la presencia de rodolitos, se registraron altos valores de carbono inorgánico y bajos valores de carbono orgánico, al igual que indican otros estudios realizados en Bahía Concepción (Leal-Acosta et al., 2013). Estos mantos de rodolitos constituyen un sustrato de protección y fijación para algas e invertebrados, tanto larvas como adultos (Riosmena-Rodriguez, Woelkerling, y Foster, 1999; Riosmena, 2001) como es el caso de algunos bivalvos (*Atrina maura* y *Pinna rugosa*), la anemona *Aiptasia californica* o el gasterópodo *Modulus cerodes*, los cuales fueron las especies más dominantes en las zonas de rodolitos de este estudio. Otras especies presentes únicamente en las estaciones control fueron los equinodermos *Echinaster (Othilia) tenuispinus* y *Ophioderma panamensis* y los bivalvos *Glycymeris*

*gigantea* y *Megapitaria squalida*, típicos de sustrato carbonatados (Castro-Ortiz, Tripp-Quezada, y Anguas-Vélez, 1992) y el erizo *Toxopneustes roseus*, el cual se alimenta de rodolitos aun cuando hay presencia de otro tipo de algas (James, 1998).

A diferencia de estas zonas con rodolitos, las áreas con actividad hidrotermal presentan sedimentos arenosos y tienen bajo grado de selección que refleja la importante heterogeneidad del sustrato típica de las hidrotermales (Cordes et al., 2010). Se sugiere que esta variedad en la composición y tamaño de grano es causada por la removilización de sedimentos desde zonas profundas a través de los procesos de expulsión de fluidos y gases hacia la superficie del fondo marino, por el hidrodinamismo y por el asentamiento de determinadas especies (Cordes et al., 2010). En Bahía Concepción, además existe el transporte eólico como agente adicional (principalmente en otoño; (Lechuga-Devéze, Morquecho-Escamilla, Reyes-Salinas, y Hernández-Alfonso., 2000) o fluvial hacia el mar por medio de arroyos, y en especial en temporada de ciclones. Por otro lado, en puntos donde se observó mayor burbujeo fue obvia la presencia de sedimentos con gran tamaño de grano (Figura 10), que pueden resultar del hecho que la fuga de gas dispersa los granos más finos y, a su vez, estimula la recirculación del agua a través del sedimento (Dando, Hugues, Leahy, Taylor, y Zivanovic, 1995; Dando, 2010). Esto influirá en la distribución de los organismos en función del tipo de alimentación que tengan, por ejemplo los depositívoros suelen preferir sedimentos arcillosos, mientras que los filtradores sedimentos arenosos (Sanderes, 1958). Aunque en general la infauna se cree que prefiere sustratos arenosos ya que permite un mayor intercambio de oxígeno (Newell, Seiderer, y Robinson, 2001)

Estas zonas de actividad hidrotermal, además, están caracterizadas por presentar bajos valores de carbono inorgánico próximos a 0.06 %, posiblemente por los bajos valores de pH de la zona. También se encuentran valores del  $\delta^{13}\text{C}$  próximos a -25 (Figura 11) que podrían asociarse con aportes de metano oxidado por bacterias de vida libre, simbióticas o formando tapetes bacterianos que darían lugar al carbono inorgánico disuelto con una composición isotópica más ligera. Esto dará lugar a un incremento del pastoreo de estos tapetes bacterianos como alimento para herbívoros y el resto de la estructura trófica (Cavagna, Clari, y Martire, 1999; Tarasov et al., 2005) y podría propiciar una congregación de mayor diversidad de especies. Las condiciones químicas cercanas

a las ventilas hidrotermales propician la presencia de diferentes tipos de organismos con distintos planes metabólicos de asimilación de nutrientes y carbono, desde la producción primaria por fotosíntesis hasta la tiorófica, dependientes del sulfuro o metanotrófica, dependientes del metano (Levin, 2005). En los ambientes de ventilas hidrotermales, se han identificado una variedad de moluscos quimioautótrofos que obtiene su alimento mediante la simbiosis con bacterias sulfuro y metanoxidantes. Esta simbiosis se ha documentado en seis grandes grupos de bivalvos: Solemyidae, Mytilidae, Vesicomidae, Thyasiridae, Lucinidae y Teredinidae (Fisher, 1990; Glover, Taylor, y Rowden, 2004). En el caso de Bahía Concepción, aparecieron únicamente especies de la familia Lucinidae, lo que podría implicar que parte del carbono fijado proviene de organismos procariontes quimiosintéticos como son las bacterias metanotróficas (Forrest, 2004), aunque habría que hacer más estudios enfocados al respecto para poder confirmar dicha suposición.

La gran complejidad de hábitats y la disponibilidad de carbono orgánico pudo haber propiciado una mayor abundancia y diversidad epifaunal e infaunal en las ventilas hidrotermales en relación con las estaciones control (Figura 23 y 24). Esta diferencia parece ser contraintuitiva, ya que podría pensarse que las condiciones de la columna de agua y de los sedimentos sin influencia hidrotermal deberían favorecer la biodiversidad al compararlas con zonas relativamente anómalas y con mayor disturbio, como una hidrotermal. Sin embargo, esta mayor diversidad en la zona hidrotermal podría asociarse con cambios en el sustrato que pudieran propiciar la generación de diferentes microhábitats, o bien a la mezcla de fuentes de carbono, que en parte, son producto de la emisión (Dando et al., 1999; Morri et al., 1999). Además, las ventilas hidrotermales estuvieron asociadas a formaciones rocosas que reducen el flujo de fluido y proporcionan un sustrato estable para el reclutamiento de organismos (Cordes et al., 2010)

La distribución y la estructura comunitaria de las especies de invertebrados epifaunales e infaunales también se relacionó con las características físicoquímicas y sedimentológicas a lo largo de la zona con actividad hidrotermal. Aunque no se encontró un patrón de gradiente en relación a los índices ecológicos con respecto al centro de la emanación, tal como se esperaba, si se observó una mayor diversidad y riqueza de especies epifaunales en zonas cercanas a la actividad hidrotermal. En relación a esto, Kamanev y colaboradores (1993) mostraron una disminución en la abundancia y

diversidad de epifauna con el aumento de temperatura debido a la emanación hidrotermal, y de forma análoga, Thiermann y colaboradores (1997) encontraron una disminución de la diversidad de la epifauna como resultado de las variables relacionadas con la actividad hidrotermal (particularmente, ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), temperatura y salinidad). Sin embargo, este patrón no es general, ya que al igual que como se reporta para otras zonas hidrotermales someras como la de Milos (Grecia) (Morri et al., 1999), las condiciones de acidez, alta temperatura y baja salinidad encontradas en Bahía Concepción no afectaron significativamente a la distribución de la abundancia, riqueza y diversidad de especies epifaunales a lo largo del gradiente hidrotermal. La discrepancia podría asociarse con el hecho que las emanaciones en el área de estudio no son tan intensas como las encontradas por Thiermann y colaboradores (1997), ya que se mezclan rápidamente en la columna por el efecto de las mareas (Aliani, Meloni, y Dando, 2004) y que además, los organismos epifaunales identificados pueden protegerse de las condiciones estresantes producto de las emanaciones por medio de la locomoción (como las especies de la familia Paguridae) o bien desarrollando tubos y/ o galerías (como las especies de los poliquetos Sabellidae). A parte de este estudio, Kamenev y colaboradores (1993) también encontraron que las especies altamente móviles (por ejemplo, anfípodos y cangrejos) asociadas a una hidrotermal somera en Nueva Zelanda eran capaces de minimizar el contacto con agua caliente, incluso en los sitios más calientes ( $> 40^\circ C$ ).

En el presente estudio se encontraron 58 especies epifaunales, valor inferior al de otras hidrotermales someras como las del Mediterráneo (Milos) en el que se listaron 212 especies (Morri et al., 1999), ya que hay que tener en cuenta el número de sitios y de periodicidad de muestreo siendo mayor en los estudios realizados en las ventilas hidrotermales de Milos. La mayoría de las especies encontradas en nuestro estudio pertenecían al grupo de los anélidos, las esponjas, los moluscos, cnidarios y tunicados, y se distribuían a lo largo de la ventila. Dichos grupos presentan gran número y variabilidad de especies, lo que de alguna manera aumenta la probabilidad que alguna tenga adaptaciones o potencial de aclimatización para no encontrarse afectada por las diferencias ambientales. En relación a esto, las especies de estos grupos encontradas a lo largo de las ventilas se consideran un subconjunto del total encontradas en los alrededores, reflejando que solo un número limitado de especies son capaces de soportar

las condiciones singulares en la temperatura y el sedimento que caracteriza las ventilas. Esto marca una posible diferencia de las ventilas someras para con sus homologas profundas, las cuales normalmente presentan taxones obligados, entendiéndose como obligado aquellas especies restringidas a sitios en la proximidad directa a los fluidos en simbiosis con bacterias que les permiten sobrevivir con el metano o sulfuro que emana de la hidrotermal (Dando et al., 1999; Tarasov et al., 2005).

Cerca de la emisión del agua termal aparecieron gorgonias, holoturias, tunicados, la estrella *Phataria unifascialis* y poliquetos (todas esas especies ausentes en las zonas control), por el contrario, la anemona *Zoanthus* sp., las esponjas y los poríferos aparecieron únicamente en las lejanías de la hidrotermal. El resto de organismos encontrados estuvieron distribuidos a lo largo del gradiente, como es el caso del tunicado *Didemnum* sp. y poliquetos sabelidos, los cuales siempre se encontraron asociados posiblemente debido a que estos poliquetos presentan un tipo de alimentación suspensívora en la que se benefician de las corrientes que crean los tunicados cuando filtran (Bastida Zavala, 1991). A pesar de ello, no se observó un patrón de zonación definido a diferencia de otros estudios donde encontraron patrones de zonación con predominio de anemonas, pepinos y esponjas en la zona centro y de estrellas, gasterópodos, hidroides y gorgonias en las zonas alejadas (Kim y Hammerstrom, 2012). El hecho de que si haya diferencias entre las especies de las zonas control e hidrotermal pero no se vea una zonificación, puede deberse a que la influencia de la hidrotermal sea en un área mayor que el esperado estando presentes aquellas especies que toleran esas condiciones a lo largo de toda la zona.

Estudios en el Mediterráneo han documentado descensos de abundancia en especies calcificadoras, y aumentos de cobertura de macroalgas y pastos marinos en ambientes de pH reducido (Cigliano, Gambi, Rodolfo-Metalpa, Patti, y Hall-Spencer, 2010; Hall-Spencer et al., 2008). En el caso de Bahía Concepción, es sorprendente la presencia de corales como *Porites sverdrupi* y *P. panamensis*, ya que las condiciones en las que se encuentran no son las que se registran como favorables para la calcificación (Kleypas, McManus, y Meñez, 1999). *Porites sverdrupi* sólo apareció en aquellas zonas sin emisión, estando ausente cerca de las ventilas, en contraste con el coral *Porites panamensis* y especies de moluscos con concha calcárea, que sí estuvieron presentes

en zonas con influencia hidrotermal (Figura 21 y 22). Esta diferencia se puede deber a la plasticidad fenotípica o genotípica de *Porites panamensis* (Paz-García, LaJeunesse, Chávez-Romo, Correa-Sandoval, y Reyes- Bonilla, 2008), el cual presenta características euritolerantes habiendo sido registrado en una gran variedad de ambientes en el pacífico tropical mexicano (Bonilla, 1992). *Porites panamensis* alberga simbiontes del clado C de *Symbodinium* sp., los cuales presentan tolerancia a las fluctuaciones de las condiciones ambientales como en temperatura, turbidez y nutrientes (Espinosa-Carreón y Valdez-Holguín., 2007; Chávez-Romo et al., 2008). Posiblemente *Symbodinium* sp. aproveche los compuestos aportados por estos sistemas hidrotermales para la adquisición de energía. Además, presenta diferentes estrategias reproductivas, tanto reproducción sexual como asexual, lo que le permite sobrevivir y reproducirse ante condiciones ambientales extremas. En el caso de la reproducción sexual le permite generar nuevas combinaciones genéticas, mientras que la reproducción asexual permite que los genotipos localmente adaptados incrementen la posibilidad de sobrevivir a disturbios y eventos de mortalidad, y así puedan expandirse a localidades cercanas (Chávez-Romo et al., 2013). Otros estudios también han registrado la presencia de este coral en ojos de agua en el Caribe mexicano, caracterizados por presentar bajos valores de pH (Chávez com pers).

Fabricius y colaboradores (2011) registraron en Papua Nueva Guinea la presencia de coral *Porites* en zonas con alta contenido de CO<sub>2</sub> y bajo pH. Sin embargo, en esta zona el desarrollo de coral, cesó a pH por debajo de 7.7. Dichos resultados difieren con los de esta tesis porque en Bahía Concepción, la especie *Porites panamensis* presentó una forma incrustante y cobertura entre el 10-20% en zonas con altas temperaturas (50°C) y anomalías de pH negativas como -0.13. Esta diferencia podría apuntar a la ocurrencia de adaptaciones locales de dicho coral, que pueden ser analizadas posteriormente a través de medidas de crecimiento como la tasa de calcificación y su composición mineral en el esqueleto.

Por su parte, las algas pardas fueron mucho más abundantes en las zonas con emisión, mientras que como se mencionó previamente, las algas calcáreas rojas estuvieron ausentes (Figura 21 y 22). Algo semejante se ha registrado en otras zonas hidrotermales como en la isla de Vulcano, Italia (Acunto, Rini, y Cinelli, 1996). Los

resultados se explican porque la fotosíntesis algal se ve estimulada (hasta un cierto punto) por las temperaturas elevadas y los niveles de CO<sub>2</sub> que provienen de las zonas de emisión (Dando, 2010), aunque no se descarta que estas algas también presenten otro tipo de adaptaciones que permitan su desarrollo. Otro factor que puede influir en la gran abundancia de algas pardas en las ventilas es la ausencia de rodolitos, por los bajos valores de pH, que dejaría espacio libre para la fijación de estas.

Se observó que en aquellas zonas cercanas a la ventila con precipitados de color rojizo-anaranjado había ausencia de organismos epifaunales. Esto sugiere la emanación de productos tóxicos que dificultan la supervivencia de organismos, como por ejemplo sulfhídrico formado por la reducción del sulfato por actividad bacteriana en el sedimento a temperaturas < 110 °C (Miura, Nedachi, y Hashimoto, 2002). Los altos niveles de ácido sulfhídrico pueden haber limitado la colonización de organismos en las zonas hidrotermales de Bahía Concepción debido a su toxicidad. Sin embargo, hay aquellos organismos tolerantes o que tienen capacidad de respuesta a la falta de oxígeno (común en condiciones sulfurosas) por medio del aumento de su relación de superficie-volumen. Ese es el caso de los nematodos registrados en este trabajo y también descritos en otros estudios sobre hidrotermales someras (Thiermann, Vismann y Giere, 2000).

Las condiciones de toxicidad por ácido sulfhídrico se ven agravadas por los cambios en la salinidad, por las altas temperaturas y las altas concentraciones de metales pesados (Melwani y Kim, 2008), todas las cuales son características de esta zona con actividad hidrotermal. Los bajos valores de pH encontrados en la hidrotermal 1, y que pueden ser tan bajos como 6.68 según otros estudios realizados en la misma zona (Canet et al., 2005), dieron lugar a anomalías de pH negativas que dificultan la precipitación de algas calcáreas y de otros organismos calcificadores. Es interesante ver que las anomalías de pH y la salinidad no presentaron un gradiente hacia zonas alejadas de ambas hidrotermales, sino que variaron puntualmente a lo largo del área de afectación de la hidrotermal. Esta condición refleja el hecho de que no hay un único punto de emisión sino que existen diferentes grietas que alcanzan la superficie a lo largo de la línea de falla El Requesón, lo que apoyaría la ausencia de un gradiente epifaunal. Este tipo de disposición de las ventilas no es anómalo, y se ha visto que en formaciones hidrotermales se puede producir una separación de fases que puede llevar a descargar fluidos de alta

y baja salinidad, por agua meteórica, en diferentes puntos (Prol-Ledesma, 2003; Dando, 2010).

Acompañando a esas variaciones en las condiciones de salinidad y pH, también se encontraron anomalías en la temperatura del sedimento y del agua. En el caso de la temperatura de la columna de agua, se encontraron anomalías positivas y negativas en las zonas de estudio ya que en bahías semicerradas, como es este caso, la alta temperatura debida a la ventila puede llegar a afectar a extensas áreas debido al efecto de la periodicidad y dispersión de las mareas (Aliani et al., 2004). Sin embargo, la temperatura del sedimento si mostró un gradiente acusado de disminución respecto a la zona central de las hidrotermales (Figura 15), debido que esta zona central es donde emana fluido caliente. Aunque hay que destacar que se encontraron puntos de alta temperatura, que se explican porque la fuente de calor puede presentar diferentes manifestaciones por las diferentes grietas causadas por las fallas, presentándose variabilidad espacial la cual tiene influencia sobre la fauna. También fue interesante ver que en la ventila hidrotermal situada al sur de la bahía, el área con mayor temperatura difirió de la zona de burbujeo (Figura 17), lo que señala que las ventilas de Bahía Concepción representan ejemplos de desacoplamiento entre la zona de descarga de gases y la zona de emisión de fluidos calientes (Panichi y Ruffa, 2007). Esto se vio reflejado en una menor abundancia y riqueza de organismos epifaunales e infaunales.

En contraste a los organismos epifaunales, las comunidades infaunales están más afectadas por la temperatura y el tamaño de grano, presentando una disminución de abundancia, riqueza y diversidad en las zonas cercanas a las ventilas (Figura 27). Tal situación se puede deber a una combinación de temperatura, ácido sulfhídrico, anomalía de pH y salinidad, produciendo la exclusión de la mayoría de la fauna residente del fondo. A pesar de ello, se observó una mayor abundancia de individuos en comparación con las zonas control sin emisión como en el caso de la epifauna. Dentro de la zona con influencia, solo se vieron afectados de forma considerable los organismos dentro de los 10 primeros metros, ya que a partir de ahí, la abundancia y diversidad aumentó, mostrando la importancia de las ventilas sobre las comunidades infaunales residentes. El hecho de que haya mayor abundancia y la misma riqueza puede significar que aquellas especies que logran tolerar esas condiciones, gracias a estructuras duras como tubos o

a presentar movilidad al igual que las especies epifaunales, son más dominantes y abundantes, viéndose reflejado en una menor equitatividad que el resto de zonas. Un claro ejemplo son los sipunculidos, los cuales se encontraron protegidos dentro de conchas del gasterópodo *Anachys sp.* en las zonas con influencia hidrotermal, a diferencia de la zona control en la que se encontraban libres.

Una de las características de la infauna de hidrotermales someras es la presencia de especies comunes en ambientes antropogénicamente contaminados o impredecibles (Dando et al., 1995; Thiermann et al., 1997; Tarasov et al., 2005). Entre estas especies tolerantes u oportunistas están los poliquetos de la familia Capitellidae, los gasterópodos de la familia Nassariidae y los oligoquetos que aparecieron en el área con influencia hidrotermal. Los nematodos, como organismos de mayor abundancia, presentan alta tolerancia al ácido sulfhídrico y la anoxia (Melwani y Kim, 2008). También los poliquetos Nereidae y Capitellidae aparecieron en zonas cercanas a la hidrotermal, apenas a unos 10 m de distancia de la fuente. Estas especies son capaces de oxidar el ácido sulfhídrico a velocidades altas y de esa forma tolerar altas concentraciones a largo plazo (Vismann, 1990), lo que puede explicar su ocurrencia y abundancia en las hidrotermales. De forma análoga, especies de poliquetos de los géneros *Prionospio* y *Aonidella*, de la familia Spionidae, fueron abundantes en la zona cercana a la ventila. Estos también fueron documentados en gran abundancia en las cercanías a la salida de agua de otras hidrotermales someras como las de Papúa Nueva Guinea (Tarasov et al., 2005). Esta familia de poliquetos viven en galerías, lo que posiblemente les proteja de las condiciones de las ventilas (Bastida-Zavala, 1991). En el caso de los poliquetos terebelidos son sedimentívoros y tienen la capacidad de dejar el tubo en situaciones de estrés (Bastida-Zavala, 1991). Otro ejemplo de adaptación es el gasterópodo del género *Nassarius*, *Finella* y *Cerithium*, los cuales fueron abundantes en las zonas cercanas a la ventila. Estos presentan gran movilidad lo que les facilita tolerar las condiciones de las ventilas (Melwani y Kim, 2008). En el caso del gasterópodo *Caecum cf elegantissimum*, presenta una concha gruesa que le permite situarse en zonas de alta temperatura, estando presente a lo largo del gradiente con una mayor abundancia en la zona intermedia. Las pérdidas en la abundancia y diversidad de taxones de crustáceos, como fue el caso de la zona hidrotermal, son a menudo los primeros indicadores de impactos bentónicos como consecuencia de la toxicidad aguda (Long, Hong, y Severn, 2001).

Finalmente, sobre el fondo marino en las hidrotermales de Bahía Concepción se encuentran organismos epifaunales e infaunales con diferente tipo de alimentación según el ambiente en el que aparecen, desde suspensívoros, muchos de ellos asociados a sustratos duros y zonas de mayor corriente (ej. anémonas), hasta herbívoros como lapas, carroñeros pequeños (camarones), depositívoros (poliquetos, holoturias), filtradores (esponjas, tunicados) o depredadores y carroñeros (cangrejos, gasterópodos, peces). De entre ellas, las especies de fondos blandos parecen ser más generalistas y mostrar menor sensibilidad a los cambios en el sedimento (Lenihan y Micheli, 2001). Aunque no hubo un gradiente significativo en relación al tipo de alimentación de la epifauna, si se observó cerca de la ventila que la mayoría de las especies eran filtradoras, tal como se esperaba, posiblemente por la circulación de nutrientes con el burbujeo. En el caso de la infauna, no se observó tampoco ninguno tipo de gradiente en la alimentación habiendo especies carroñeras (familia Nassariidae), detritívoras (tanaidaceos), sedimentívoros (familia Spionidae), carnívoras (familia Chrysopetalidae) o depredadoras (familia Amphinomidaea) a lo largo de la zona con influencia hidrotermal.

Si bien este trabajo presenta una caracterización de las hidrotermales someras y de cómo se relaciona sus condiciones particulares con la fauna asociada, falta por explorar muchos otros aspectos dando lugar a nuevas preguntas. Una de estas cuestiones en el aire es la importancia de la competencia y la depredación en la modulación de estas comunidades, controladas principalmente por el efecto de la hidrotermal. Además, como se ha reportado en otros estudios de hidrotermales someras (Kamanev et al., 1993), las condiciones de las hidrotermales hicieron que encontráramos una gran variabilidad en la forma, estructura y color de la concha de moluscos. Esto conlleva a la necesidad de estudios más exhaustivos que confirmen si los ejemplares observados representan solo morfotipos, o pudieran ser subespecies o incluso nuevas especies. Por otro lado, existe una necesidad de estudios isotópicos más amplios que engloben la columna de agua y los organismos localizados en estas zonas, con el fin de conocer las emanaciones de estas ventilas como posibles fuentes de alimento. De ser así, dejaría la duda de que relaciones tróficas existen en este ambiente y de la existencia de simbiosis con bacterias.

## Capítulo 5 - Conclusiones

---

- 1) La zona control e hidrotermal presentaron condiciones ambientales diferentes en la temperatura y anomalía de pH, aunque no tanto en la salinidad, relacionado con la emisión de la ventila.
- 2) La abundancia, diversidad y riqueza de epifauna fue diferente entre hidrotermal y control, siendo mayor en la zona hidrotermal. Sin embargo no se observó diferencias significativas en la distancia de la hidrotermal respecto a estos índices ecológicos posiblemente debido a que el agua que emana de la ventila se diluye rápidamente con la columna de agua, aunque si se observó una mayor abundancia de epifauna cerca de la ventila.
- 3) La infauna presentó mayor abundancia que la zona control aunque la riqueza no fue diferente. A diferencia de la epifauna, la infauna si mostró una disminución de la abundancia en el centro de la emisión posiblemente por las altas temperaturas y los niveles de ácido sulfhídrico presentes en esa zona. La equitatividad también fue menor, debido a una mayor dominancia de aquellas especies que posiblemente pueden tolerar esas condiciones.
- 4) No se encontró una zonación en el tipo de alimentación, habiendo especies filtradoras, suspensívoras, herbívoras o carnívoros a lo largo del gradiente, dejando abierto un estudio de la cadena trófica.
- 5) La abundancia y riqueza de epifauna presentó correlación negativa con la temperatura y la anomalía de pH en el caso de las hidrotermales. En el caso de la infauna, la abundancia, riqueza y diversidad presentaron una correlación negativa con la temperatura del sedimento y positiva con el apuntamiento. Por lo que la variable que afecto en mayor medida a la composición y estructura bentónica fue la temperatura de la ventila hidrotermal estudiada.

## Lista de referencias bibliográficas

- Acunto, S., Rini, F., y Cinelli, F. (1996). Osservazioni sui popolamenti fitobentici della Baia di Levante dell'Isola di Vulcano (isole Eolie): variabilità spaziale in relazione ad attività idrotermali. In: Faranda, F.M., Povero, P. (Eds.), *Caratterizzazione Ambientale Marine del Sistema Eolie e dei Bacini Limitrofi di Cefalù e Gioia (EOCUMM95), Data Report Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Scienze del Mare* (pp. 323–326.).
- Aliani, S., Meloni, R., y Dando, P. R. (2004). Periodicities in sediment temperature time-series at a marine shallow water hydrothermal vent in Milos Island (Aegean Volcanic arc, Eastern Mediterranean). *Journal of Marine Systems*, 46(1-4), 109–119. <http://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2003.11.015>
- Arp, A. J., Menon, J. G., y Julian, D. (1995). Multiple mechanisms provide tolerance to environmental sulfide in *Urechis caupo*. *American Zoologist*, 35(2), 132–144.
- Barragán R, R. M., Birkle, P., Portugal M, E. E., Arellano G, V. M., y Alvarez R, J. (2001). Geochemical survey of medium temperature geothermal resources from the Baja California Peninsula and Sonora, México. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 110(1-2), 101–119. [http://doi.org/10.1016/S0377-0273\(01\)00205-0](http://doi.org/10.1016/S0377-0273(01)00205-0)
- Bastida Zavala, J. R. (1991). *Poliquetos (annelida: polychaeta) del sureste de la Bahía de la Paz, B.C.S., Mexico: Taxonomía y aspectos biogeográficos*.
- Bonilla, H. R. (1992). New records for hermatypic corals (Anthozoa: Scleractinia) in the Gulf of California, Mexico, with an historical and biogeographical discussion. *Journal of Natural History*, 26(6), 1163–1175. <http://doi.org/10.1080/00222939200770671>
- Brusca, R. C. (1980). *Common intertidal invertebrates of the Gulf of California*. University of Arizona Press Tucson.
- Canet, C., Prol-Ledesma, R., Proenza, J. A., Rubio-Ramos, M. A., Forrest, M. J., Torres-Vera, M. A., y Rodríguez-Díaz, A. A. (2005). Mn–Ba–Hg mineralization at shallow submarine hydrothermal vents in Bahía Concepción, Baja California Sur, Mexico. *Chemical Geology*, 224(1-3), 96–112. <http://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.07.023>
- Cardigos, F., Colaço, A., Dando, P. R., Ávila, S. P., Sarradin, P. M., Tempera, F., ... Serrão Santos, R. (2005). Shallow water hydrothermal vent field fluids and communities of the D. João de Castro Seamount (Azores). *Chemical Geology*, 224(1-3), 153–168. <http://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.07.019>
- Caro, O. (2015). Collection of worldwide seashells. Recuperado de: [http://www.idscaro.net/sci/01\\_coll/index.htm](http://www.idscaro.net/sci/01_coll/index.htm).

- Castro-Ortiz, J. L., Tripp-Quezada, A., y Anguas-Vélez, B. H. (1992). Crecimiento de la almeja chocolata *Megapitaria squalida* (Sowerby, 1835), en Bahía Concepción, Baja California Sur, México, 7, 1–7.
- Cavagna, S., Clari, P., y Martire, L. (1999). The role of bacteria in the formation of cold seep carbonates: Geological evidence from Monferrato (Tertiary, NW Italy). *Sedimentary Geology*, 126(1-4), 253–270. [http://doi.org/10.1016/S0037-0738\(99\)00044-5](http://doi.org/10.1016/S0037-0738(99)00044-5)
- Chávez-Romo, H. E., Correa-Sandoval, F., Paz-García, D. A., Reyes-Bonilla, H., López-Pérez, R. A., Medina-Rosas, P., y Hernández-Cortés, M. P. 2008. (2008). Genetic Structure of the scleractinian coral, *Pocillopora damicornis*, from the Mexican Pacific. In *11th International Coral Reef Symposium. Fort Lauderdale, Florida*.
- Chávez-Romo, H. E., Paz-García, D. A., Correa-Sandoval, F., Reyes-Bonilla, H., López-Pérez, R. A., y Medina-Rosas, P. (2013). Difference in reproductive strategies of two scleractinian corals (branching vs massive) along the west coast of Mexico. *Ciencias Marinas*, 39, 387–400.
- Cigliano, M., Gambi, M. C., Rodolfo-Metalpa, R., Patti, F. P., y Hall-Spencer, J. M. (2010). Effects of ocean acidification on invertebrate settlement at volcanic CO<sub>2</sub> vents. *Marine Biology*, 157(11), 2489–2502. <http://doi.org/10.1007/s00227-010-1513-6>
- Clarke, K. R., y Green, R. H. (1988). Statistical design and analysis for a “biological effects” study. *MARINE ECOLOGY*, 46, 213–226.
- Coan, E. V., y Valentich-Scott, P. (2012). *Bivalve seashells of tropical West America. Marine bivalve mollusks from Baja California to northern Peru*.
- Cordes, E. E., Cunha, M. R., Galéron, J., Mora, C., Olu-Le Roy, K., Sibuet, M., ... Levin, L. a. (2010). The influence of geological, geochemical, and biogenic habitat heterogeneity on seep biodiversity. *Marine Ecology*, 31(1), 51–65. <http://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2009.00334.x>
- Dando, P. R. (2010). *The Vent and Seep Biota*. (S. Kiel, Ed.) (Vol. 33). Dordrecht: Springer Netherlands. <http://doi.org/10.1007/978-90-481-9572-5>
- Dando, P. R., Hugues, J. A., Leahy, Y., Taylor, L. J., y Zivanovic, S. (1995). Earthquakes increase hydrothermal venting and nutrient inputs into the Aegean. *Continental Shelf Research*, 15(6), 655–662.
- Dando, P. R., Stuben, D., y Varnavas, S. P. (1999). Hydrothermalism in the Mediterranean Sea. *Progress in Oceanography*, 44, 333–367.
- De León-González, J. A., Bastida-Zavala, J. R., Carrera-Parra, L. F., García-Garza, M. E., Peña-Rivera, A., Salazar-Vallejo, S. I., y Solís-Weiss, V. (2009). *Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México y América Tropical*. Dirección de Publicaciones, Universidad Autónoma de Nueva León.

- Degens, E. T., y Ross, D. A. (1970). Hot Brines and Recent Heavy Metal Deposits in the Red Sea. *Springer-Verlag*, 168, 1442–1443. <http://doi.org/10.1180/minmag.1970.037.291.18>
- Edmond, J. M., Measures, C., McDuff, R. E., Chan, L. H., Collier, R., Grant, B., ... Corliss, J. B. (1979). Ridge crest hydrothermal activity and the balances of the major and minor elements in the ocean: The Galapagos data. *Earth and Planetary Science Letters*, 46(1), 1–18. [http://doi.org/10.1016/0012-821X\(79\)90061-X](http://doi.org/10.1016/0012-821X(79)90061-X)
- Espinosa-Carreón, T. L., y Valdez-Holguín. (2007). Variabilidad interanual de clorofila en el Golfo de California. *Ecología Aplicada*, 6(1,2), 83–92.
- Fabricius, K. E., Langdon, C., Uthicke, S., Humphrey, C., Noonan, S., De'ath, G., ... Lough, J. M. (2011). Losers and winners in coral reefs acclimatized to elevated carbon dioxide concentrations. *Nature Climate Change*, 1(3), 165–169. <http://doi.org/10.1038/nclimate1122>
- FISHER, C. R. (1990). Chemoautotrophic and methanotrophic symbioses in marine invertebrates. *Rev. Aquat. Sei.*, 2, 399–436.
- Fisher, C., Takai, K., y Bris, N. Le. (2007). Hydrothermal vent ecosystems. *Oceanography*, 20(1), 14–23. <http://archimer.ifremer.fr/doc/2007/publication-6109.pdf>
- Fitzsimons, M. F., Dando, P. R., Hughes, J. a., Thiermann, F., Akoumianaki, I., y Pratt, S. M. (1997). Submarine hydrothermal brine seeps off Milos, Greece: Observations and geochemistry. *Marine Chemistry*, 57(3-4), 325–340. [http://doi.org/10.1016/S0304-4203\(97\)00021-2](http://doi.org/10.1016/S0304-4203(97)00021-2)
- Folk, R. L. (1954). The Distinction between Grain Size and Mineral Composition in Sedimentary-Rock Nomenclature. *The Journal of Geology*. <http://doi.org/10.1086/626171>
- Folk, R., y Ward, W. (1957). Brazos River Bar: A Study in the Significance of Grain Size Parameters. *SEPM Journal of Sedimentary Research*, Vol. 27(1), 3–26. <http://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- Forrest, M. J. (2004). The geology, geochemistry and ecology of a shallow water submarine hydrothermal vent in Bahía Concepción, Baja California Sur, México. *Faculty of the Institute of Earth Systems Science Y Policy*, 112.
- Forrest, M. J., Ledesma-Vázquez, J., Ussler, W., Kulongoski, J. T., Hilton, D. R., y Greene, H. G. (2005). Gas geochemistry of a shallow submarine hydrothermal vent associated with the El Requesón fault zone, Bahía Concepción, Baja California Sur, México. *Chemical Geology*, 224(1-3), 82–95. <http://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.07.015>

- Forrest, M. J., y Melwani, A. (2003). Ecological consequences of shallow-water hydrothermal venting along the el requesón fault zone bahía concepción, BCS, México. In *Seattle Annual Meeting* (pp. 577–578).
- German, C., y Damm, K. Von. (2003). Hydrothermal processes. *The Oceans y Marine Geochemistry ...*, 6, 181–222.
- German, C. R., Baker, E. T., y Klinkhammer, G. (1995). Regional setting of hydrothermal activity. *Geological Society, London, Special Publications*, 87(1), 3–15. <http://doi.org/10.1144/GSL.SP.1995.087.01.02>
- Giménez, F., y Marín, A. (1991). Los anélidos poliquetos de una solfatara submarina en el Golfo de Nápoles. *Anales de Biología*, 17(Biología Ambiental, 6), 143–151.
- Glover, E. a, Taylor, J. D., y Rowden, A. a. (2004). Bathyaustriella Thionipta , a New Lucinid Bivalve From a Hydrothermal Vent on the Kermadec Ridge , New Zealand and Its Relationship To Shallow-Water Taxa (Bivalvia : Lucinidae). *J. Moll. Stud.*, 70, 283–295. <http://doi.org/10.1093/mollus/70.3.283>
- Hall-Spencer, J. M., Rodolfo-Metalpa, R., Martin, S., Ransome, E., Fine, M., Turner, S. M., Buia, M.-C. (2008). Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification. *Nature*, 454(7200), 96–99. <http://doi.org/10.1038/nature07051>
- Hardy, E. (2015). Hardy's Internet Guide to Marine Gastropods. Recuperado de: <http://www.gastropods.com>itle.
- James, D. W. (1998). *The biology of Toxopneustes roseus in rhodolith beds in Baja California Sur , Mexico*.
- Kamanev, G. M., Fadeev, V. I., Selin, N. I., Tarasov, V. G., y Malakhov, V. V. (1993). Composition and distribution of macro- and meiobenthos around sublittoral hydrothermal vents in the Bay of Plenty, New Zealand. *NZ Journal of Marine and Freshwater Res.*, 27, 407–418.
- Keen, A. M. (1971). *Sea shells of tropical west America: marine mollusks from Baja California to Peru*. Stanford University Press.
- Kim, S., y Hammerstrom, K. (2012). Hydrothermal vent community zonation along environmental gradients at the Lau back-arc spreading center. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 62, 10–19. <http://doi.org/10.1016/j.dsr.2011.12.010>
- Kleypas, J. a, McManus, J. W., y Meñez, L.B. (1999). Environmental Limits to Coral Reef Development: Where Do We Draw the Line? *American Zoologist*, 39(1), 146–159. <http://doi.org/10.2307/3884233>

- Leal-Acosta, M. L., Shumilin, E., Mirlean, N., Delgadillo-Hinojosa, F., y Sánchez-Rodríguez, I. (2013). The impact of marine shallow-water hydrothermal venting on arsenic and mercury accumulation by seaweed *Sargassum sinicola* in Concepcion Bay, Gulf of California. *Environmental Science: Processes y Impacts*, 15(2), 470–477. <http://doi.org/10.1039/c2em30866e>
- Leal-Acosta, M. L., Shumilin, E., Mirlean, N., Sapozhnikov, D., y Gordeev, V. (2010). Arsenic and mercury contamination of sediments of geothermal springs, mangrove lagoon and the Santispac Bight, Bahía Concepción, Baja California peninsula. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 85(6), 609–613. <http://doi.org/10.1007/s00128-010-0135-5>
- Lechuga-Devéze, H. C., Morquecho-Escamilla, M. L., Reyes-Salinas, A., y Hernández-Alfonso., J. R. (2000). Environmental natural disturbance at Bahía Concepción Gulf of California. In M. Munawar, S. G. Lawrences, I. F. Munawar y D. F. Malley (Eds.). *Aquatic Ecosystems of México: Status and Scope Ecovision World Monograph Series* (pp. 245–255).
- Lenihan, H. S., y Micheli, F. (2001). Soft-sediment communities. In En: M. Bertness, M. Hay y S. Gaines (Eds.). *Marine Community Ecology*. Sinauer, Sunderland, Massachusetts.
- Levin, L. a. (2005). Ecology of Cold Seep Sediments : Interactions of Fauna With Flow , Chemistry and Microbes. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 43, 1–46. <http://doi.org/doi:10.1201/9781420037449.ch1>
- Long, E. R., Hong, C. B., y Severn, C. G. (2001). Relationships between acute sediment toxicity in laboratory tests and abundance and diversity of benthic infauna in marine sediments: a review. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20, 46–60.
- Magurran, A. E. (1988). Why diversity? In *Ecological Diversity and Its Measurement* (pp. 1–5). Springer.
- Melwani, A. R., y Kim, S. L. (2008). Benthic infaunal distributions in shallow hydrothermal vent sediments. *Acta Oecologica*, 33(2), 162–175. <http://doi.org/10.1016/j.actao.2007.10.008>
- Miura, T., Nedachi, M., y Hashimoto, A. (2002). Sulphur sources for Tubeworms, chemoautotrophic nutrition of shallow water vestimentiferan in Kagoshima Bay. *J. Mar. Biol. Assoc., UK* 82, 537– 54.
- Morri, C., Bianchi, C. N., Cocito, S., Peirano, A., DeBiase, A. M., Aliana, S., ... Dando, P. (1999). Biodiversity of marine sessile epifaunal at an Aegean island subject to hydrothermal activity: Milos, eastern Mediterranean Sea. *Marine Biology*, 135, 729–739.

- Newell, R. C., Seiderer, L. J., y Robinson, J. E. (2001). Animal:sediment relationships in coastal deposits of the eastern English Channel. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, 81(1), 1–9. <http://doi.org/10.1017/S0025315401003344>
- Panichi, C., y Ruffa, G. La. (2007). Thermal springs. In *Groundwater* (Vol. I).
- Paz-García, D. A., LaJeunesse, T. C., Chávez-Romo, H. E., Correa-Sandoval, F., y Reyes- Bonilla, H. (2008). Differences in the distribution of Symbiodinium spp. Among morphotypes and genotypes of *Porites panamensis* from the Gulf of California Mexico. Proceedin. In *11th International Coral Reef Symposium, Ft. Lauderdale, Florida*.
- Pichler, T., Veizer, J., y Hall, G. E. M. (1999). The chemical composition of shallow-water hydrothermal fluids in Tutum Bay, Ambitle Island, Papua New Guinea and their effect on ambient seawater. *Marine Chemistry*, 64(3), 229–252. [http://doi.org/10.1016/S0304-4203\(98\)00076-0](http://doi.org/10.1016/S0304-4203(98)00076-0)
- Poppe, G. T., y Poppe, P. (2015). Conchology, Inc. Recuperado de: <http://www.conchology.be/?t=1>
- Prol-Ledesma, R. M. (2003). Similarities in the chemistry of shallow submarine hydrothermal vents. *Geothermics*, 32(4-6), 639–644. <http://doi.org/10.1016/j.geothermics.2003.06.003>
- Prol-Ledesma, R. M., Canet, C., Torres-Vera, M. a., Forrest, M. J., y Armienta, M. a. (2004). Vent fluid chemistry in Bahía Concepción coastal submarine hydrothermal system, Baja California Sur, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 137(4), 311–328. <http://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2004.06.003>
- Riosmena, R. (2001). Mantos de rodolitos en el Golfo de California: Implicaciones en la biodiversidad y el manejo de la zona costera. *CONABIO. Biodiversitas*, 36, 12–14.
- Riosmena-Rodriguez, R., Woelkerling, W. J., y Foster, M. S. (1999). Taxonomic reassessment of rhodolith-forming species of *Lithophyllum* (Corallinales, Rhodophyta) in the Gulf of California, Mexico. *Phycologia*, 38(5), 401–417. <http://doi.org/10.2216/i0031-8884-38-5-401.1>
- Salazar-Vallejo, S. I., de León-González, J. A., y Salaices-Polanco, H. (1989). *Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México*. Universidad Autónoma de Baja California Sur, Libros Universitarios.
- Sanderes, H. L. (1958). Benthic Studies in Buzzards Bay. I. Animal-Sediment Relationships'. *Limnology and Oceanography*, 3, 245–258.
- Shepard, F. P. (1954). Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, 24(3), 151–158.

- Slieker, F. (2015). Natural History Museum Rotterdam. Recuperado de: <http://www.nmr-pics.nl/>.
- Southward, A., Kennicutt, M., Alcalà-Herrera, J., Abbiati, M., Airoidi, L., Cinelli, F., ... Southward, E. (1996). On the biology of submarine caves with sulphur springs:  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios as a guide to trophic relations. *Journal of the Marine Biological Association UK (JMBA)*, 76, 265–285.
- Spearman, C. (1905). General Intelligence, Objectively Determined and Measured. *The American Journal of Psychology*, 15(2), 201–292. <http://doi.org/10.1037/h0065005>
- Stoffers, P., Survey, G., Street, B., Ka, O., y Wright, I. (1999). Elemental mercury at submarine hydrothermal vents in the Bay of Plenty , Taupo volcanic zone , New Zealand, (10), 931–934.
- Tarasov, V. G., Gebruk, a. V., Mironov, a. N., y Moskalev, L. I. (2005). Deep-sea and shallow-water hydrothermal vent communities: Two different phenomena? *Chemical Geology*, 224(1-3), 5–39. <http://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.07.021>
- Thiermann, F., Akoumianaki, I., Hughes, J. a., y Giere, O. (1997). Benthic fauna of a shallow-water gaseohydrothermal vent area in the Aegean Sea (Milos, Greece). *Marine Biology*, 128(1), 149–159. <http://doi.org/10.1007/s002270050078>
- Thiermann, F., Vismann, B., y Giere, O. (2000). Sulphide tolerance of the marine nematode *Oncholaimus campylocercoides* - A result of internal sulphur formation? *Marine Ecology Progress Series*, 193, 251–259. <http://doi.org/10.3354/meps193251>
- Tunnell, J. W., Andrews, J., Barrera, N. C., y Moretzsohn, F. (2010). Encyclopedia of Texas Seashells. *Texas A&M University, College Station, Xi P.*
- Van Dover, C. . L., German, C. R., Speer, K. G., Parson, L. M., y Vrijenhoek, R. C. (2002). Evolution and Biogeography of Deep-Sea Vent and Seep Invertebrates. *SCIENCE*, 295, 1253–1258.
- Vidal, V. M. V., Vidal, F. V., Isaacs, J. D., y Young, D. R. (1978). Coastal submarine hydrothermal activity off northern Baja California. *Journal of Geophysical Research*, 83, 1757–1774. <http://doi.org/10.1029/JB083iB04p01757>
- Villanueva-Estrada, R. E., Prol-Ledesma, R. M., Rodríguez-Díaz, A. A., Canet, C., Torres-Alvarado, Ignacio, S., y González-Partida, E. (2012). Geochemical processes in an active shallow submarine hydrothermal system, Bahía Concepción, México: mixing or boiling? *International Geology Review*, 54(8), 907–919. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00206814.2011.588496>
- Vismann, B. (1990). Sulfide detoxification and tolerance in *Nereis* (Hediste) diversicolor and *Nereis* (Neanthes) virens (Annelida: Polychaeta). *Marine Ecology Progress Series*, 59, 229–238.

- Wentworth, C. K. (1922). A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments Author ( s ): Chester K . Wentworth Published by: The University of Chicago Press Stable. *The Journal of Geology*, 30(5), 377–392. <http://doi.org/10.1086/622910>
- Wenzhofer, F., Holby, O., Glud, R. N., Nielsen, H. K., y Gundersen, J. K. (2000). In situ microsensor studies of a shallow water hydrothermal vent at Milos , Greece. *Marine Chemistry*, 69, 43–54.
- WoRMS Editorial Board. (2015). World Register of Marine Species. Recuperado de: <http://www.marinespecies.org>.
- Yücel, M., Sievert, S. M., Vetriani, C., Foustoukos, D. I., Giovannelli, D., y Le Bris, N. (2013). Eco-geochemical dynamics of a shallow-water hydrothermal vent system at Milos Island, Aegean Sea (Eastern Mediterranean). *Chemical Geology*, 356, 11–20. <http://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2013.07.020>

**Anexo I.** Principales parámetros granulométricos propuestos por Folk y Ward (1957): moda, media ( $M_z$ ), grado de selección ( $\sigma_1$ ), asimetría ( $SK_1$ ) y angulosidad ( $K_G$ ) de las estaciones control (C1 y C2) y de las ventilas hidrotermales (H1 y H2) en los ocho transectos (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8) a los metros 0, 10, 20 y 30.

	$M_z$ ( $\phi$ )		$\sigma_1$		$SK_1$		$K_G$	
<b>Control 1</b>								
<b>C1 0</b>	-0,23	Arena muy gruesa	1,23	Selección pobre	0,27	Asimetría positiva	1,11	Mesocurtica
<b>C1 0</b>	0,06	Arena gruesa	1,34	Selección pobre	0,31	Asimetría muy positiva	1,00	Mesocurtica
<b>C1T110</b>	-0,14	Arena muy gruesa	1,17	Selección pobre	0,20	Asimetría positiva	0,97	Mesocurtica
<b>C1T120</b>	-0,05	Arena muy gruesa	1,43	Selección pobre	0,29	Asimetría positiva	0,84	Platicurtica
<b>C1T130</b>	-0,59	Arena muy gruesa	1,08	Selección pobre	0,27	Asimetría positiva	1,15	Leptocurtica
<b>C1T210</b>	-0,11	Arena muy gruesa	1,38	Selección pobre	0,32	Asimetría muy positiva	0,98	Mesocurtica
<b>C1T220</b>	0,24	Arena gruesa	1,33	Selección pobre	0,24	Asimetría positiva	0,90	Platicurtica
<b>C1T230</b>	-0,01	Arena muy gruesa	1,26	Selección pobre	0,20	Asimetría positiva	0,91	Mesocurtica
<b>C1T310</b>	-0,73	Arena muy gruesa	1,29	Selección pobre	0,68	Asimetría muy positiva	0,92	Mesocurtica
<b>C1T320</b>	-0,19	Arena muy gruesa	1,26	Selección pobre	0,22	Asimetría positiva	0,83	Platicurtica
<b>C1T330</b>	-0,18	Arena muy gruesa	1,14	Selección pobre	0,24	Asimetría positiva	1,08	Mesocurtica
<b>C1T410</b>	-0,53	Arena muy gruesa	1,06	Selección pobre	0,22	Asimetría positiva	1,08	Mesocurtica
<b>C1T420</b>	-0,02	Arena muy gruesa	1,33	Selección pobre	0,21	Asimetría positiva	0,86	Platicurtica
<b>C1T430</b>	-0,42	Arena muy gruesa	1,14	Selección pobre	0,24	Asimetría positiva	0,99	Mesocurtica
<b>C1T510</b>	-0,17	Arena muy gruesa	1,23	Selección pobre	0,21	Asimetría positiva	0,94	Mesocurtica
<b>C1T520</b>	-0,15	Arena muy gruesa	1,37	Selección pobre	0,32	Asimetría muy positiva	1,02	Mesocurtica
<b>C1T530</b>	-1,02	Grava muy fina	0,76	Moderadamente seleccionado	0,29	Asimetría positiva	0,99	Mesocurtica
<b>C1T610</b>	0,10	Arena gruesa	1,45	Selección pobre	0,28	Asimetría positiva	0,86	Platicurtica
<b>C1T620</b>	-0,56	Arena muy gruesa	1,24	Selección pobre	0,40	Asimetría muy positiva	1,29	Leptocurtica

**(Continuación)**

<b>C1T630</b>	-0,65	Arena muy gruesa	1,08	Selección pobre	0,33	Asimetría muy positiva	1,08	Mesocurtica
<b>C1T710</b>	-0,16	Arena muy gruesa	1,40	Selección pobre	0,32	Asimetría muy positiva	0,95	Mesocurtica
<b>C1T720</b>	-0,24	Arena muy gruesa	1,31	Selección pobre	0,30	Asimetría positiva	1,02	Mesocurtica
<b>C1T730</b>	-0,39	Arena muy gruesa	1,24	Selección pobre	0,30	Asimetría positiva	1,08	Mesocurtica
<b>C1T810</b>	-0,98	Arena muy gruesa	1,03	Selección pobre	0,51	Asimetría muy positiva	1,35	Leptocurtica
<b>C1T820</b>	0,16	Arena gruesa	1,34	Selección pobre	0,20	Asimetría positiva	0,92	Mesocurtica
<b>C1T830</b>	-0,27	Arena muy gruesa	1,31	Selección pobre	0,30	Asimetría positiva	0,96	Mesocurtica
<b>Control 2</b>								
<b>C20</b>	-0,96	Arena muy gruesa	0,99	Moderadamente Seleccionado	0,45	Asimetría muy positiva	1,27	Leptocurtica
<b>C20</b>	-0,04	Arena muy gruesa	1,36	Selección pobre	0,20	Asimetría positiva	0,99	Mesocurtica
<b>C2T110</b>	-0,34	Arena muy gruesa	1,58	Selección pobre	0,58	Asimetría muy positiva	1,12	Leptocurtica
<b>C2T120</b>	-0,30	Arena muy gruesa	1,33	Selección pobre	0,32	Asimetría muy positiva	1,02	Mesocurtica
<b>C2T130</b>	-0,34	Arena muy gruesa	1,72	Selección pobre	0,67	Asimetría muy positiva	1,25	Leptocurtica
<b>C2T210</b>	-0,93	Arena muy gruesa	0,98	Moderadamente Seleccionado	0,44	Asimetría muy positiva	1,19	Leptocurtica
<b>C2T220</b>	-0,31	Arena muy gruesa	1,35	Selección pobre	0,33	Asimetría muy positiva	0,97	Mesocurtica
<b>C2T230</b>	-0,50	Arena muy gruesa	1,52	Selección pobre	0,54	Asimetría muy positiva	1,62	Muy Leptocurtica
<b>C2T310</b>	-0,16	Arena muy gruesa	1,54	Selección pobre	0,40	Asimetría muy positiva	1,02	Mesocurtica
<b>C2T320</b>	-0,98	Arena muy gruesa	1,22	Selección pobre	0,57	Asimetría muy positiva	1,82	Muy Leptocurtica
<b>C2T330</b>	-0,32	Arena muy gruesa	1,27	Selección pobre	0,27	Asimetría positiva	1,16	Leptocurtica
<b>C2T410</b>	-0,73	Arena muy gruesa	1,45	Selección pobre	0,71	Asimetría muy positiva	1,22	Leptocurtica
<b>C2T420</b>	-0,93	Arena muy gruesa	1,02	Selección pobre	0,47	Asimetría muy positiva	1,24	Leptocurtica
<b>C2T430</b>	-0,57	Arena muy gruesa	1,32	Selección pobre	0,44	Asimetría muy positiva	1,35	Leptocurtica
<b>C2T510</b>	-0,05	Arena muy gruesa	1,94	Selección pobre	0,70	Asimetría muy positiva	0,80	Platicurtica

**(Continuación)**

<b>C2T525</b>	-0,27	Arena muy gruesa	1,38	Selección pobre	0,35	Asimetría muy positiva	0,93	Mesocurtica
<b>C2T530</b>	-0,11	Arena muy gruesa	1,44	Selección pobre	0,31	Asimetría muy positiva	0,97	Mesocurtica
<b>C2T610</b>	-0,52	Arena muy gruesa	1,26	Selección pobre	0,37	Asimetría muy positiva	1,32	Leptocurtica
<b>C2T620</b>	-0,77	Arena muy gruesa	1,06	Selección pobre	0,35	Asimetría muy positiva	1,24	Leptocurtica
<b>C2T630</b>	-0,54	Arena muy gruesa	1,22	Selección pobre	0,33	Asimetría muy positiva	1,47	Leptocurtica
<b>C2T710</b>	-0,27	Arena muy gruesa	1,69	Selección pobre	0,58	Asimetría muy positiva	1,61	Muy Leptocurtica
<b>C2T720</b>	-0,48	Arena muy gruesa	1,45	Selección pobre	0,42	Asimetría muy positiva	1,72	Muy Leptocurtica
<b>C2T730</b>	-0,33	Arena muy gruesa	1,12	Selección pobre	0,18	Asimetría positiva	1,06	Mesocurtica
<b>C2T810</b>	-0,17	Arena muy gruesa	1,60	Selección pobre	0,45	Asimetría muy positiva	1,00	Mesocurtica
<b>C2T820</b>	-0,56	Arena muy gruesa	1,48	Selección pobre	0,67	Asimetría muy positiva	1,14	Leptocurtica
<b>C2T830</b>	0,00	Arena gruesa	1,53	Selección pobre	0,21	Asimetría positiva	0,68	Platicurtica
<b>Hidrotermal 1</b>								
<b>H10</b>	-0,44	Arena muy gruesa	1,27	Selección pobre	0,39	Asimetría muy positiva	0,78	Platicurtica
<b>H10</b>	-0,65	Arena muy gruesa	1,22	Selección pobre	0,54	Asimetría muy positiva	0,91	Mesocurtica
<b>H1T110</b>	0,61	Arena gruesa	1,33	Selección pobre	-0,18	Asimetría negativa	0,95	Mesocurtica
<b>H1T120</b>	0,09	Arena gruesa	1,32	Selección pobre	0,10	Simétrico	0,87	Platicurtica
<b>H1T130</b>	-0,43	Arena muy gruesa	1,08	Selección pobre	0,19	Asimetría positiva	1,08	Mesocurtica
<b>H1T210</b>	0,84	Arena gruesa	1,50	Selección pobre	-0,12	Asimetría negativa	0,91	Mesocurtica
<b>H1T230</b>	-0,38	Arena muy gruesa	1,23	Selección pobre	0,25	Asimetría positiva	0,83	Platicurtica
<b>H1T310</b>	1,32	Arena media	1,90	Selección pobre	-0,11	Asimetría negativa	0,82	Platicurtica
<b>H1T320</b>	0,79	Arena gruesa	1,73	Selección pobre	-0,14	Asimetría negativa	0,74	Platicurtica
<b>H1T330</b>	1,17	Arena media	1,33	Selección pobre	-0,13	Asimetría negativa	0,79	Platicurtica
<b>H1T410</b>	0,61	Arena gruesa	1,38	Selección pobre	-0,03	Simétrico	0,87	Platicurtica

**(Continuación)**

<b>H1T420</b>	1,45	Arena media	1,24	Selección pobre	- 0,19	Asimetría negativa	1,18	Leptocurtica
<b>H1T430</b>	0,76	Arena gruesa	1,14	Selección pobre	- 0,06	Simétrico	1,09	Mesocurtica
<b>H1T510</b>	0,42	Arena gruesa	1,24	Selección pobre	- 0,12	Asimetría negativa	0,87	Platicurtica
<b>H1T520</b>	1,43	Arena media	1,35	Selección pobre	- 0,11	Asimetría negativa	0,99	Mesocurtica
<b>H1T530</b>	0,78	Arena gruesa	1,56	Selección pobre	- 0,11	Asimetría negativa	0,80	Platicurtica
<b>H1T610</b>	0,02	Arena gruesa	1,28	Selección pobre	0,02	Simétrico	0,84	Platicurtica
<b>H1T620</b>	1,02	Arena media	1,40	Selección pobre	- 0,13	Asimetría negativa	0,95	Mesocurtica
<b>H1T630</b>	0,64	Arena gruesa	1,79	Selección pobre	- 0,15	Asimetría negativa	0,59	Muy Platicurtica
<b>H1T710</b>	0,72	Arena gruesa	1,89	Selección pobre	0,08	Simétrico	0,74	Platicurtica
<b>H1T730</b>	0,99	Arena gruesa	1,44	Selección pobre	- 0,14	Asimetría negativa	0,95	Mesocurtica
<b>H1T810</b>	0,63	Arena gruesa	1,33	Selección pobre	- 0,02	Simétrico	0,93	Mesocurtica
<b>H1T820</b>	0,05	Arena gruesa	1,20	Selección pobre	0,00	Simétrico	0,87	Platicurtica
<b>H1T830</b>	-0,64	Arena muy gruesa	1,10	Selección pobre	0,37	Asimetría muy positiva	0,93	Mesocurtica
<b>Hidrotermal 2</b>								
<b>H20</b>	0,00	Arena muy gruesa	1,13	Selección pobre	0,06	Simétrica	0,91	Mesocurtica
<b>H2T110</b>	0,01	Arena gruesa	1,29	Selección pobre	0,21	Asimetría positiva	1,05	Mesocurtica
<b>H2T120</b>	0,28	Arena gruesa	1,25	Selección pobre	- 0,05	Simétrica	0,84	Platicurtica
<b>H2T210</b>	0,33	Arena gruesa	1,69	Selección pobre	0,19	Asimetría positiva	0,85	Platicurtica
<b>H2T220</b>	0,25	Arena gruesa	1,40	Selección pobre	0,18	Asimetría positiva	0,96	Mesocurtica
<b>H2T230</b>	0,12	Arena gruesa	1,47	Selección pobre	0,28	Asimetría positiva	1,05	Mesocurtica
<b>H2T320</b>	0,53	Arena gruesa	1,58	Selección pobre	0,16	Asimetría positiva	0,94	Mesocurtica
<b>H2T330</b>	0,03	Arena gruesa	1,55	Selección pobre	0,06	Simétrica	0,72	Platicurtica
<b>H2T410</b>	0,20	Arena gruesa	1,37	Selección pobre	0,25	Asimetría positiva	1,07	Mesocurtica
<b>H2T420</b>	-0,48	Arena muy gruesa	1,02	Selección pobre	0,15	Asimetría positiva	1,08	Mesocurtica
<b>H2T430</b>	-0,07	Arena muy gruesa	1,44	Selección pobre	0,24	Asimetría positiva	0,95	Mesocurtica

**(Continuación)**

<b>H2T510</b>	0,00	Arena muy gruesa	1,53	Selección pobre	0,04	Simétrica	0,82	Platicurtica
<b>H2T520</b>	0,20	Arena gruesa	1,29	Selección pobre	0,20	Asimetría positiva	1,05	Mesocurtica
<b>H2T530</b>	0,38	Arena gruesa	1,49	Selección pobre	0,07	Simétrica	0,91	Mesocurtica
<b>H2T610</b>	0,20	Arena gruesa	1,29	Selección pobre	0,22	Asimetría positiva	1,02	Mesocurtica
<b>H2T620</b>	0,86	Arena gruesa	1,60	Selección pobre	0,06	Simétrica	0,90	Platicurtica
<b>H2T630</b>	1,61	Arena media	2,38	Selección pobre	- 0,02	Simétrica	0,96	Mesocurtica
<b>H2T710</b>	0,70	Arena gruesa	1,57	Selección pobre	0,21	Asimetría positiva	0,92	Mesocurtica
<b>H2T720</b>	0,22	Arena gruesa	1,47	Selección pobre	0,20	Asimetría positiva	0,98	Mesocurtica
<b>H2T730</b>	0,36	Arena gruesa	1,45	Selección pobre	0,17	Asimetría positiva	0,92	Mesocurtica
<b>H2T810</b>	-0,01	Arena muy gruesa	1,20	Selección pobre	0,24	Asimetría positiva	1,20	Leptocurtica
<b>H2T820</b>	0,04	Arena gruesa	1,41	Selección pobre	0,18	Asimetría positiva	0,90	Mesocurtica

**Anexo II.** Clasificación y abundancia total (ind/m<sup>2</sup>) de las especies epifaunales encontradas a lo largo de los 30 m de cada uno de los ocho transectos para cada zona muestreada: estaciones control (C1, C2) y ventilas hidrotermales someras (VH1 y VH2) de Bahía Concepción.

Especie	Clase	Orden	Familia	C1	C2	VH1	VH2
<b>Annelida</b>							
<i>Parasabella rugosa</i> (Moore, 1904)	Polychaeta	Sabellida	Sabellidae	1	0	22	6
Sabellidae sp2	Polychaeta	Sabellida	Sabellidae	2	0	0	0
Sabellidae sp3	Polychaeta	Sabellida	Sabellidae	3	1	0	0
Sabellidae sp4	Polychaeta	Sabellida	Sabellidae	0	1	0	0
Sabellidae sp5	Polychaeta	Sabellida	Sabellidae	1	0	0	0
Sabellidae sp1	Polychaeta	Sabellida	Serpulidae	0	18	271	325
<i>Spirobranchus giganteus</i> (Pallas, 1766)	Polychaeta	Sabellida	Serpulidae	0	0	12	10
<b>Arthropoda (Crustacea)</b>							
<i>Balanus</i> sp.	Cirripedia	Sessilia	Balanidae	0	0	5	0
<i>Stenorhynchus debilis</i> (Smith, 1871)	Malacostraca	Decapoda	Inachidae	0	0	5	2
Paguridae sp.	Malacostraca	Decapoda	Paguridae	5	1	7	6
<b>Cnidaria</b>							
<i>Phialoba steinbecki</i> Carlgren, 1949	Anthozoa	Actiniaria	Actiniidae	0	3	38	46
<i>Leptogorgia</i> sp.	Anthozoa	Alcyonacea	Gorgoniidae	10	2	53	25
<i>Antipathes galapagensis</i> Deichmann, 1941	Anthozoa	Antipatharia	Antipathidae	0	0	0	0
<i>Zoanthus</i> sp.	Anthozoa	Zoantharia	Zoanthidae	0	0	10	200
<i>Aiptasia californica</i> Carlgren, 1952	Anthozoa	Actiniaria	Aiptasiidae	74	79	0	0
<i>Macrorhynchia cf philippina</i> Kirchenpauer, 1872	Hydrozoa	Leptothecata	Aglaopheniidae	0	0	1	0
<b>Echinodermata</b>							
<i>Echinaster tenuispinus</i> Verrill, 1871	Asteroidea	Spinulosida	Echinasteridae	1	0	0	0
<i>Phataria unifascialis</i> (Gray, 1840)	Asteroidea	Valvatida	Ophidiasteridae	0	0	2	0
<i>Toxopneustes roseus</i> (A. Agassiz, 1863)	Echinoidea	Camarodonta	Toxopneustidae	4	0	0	0

(Continuación)

<i>Eucidaris thouarsii</i> (L. Agassiz y Desor, 1846)	Echinoidea	Cidaroida	Cidaridae	0	0	23	6
<i>Holothuria impatiens</i> (Forskål, 1775)	Holothuroidea	Aspidochirotida	Holothuriidae	0	0	0	0
<i>Isostichopus fuscus</i> (Ludwig, 1875)	Holothuroidea	Aspidochirotida	Stichopodidae	6	0	4	1
<i>Ophiactis savignyi</i> (Müller y Troschel, 1842)	Ophiuroidea	Ophiurida	Ophiactidae	1	1	8	5
<i>Ophionereis annulata</i> (Le Conte, 1851)	Ophiuroidea	Ophiurida	Ophionereididae	0	0	0	2
<i>Ophioderma panamensis</i> Lütken, 1859	Ophiuroidea	Ophiurida	Ophiodermatidae	0	7	0	0

**Mollusca**

<i>Anadara tuberculosa</i> (G. B. Sowerby I, 1833)	Bivalvia	Arcoida	Arcidae	0	0	11	3
<i>Glycymeris gigantea</i> (Reeve, 1843)	Bivalvia	Arcoida	Glycymerididae	6	4	0	0
<i>Ostrea</i> sp.	Bivalvia	Ostreoida	Ostreidae	3	0	44	12
<i>Spondylus crassisquama</i> Lamarck, 1819	Bivalvia	Pectinoida	Spondylidae	0	0	1	0
<i>Spondylus limbatus</i> G. B. Sowerby II, 1847	Bivalvia	Pectinoida	Spondylidae	0	0	23	6
<i>Atrina maura</i> (G. B. Sowerby I, 1835)	Bivalvia	Pterioidea	Pinnidae	57	9	4	0
<i>Pinna rugosa</i> G. B. Sowerby I, 1835	Bivalvia	Pterioidea	Pinnidae	240	32	5	0
<i>Pinctada mazatlanica</i> (Hanley, 1856)	Bivalvia	Pterioidea	Pteriidae	6	1	27	8
<i>Megapitaria squalida</i> (G. B. Sowerby I, 1835)	Bivalvia	Veneroida	Veneridae	1	0	0	0
<i>Chione californiensis</i> (Broderip, 1835)	Bivalvia	Veneroida	Veneridae	0	0	2	1
<i>Cerithium atromarginatum</i> Dautzenberg y Bouge, 1933	Gastropoda	Caenogastropoda	Cerithiidae	0	4	2	0
<i>Macrocypraea</i> cf <i>cervus</i> (Linnaeus, 1771)	Gastropoda	Littorinimorpha	Cypraeidae	0	0	1	0
<i>Strombus</i> sp.	Gastropoda	Littorinimorpha	Strombidae	0	10	1	0
<i>Anachis</i> cf <i>coronata</i> (G. B. Sowerby I, 1832)	Gastropoda	Neogastropoda	Columbellidae	7	8	34	15
<i>Hexaplex princeps</i> (Broderip, 1833)	Gastropoda	Neogastropoda	Muricidae	9	2	2	4
<i>Nassarius</i> sp.	Gastropoda	Neogastropoda	Nassariidae	2	10	0	0

(Continuación)

<i>Olividae</i> sp.	Gastropoda	Neogastropoda	Olividae	0	0	17	1
<i>Tegula mariana</i> (Dall, 1919)	Gastropoda	Neogastropoda	Tegulidae	0	0	0	3
<i>Elysia diomedea</i> (Bergh, 1894)	Gastropoda	Sacoglossa	Plakobranchidae	1	0	0	0
<i>Americardia biangulata</i> (Broderip y G.B. Sowerby, 1829)	Bivalvia	Veneroidea	Cardiidae	0	0	3	0
<i>Ceritium</i> sp.	Gastropoda	Caenogastropoda	Cerithiidae	1	0	8	5
<i>Modulus cerodes</i> (A. Adams, 1851)	Gastropoda	Caenogastropoda	Modulidae	13	1	0	0
<i>Nassarius cf tegulus</i> (Reeve, L.A., 1853)	Gastropoda	Neogastropoda	Nassariidae	0	0	4	2
<b>Porifera</b>							
<i>Leucandra losangelensis</i> (de Laubenfels, 1930)	Calcarea	Leucosolenida	Grantiidae	0	0	7	6
<i>Cliona cf celata</i> Grant, 1826	Demospongiae	Clionaida	Clionaidae	2	13	0	0
<i>Geodia</i> sp.	Demospongiae	Tetractinellida	Geodiidae	21	2	11	1
<i>Aplysina fistularis</i> (Pallas, 1766)	Demospongiae	Verongiida	Aplysinidae	0	0	5	2
<i>Aplysina gerardogreeni</i> Gomez y Bakus, 1992	Demospongiae	Verongiida	Aplysinidae	0	0	1	0
Porifera sp.				1	10	2	1
<b>Tunicata</b>							
<i>Clavelina</i> sp.	Ascidiacea	Aplousobranchia	Clavelinidae	0	1	3	0
Ascidiacea sp.	Ascidiacea			4	4	64	42

**Anexo III.** Clasificación y abundancia total (ind/muestra) de las especies infaunales encontradas en los metros 0, 10 y 20 de las estaciones control (C1 y C2) y abundancia (ind/muestra) en cada metro (0, 10 y 20) de las ventilas hidrotermales (VH1 y VH2) de Bahía Concepción.

Especie	Clase	Orden	Familia	C1	C2	VH1.0	VH1.10	VH1.20	VH2.0	VH2.10	VH2.20
<b>Annelida</b>											
<i>Eurythoe complanata</i> (Pallas, 1766)	Polychaeta	Amphinomida	Amphinomidae	2	0	0	0	0	0	0	5
<i>Hipponoe gaudichaudi</i> Audouin y Milne Edwards, 1830	Polychaeta	Amphinomida	Amphinomidae	0	7	0	0	0	1	0	0
<i>Amphinomidae</i> sp.	Polychaeta	Amphinomida	Amphinomidae	2	2	0	0	0	0	0	0
<i>Dorvillea</i> sp.	Polychaeta	Eunicida	Dorvilleidae	2	3	0	0	0	0	0	0
<i>Lysidice</i> sp.	Polychaeta	Eunicida	Eunicidae	0	1	0	0	1	0	0	0
<i>Lumbrinerides</i> sp.	Polychaeta	Eunicida	Lumbrineridae	0	1	0	0	37	0	0	0
<i>Arabella</i> sp.	Polychaeta	Eunicida	Oeononidae	0	2	0	0	0	0	0	0
<i>Naiades cantrainii</i> Delle Chiaje, 1828	Polychaeta	Phyllodocida	Alciopidae	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Bhawania</i> sp.1	Polychaeta	Phyllodocida	Chrysopetalidae	2	0	0	0	1	0	1	2
<i>Bhawania</i> sp.2	Polychaeta	Phyllodocida	Chrysopetalidae	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Glycera</i> sp.	Polychaeta	Phyllodocida	Glyceridae	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Hemipodia</i> sp.	Polychaeta	Phyllodocida	Glyceridae	12	3	0	2	0	0	37	0
<i>Gkycinde</i> sp.	Polychaeta	Phyllodocida	Goniadidae	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Goniadides</i> sp.1	Polychaeta	Phyllodocida	Goniadidae	3	0	0	1	16	1	5	8
<i>Goniadides</i> sp.2	Polychaeta	Phyllodocida	Goniadidae	0	0	0	0	1	4	35	1

(Continuación)

<i>Ceratonereis</i> sp.	Polychaeta	Phyllodocida	Nereididae	1	12	2	0	0	2	1	6
<i>Leptonereis</i> sp.	Polychaeta	Phyllodocida	Nereididae	0	2	0	0	1	3	6	1
<i>Nereididae</i> sp.	Polychaeta	Phyllodocida	Nereididae	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sigambra</i> sp.	Polychaeta	Phyllodocida	Pilargidae	1	0	0	0	3	0	5	0
(Continuación)											
<i>Polynoidae</i> sp.	Polychaeta	Phyllodocida	Polynoidae	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Syllidae</i> sp.1	Polychaeta	Phyllodocida	Syllidae	4	0	0	0	2	0	1	0
<i>Syllidae</i> sp.2	Polychaeta	Phyllodocida	Syllidae	3	7	0	0	0	0	0	0
<i>Syllidae</i> sp.3	Polychaeta	Phyllodocida	Syllidae	6	10	0	0	0	0	2	0
<i>Syllidae</i> sp.4	Polychaeta	Phyllodocida	Syllidae	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Syllidae</i> sp.5	Polychaeta	Phyllodocida	Syllidae	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Sabellidae</i> sp.1	Polychaeta	Sabellida	Sabellidae	0	0	0	2	2	1	0	0
<i>Sabellidae</i> sp.2	Polychaeta	Sabellida	Sabellidae	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sabellidae</i> sp.3	Polychaeta	Sabellida	Sabellidae	0	0	0	0	3	0	0	0
<i>Serpulidae</i> sp.1	Polychaeta	Sabellida	Serpulidae	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Serpulidae</i> sp.2	Polychaeta	Sabellida	Serpulidae	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Oweniidae</i> sp.	Polychaeta	Sabellida	Oweniidae	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Poecilochaetus</i> sp.	Polychaeta	Spionida	Poecilochaetidae	0	0	0	0	4	0	0	0
<i>Aonidella dayi</i> López-Jamar, 1989	Polychaeta	Spionida	Spionidae	1	0	0	1	3	0	1	1
<i>Boccardia</i> sp.	Polychaeta	Spionida	Spionidae	1	0	0	0	0	0	1	1
<i>Prionospio</i> sp.	Polychaeta	Spionida	Spionidae	5	2	0	1	4	0	4	1

(Continuación)

<i>Rhynchospio</i> sp.	Polychaeta	Spionida	Spionidae	1	2	1	2	2	0	1	6
<i>Xandaros acanthodes</i> Maciolek, 1981	Polychaeta	Spionida	Spionidae	1	0	0	1	2	1	2	1
<i>Ecamphicteis elongata</i> Fauchald, 1972	Polychaeta	Terebellida	Ampharetidae	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Cirratulus</i> sp.	Polychaeta	Terebellida	Cirratulidae	3	5	0	1	2	0	0	1
<i>Terebellidae</i> sp.1	Polychaeta	Terebellida	Terebellidae	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Terebellidae</i> sp.2	Polychaeta	Terebellida	Terebellidae	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Terebellidae</i> sp.3	Polychaeta	Terebellida	Terebellidae	1	0	0	0	0	0	0	1
<i>Neoheteromastus</i> sp.	Polychaeta		Capitellidae	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Neonotomastus glabrus</i> Fauchald, 1972	Polychaeta		Capitellidae	1	2	0	2	0	0	1	0
<i>Maldanidae</i> sp.	Polychaeta		Maldanidae	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Polyophthalmus</i> sp.	Polychaeta		Opheliidae	0	0	0	0	1	0	1	0
<i>Travisia</i> sp.	Polychaeta		Opheliidae	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Orbiniidae</i> sp.	Polychaeta		Orbiniidae	0	0	0	1	1	0	1	0
<b>Arthropoda (Crustacea)</b>											
<i>Harpacticoida</i> sp.	Copepoda	Harpacticoida		3	0	0	0	6	0	0	0
<i>Amphipoda</i> sp.	Malacostraca	Amphipoda		3	2	0	0	0	0	1	0
<i>Ampeliscidae</i> sp.	Malacostraca	Amphipoda	Ampeliscidae	0	0	0	0	2	1	3	0
<i>Lysianassidae</i> sp.	Malacostraca	Amphipoda	Lysianassidae	1	0	0	2	0	0	0	0
<i>Phoxocephalidae</i> sp.	Malacostraca	Amphipoda	Phoxocephalidae	1	0	0	0	1	0	0	0

(Continuación)

<i>Amphithoides</i> sp.	Malacostraca	Amphipoda	Ampithoidae	0	1	0	0	1	0	0	0
<i>Aoridae</i> sp.	Malacostraca	Amphipoda	Aoridae	0	0	0	0	1	0	2	2
<i>Maeridae</i> sp.	Malacostraca	Amphipoda	Maeridae	1	4	0	0	1	0	0	0
<i>Cumacea</i> sp.	Malacostraca	Cumacea		0	0	0	2	2	0	1	0
<i>Alpheidae</i> sp.1	Malacostraca	Decapoda	Alpheidae	8	3	0	2	0	1	0	0
<i>Alpheidae</i> sp.2	Malacostraca	Decapoda	Alpheidae	1	1	0	0	0	0	0	0

(Continuación)

<i>Alpheidae</i> sp.3	Malacostraca	Decapoda	Alpheidae	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Alpheidae</i> sp.4	Malacostraca	Decapoda	Alpheidae	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Diogenidae</i> sp.	Malacostraca	Decapoda	Diogenidae	0	2	0	0	0	0	0	0
<i>Pauguridae</i> sp.	Malacostraca	Decapoda	Pauguridae	3	3	0	1	2	0	0	1
<i>Upogebia</i> sp.	Malacostraca	Decapoda	Upogebiidae	0	0	0	1	1	0	0	1
<i>Xanthidae</i> sp.	Malacostraca	Decapoda	Xanthidae	1	0	0	0	0	0	1	0
<i>Isopoda</i> sp.	Malacostraca	Isopoda		0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Sphaeromatidae</i> sp.	Malacostraca	Isopoda	Sphaeromatidae	0	0	0	3	0	1	3	1
<i>Leptochelia dubia</i> (Krøyer, 1842)	Malacostraca	Tanaidacea	Leptocheliidae	0	1	1	0	0	0	2	1

**Bryozoa**

<i>Petraliellidae</i> sp.	Gymnolaemata	Cheilostomatida	Petraliellidae	0	0	0	0	1	0	0	0
---------------------------	--------------	-----------------	----------------	---	---	---	---	---	---	---	---

**Chordata (Cephalochordata)**

<i>Branchiostomatidae</i> sp.	Leptocardii	Amphioxiformes	Branchiostomatidae	1	0	0	1	0	0	0	2
-------------------------------	-------------	----------------	--------------------	---	---	---	---	---	---	---	---



(Continuación)

<i>Chione californiensis</i> (Broderip, 1835)	Bivalvia	Veneroida	Veneridae	0	2	0	0	0	0	0	0
<i>Chione compta</i> (Broderip, 1835)	Bivalvia	Veneroida	Veneridae	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Chione</i> sp.1	Bivalvia	Veneroida	Veneridae	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Chione</i> sp.2	Bivalvia	Veneroida	Veneridae	3	0	0	1	1	1	0	2
<i>Lirophora mariae</i> (d'Orbigny, 1846)	Bivalvia	Veneroida	Veneridae	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Veneridae</i> sp.	Bivalvia	Veneroida	Veneridae	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Laevicardium substriatum</i> (Conrad, 1837)	Bivalvia	Veneroida	Cardiidae	1	0	0	1	0	0	1	1
<i>Bivalvia</i> sp. (Pullus)	Bivalvia			47	1	0	0	0	0	0	0
<i>Cerithium atromarginatum</i> Dautzenberg y Bouge, 1933	Gastropoda	Caenogastropoda	Cerithiidae	0	0	0	0	0	1	0	3
<i>Seila</i> sp.	Gastropoda	Caenogastropoda	Cerithiopsidae	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Modulus cerodes</i> (A. Adams, 1851)	Gastropoda	Caenogastropoda	Modulidae	3	0	0	1	0	0	1	0
<i>Modulus disculus</i> (Philippi, 1846)	Gastropoda	Caenogastropoda	Modulidae	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Finella</i> sp.1	Gastropoda	Caenogastropoda	Scaliolidae	5	0	0	0	0	0	4	0
<i>Finella</i> sp.2	Gastropoda	Caenogastropoda	Scaliolidae	11	11	0	0	0	8	6	3
<i>Triphora</i> sp.	Gastropoda	Caenogastropoda	Triphoridae	1	0	0	1	1	0	0	0
<i>Caecum</i> cf <i>elegantissimum</i> Carpenter, 1859	Gastropoda	Littorinimorpha	Caecidae	0	15	2	216	28	15	0	64
<i>Eulima</i> sp.	Gastropoda	Littorinimorpha	Eulimidae	1	0	0	0	0	0	0	0

(Continuación)

<i>Schwartziella burragei</i> (Bartsch, 1915)	Gastropoda	Littorinimorpha	Rissoinidae	0	0	0	6	4	0	0	0
<i>Anachis cf coronate</i> (G. B. Sowerby I, 1832)	Gastropoda	Neogastropoda	Columbellidae	0	0	0	0	1	0	0	2
<i>Strombina maculosa</i> (G. B. Sowerby I, 1832)	Gastropoda	Neogastropoda	Columbellidae	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Agathotoma</i> sp.	Gastropoda	Neogastropoda	Mangeliidae	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Kurtziella</i> sp.	Gastropoda	Neogastropoda	Mangeliidae	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Murexsul armatus</i> (A. Adams, 1854)	Gastropoda	Neogastropoda	Muricidae	0	0	0	0	2	0	0	0
<i>Nassarius nuceus</i> (Pease, 1869)	Gastropoda	Neogastropoda	Nassariidae	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Nassarius cf tegulus</i> (Reeve, L.A., 1853)	Gastropoda	Neogastropoda	Nassariidae	0	0	0	1	1	0	0	0
<i>Nassarius</i> sp.1	Gastropoda	Neogastropoda	Nassariidae	0	0	0	0	2	0	6	3
<i>Nassarius</i> sp.2	Gastropoda	Neogastropoda	Nassariidae	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Nassarius tiarula</i> (Kiener, 1841)	Gastropoda	Neogastropoda	Nassariidae	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Olivella cf gracilis</i> Swainson, 1831	Gastropoda	Neogastropoda	Olivellidae	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Tegula mariana</i> (Dall, 1919)	Gastropoda		Tegulidae	20	12	0	0	0	0	0	0
<i>Bulla</i> sp.	Gastropoda Opisthobranchia	Cephalaspidea	Bulloidea	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Parviturbo</i> sp.	Gastropoda		Skeneidae	1	0	0	0	0	0	1	0
<i>Skeneidae</i> sp.1	Gastropoda		Skeneidae	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Skeneidae</i> sp.2	Gastropoda		Skeneidae	1	0	0	0	0	0	0	0

(Continuación)

<i>Anachis scalarina</i> (G. B. Sowerby I, 1832)	Gastropoda	Neogastropoda	Columbellidae	0	0	0	0	0	2	0	0
<b>Nematoda</b>											
<i>Nematoda</i> sp.				54	4	1	48	90	20	0	98
<b>Nemertea</b>											
<i>Lineus</i> sp.	Anopla	Heteronemertea	Lineidae	1	1	0	1	5	2	6	3
<b>Platyhelminthes</b>											
<i>Turbellaria</i> sp.	Turbellaria			1	0	0	0	0	0	0	0
<b>Sipuncula</b>											
<i>Golfingiida</i> sp.	Sipunculidea	Golfingiida		0	0	0	3	11	0	8	9

**Anexo IV.** Clasificación y abundancia total (ind/muestra) de la tanatocenosis encontradas en los metros 0, 10 y 20 de las estaciones control (C1 y C2) y abundancia (ind/muestra) en cada metro (0, 10 y 20) de las ventilas hidrotermales (VH1 y VH2) de Bahía Concepción.

Especie	Clase	Orden	Familia	C1	C2	VH1.0	VH1.1	VH1.2	VH2.0	VH2.1	VH2.2
Bivalvia sp. (Pullus)	Bivalvia			88	1	0	0	0	0	1	0
<i>Arca pacifica</i> (G. B. Sowerby I, 1833)	Bivalvia	Arcoida	Arcidae	39	24	1	36	36	6	0	8
Arcidae sp. 1	Bivalvia	Arcoida	Arcidae	3	1	0	1	3	0	0	3
Arcidae sp. 2	Bivalvia	Arcoida	Arcidae	1	1	0	0	0	1	0	0
Arcidae sp.3	Bivalvia	Arcoida	Arcidae	1	8	0	0	5	1	7	1
Arcidae sp.4	Bivalvia	Arcoida	Arcidae	0	1	0	1	0	0	0	1
<i>Ensitellops</i> sp.	Bivalvia	Veneroida	Basterotiidae	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Americardia biangulata</i> (Broderip y G. B. Sowerby I, 1829)	Bivalvia	Veneroida	Cardiidae	5	2	0	1	1	1	5	2
<i>Laevicardium substriatum</i> (Conrad, 1837)	Bivalvia	Veneroida	Cardiidae	0	0	0	0	0	2	0	0
<i>Carditamera radiata</i> (G. B. Sowerby I, 1833)	Bivalvia	Carditoida	Carditidae	1	4	0	0	0	0	2	1
<i>Caryocorbula marmorata</i> (Hinds, 1843)	Bivalvia	Myoida	Corbulidae	2	0	0	0	0	0	1	0
<i>Caryocorbula nasuta</i> (G. B. Sowerby I, 1833)	Bivalvia	Myoida	Corbulidae	0	1	0	0	0	0	0	0
Glycymerididae sp.	Bivalvia	Arcoida	Glycymerididae	6	0	0	0	0	0	0	0

(Continuación)

<i>Glycymeris</i> sp.	Bivalvia	Arcoida	Glycymerididae	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Ctena</i> sp.1	Bivalvia	Lucinoida	Lucinidae	2	7	0	1	6	2	5	1
<i>Ctena</i> sp.2	Bivalvia	Lucinoida	Lucinidae	0	0	0	0	0	0	1	0
Mytilidae sp.	Bivalvia	Mytiloida	Mytilidae	0	2	0	1	2	0	1	1
<i>Arcopsis</i> sp.	Bivalvia	Arcoida	Noetiidae	0	2	0	1	2	1	0	0
<i>Ostrea</i> sp.	Bivalvia	Ostreoida	Ostreidae	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Argopecten ventricosus</i> (G. B. Sowerby II, 1842)	Bivalvia	Pectinoida	Pectinidae	5	3	0	2	2	3	4	2
<i>Chione compta</i> (Broderip, 1835)	Bivalvia	Veneroida	Veneridae	1	1	0	2	3	4	6	1
<i>Chione</i> sp.1	Bivalvia	Veneroida	Veneridae	2	1	0	1	0	2	6	2
<i>Chione</i> sp.2	Bivalvia	Veneroida	Veneridae	3	0	0	1	0	1	13	0
<i>Chioneryx squamosa</i> (Carpenter, 1857)	Bivalvia	Veneroida	Veneridae	2	5	0	0	1	0	0	0
<i>Chionopsis cf pulicaria</i> (Broderip, 1835)	Bivalvia	Veneroida	Veneridae	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Lirophora mariae</i> (d'Orbigny, 1846)	Bivalvia	Veneroida	Veneridae	0	1	0	0	0	0	5	0
Veneridae sp.1	Bivalvia	Veneroida	Veneridae	0	0	0	0	0	1	0	0
Veneridae sp.2	Bivalvia	Veneroida	Veneridae	0	0	0	0	0	1	0	0
Veneridae sp.3	Bivalvia	Veneroida	Veneridae	1	0	0	0	0	0	0	0



(Continuación)

<i>Diodora cayenensis</i> (Lamarck, 1822)	Gastropoda		Fissurellidae	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Diodora pusilla</i> Berry, 1959	Gastropoda		Fissurellidae	0	0	0	0	0	0	2	0
<i>Diodora</i> sp.1	Gastropoda		Fissurellidae	0	0	0	0	0	0	2	0
<i>Diodora</i> sp.2	Gastropoda		Fissurellidae	0	2	0	0	0	0	0	0
<i>Diodora</i> sp.3	Gastropoda		Fissurellidae	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Diodora</i> sp.4	Gastropoda		Fissurellidae	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Diodora</i> sp.5	Gastropoda		Fissurellidae	1	0	0	0	0	0	0	0
Lottiidae sp.1	Gastropoda		Lottiidae	2	3	0	8	2	0	1	0
Lottiidae sp.2	Gastropoda		Lottiidae	0	0	0	2	0	0	0	0
<i>Agathotoma</i> sp	Gastropoda	Neogastropoda	Mangeliidae	1	0	0	0	2	0	0	2
<i>Kurtziella</i> sp.	Gastropoda	Neogastropoda	Mangeliidae	0	0	0	0	1	0	3	0
<i>Granulina margaritula</i> (Carpenter, 1857)	Gastropoda	Neogastropoda	Marginellidae	22	19	0	9	2	4	24	5
<i>Volvarina</i> sp.	Gastropoda	Neogastropoda	Marginellidae	0	1	0	0	1	0	0	1
<i>Modulus cerodes</i> (A. Adams, 1851)	Gastropoda	Caenogastropoda	Modulidae	6	6	1	2	1	0	2	0
<i>Modulus disculus</i> (Philippi, 1846)	Gastropoda	Caenogastropoda	Modulidae	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Murexsul armatus</i> (A. Adams, 1854)	Gastropoda	Neogastropoda	Muricidae	1	0	1	0	0	0	0	0

(Continuación)

<i>Nassarius cf tegulus</i> (Reeve, L.A., 1853)	Gastropoda	Neogastropoda	Nassariidae	0	0	0	0	1	0	1	0
<i>Nassarius nuceus</i> (Pease, 1869)	Gastropoda	Neogastropoda	Nassariidae	0	0	0	0	5	0	0	0
<i>Nassarius sp.1</i>	Gastropoda	Neogastropoda	Nassariidae	0	0	0	0	0	0	4	0
<i>Nassarius sp.2</i>	Gastropoda	Neogastropoda	Nassariidae	1	0	0	0	0	0	0	1
<i>Nassarius tiarula</i> (Kiener, 1841)	Gastropoda	Neogastropoda	Nassariidae	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nerita funiculata</i> Menke, 1851	Gastropoda	Cycloneritimorpha	Neritidae	47	15	1	1	0	0	0	0
<i>Olivella cf gracilis</i> Swainson, 1831	Gastropoda	Neogastropoda	Olivellidae	1	0	0	0	2	0	0	0
<i>Odostomia sp.</i> Fleming, 1813	Gastropoda		Pyramidellidae	0	0	0	1	0	0	1	3
<i>Odostomia sp.2</i>	Gastropoda		Pyramidellidae	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Pyramidella sp.</i>	Gastropoda		Pyramidellidae	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Pyramidella sp.2</i>	Gastropoda		Pyramidellidae	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Turbonilla sp.1</i>	Gastropoda		Pyramidellidae	2	0	0	1	3	0	3	1
<i>Turbonilla sp.2</i>	Gastropoda		Pyramidellidae	0	0	0	1	1	0	5	1
<i>Turbonilla sp.3</i>	Gastropoda		Pyramidellidae	1	0	0	0	0	0	0	0
Rissoinidae sp.	Gastropoda	Littorinimorpha	Rissoinidae	1	1	0	2	2	0	0	0
<i>Schwartziella burragei</i> (Bartsch, 1915)	Gastropoda	Littorinimorpha	Rissoinidae	0	0	0	9	12	0	2	1

(Continuación)

<i>Schwartziella californica</i> (Bartsch, 1915)	Gastropoda	Littorinimorpha	Rissoinidae	2	0	0	2	0	0	2	0
<i>Finella</i> sp.1	Gastropoda	Caenogastropoda	Scaliolidae	138	26	0	11	5	7	35	11
<i>Finella</i> sp.2	Gastropoda	Caenogastropoda	Scaliolidae	35	7	0	11	0	35	74	11
<i>Parviturbo</i> sp.1	Gastropoda		Skeneidae	1	2	0	0	0	0	0	0
<i>Parviturbo</i> sp.2	Gastropoda		Skeneidae	2	0	0	0	0	0	0	0
Skeneidae sp.1	Gastropoda		Skeneidae	2	2	0	0	0	0	0	0
Skeneidae sp.2	Gastropoda		Skeneidae	0	0	0	0	0	0	0	0
Skeneidae sp.3	Gastropoda		Skeneidae	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Tegula mariana</i> (Dall, 1919)	Gastropoda		Tegulidae	11	12	0	0	0	0	0	0
<i>Triphora</i> sp.1	Gastropoda	Caenogastropoda	Triphoridae	11	7	0	1	2	0	0	0
<i>Triphora</i> sp.2	Gastropoda	Caenogastropoda	Triphoridae	2	4	0	0	0	0	0	0
<i>Turbinidae</i> sp.	Gastropoda		Turbinidae	12	17	0	3	0	0	0	0
<i>Acteocina</i> sp.	Gastropoda	Cephalaspidea	Acteocinidae	3	1	0	1	0	1	8	0
<i>Bulla</i> sp.	Gastropoda	Cephalaspidea	Bulloidea	1	0	0	11	6	2	0	3
<i>Haminoea</i> cf <i>antillarum</i> Turton y Kingston [in Carrington], 1830)	Gastropoda	Cephalaspidea	Haminoeidae	0	6	0	0	0	0	1	0