



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología

Universidad Nacional Autónoma de México



**Estudio biogeoquímico de la anémona *Paraphelliactis pabista*
(Actiniaria: Hormathiidae) presente en el sistema hidrotermal profundo
de la Cuenca de Guaymas, Golfo de California.**

Que para obtener el grado académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
(BIOLOGÍA MARINA)**

p r e s e n t a

Biól. Mariela Escobar Chicho

Director de tesis: Dr. Luis A. Soto

**Comité tutorial: Dra. Ruth Cecilia Vanegas Pérez
Dra. Rosa María Prol Ledesma
Dr. Alfonso Vázquez Botello
Dr. Alejandro Granados Barba**

México, D.F., Agosto 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a:

*Dios, quien me ha dado la vida,
por levantarme en los momentos difíciles,
por permitirme disfrutar de innumerables bendiciones
y por mantenerme viva en este inconmensurable universo.*

*A mis padres Leonor y Gonzalo,
por su amor,
por todos sus sacrificios y apoyo incondicional,
por ser lo mejor en mi vida. GRACIAS.*

*A mi hermano Chuy, por su apoyo y cariño,
y sobre todo por ser un gran ejemplo de vida,
te quiero mucho.*

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos Dr. Luis A. Soto González, quien fungió como director de este trabajo y por compartir conmigo sus valiosos conocimientos sobre las ventilas hidrotermales de mar profundo. También le agradezco el apoyo y el gran interés que siempre manifestó para que se culminara este estudio.

A la Dra. Ruth Cecilia Vanegas Pérez, Dra. Rosa María Prol Ledesma, Dr. Alejandro Granados Barba y al Dr. Alfonso Vázquez Botello, miembros del comité tutor, por sus asesorías y comentarios durante todo el proceso de esta investigación, que sin duda fueron importantes para mejorar en gran medida la investigación y el manuscrito del trabajo final.

Al M. en C. Pedro Morales Puente y a la M. en C. Edith Cienfuegos Alvarado, investigadores del Laboratorio de Espectrometría de Masas de Isótopos Estables del Instituto de Geología de la UNAM, por la realización del análisis isotópico.

Al Ing. Carlos Linares López técnico del Laboratorio Universitario de Petrología del Instituto de Geofísica de la UNAM, por su gran disponibilidad para la realización del microanálisis de partículas.

A la Dra. Claudia Ponce y al M. en C. Manuel Hernández de la Unidad de Análisis Ambiental de la Facultad de Ciencias de la UNAM, por su apoyo en la realización del análisis ICP-MS.

A la Dra. Nadya Sanamyan del Pacific Institute of Geography FEBRAS de Rusia, así como a la Dra. Estefanía Rodríguez, asistente curador de invertebrados marinos del Museo Americano de Historia Natural de Nueva York, USA., quienes colaboraron en la determinación de la especie.

Al M. en C. Sebastián Ricardo Zúñiga Lagunes, por su apoyo en la disección del organismo de estudio.

A la Biól. Rocío Luna Plascencia por su disponibilidad y apoyo en la realización del análisis estadístico de los resultados de esta investigación.

A la Dra. Gloria Vilaclara Fatjó, Coordinadora del Programa de Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, por su apoyo, comprensión y por sus valiosos consejos en la etapa más difícil de este proyecto.

Al programa de becas CONACyT:

- Beca de maestría con número de registro: 226139

Con mucho cariño y de manera especial agradezco también a:

A mis tíos: Marcelo Chicho Cruz, Antonia Entzana Aire, Maximina Chicho Cruz y Evarista Chicho Cruz[†], a quienes aprecio de manera especial.

A mis primos: Lucero Herrera Chicho, Alan Chicho Entzana, Diana Monserrat Montoya Andrade, Daniel Chicho Entzana y Erika Chicho García, por su cariño, apoyo y por los momentos compartidos.

A todas aquellas personas con quienes he compartido gratos momentos y que a pesar de no nombrarlas en forma individual, de alguna manera me dieron su apoyo para lograr ésta meta. Quiero expresarles mi más sincero aprecio.

ÍNDICE

	Página
Resumen.....	9
Introducción.....	10
Antecedentes.....	12
Isotopía.....	12
Metales.....	13
Objetivos.....	14
Área de estudio.....	15
Material y métodos.....	16
Análisis de metales.....	17
Análisis isotópico $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$	18
Microanálisis de partículas.....	19
Tratamiento de datos.....	19
Resultados.....	19
Análisis isotópico $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$	19
Análisis de metales.....	20
Microanálisis de partículas.....	24
Discusión.....	30
Análisis isotópico $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$	30
Composición de carbono isotópico.....	33
Composición de nitrógeno isotópico.....	34
Análisis de metales.....	35
Microanálisis de partículas.....	43
Conclusiones.....	43
Referencias.....	44

Anexos..... 47

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

	Página
Figura 1. Ejemplar de la anémona <i>Paraphelliactis pabista</i> , adherida a una valva de <i>Vesicomya gigas</i> ; sitio de colecta del organismo de estudio y localización de la Cuenca de Guaymas en la parte central del Golfo de California.....	16
Figuras 2 y 3. Colecta del organismo de estudio por el sumergible ALVIN (DSV-2).....	16
Figura 4. Localización de las tres principales estructuras y tejidos internos de la anémona <i>Paraphelliactis pabista</i> . Morfología general de una anémona (Brusca y Brusca, 2003).....	17
Tabla 1. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ obtenidos en las diferentes secciones de la anémona.....	20
Tabla 2. Concentración de metales (mg kg^{-1}) en cada sección de tejido del organismo de estudio <i>Paraphelliactis pabista</i>	21
Tabla 3 y 4. Concentración de metales (mg kg^{-1}) en las tres secciones anatómicas analizadas de la anémona <i>Paraphelliactis pabista</i>	22
Tabla 5. Patrón de bioacumulación de metales en <i>Paraphelliactis pabista</i>	23
Figura 5. Dendograma (valores de similitud Bray-Curtis) entre los metales analizados en la anémona <i>Paraphelliactis pabista</i>	24
Figura 6. Micrografías electrónicas y composición elemental de partículas observadas en el tejido del disco oral de <i>Paraphelliactis pabista</i> . (a) Muestra total del tejido del disco oral; (b) barita en combinación con Sr; (c) pirita; (d) aluminio-silicato.....	26
Figura 7. Micrografías electrónicas y composición elemental de las partículas observadas en el tejido de la columnela de <i>Paraphelliactis pabista</i> (a) Muestra total del tejido de la columnela; (b) barita; (c) Fe en combinación con Cr; (d) silicato; (e) silicato.....	27

Figura 8. Micrografías electrónicas y composición elemental de las partículas observadas en el tejido del disco pedal de <i>Paraphelliactis pabista</i> (a) Muestra total del tejido del disco pedal; (b) y (c) Fe; (d) alumino-silicato en combinación con Ti y Fe.....	19
Figura 9. Micrografías electrónicas y composición elemental de las partículas observadas en el sobrenadante del disco oral de <i>Paraphelliactis pabista</i> (a) Muestra total del sobrenadante del disco oral; (b) barita en combinación con Sr; (c) silicato.....	29
Figura 10. Micrografía electrónica y composición elemental de partículas observadas en el sobrenadante de la columnela de <i>Paraphelliactis pabista</i> (a) Barita.....	29
Figura 11. Micrografía electrónica y composición elemental de las partículas observadas en el sobrenadante del disco pedal de <i>Paraphelliactis pabista</i> (a) Barita en combinación con Sr.....	30
Figura 12. Representación gráfica de las señales isotópicas de actinias de diferentes sitios (sistemas hidrotermales y una especie abisal) en comparación con los obtenidos en <i>Paraphelliactis pabista</i> de la Cuenca de Guaymas.....	30
Tabla 6. Determinaciones de señales isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) realizadas en anémonas de sistemas hidrotermales y zonas abisales del Océano Pacífico y Atlántico.....	32
Tabla 7. Datos de las muestras y composiciones isotópicas (costados y eje de los fluidos hidrotermales en la cordillera Juan de Fuca).....	33
Tabla 8. Concentración de metales en las muestras de agua del sistema hidrotermal de la Cuenca de Guaymas mg kg^{-1} (media \pm desviación estándar) (Demina <i>et al.</i> , 2009).....	36
Tabla 9. Concentraciones de cada metal analizado en mg kg^{-1} de la anémona <i>Paraphelliactis pabista</i> y sus diferencias en órdenes de magnitud en relación con los valores de la anémona <i>Phelliactis pabista</i> de Demina <i>et al.</i> , 2009.....	37

Resumen

Se reconoció por medio de un análisis isotópico de $\delta^{13}\text{C}$ la fuente de carbono orgánico y a través de la señal de $\delta^{15}\text{N}$, la posición trófica de la anémona *Paraphelliactis pabista* presente en la comunidad hidrotermal profunda de la Cuenca de Guaymas. El valor promedio calculado de $\delta^{13}\text{C}$ fue de -17.6‰ , el cuál entra en el intervalo de organismos asociados al sistema hidrotermal de Guaymas, cuyo metabolismo depende dependiente de la quimiosíntesis de los sulfuros. *P. pabista* es un organismo suspensívoro que concentra indiscriminadamente material orgánico particulado proveniente de una fuente de carbono ligeramente pesado, probablemente derivado de microorganismos de vida libre presentes en dicho sistema, o bien acumula de carbono orgánico de origen autotrófico. El valor promedio de $\delta^{15}\text{N}$ fue de $+19.2\text{‰}$. Este valor pertenece a un nivel trófico enriquecido, aún si se considera el cambio de $+3.3\text{‰}$ causado por el tipo de dieta microbiana atribuido a un organismo suspensívoro o filtrador, como es el caso de la anémona *P. pabista*.

Mediante ICP-MS, se determinó la concentración de 16 metales pesados (Al, As, Ba, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Sb, Sr, Ti, V, y Zn) en tejidos del disco oral, columna y disco pedal de la anémona *P. pabista*. El elemento de mayor concentración fue Ba (con un máximo de $14.247 \text{ mg kg}^{-1}$ en el tejido del disco pedal, $2295.30 \text{ mg kg}^{-1}$ ($\sigma=87.44$) en la columna y $3561.47 \text{ mg kg}^{-1}$ ($\sigma=108.11$) en el disco oral; seguido por Al, Fe, Sr, Zn, Mn (hasta cientos de mg kg^{-1}) y As, Pb, Ti, Cu, Cr (hasta decenas de mg kg^{-1}). El contenido de Cu, Se, Sb, V y Ni no excedió los 10 mg kg^{-1} , mientras que Co presentó el menor contenido por lo general menos de 1 mg kg^{-1} .

En términos generales, el disco oral y el disco pedal muestran mayor capacidad de bioconcentración de metales pesados, que la columna. El disco oral, que es la estructura de mayor exposición a la absorción de metales disueltos en el medio, presentó cierta selectividad por algunos elementos tales como el Al, Fe, Ti; en tanto que el disco pedal mostró mayor afinidad hacia el Al, Fe, Sr, Ti, Cr y Cu. Los 16 elementos estuvieron presentes en las tres partes anatómicas de la anémona: disco oral, columna y disco pedal. Sin embargo, se distinguen diferentes grados de bioconcentración en los tejidos de dichas regiones anatómicas, en tanto que otros elementos parecen concentrarse en forma similar. En el primer caso destacan el As (53.43 mg kg^{-1}) y V (4.62 mg kg^{-1}) los cuáles tienen mayores concentraciones en el disco oral. Por su parte, la columna presentó valores superiores de Mn (194 mg kg^{-1}) que en el resto de los tejidos. En el tercer caso, el disco pedal, el Al (810 mg kg^{-1}), Cr (10.6 mg kg^{-1}), Fe (683.8 mg kg^{-1}), Cu (12.72 mg kg^{-1}), Zn ($167.16 \text{ mg kg}^{-1}$), Sr (504 mg kg^{-1}), Sb (4.92 mg kg^{-1}), Ba (14247 mg kg^{-1}) y Pb (44 mg kg^{-1}) son superiores en relación a las secciones restantes, y en el último caso, los metales que tuvieron concentraciones similares en los 3 diferentes tejidos de la anémona son: Ti (disco oral: 11.5 mg kg^{-1} , columna: 11.5 mg kg^{-1} , disco pedal 12.5 mg kg^{-1}) Ni (disco oral: 3.08 mg kg^{-1} , columna: 3.43 mg kg^{-1} , disco pedal: 3.13 mg kg^{-1}) Co (disco oral: 0.28 mg kg^{-1} , columna: 0.31 mg kg^{-1} , disco pedal: 3.13 mg kg^{-1}) Se (disco oral: 5.73 mg kg^{-1} , columna: 5.47 mg kg^{-1} , disco pedal: 6.16 mg kg^{-1}).

A través de un microanálisis de partículas por microscopía electrónica de barrido, se reconocieron partículas comunes de los sitios hidrotermales activos. En general el mineral que se observó con mayor frecuencia fue la barita (BaSO_4), seguido de Fe, aluminosilicatos, Sr, y con menor presencia el Cr, Ti y piritita (FeS_2).

En el tejido del disco oral, los minerales que se observaron fueron: barita; pirita y aluminosilicatos. Por su parte, el tejido de la columna presentó los siguientes minerales: barita, Fe en combinación con Cr, silicatos. En la epidermis y en la parte interna del tejido del disco pedal se observaron partículas de Fe; esta sección fue la única en donde se observó titanio. En el sobrenadante del disco oral, se pudo observar barita en combinación con estroncio y silicatos. En el sobrenadante de la columna y en el sobrenadante del disco pedal, solo se observó barita en combinación con estroncio.

Introducción

Los sistemas hidrotermales profundos son hábitats que se caracterizan por tener una temperatura ambiente superior a la de las profundidades del mar, menor concentración de oxígeno, mayores niveles de compuestos tóxicos (metales, sulfuros), y una extrema variabilidad espacial y temporal (Tunncliffe, 1991 *vide* Chevaldonne' *et al.*, 1997).

La Cuenca de Guaymas es un sistema hidrotermal que presenta una serie de profundas cuencas semicerradas donde la actividad tectónica del sitio genera un alto flujo de calor, los fluidos hidrotermales se descargan a través de chimeneas a 270 a 325 ° C. Esta cuenca es un sitio activo de formación de sedimentos que alojan depósitos masivos de sulfuros y minerales, en donde se producen cadenas cortas de ácidos orgánicos y de amoníaco, que son liberados a través de la pirólisis. Los materiales orgánicos en los sedimentos permiten la reducción de sulfatos por bacterias anaeróbicas que oxidan alcanos, compuestos aromáticos, y ácidos grasos y las bacterias aeróbicas degradan hidrocarburos aromáticos y otras tienen preferencia por ácidos carboxílicos aromáticos (Dhillon *et al.*, 2003). La Cuenca está localizada a lo largo de la parte sur del sistema de la falla de San Andrés y presenta actividad hidrotermal (Simoneit y Fetzer, 1996), su profundidad es de 2000 m y el espesor de los sedimentos de origen varía de 300 a 500 m. con un contenido de carbono orgánico del 2% en la sección inalterada. Las temperaturas de los fluidos de las chimeneas alcanzan hasta 350° y la temperatura ambiente del agua de mar es de 2 a 3°C a esa profundidad (Simoneit y Fetzer, 1996).

La superficie de los sedimentos en este sistema hidrotermal es rica en óxidos de Mn y Fe y posee una capa de turbidita la cual afecta la distribución de C, Fe, Mn, S y algunos metales traza (Otero *et al.*, 2003 *vide* Demina *et al.*, 2009). La baja temperatura produce asociaciones de minerales hidrotermales en el sedimento de la cuenca están representados por ópalo y barita, mientras pirrotita, calcopirita y esfalerita son los minerales dominantes en las zonas de alta temperatura (Bogdanov *et al.*, 2004 *vide* Demina *et al.*, 2009). Es interesante mencionar que este sitio contiene hidrocarburos de petróleo con un contenido de C_{org} en la superficie de los sedimentos que van desde 0.15% (zona de alta temperatura) a 2.23% (zona de baja temperatura) (Bogdanov *et al.*, 2004 *vide* Demina *et al.*, 2009) y llega hasta el 6.21% en algunos depósitos saturados de hidrocarburos (Demina *et al.*, 2009).

Las ventilas hidrotermales también se caracterizan por tener comunidades de baja diversidad, pero alta biomasa (López-González *et al.*, 2003). Poco se sabe de las anémonas de ventilas hidrotermales (Van Dover, 2000 y Sibuet & Olu, 1998, *vide* López *et al.*, 2003) las cuales son comunes en estos sistemas. En la Cuenca de Guaymas, hay

por lo menos tres especies registradas: *Parantosactis denhartogi* (López-González *et al.*, 2003), *Paraphelliactis pabista* y *Phelliactis callyclus* (Sanamyan y Sanamyan, 2007). Sólo *P.denhartogi* se presenta exclusivamente en sistemas hidrotermales, mientras que las otras dos son denominadas fauna no asociada a estos sistemas.

Debido a la inaccesibilidad de los sistemas hidrotermales profundos, en los estudios de la estructura trófica y transferencia de energía se han utilizado principalmente análisis de isótopos estables. Estos análisis se han centrado en la determinación de las fuentes de carbono y nitrógeno de animales específicos (quimioautotróficos y autótrofos), productores y consumidores oportunistas, para examinar los patrones ecológicos generales (Bergquist *et al.*, 2007; Soto, 2009).

En la literatura existen valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en actinias de diversos sistemas hidrotermales y de mar profundo, que han sido aportados por los siguientes autores:

Van Dover y Fry (1989) analizaron la señal isotópica de anémonas y cirripedios de las ventilas de las Marianas en el Pacífico Occidental y obtuvieron valores de $\delta^{15}\text{N}$ +7.0‰ a +8.6‰ casi idénticos a los camarones y gasterópodos aunque, como filtradores, dependen del material particulado en suspensión en lugar de bacterias de la superficie para su nutrición, pertenecen a la fauna que no contiene simbioses. Los valores para una anémona de mar profundo colectada a 2600 m. en sustratos duros, cerca de 1° y 12°N en la Dorsal del Pacífico Oriental fueron $\delta^{13}\text{C}$ -17.1‰ y $\delta^{15}\text{N}$ +12.9‰. Una anémona del sitio Alice Springs (Ventilas Marianas) tuvo valores de $\delta^{13}\text{C}$ -15.7‰ y $\delta^{15}\text{N}$ +8.6‰. Los valores empobrecidos de $\delta^{13}\text{C}$ (-27.3‰ a -34.8‰) son característicos de las especies de moluscos con endosimbiontes bacterianos. Los valores enriquecidos de $\delta^{13}\text{C}$ (-10.4‰ a -11.7‰) son característicos de las especies de gusanos tubícolas con endosimbiontes bacterianos; los valores enriquecidos de $\delta^{13}\text{C}$ (-10.2‰ a -15‰) también estuvieron asociados con una variedad de especies de invertebrados de ventilas que no contienen simbioses. Las composiciones isotópicas de nitrógeno de los consumidores de las ventilas, que fluctúan desde -3.0‰ a +12.1‰ fueron significativamente menores que los de especies no asociadas. El menor valor de $\delta^{15}\text{N}$ se midió en los consumidores primarios, que incluyen especies simbioses y especies las cuáles se han observado que se alimentan directamente de las bacterias.

Colaço *et al.*, (2002) obtuvieron valores de $\delta^{13}\text{C}$ -14.80‰ y $\delta^{15}\text{N}$ +8.00‰ en una actinia de la cordillera del Atlántico medio en el sitio denominado TAG (profundidad: 3600, latitud: 26°08'N, temperatura máxima: 365°C, en un sitio con presencia de: chimeneas negras con predominancia de sulfuros y presencia de fauna asociada en el cruce de la unión entre el piso y la pared Este de la cordillera. Esta actinia pertenece al tercer grupo: tuvo valores similares a los observados para el cangrejo *Chaceon affinis* $\delta^{13}\text{C}$ -17.68‰ y $\delta^{15}\text{N}$ +10.69‰ capturados fuera del campo de fumarolas, lo que indica que ocupan un alto nivel trófico y se benefician en ocasiones, de las comunidades asociadas al sistema hidrotermal, pero no exclusivamente.

Soto (2009) registró en la anémona *Parantosactis denhartogi* los valores de: $\delta^{13}\text{C}$ -13.6‰ y $\delta^{15}\text{N}$ -0.6‰, que corresponden a un organismo suspensívoro comúnmente observado en las inmediaciones de agregaciones de *Riftia pachytila* en la Cuenca de Guaymas. Su valor empobrecido $\delta^{15}\text{N}$ (0.6‰) sitúa a ésta cerca del nivel de consumo primario de algunos de los taxones de fauna asociada, como el poliqueto *Paralvinella grasslei* que se

caracteriza por una señal isotópica enriquecida de $\delta^{13}\text{C}$ (-16.8‰) vinculado a una dieta microbiana principalmente de bacterias de vida libre.

La presencia de grandes concentraciones de metales pesados es una característica importante de los sistemas hidrotermales debido a los extensos depósitos de sulfuro y la precipitación de sulfuros metálicos, por ejemplo: hierro, níquel, cobre, zinc, cadmio y mercurio, seguidos por descargas ricas en sulfuro de hidrógeno y metales (Corliss *et al.*, 1979 en Ruelas *et al.*, 2003). Los únicos valores de metales registrados hasta ahora en anémonas son aportados por Demina *et al.*, (2009) estos autores recolectaron una anémona (*Phelliactis pabista*) en las zonas próximas al flujo de agua caliente resplandeciente del sistema hidrotermal. Esta anémona presentó una bioconcentración elevada de Fe (8800 mg kg⁻¹), Zn (3317 mg kg⁻¹), Mn (172 mg kg⁻¹), Pb (71 mg kg⁻¹), Cu (70 mg kg⁻¹), y Cd (5.7 mg kg⁻¹).

En esta investigación, el principal objetivo es, determinar a través de un análisis dual de isótopos estables de carbono y nitrógeno, la fuente de carbono orgánico asimilado por la anémona *Paraphelliactis pabista*, y su posición trófica dentro de la comunidad hidrotermal de la Cuenca de Guaymas. Así mismo, se desea establecer la capacidad de bioconcentración de metales pesados en diferentes secciones anatómicas de esta anémona, biodisponibles en un medio considerado de alta toxicidad.

Antecedentes

Paraphelliactis pabista

La descripción original de *Paraphelliactis pabista* Dunn, 1982, se basa en numerosos ejemplares de las costas del Pacífico de Canadá; los ejemplares que recientemente se han descrito, colectados en la Cuenca de Guaymas en el Golfo de California, están en estrecha relación con la descripción original, aunque se encontraron más tipos de cnidocitos en diferentes tejidos que los registrados anteriormente (Sanamyan y Sanamyan, 2007).

Isotopía

El análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno ha sido aplicado exitosamente en el estudio de la cadena trófica y el flujo de energía a través de varios sistemas hidrotermales profundos (Soto, 2009). Tal es el caso de Van Dover y Fry (1989) quienes realizaron un análisis isotópico para estudiar las relaciones tróficas en dos comunidades de organismos (gasterópodos, percebes y anémonas) de mar profundo en el este del Océano Pacífico Oriental. La comunidad de los jardines colgantes de la Dorsal Este del Pacífico (21°N muestreadas en 1985, está dominado por dos especies de gusanos tubícolas vestimentíferos, las comunidades en Alice Springs y Snail Pits en las Marianas (Pacífico Occidental), muestreadas en 1987, están dominadas por moluscos gasterópodos, percebes, anémonas. En ambas localidades, los valores isotópicos de carbono y nitrógeno en

invertebrados asociados son significativamente diferentes de los invertebrados no asociados, colectados en 11°N en la Cordillera Este del Pacífico y en otros lugares en el mar profundo.

Recientemente, Amsong *et al.*, (2008), analizaron 22 oligoelementos y las proporciones de isótopos estables ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) de macrofauna de poca profundidad y de aguas profundas del Mar de China Oriental para analizar la biomagnificación y la fuente de los oligoelementos. En los organismos marinos bentónicos de aguas profundas, los valores de $\delta^{13}\text{C}$ se correlacionaron negativamente con Ba, Cu, Ag, Mo, Sr, As y CO. Esto puede deberse a la acumulación específica en los niveles tróficos inferiores y/o a la biodilución a través de la red alimenticia en mar profundo. Las relaciones entre $\delta^{15}\text{N}$ y concentraciones de Co, Cr, Bi, y Tl en los peces y Ag, Bi, V, Hg, y de Tl en los crustáceos mostró una correlación positiva.

Metales

Ruelas *et al.*, (2003 y 2005) proporcionan datos sobre la concentración y distribución de Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn en diferentes tejidos de almejas *Vesicomya gigas* y de *Riftia pachyptila* que fueron recolectadas en el sistema hidrotermal de la Cuenca de Guaymas, Golfo de California.

Kádár *et al.*, (2005) realizaron un análisis de la concentración de 10 elementos traza: Al, Mn, Co, Cu, Mo, Cd, Fe, Zn, Pb y Hg en simbioses *Bathymodiolus* y camarones *Rimicaris/Mirocaris* de la Cordillera del Atlántico Medio (MAR).

Colaço *et al.*, (2006) determinaron las concentraciones de Hg, Cu y Zn y su distribución en el tejido de siete especies de invertebrados bentónicos (las especies clave) en las zonas de ventilas hidrotermales de la Cordillera del Atlántico Medio (MAR). Las muestras fueron colectadas en tres zonas de ventilas hidrotermales - Menez Gwen, 840 m, Lucky Strike, 1700 m, y Rainbow, 2300 m - cerca de Triple Unión Azores. Estas zonas se caracterizan por diferentes profundidades, el contexto geológico y la composición química de los fluidos hidrotermales, en particular el contenido de metales, que se refleja en la concentración de éstos en los organismos. Estos resultados muestran que los organismos de Menez Gwen presentaron las mayores concentraciones de Hg, mientras que las de Lucky Strike y Rainbow son más ricas en Cu y Zn. La posible transferencia de estos metales a través de dos enlaces tróficos también se evaluó en (1) el *Bathymodiolus azoricus* mejillón y el gusano comensal *Branchiopolynoe seepensis*, y (2) tres especies de camarones y el cangrejo *Segonzacia mesatlantica*.

Cosson *et al.*, (2008) examinaron la variabilidad de la bioacumulación de metales (Ag, Cd, Cu, Fe, Mn y Zn) en los mejillones *Bathymodiolus* de cinco sitios dentro de los tres principales sistemas hidrotermales profundos a lo largo de la cordillera del Atlántico Medio: Menez Gwen, Lucky Strike y Arco Iris. La bioacumulación de metales varía mucho entre los campos de ventilas e incluso entre los sitios dentro de una zona de chimeneas. El mejillón *B. azoricus* muestra una gran capacidad para acumular metales.

Demina y Galkin (2008) estudiaron las concentraciones de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, Pb, As, Ag, Cd, Se, Sb, Hg de acuerdo a los parámetros abióticos del medio ambiente en 128 muestras de tejidos de los organismos que habitan las zonas de ventilas hidrotermales de la Cordillera del Atlántico Medio (sitios: Menez Gwen, Snake Pit, y Rainbow). La mayoría de los elementos estudiados mostraron correlaciones directas entre sus concentraciones en los fluidos liberados y en los tejidos de los organismos hidrotermales. Hubo un mayor grado de bioconcentración de metales en los mejillones *Bathymodiolus* sp. y los camarones *Rimicaris* sp. De la zona de chimeneas hidrotermales Rainbow, en comparación con sus análogos Menez Gwen y Snake Pit. Esto corresponde a las concentraciones máximas de la mayoría de los metales estudiados en el sitio Rainbow, de fluidos hidrotermales con altas temperaturas.

Demina *et al.*, (2009) estimaron las concentraciones y distribución de As, Ag, Au, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Sb, Se, y Zn en diferentes tejidos de los animales predominantes en las ventilas hidrotermales de la Cuenca de Guaymas, Golfo de California, tales como el gusano *Riftia pachyptila*, la almeja Vesicomidae *Archivestica gigas* (Calyptogena), así como otros organismos: esponjas, moluscos bivalvos *Nuculana grasslei*, actinia *Phelliactis pabista*, y el cangrejo *Munidopsis alvisca*.

Objetivos

Objetivo General

Analizar biogeoquímicamente la anémona *Paraphelliactis pabista* presente en el sistema hidrotermal de la Cuenca de Guaymas, Golfo de California

Objetivos particulares

- ❖ Reconocer por medio de un análisis isotópico de $\delta^{13}\text{C}$ la fuente de carbono inorgánico y a través de la señal de $\delta^{15}\text{N}$, reconocer la posición trófica de la anémona en la comunidad hidrotermal profunda de la Cuenca de Guaymas.
- ❖ Determinar el grado de acumulación y concentraciones de metales Al, As, Ba, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Sb, Sr, Ti, V, y Zn en el tejido de tres componentes estructurales de la anémona *Paraphelliactis pabista*: disco oral, columnela y disco pedal.
- ❖ Reconocer los componentes adsorbidos y/o absorbidos en el tejido de la anémona *Paraphelliactis pabista*, a través de un microanálisis de partículas por microscopía electrónica de barrido.

Área de estudio

El sistema hidrotermal profundo de la Cuenca de Guaymas está situado hacia el norte de la provincia biogeográfica de la Dorsal del Pacífico Oriental (ERN) (Van Dover, 2002). Se encuentra entre 27°00'35" y 27°00'50" y 111°24'15" y 111°24'40"W y profundidades de 2000 a 2030 m; en la porción central del Golfo de California (Fig. 1). La cuenca tiene una tasa de sedimentación que es superior a muchas otras áreas del Golfo. El sedimento es una mezcla de detritos terrígenos inmaduros y de materia biogénica. Los sedimentos gruesos son comunes en las inmediaciones de los ventilas activos (De la Lanza-Espino y Soto, 1999 en Soto, 2009)

La topografía general del área incluye depósitos hidrotermales en forma de montículos, espiras, estructuras en forma de pagoda y altas columnas distribuidas en un terreno cubierto por sedimentos finos a través de la cual se produce la filtración de fluidos hidrotermales. Tanto los pilares y los montículos de depósitos sirven como sustrato para un conjunto complejo de especies de fauna. Los sitios activos se caracterizan por fuertes fluidos hidrotermales y temperaturas superiores a 50°C y están dominados por grandes grupos de gusanos gigantes siboglinidos *Riftia pachyptila*, un conjunto diversificado de gusanos poliquetos, almejas *Vesicomysidae*, gasterópodos, el cangrejo *Munidopsis alvisca*, y tapetes de bacterias filamentosas de *Beggiatoa spp.* (Soto y Grassle, 1988 vide Soto, 2009)

En contraste, los sitios de filtración en frío, con flujos difusos y temperaturas de -6°C son colonizados por agregaciones de gusanos siboglinidos *Escarpia spicata* y *Lamellibrachia barhami*. Los sedimentos en la Cuenca de Guaymas contienen petróleo, que es una mezcla compleja de hidrocarburos alifáticos y aromáticos que se forman por la alteración hidrotermal de la materia orgánica sedimentaria (Simoneit y Lonsdale, 1982; Simoneit *et al.*, 1992; Pearson *et al.*, 2005 vide Soto, 2009). Sin duda, la existencia de petróleo generado en los sedimentos hidrotermales también añade una característica distintiva de este ambiente ecológico. Probablemente, gran parte de la producción primaria quimiosintética en un sistema hidrotermal constituye el fundamento de la red trófica, en términos de la biomasa (Van Dover y Fry, 1994 vide Soto, 2009) Sin embargo, en la Cuenca de Guaymas, la disponibilidad de materia orgánica de otras posibles fuentes de carbono, es decir, metano e hidrocarburos líquidos, puede aumentar significativamente la complejidad del flujo de carbono a través de consumidores asociados y no asociados a estos sistemas (Soto, 2009).

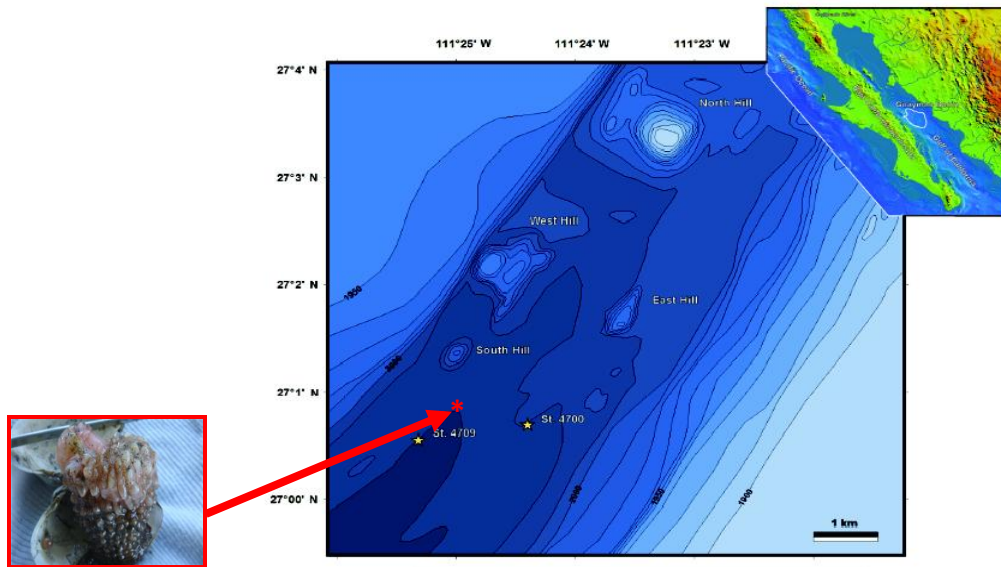
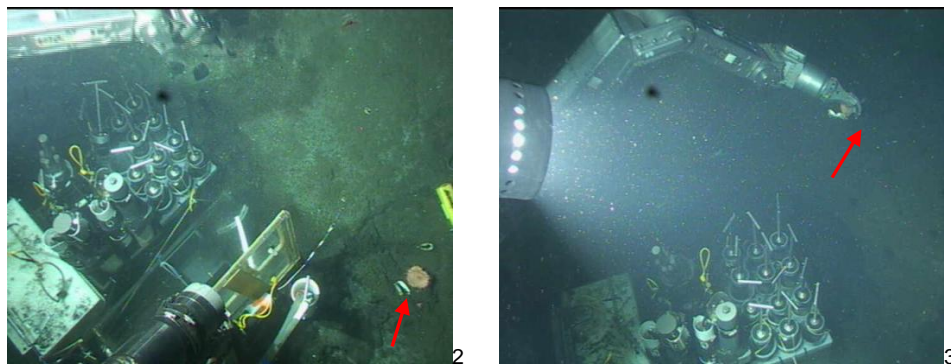


Figura 1. Ejemplar de la anémona *Paraphelliactis pabista*, adherida a una valva de *Vesicomya gigas*; sitio de colecta del organismo de estudio y localización de la Cuenca de Guaymas en la parte central del Golfo de California.

Material y Métodos

La anémona aquí estudiada, se recolectó en la expedición “Extreme 2008” realizada a bordo de la embarcación R/V Atlantis con el sumergible Alvin (DSV-2), en la inmersión 4459, en el sitio denominado Oil Town (profundidad 2000m) (Figs. 2 y 3). El material fue preservado en un ultracongelador a una temperatura de -75°C hasta su análisis. Para la determinación de la especie se utilizaron los trabajos de López *et al.* (2005) y Sanamyan y Sanamyan (2007).



Figuras 2 y 3. Colecta del organismo de estudio por el sumergible ALVIN (DSV-2), (inmersión: 4459, fecha y hora: 19/10/2008, 20:52:46, latitud: 27°01'17.30, longitud: -111°25.99, profundidad: 2017.781 m.)

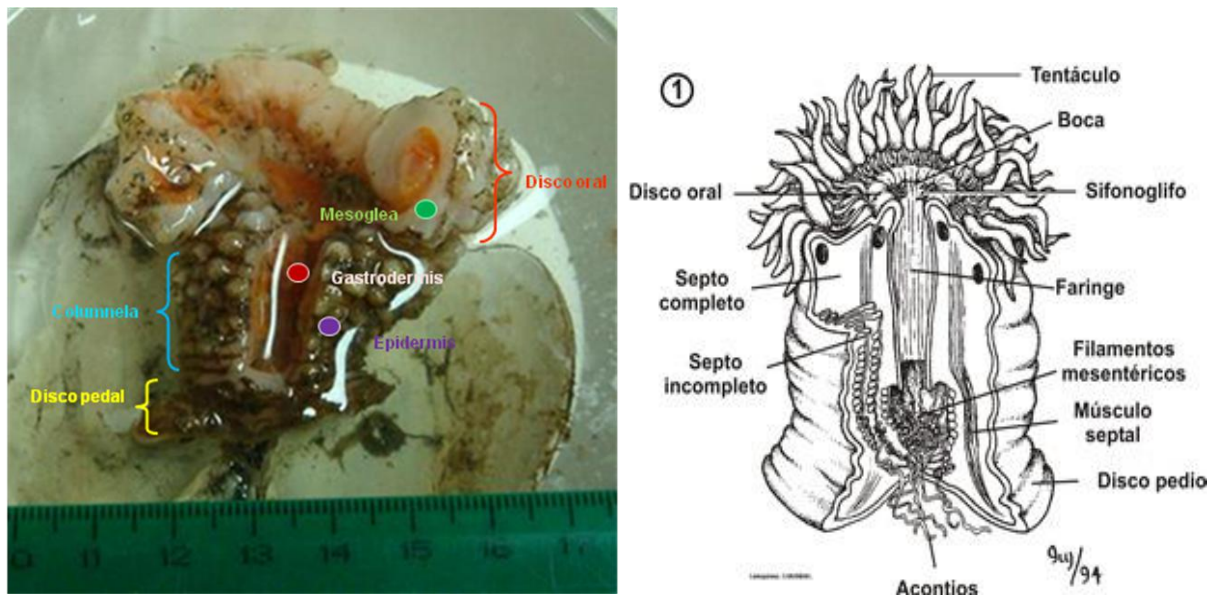
La disección de la anémona para la obtención de muestras de tejido fue de la siguiente manera: se realizó un corte longitudinal (se utilizó un cuchillo marca Icel de acero inoxidable); se obtuvieron dos secciones iguales, una se cortó longitudinalmente; de tres cuartas partes del organismo se obtuvieron: el disco oral-parte superior, columna-parte media y disco pedal-parte posterior, esto para realizar el análisis de metales; la sección restante se guardó inmediatamente en ultracongelador a -70°C para los análisis posteriores (microanálisis de microscopía electrónica de barrido e isotopía $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$).

Los tejidos del disco oral, columna y disco pedal, se colocaron por separado en vasos estériles dejándose descongelar a temperatura ambiente, una vez descongelados, se enjuagaron con agua desionizada repetidas veces. El sobrenadante obtenido al realizar el lavado de cada sección, se guardó en un refrigerador a 4°C para el microanálisis de microscopía electrónica de barrido.

Análisis de metales

Posteriormente las tres secciones de tejido debidamente lavadas (disco oral, columna y disco pedal) fueron pesadas y se dejaron 15hrs en el ultracongelador, después se colocaron en una liofilizadora a una presión de 110 mbars. y temperatura de -40°C durante dos días completos.

Figura 4. Localización de las tres principales estructuras y tejidos internos de la anémona *Paraphelliactis pabista*. Morfología general de una anémona (Brusca y Brusca, 2003).



Las muestras liofilizadas, se pulverizaron en un mortero de ágata, el cual fue sometido a un proceso de lavado (anexo 1) para evitar contaminación cruzada. De acuerdo con CEM (2001) una vez pulverizada la muestra se pasaron a frascos de polipropileno de 30 ml previamente lavado (anexo 2) y se obtuvo el peso. Las muestras se mantuvieron 12 horas en un ultracongelador a -70°C . Posterior a esto, se colocaron 0.1 g de cada muestra pulverizada en un recipiente de plástico dentro de la balanza analítica tarada. Se utilizó un patrón DOLT-4 (material

de referencia certificado para metales traza) con 3 réplicas y 3 blancos de referencia. Las muestras pesadas se colocaron en los vasos de teflón del horno digestor (se cuidó que toda la porción de la muestra se vertiese).

Enseguida se añadieron 5 ml. de HNO₃ (ácido nítrico) al 69.1%, en cada vaso y 0.5ml. de H₂O₂ (peróxido de hidrogeno ultrapuro), se agitaron cada 15 minutos. Trascorrida 1 hora, se agregó 1 ml. de H₂O₂ y se agitaron cada 15 minutos durante 1 hora (predigestión).

Después de 2 horas las muestras en los vasos de teflón se introdujeron dentro del horno digestor, con las siguientes condiciones de rampeo:

1er. 1200 w 100% 10 min 300 psi 150°C 0 min

2do. 1200 w 100% 5 min 300 psi 185°C 6.5 min.

Una vez terminada la digestión, las muestras se vertió en los frascos de polipropileno de 30 ml para comprobar que el procedimiento se realizó satisfactoriamente. Las muestras se dejaron enfriar a temperatura ambiente, después se realizó un filtrado y se taparon los frascos para conservarlos; éstas fueron las soluciones madre.

Se utilizó Espectrometría de Masas Acoplada Inductivamente a Plasma (ICP-MS) para detectar simultáneamente los niveles de los metales: Al, As, Ba, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Sb, Sr, Ti, V, y Zn, en el tejido de la anémona. Los límites de detección de cada elemento fueron: 0.124 mg kg⁻¹ (Al), 0.032 mg kg⁻¹ (As), 0.011 mg kg⁻¹ (Ba), 0.013 mg kg⁻¹ (Co), 0.012 mg kg⁻¹ (Cu), 0.011 mg kg⁻¹ (Cr), 0.116 mg kg⁻¹ (Fe), 0.101 mg kg⁻¹ (Mn), 0.012 mg kg⁻¹ (Ni), 0.013 mg kg⁻¹ (Pb), 0.018 mg kg⁻¹ (Se), 0.004 mg kg⁻¹ (Sb), 0.019 mg kg⁻¹ (Sr), 0.016 mg kg⁻¹ (Ti), 0.012 mg kg⁻¹ (V), 0.084 mg kg⁻¹ (Zn).

Análisis isotópico $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$

Se tomó una muestra de tejido para obtener 1 a 2 mg de este en peso seco, para análisis de $\delta^{13}\text{C}$ y 5 a 8 mg para $\delta^{15}\text{N}$ del disco pedal, así como de la columna y del disco oral (el corte abarcó estos 3 tejidos: epidermis, gastrodermis y mesoglea).

Se separó el disco oral, la columna y el disco pedal, cada sección se colocó en un vaso estéril y se dejó descongelar a temperatura ambiente; posteriormente se enjuagaron con agua desionizada repetidas veces, al final se enjuagó el tejido con agua Milli-Q. El sobrenadante obtenido al realizar el lavado de cada sección, se guardó en un refrigerador a 4°C para el microanálisis de microscopía electrónica de barrido.

Después de secar las muestras de tejido a 60°C por 24 hrs., el material es homogeneizado en un mortero de ágata, el cual fue sometido a un proceso de lavado (anexo 1). Las muestras fueron analizadas en un espectrómetro de masas de isótopos estables Termo Finnigan Delta plus XL en el Laboratorio de Espectrometría de Masas de Isótopos Estables del Instituto de Geología, de la UNAM. Los valores isotópicos son expresados en partes por mil (‰).

Microanálisis de partículas

Se realizó un microanálisis de microscopía electrónica de barrido con dispersión de energía SEM-EDS (realiza un análisis semicuantitativo y cualitativo de cristales de tamaño de grano muy fino; menos de 1µm) para identificar la morfología y composición química del material particulado (tales como: aluminosilicatos, pirita, barita, mezcla de óxido de hierro, esfalerita)

Se obtuvo una muestra de tejido de 3 secciones de la anémona (disco oral, columnela y disco pedal), fueron lavadas repetidas veces con agua desionizada, se montaron en portaobjetos y se dejaron secar a 60° C durante 2 horas. Posteriormente, con una pipeta Pasteur, se obtuvieron dos gotas del sobrenadante derivado al realizar el lavado de cada sección de la anémona y se colocaron en un portaobjetos, dejándolos secar en una estufa eléctrica de laboratorio a una temperatura de 60°C durante 2 horas. Enseguida, las muestras de tejido y sobrenadante se recubrieron con grafito para su observación en el microscopio electrónico de barrido.

Tratamiento de datos

Se utilizó un software estadístico estándar, para el tratamiento de datos.

Resultados

Análisis isotópico $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$

Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ obtenidos en los tejidos de las tres secciones anatómicas de *Paraphelliactis pabista* resultaron enriquecidos con una reducida variación entre el disco oral (-18.3‰) y la columnela (-18.0‰), de tan solo 0.3‰, en tanto que el tejido de la porción basal de la anémona, el disco pedal, resultó ligeramente empobrecido en $\delta^{13}\text{C}$ (-16.6‰) ver tabla 1. Estas diferencias en la señal isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ de los tres tejidos analizados no fueron estadísticamente significativas (ANDEVA; 0.83>p). El valor promedio calculado de $\delta^{13}\text{C}$ fue de -17.6‰, el cuál entra en el intervalo de organismos pertenecientes al sistema hidrotermal de Guaymas dependiente de la quimiosíntesis de los sulfuros. *P. pabista* representa un organismo suspensívoro que concentra indiscriminadamente material orgánico particulado proveniente de una fuente de carbono ligeramente pesado, probablemente derivado de microorganismos de vida libre presentes en dicho sistema, o bien por la acumulación de carbono orgánico de origen autotrófico.

En cuanto a los valores de $\delta^{15}\text{N}$, registrados en los tres tejidos de *P. pabista*, estos mostraron un estrecho intervalo de variación (+1.1‰) sin diferencias estadísticas significativas (ANDEVA; 0.32>p) con un promedio de +19.2‰. Este valor pertenece a un nivel trófico enriquecido, aún si se considera el cambio de +3.3‰ causado por el tipo de dieta microbiana atribuido a un organismo suspensívoro o filtrador, como es el caso de la anémona *P. pabista*.

Se realizó un análisis de varianza para saber si hay diferencias significativas entre los datos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$; el resultado (0.83 y 0.32 respectivamente) indicó que no se tienen diferencias significativas entre los valores de las secciones de la anémona, por lo que se consideró el promedio.

Tabla 1. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ obtenidos en las diferentes secciones de la anémona

<i>Paraphelliactis pabista</i>	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
Disco oral	-18.3	+19.3
Columnela	-18.0	+19.7
Disco pedal	-16.6	+18.6
Promedio	<u>-17.6</u>	<u>+19.2</u>

Análisis de metales

La compleja naturaleza del flujo hidrotermal en la Cuenca de Guaymas pone a disponibilidad a los organismos de la comunidad hidrotermal una amplia gama de metales traza disueltos. En el caso de la anémona *Paraphelliactis pabista*, a través de un análisis de ICP masas aplicado a cinco muestras de tejido del organismo de estudio (dos réplicas del disco oral, dos del tejido de la columnela y solo una muestra del disco pedal) reveló su amplia capacidad en la bioconcentración de 16 metales pesados. En la tabla 2, se enlistan los metales identificados en orden decreciente, según las concentraciones promedio en el tejido del disco oral.

El elemento de mayor concentración es Ba (con concentraciones máximas de hasta miles de mg kg^{-1}) seguido por Al, Fe, Sr, Zn, Mn (hasta cientos de mg kg^{-1}) y As, Pb, Ti, Cu, Cr (hasta decenas de mg kg^{-1}). El contenido de Cu, Se, Sb, V y Ni no excedió los 10 mg kg^{-1} , mientras que Co presentó el menor contenido por lo general menos de 1 mg kg^{-1} .

En la siguiente tabla se enlistan los valores obtenidos en cada sección de la anémona de mayor a menor concentración, así como los valores estadísticos (promedio, desviación estándar y varianza), éste último, para establecer si hay diferencias significativas entre las concentraciones de las diferentes secciones de la anémona.

Tabla 2. Concentración de metales (mg kg^{-1}) en cada sección de tejido del organismo de estudio *Paraphelliactis pabista*, así como el promedio (\bar{x}), desviación estándar (σ) y análisis de varianza (ANDEVA), si $p > 0.05$ (no hay diferencias significativas), si $p < 0.05$ (hay diferencias).

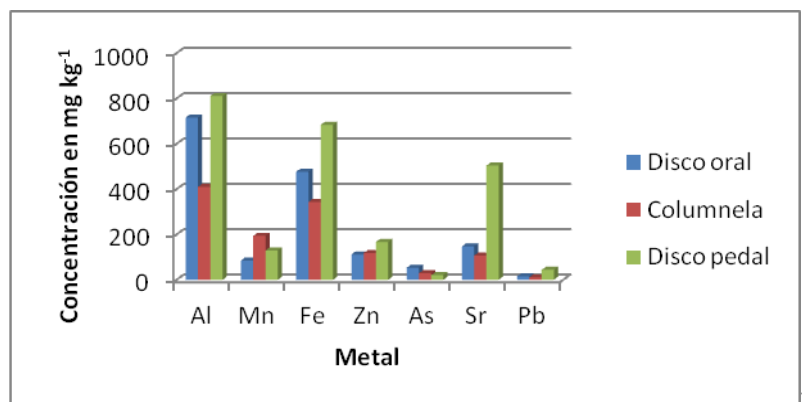
METAL	DISCO ORAL ($\bar{x} \pm \sigma$)	COLUMNELA ($\bar{x} \pm \sigma$)	DISCO PEDAL (\bar{x})	ANDEVA (valor-p)	CONCLUSIÓN	PROMEDIO
-------	--	---------------------------------------	------------------------------	---------------------	------------	----------

Ba	3561.47±108.11	2295.30±87.44	14247.43	0.0002	Hay diferencias significativas entre las tres secciones	
Al	716±1.03	410.56±50.49	810.82	0.0176	Hay similitud entre disco oral y pedal	
Fe	476.74±106.68	342.93±23.26	683.80	0.1327	No hay diferencias significativas	501.15
Sr	146.97±2.80	107.07±0.62	504.24	0.0001	Hay diferencias significativas entre las tres secciones	
Zn	111.67±7.48	118.23±8.07	167.16	0.0516	Hay similitud entre disco oral y columna	
Mn	85.34±0.79	194±1.58	129.51	0.0003	Hay diferencias significativas entre las tres secciones	
As	53.43±1.42	29.03±1.67	20.5	0.0051	Hay diferencias significativas entre las tres secciones	
Pb	15.65±0.63	10.66±0.59	44.08	0.0009	Hay diferencias significativas entre las tres secciones	
Ti	11.48±4.55	11.43±0.03	12.50	0.9596	No hay diferencias significativas	11.80
Cu	8.45±0.04	8.65±0.08	12.72	0.0005	Hay similitud entre disco oral y columna	
Cr	6.88±0.54	9.08±0.47	10.62	0.0472	Hay similitud entre columna y disco pedal	
Se	5.73±0.22	5.47±0.42	6.16	0.4125	No hay diferencias significativas	5.79
V	4.62±3.93	1.97±0.23	2.93	0.6843	No hay diferencias significativas	3.17
Ni	3.08±0.23	3.43±0.16	3.13	0.3581	No hay diferencias significativas	3.21
Sb	2.16±0.0	1.41±0.02	4.92	0.0001	Hay diferencias significativas entre las tres secciones	
Co	0.28±0.08	0.31±0.07	0.13	0.3411	No hay diferencias significativas	0.24

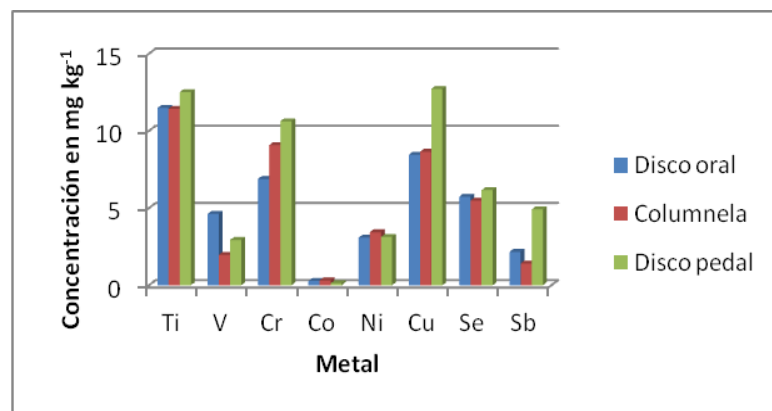
Como se puede observar en la tabla 2, los metales que no tuvieron diferencias estadísticamente significativas entre las tres secciones del organismo de estudio fueron: Fe, Ti, Se, V, Ni y Co; por otra parte, los metales con concentraciones diferentes en los tres tejidos son: Ba, Sr, Mn, As, Pb, Sb; otro caso es el de Zn y Cu, que presentan concentraciones similares en el disco oral y la columnela; solo en el caso del Cr, se obtuvieron concentraciones sin diferencias significativas entre la columnela y disco pedal. El Al fue el único metal con concentraciones similares en el disco oral y pedal.

En términos generales, el disco oral y el disco pedal muestran mayor capacidad de bioconcentración de metales pesados, que la columnela (Tabla 3 y 4 nota: las concentraciones de Ba no se graficaron junto con los demás metales, pues las concentraciones son sumamente elevadas –ver tabla 2–). El disco oral, que es la estructura de mayor exposición a la absorción de metales disueltos en el medio, presenta cierta selectividad por algunos elementos tales como el Al, Fe, Ti; en tanto que el disco pedal muestra mayor afinidad hacia el Al, Fe, Sr, Ti, Cr y Cu. La estructura de la columnela, en contraste, nos muestra un patrón reconocible de concentraciones de metales.

Tabla 3 y 4. Concentración de metales (mg kg^{-1}) en las tres secciones anatómicas analizadas de la anémona *Paraphelliactis pabista*.



3



4

Los 16 elementos estuvieron presentes en las tres partes anatómicas de la anémona: disco oral, columnela y disco pedal. Sin embargo, se distinguen diferentes grados de bioconcentración en los tejidos de dichas regiones

anatómicas, en tanto que otros elementos parecen concentrarse en forma similar. En el primer caso destacan el As (53.43 mg kg⁻¹) y V (4.62 mg kg⁻¹) los cuáles tienen mayores concentraciones en el disco oral. Por su parte, la columna presentó valores superiores de Mn (194 mg kg⁻¹) que en el resto de los tejidos. En el tercer caso, el disco pedal, el Al (810 mg kg⁻¹), Cr (10.6 mg kg⁻¹), Fe (683.8 mg kg⁻¹), Cu (12.72 mg kg⁻¹), Zn (167.16 mg kg⁻¹), Sr (504 mg kg⁻¹), Sb (4.92 mg kg⁻¹), Ba (14247 mg kg⁻¹) y Pb (44 mg kg⁻¹) son superiores en relación a las secciones restantes, y en el último caso, los metales que tuvieron concentraciones similares en los 3 diferentes tejidos de la anémona son: Ti (disco oral: 11.5 mg kg⁻¹, columna: 11.5 mg kg⁻¹, disco pedal 12.5 mg kg⁻¹) Ni (disco oral: 3.08 mg kg⁻¹, columna: 3.43 mg kg⁻¹, disco pedal: 3.13 mg kg⁻¹) Co (disco oral: 0.28 mg kg⁻¹, columna: 0.31 mg kg⁻¹, disco pedal: 3.13 mg kg⁻¹) Se (disco oral: 5.73 mg kg⁻¹, columna: 5.47 mg kg⁻¹, disco pedal: 6.16 mg kg⁻¹) (ver tablas 7 y 8).

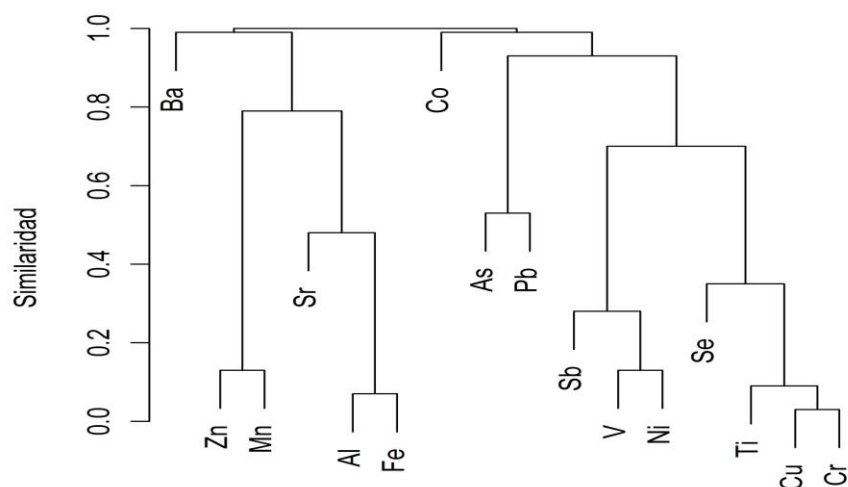
Se reconoció un patrón de bioconcentración en las tres estructuras anatómicas analizadas de *P. pabista* consistente en ocho subconjuntos de metales (Tabla 5 y Figura 5). El primer conjunto incluye Ba-Al-Fe; el segundo el Mn-Zn-Sr; el tercero se compone del As-Pb-Ti; el cuarto incluye al Cu-Cr; los conjuntos sucesivos incluyen elementos independientes de Se, V, Co, Sb y Ni.

Tabla 5. Patrón de bioacumulación de metales en *Paraphelliactis pabista*.

TEJIDO	PATRÓN DE BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS
DISCO ORAL	Ba>Al>Fe>Sr>Zn>Mn>As>Pb>Ti>Cu>Cr>Se>V>Ni>Sb>Co
COLUMNELA	Ba>Al>Fe>Mn>Zn>Sr>As>Ti>Pb>Cr>Cu>Se>Ni>V>Sb>Co
DISCO PEDAL	Ba>Al>Fe>Sr>Zn>Mn>Pb>As>Cu>Ti>Cr>Se>Sb>Ni>V>Co

Para determinar los grupos de acuerdo al grado de similitud entre sus concentraciones se realizó un dendograma con los valores de similitud Bray-Curtis (Figura 5), en el cuál se aprecian visualmente los grupos reconocidos en el patrón de bioconcentración. Los valores de los 16 elementos analizados, mostraron un amplio intervalo. El primer elemento que aparece de forma independiente es el Ba; en el primer grupo se incluye al Zn y Mn; posteriormente aparece el Sr de forma independiente, el segundo grupo es el Al y Fe; enseguida se encuentra el Co como independiente, el grupo subalterno es al As y el Pb. Por otra parte, el Sb de manera independiente, seguido del V y el Ni los cuáles forman un grupo; en el caso del Se y el Ti aparecen de manera independiente, y finalmente el Cu y Cr se incluyen en un mismo grupo.

Figura 5. Dendrograma (valores de similitud Bray-Curtis) entre los metales analizados en la anémona *Paraphelliactis pabista*.



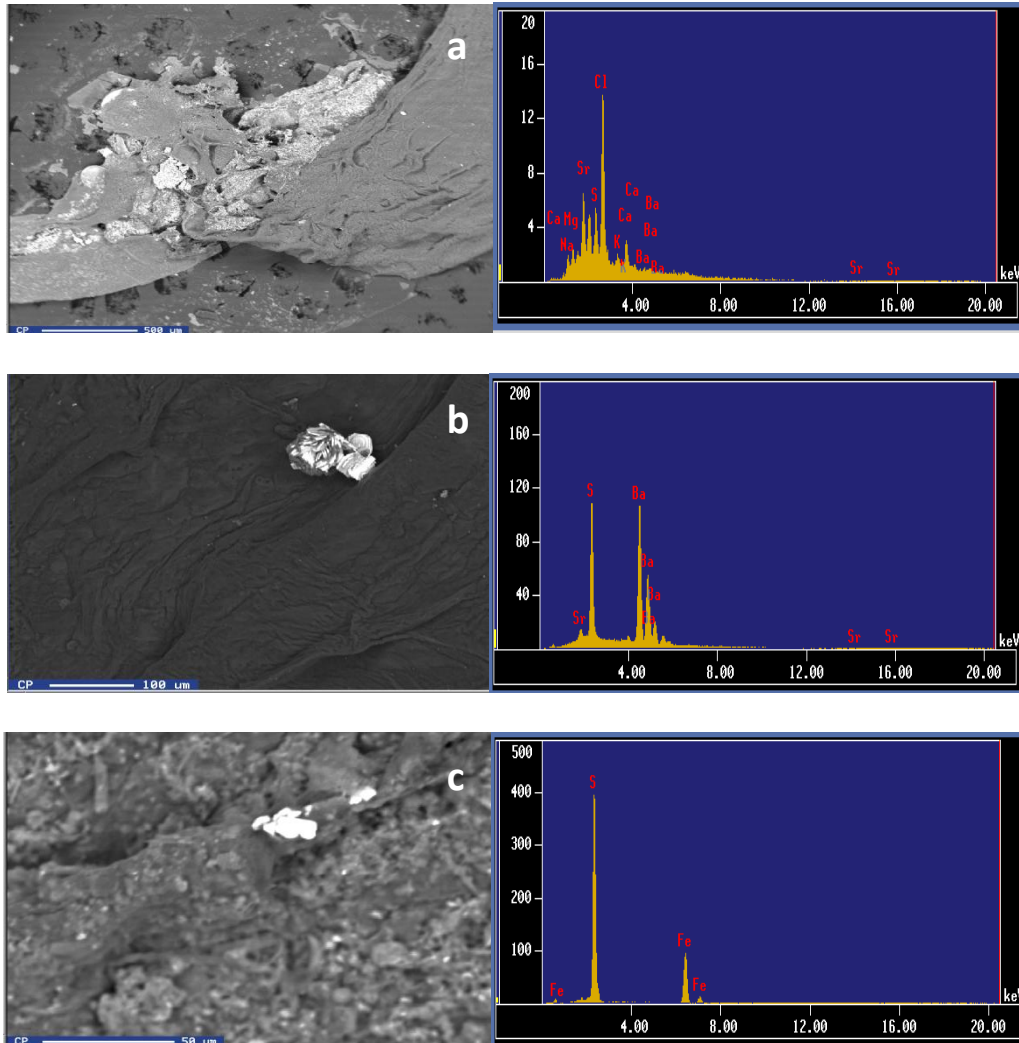
Microanálisis de partículas

Las partículas identificadas en todas las observaciones realizadas a lo largo de cada porción de tejido perteneciente a las diferentes secciones de la anémona *Paraphelliactis pabista*, así como del sobrenadante obtenido al realizar el lavado de cada tejido, da una idea del predominio de las típicas partículas suspendidas en un área particular cercana a las fuentes hidrotermales. Los tipos de partículas más abundantes observadas, sus micrografías electrónicas, así como la composición elemental se muestran en las figuras (6, 7, 8, 9, 10 y 11).

Una característica común de todos los sitios hidrotermales activos, es que las partículas en suspensión son ricas en metales Fe y oligoelementos. Sin embargo, en cada tejido y muestra de sobrenadante del organismo de estudio, hay diferencia en la incidencia de las partículas. En general el mineral que se observó con mayor frecuencia fue la barita ($BaSO_4$), seguido de Fe, aluminosilicatos, Sr, y con menor presencia el Cr, Ti y pirita (FeS_2).

En el tejido del disco oral (figura 6) los minerales que se observaron fueron: barita; pirita y aluminosilicatos. Es importante mencionar que al realizar un corte transversal en el disco oral, el tejido que se pudo analizar fue la epidermis, mesoglea y la gastrodermis. La pirita se observó en la gastrodermis, es decir, en la parte interna del organismo (figura 4).

Por su parte, el tejido de la columna (figura 7) presentó los siguientes minerales: barita, Fe en combinación con Cr, silicatos (el tejido que se pudo analizar fue la epidermis). En la epidermis y en la parte interna del tejido del disco pedal (figura 8) se observaron partículas de Fe; esta sección fue la única en donde se observó titanio. En el sobrenadante del disco oral (figura 9), se pudo observar barita en combinación con estroncio y silicatos. En el sobrenadante de la columna (figura 10) y en el sobrenadante del disco pedal (figura 11) solo se observó barita en combinación con estroncio.



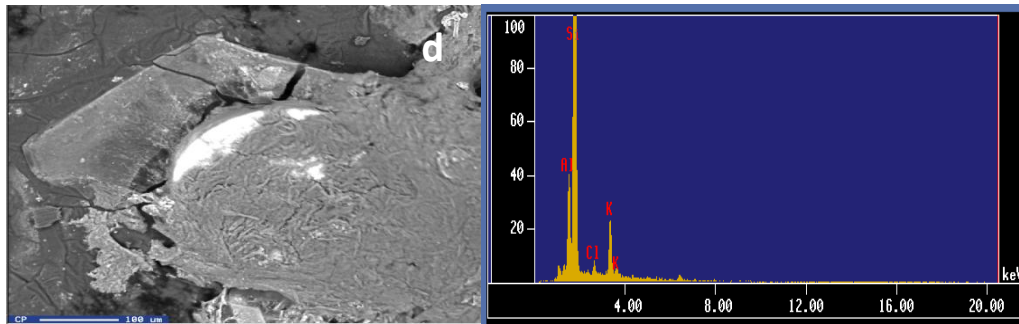
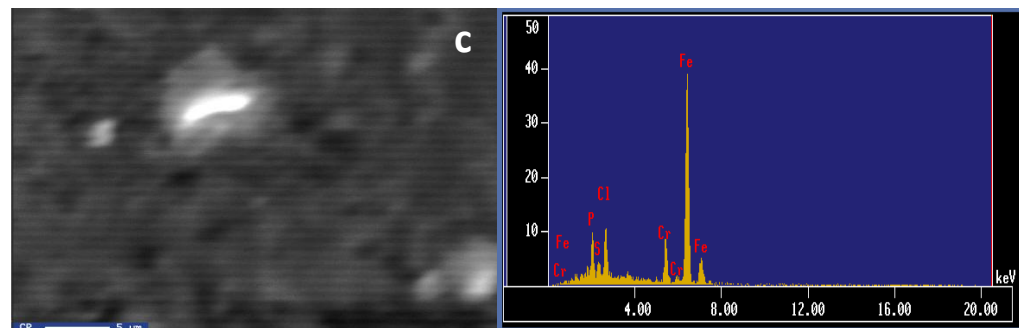
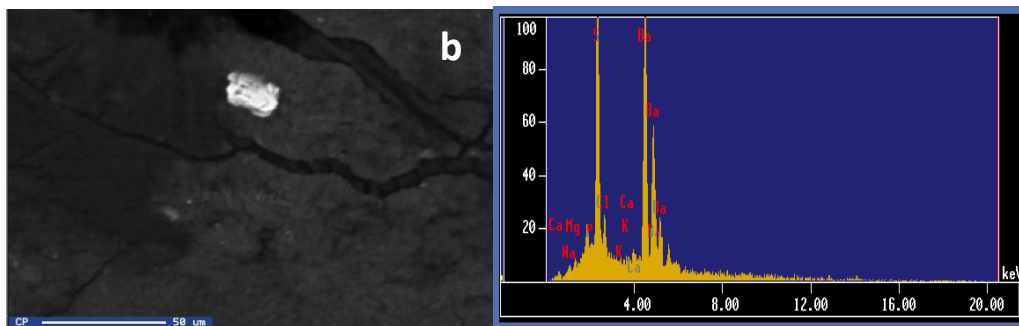
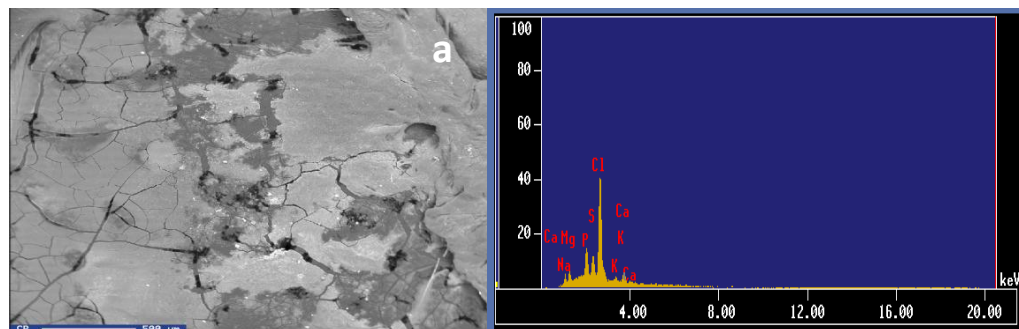


Figura 6. Micrografías electrónicas y composición elemental de partículas observadas en el tejido del disco oral de *Paraphelliactis pabista*. (a) Muestra total del tejido del disco oral; (b) barita en combinación con Sr; (c) pirita; (d) aluminosilicato.



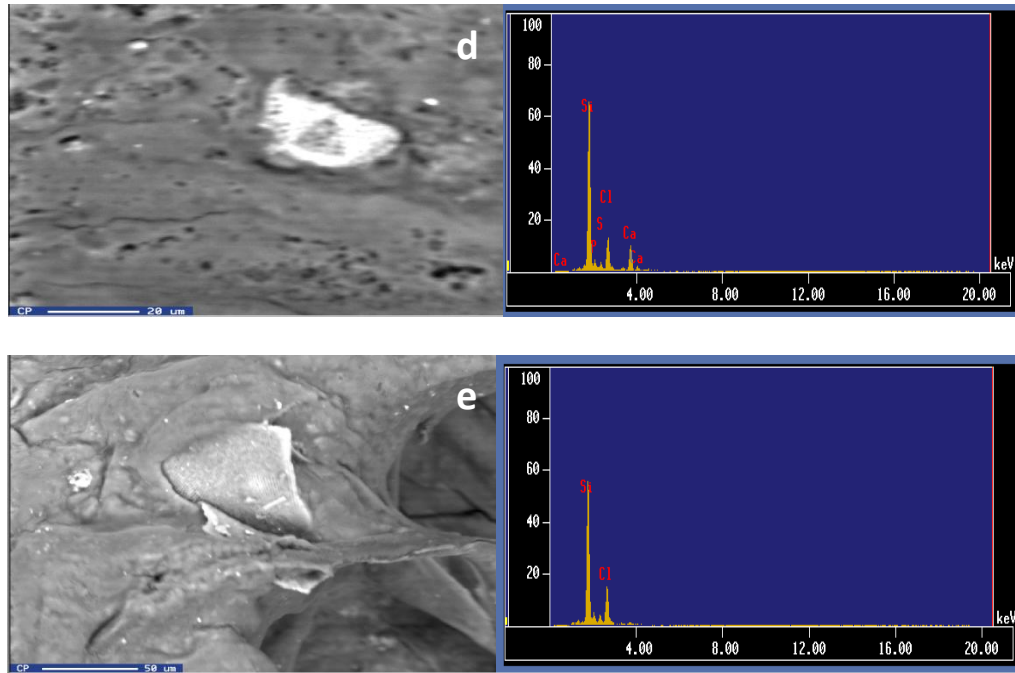
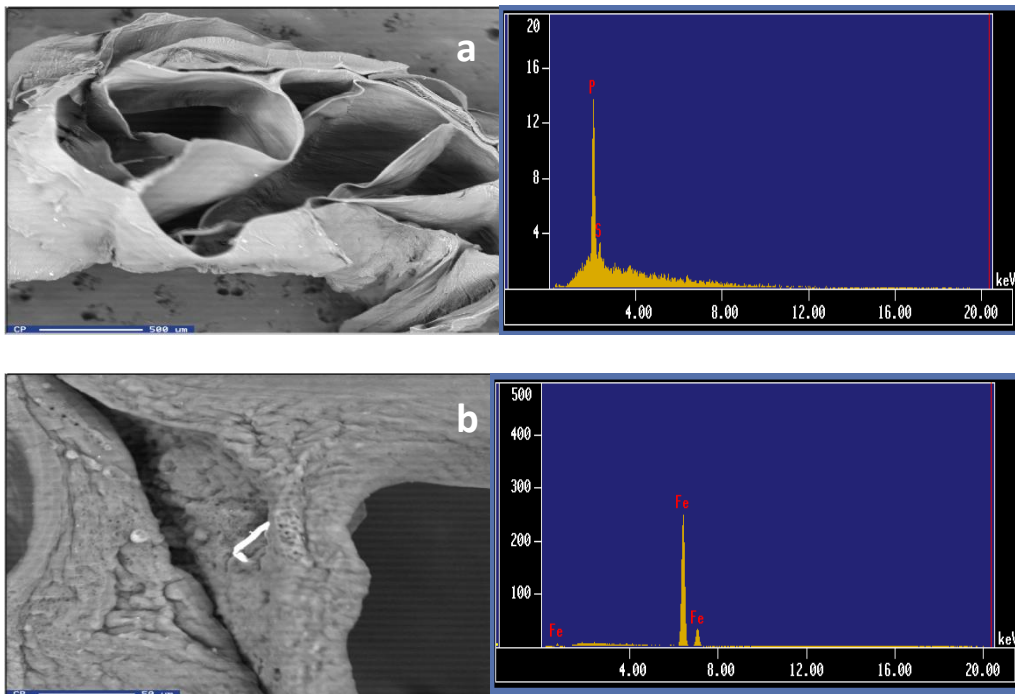


Figura 7. Micrografías electrónicas y composición elemental de las partículas observadas en el tejido de la columna de *Paraphelliactis pabista* (a) Muestra total del tejido de la columna; (b) barita; (c) Fe en combinación con Cr; (d) silicato; (e) silicato.



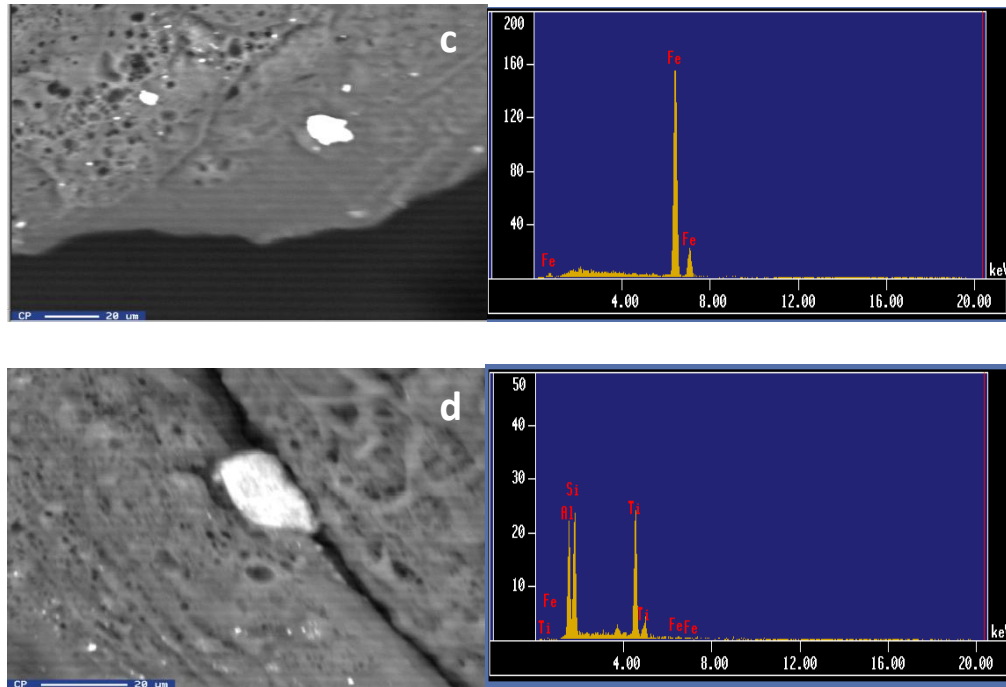
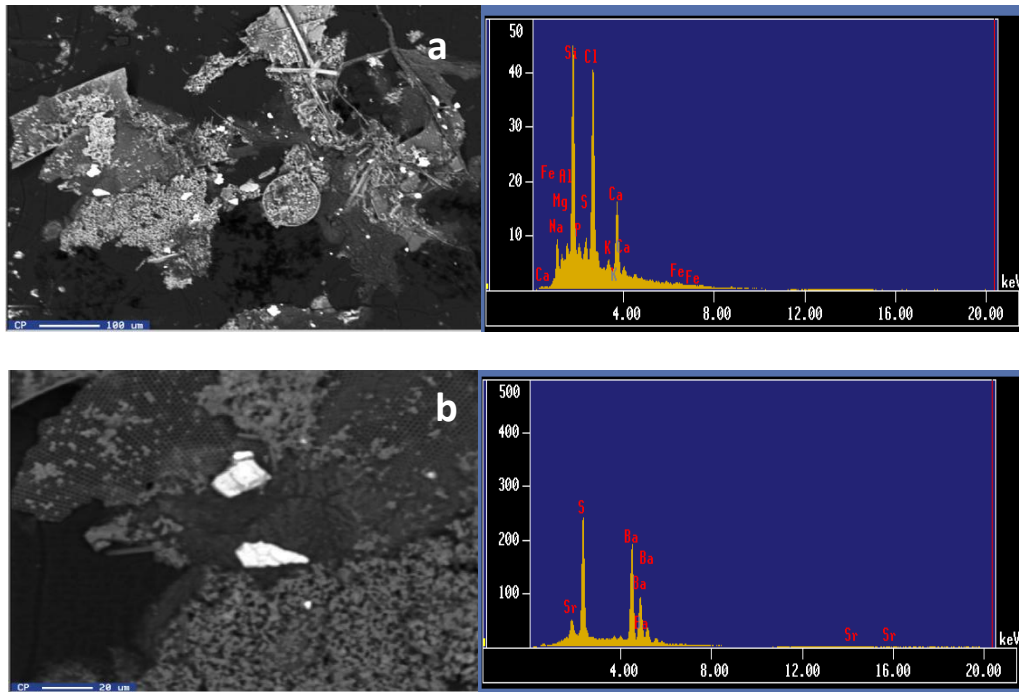


Figura 8. Micrografías electrónicas y composición elemental de las partículas observadas en el tejido del disco pedal de *Paraphelliactis pabista* (a) Muestra total del tejido del disco pedal; (b) y (c) Fe; (d) aluminio-silicato en combinación con Ti y Fe.



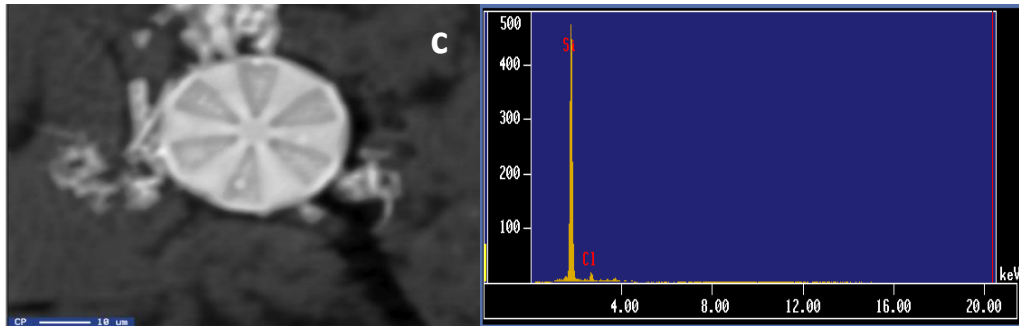


Figura 9. Micrografías electrónicas y composición elemental de las partículas observadas en el sobrenadante del disco oral de *Paraphelliactis pabista* (a) Muestra total del sobrenadante del disco oral; (b) barita en combinación con Sr; (c) silicato.

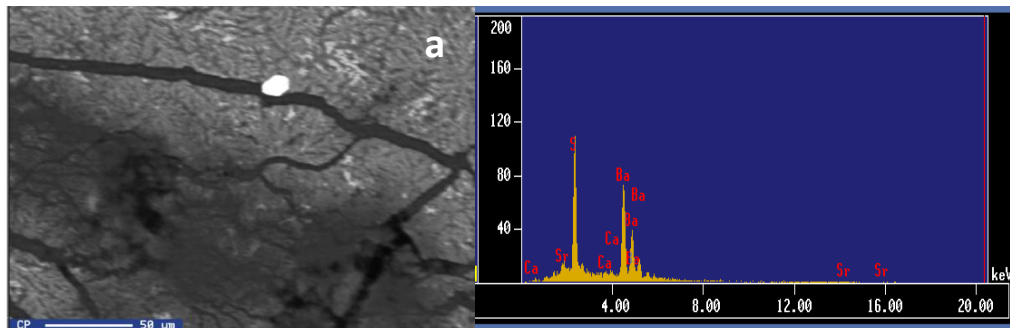


Figura 10. Micrografía electrónica y composición elemental de partículas observadas en el sobrenadante de la columna de *Paraphelliactis pabista* (a) Barita.

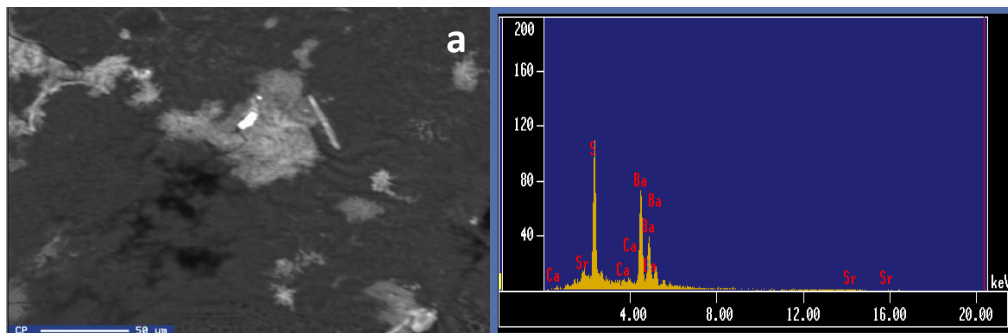


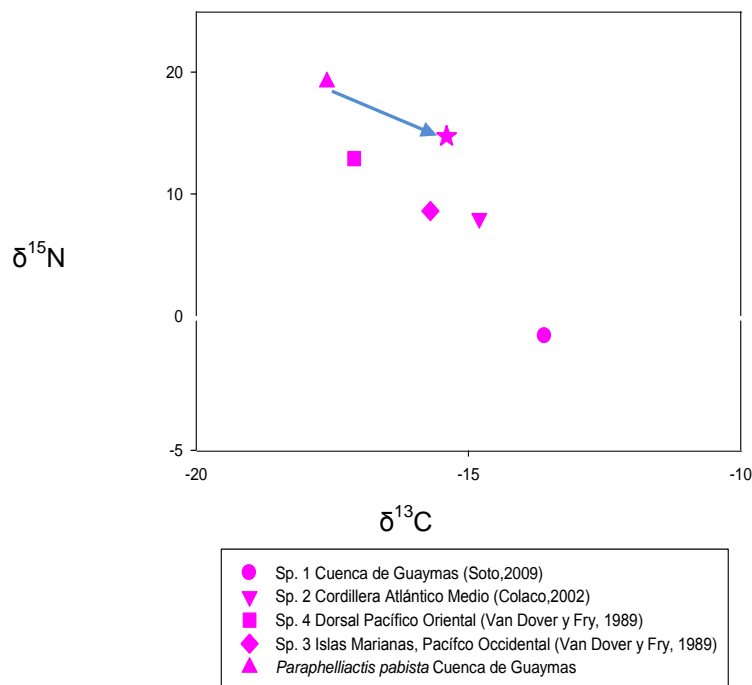
Figura 11. Micrografía electrónica y composición elemental de las partículas observadas en el sobrenadante del disco pedal de *Paraphelliactis pabista* (a) Barita en combinación con Sr.

Discusión

Análisis isotópico de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$

Las anémonas son comunes en los sistemas hidrotermales (Grassle, 1986). En la Cuenca de Guaymas, hay por lo menos tres especies reportadas hasta el momento *Parantosactis denhartogi* (López-González *et al.*, 2003), *Paraphelliactis pabista* y *Phelliactis callyclus* (Sanamyan y Sanamyan, 2007), pero sólo *P.denhartogi* se presenta exclusivamente en sistemas hidrotermales, mientras que las otras dos son denominadas fauna abisal no asociada a estos sistemas. En la literatura existen valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en actinias de diversos sistemas hidrotermales y de mar profundo. En la figura 12, se grafican para propósitos comparativos, los siguientes valores:

Figura 12. Representación gráfica de las señales isotópicas de actinias de diferentes sitios (sistemas hidrotermales y una especie abisal) en comparación con los obtenidos en *Paraphelliactis pabista* de la Cuenca de Guaymas. La flecha indica el cambio esperado por fraccionación en $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ entre los niveles tróficos de organismos heterótrofos con una dieta microbiana (+1.0‰, $\delta^{13}\text{C}$, 3.3 ‰, $\delta^{15}\text{N}$).



Como se puede observar, la anémona *Paraphelliactis pabista* tiene una señal isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ de -17.6‰, cuyo valor al restarle -1.0 ‰ (-16.6) por fraccionamiento del carbono, se encuentra dentro del intervalo de valores registrados en la anémona del sitio hidrotermal activo en el Pacífico Occidental (Van Dover y Fry, 1989); colectada a una profundidad de 3650 m. (tabla 6) y con una señal isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ -15.7 ‰. Esta señal corresponde a organismos hidrotermales desprovistos de endosimbiontes tales como poliquetos paralvinellidos, lapas, percebes,

camarones y cangrejos de dicha región del Pacífico. Estos invertebrados presentan valores de $\delta^{13}\text{C}$ de -11 a 17 ‰ y un pequeño rango de valores de $\delta^{15}\text{N}$ (+7 a +10 ‰). El valor de $\delta^{13}\text{C}$ en *P. pabista* también es cercano al de la anémona de la Cordillera del Atlántico Medio (Colaco, 2002) (tabla 6) cuya señal isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ pertenece al tercer grupo de organismos registrados por este autor, y que obtuvo valores similares a los observados para el cangrejo *Chaceon affinis*: $\delta^{13}\text{C}$ -17.68 y $\delta^{15}\text{N}$ +10.69 ‰, capturado fuera del campo de fumarolas, indican que ambos organismos ocupan un alto nivel trófico y se benefician en ocasiones, de las comunidades asociadas al sistema hidrotermal, pero no exclusivamente.

La señal isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ en *P. pabista* es de +19.2‰, al sustraer 3.3‰ (+15.9) el valor se hace más empobrecido y se asimila al registrado por Van Dover y Fry, 1989; en una anémona colectada en un sitio hidrotermal activo a 2600 m. del Pacífico Occidental, cuya señal isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ +15.7 ‰ y está en relación con los valores de carbono orgánico particulado y fitoplancton de latitudes similares; estos valores son típicos de organismos de mar profundo y han sido reportados en peces bentopelágicos y crustáceos de la región centro-norte y noreste del Pacífico, de poliquetos abisales del norte de la Bahía de Vizcaya, así como en camarones y peces de las profundidades del Golfo de México. Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ registrados en este estudio en fauna no asociada a ventilas hidrotermales de aguas profundas varió de +11.6 a 15.7‰ (Van Dover y Fry, 1989).

Por otra parte, las señales isotópicas de *P. pabista* son muy diferentes a las de la anémona endémica *Paranthosactis denhartogi* registrada por Soto (2009), la cual es un organismo suspensívoro observado comúnmente en los alrededores de las agregaciones de *R. pachyptila* en la Cuenca de Guaymas cuyo valor empobrecido de $\delta^{15}\text{N}$ (-0.6‰) coloca a este actinostolido cerca del nivel de consumidor primario de algún taxón de la fauna asociada, como el poliqueto *Paralvinella grasslei*. Por su parte, *P. grasslei* se caracteriza por un valor enriquecido de la señal isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ vinculados a una dieta microbiana que depende principalmente de las bacterias de vida libre.

En la siguiente tabla se presentan las características de los ambientes donde fueron colectadas las anémonas incluidas en la figura 12, así como datos adicionales, para su comparación con lo registrado en *P. pabista*.

Tabla 6. Determinaciones de señales isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) realizadas en anémonas de sistemas hidrotermales y zonas abisales del Océano Pacífico y Atlántico.

TAXON	SITIO	TIPO DE ZONA	COORDENADAS	PROFUNDIDAD	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	REFERENCIA
<i>Paranthosactis denhartogi</i>	Cuenca de Guaymas	Sitio asociado con depósitos de sulfuro	27°00'50" N y 111°24'15" O	2000 m.	-13.6‰	-0.6‰	Soto (2009)
Actinaria	TAG (Cordillera del Atlántico Medio)	Chimeneas negras de sulfuros masivos se producen en la unión entre el piso y la pared este del valle rift	26° 08' N	3600 m.	-14.79‰	+8.00‰	Colaço <i>et al.</i> , (2002)

Anémona	Dorsal del Pacífico Oriental	Sustrato duro, zona abisal	10°55'N a 11°55'	2600 m.	-17.1‰	+12.9‰	Van Dover y Fry (1989)
Anémona	Alice Springs (Ventilas Marianas)	Sitio hidrotermal activo	18°11'N	3650 m.	-15.7‰	+ 8.6‰	Van Dover y Fry (1989)
<i>Paraphelliactis pabista</i>	Oil Twon (Cuenca de Guaymas)	Sitio con presencia de hidrocarburos, cercano al sitio hidrotermal activo.	27.0117 30	2017 m.	-17.6‰	+19.2‰	El presente estudio (2011)

Recientemente McCarthy *et al.* (2010), realizaron un estudio de los fluidos hidrotermales que circulan a través de extensas áreas de la corteza oceánica superior. La mayoría de la circulación hidrotermal se produce a los costados de la cordillera donde los fluidos de baja temperatura fluyen a través de basaltos porosos. Estos fluidos contienen diferentes niveles de carbono orgánico disuelto, pero la fuente y la composición de este carbono son inciertas. En este sentido, reportan las mediciones de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{14}\text{C}$ en carbono orgánico disuelto de muestras en los costados y en el eje de los fluidos hidrotermales en la cordillera Juan de Fuca. El carbono orgánico disuelto en dos sitios independientes a los costados de los fluidos, se caracterizó por los bajos valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{14}\text{C}$, que oscilaron entre 26‰ y 35‰, y fueron consistentes con un origen quimioautotrófico. El valor de $\delta^{14}\text{C}$ de la materia orgánica disuelta de los costados de los fluidos también correspondía estrechamente a los de carbono inorgánico disuelto en las muestras del líquido mismo. En conjunto, los datos sugieren que las comunidades microbianas quimiosintéticas sintetizan carbono orgánico disuelto de carbono inorgánico en los fluidos de los costados. Se sugiere que la circulación de los costados de la cordillera, puede soportar una biosfera antigua (local) suficientemente extensa como para la exportación de carbono fijo importante, con carácter distinto de composición isotópica y, probablemente, al océano que cubre.

Por considerarlo de interés para la interpretación de nuestros resultados, a continuación se presentan los valores de isotopía obtenidos por McCarthy *et al.* (2010).

Tabla 7. Datos de las muestras y composiciones isotópicas (costados y eje de los fluidos hidrotermales en la cordillera Juan de Fuca)

	Agua de mar	Costados			En el eje	
Fecha de análisis	2560m CTD 2002	1026B 2002	BB-P4 2003	Axial 2002	Isla de Pascua 2002	Gruta oeste 2003
Temperatura (°C)	19	63	21	40	23	25
UODC (µM)	6.8	1.2	1.4	6.0	5.8	10.6

DOC (μM)	38	14	11	35	44	39
$\delta^{13}\text{C}\text{‰}$	-21.1(± 0.2)	-26.1 (± 2)	-34.5(± 2)	-18.6(± 2)	-19.4(± 2)	18.4(± 2)

De acuerdo a estos datos, los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en los fluidos hidrotermales del sistema Juan de Fuca (Océano Pacífico) al igual que los reportados en fauna asociada a estos sistemas se muestran enriquecidos y también son cercanos a los obtenidos en la anémona *P. pabista*.

Composición de carbono isotópico

El valor promedio calculado de $\delta^{13}\text{C}$ en la anémona *P. pabista* fue de -17.6‰, el cuál entra en el intervalo de organismos pertenecientes al sistema hidrotermal de Guaymas (entre -13.6‰ y -35.7‰), dependientes de la quimiosíntesis de los sulfuros. Aunque este valor de $\delta^{13}\text{C}$ en la anémona es muy cercano al del poliqueto alvinélido de la Cuenca de Guaymas *Paralvinella grasslei* ($\delta^{13}\text{C}$ de -16.8‰), el cual es un bacterióvoro, que se incluye dentro de un grupo de fauna no asociada a los sistemas hidrotermales, pero que pueden derivar algún beneficio nutricional de los reservorios de carbono orgánico que se producen en los chimeneas activas (Soto, 2009).

Por su parte, Colaço *et al.*, 2002, registra valores de $\delta^{13}\text{C}$ que oscilan entre -18‰ y -14‰ en organismos como: actiniaria (no especifican la especie), galateido *Munidopsis* sp. y el picnogónido Colossoendeidae, colectados en la periferia de las ventilas hidrotermales en la Cordillera del Atlántico Medio, la anémona tuvo una señal de $\delta^{13}\text{C}$ de -14.80‰ cuyo valor es cercano al observado en el cangrejo *Chaceon affinis* ($\delta^{13}\text{C}$ -17.68‰ y $\delta^{15}\text{N}$ +10.69‰) capturado fuera del campo de fumarolas; estos valores indican que ocupan un alto nivel trófico y se benefician en ocasiones de las comunidades asociadas al sistema hidrotermal, pero no exclusivamente (Colaço *et al.*, 2002).

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, podemos deducir que la anémona *Paraphelliactis pabista* es un organismo suspensívoro, cuya señal isotópica de ^{13}C indica que probablemente se beneficia nutricionalmente del carbono orgánico derivado de microorganismos de vida libre presentes en el sistema hidrotermal, aunque no exclusivamente.

Es importante mencionar que *P. pabista* se encontró adherida por el disco pedal a una valva de *Vesicomya*, lo cual no es una coincidencia, ya que es una característica de selectividad por sustrato registrada en la especie *Paraphelliactis pabista* (Sanamyan y Sanamyan, 2007). Por otra parte, cabe recordar que el sistema hidrotermal de la Cuenca de Guaymas contiene hidrocarburos de petróleo con un contenido de C_{org} en la superficie de los sedimentos que fluctúan desde 0.15% (zona de alta temperatura) a 2.23% (zona de baja temperatura) (Bogdanov *et al.*, 2004 *vide* Demina *et al.*, 2009) y llega hasta el 6.21% en algunos depósitos saturados de hidrocarburos (Demina *et al.*, 2009). En un sistemas con tales características, se infiere que la larva plánula (segundo estadio del ciclo de vida) es altamente selectiva en la elección del sustrato en donde se desarrolla, pues aunque en los sistemas hidrotermales los organismos tienen una capacidad de adaptación que está determinada genéticamente y les permite utilizar los mecanismos bioquímicos necesarios para enfrentar los cambios que ocurren en el medio. Se sabe que en un gradiente del complejo ambiental el organismo es capaz de vivir indefinidamente en un cierto

intervalo, fuera de este hacia ambos extremos, puede sobrevivir sólo por un lapso determinado. La primera de estas porciones se denomina zona de compatibilidad, de tolerancia o de capacidad de adaptación; a las porciones extremas del gradiente se les conoce como zonas de resistencia o letales; en estas últimas, el equilibrio dinámico establecido entre el organismo y el medio se rompe y sobreviene la muerte. En las zonas de resistencia, los animales, aún cuando están estresados, son capaces de tolerar las influencias ambientales adversas aunque solo pueden hacerlo dentro de ciertos márgenes, que dependen de la capacidad del organismo, de la intensidad del factor y del tiempo de exposición (Espina y Vanegas, 1996).

Composición de nitrógeno isotópico.

Paraphelliactis pabista presenta un valor promedio enriquecido de $\delta^{15}\text{N}$ de +19.2‰. Este valor pertenece a un nivel trófico elevado, aún si se considera el cambio de +3.3‰ causado por el tipo de dieta microbiana atribuido a un organismo suspensívoro o filtrador, como es el caso de esta anémona.

Las composiciones isotópicas de nitrógeno de los consumidores de ventilas, tienen un rango que va desde -3.0 a +12.1‰ (Van Dover y Fry, 1989), y -0.01 a 8.7 (Soto, 2009). En general los valores empobrecidos de $\delta^{15}\text{N}$ en todos los organismos asociados a los sistemas hidrotermales en comparación a los no asociados, sugieren que la fuente de nitrógeno es de origen local; por ejemplo, a través de su simbiosis con bacterias autótrofas (Van Dover y Fry, 1989), lo cual es contrastante al valor enriquecido de $\delta^{15}\text{N}$ obtenido en *P. pabista*. Por su parte, los valores enriquecidos de $\delta^{15}\text{N}$ (+14.5 a +17.9‰) están relacionados con altos consumidores y detritívoros en la red alimenticia del mar profundo, los cuales pueden beneficiarse de los sistemas hidrotermales a través de la producción de la masa microbiana o de organismos de las ventilas en descomposición (Soto, 2009).

De acuerdo con la señal de $\delta^{13}\text{C}$, *Paraphelliactis pabista* obtiene beneficio nutricional del sistema hidrotermal, pero no de forma exclusiva, esto se ve reflejado con el valor enriquecido de $\delta^{15}\text{N}$ (+19.2‰) pues al ser un organismo suspensívoro, su dieta incluye también a las partículas orgánicas que provienen de la superficie. La anémona a su vez es un organismo suspensívoro; es decir que captura las partículas suspendidas y entran por la cavidad gastrovascular llamada celenterón; a su vez, la gastrodermis en el interior de éste contiene abundantemente células productoras de enzimas que facilitan la digestión y así, en ausencia de un verdadero sistema circulatorio, la cavidad gastrovascular distribuye el material parcialmente digerido; la mayoría de los cnidarios son carnívoros y otros contienen especies de algas simbióticas como hospederos, de las que pueden obtener energía. Normalmente, los tentáculos de las anémonas tienen nematocistos, los cuáles son células especializadas que les sirven para capturar presas que llevan a la región de la boca donde las ingieren (Brusca y Brusca, 2003). Es así que la anémona *P. pabista*, puede alimentarse de zooplancton batipelágico, esto puede explicar el porqué su señal isotópica de ^{15}N se muestra enriquecida.

Por su parte, la señal de $\delta^{15}\text{N}$ en fauna de mar profundo no asociada a los sistemas hidrotermales varía de +11.6 a 17.9‰ (Van Dover y Fry, 1989 y Soto, 2009); y los valores relativamente pesados (más positivos) de $\delta^{15}\text{N}$ de las especies bentónicas de aguas profundas indican que tienen dietas enriquecidas de ^{15}N ; además el nitrógeno orgánico particulado (PON) en las profundidades del Océano Pacífico tiene una composición enriquecida de ^{15}N (Van Dover y Fry, 1989).

Análisis de metales

Para llevar a cabo sus funciones, los organismos vivos requieren de diversos iones inorgánicos esenciales como son: Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^- . Otros iones, que también se hallan en el ambiente pueden ser tóxicos y sin alguna actividad biológica asociada como los metales pesados Pb^{2+} , Hg^{2+} , Cd^{2+} , Ag^+ ; o bien; son esenciales, pero son tóxicos cuando se encuentran en concentraciones relativamente elevadas (tal como Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+}). Para la mayoría de los organismos es extremadamente tóxico la exposición a un exceso de metales pesados como Cd, Hg, Cr, Ni y Pb. Los iones metálicos tóxicos suelen penetrar a la célula a través de los mismos sistemas de captación que utilizan los iones metálicos fisiológicamente importantes como Ca, Mg, Cu y Zn (Cervantes y Moreno, 1999). Los organismos pueden captar estos iones metálicos a través de diferentes mecanismos como la adsorción, difusión pasiva, transporte activo, difusión facilitada o transporte, la difusión de cambio, y la endocitosis (Newman, 1995 *vide* Newman y Unger, 2003). Estos mecanismos ocurren en las superficies corporales como la dermis, las superficies respiratorias como las branquias o el aparato digestivo (Newman y Unger, 2003; Cervantes y Moreno, 1999). En todos los casos, el proceso comienza con la interacción con las células de los tejidos (Newman y Unger, 2003). Se sabe también que la captación y toxicidad de metales pesados en los organismos acuáticos están influidas por factores fisicoquímicos y biológicos, así como por el tiempo de exposición y la concentración del metal o metales (Cervantes y Moreno, 1999).

La concentración de metales pesados en las muestras de tejido de la anémona *Paraphelliactis pabista*, presentan valores muy superiores a los registrados en agua de mar y agua de fluidos hidrotermales, como se observa en la tabla 5, en donde se muestra que el contenido de metales traza en los líquidos del primer y segundo tipo de fluidos hidrotermales son mucho más altos en relación con el agua de mar. Según estos datos, los fluidos del primer tipo se enriquecen en As, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, en relación con los fluidos del segundo tipo, pero deficientes en Ag, Cd, Sb y Zn. El Mn y Zn (Demina *et al.*, 2009).

Las condiciones geoquímicas del medio a través del sur de la Cuenca de Guaymas, al parecer, dan lugar a algunas peculiaridades en la composición del fluido. En particular, la concentración de Mn es notablemente superior a la concentración de Fe en los fluidos calientes del primer tipo en comparación con los líquidos calientes del segundo tipo (tabla 5). Esto difiere de los fluidos hidrotermales de la Cordillera del Atlántico Medio y 9°50' N de la Dorsal del Pacífico Oriental, donde el Fe se encuentra en mayores concentraciones que el Mn (Douville *et al.*, 2002; Von Damm, 2000 *vide* Demina *et al.*, 2009).

Tabla 8. Concentración de metales en las muestras de agua del sistema hidrotermal de la Cuenca de Guaymas mg kg^{-1} (media \pm desviación estándar) (Demina *et al.*, 2009)

Tipo de muestra de agua	Ag	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Pb	Sb	Zn	Al
-------------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Primer tipo (n=2): caliente pH 5.40	0.002± 1	0.524± 80	0.0022 48±1	0.112± 130	0.3944± 230	0.042± 0.16	1.1505 1±2.5	826.608 ±1.2	2.3954 ±3.6	0.085.±5	0.036 5±11	0.021± 0.11	0.351
Segundo tipo (n=2): templada pH 7.49	0.028± 8	0.075± 50	0.0045 ±1	0.0943 ±110	0.2439± 120	0.0184± 0.07	0.4189 ±1.4	1047.76± 2.32	0.0813 ±0.06	0.0332± 9	0.060 8 ±13	1.2257 ±1.24	0.027
Agua de mar (LI, 1991)	2.158 ⁻⁰⁵	0.016	7.868 ⁻⁰⁴	1.768 ⁻⁰⁵	2.595 ⁻⁰³	1.9062 ⁻⁰⁴	2.234 ⁻⁰⁴	1269.0864	5.494 ⁻⁰⁵	2.072 ⁻⁰⁵	1.461 ₀₃	7.1907 ₀₄	5.396 ⁻⁰⁴

La marcada diferencia entre los valores de *P. pabista* con respecto a los datos antes mencionados, se debe al fenómeno de bioconcentración. Este es el proceso más simple de absorción de una sustancia química por un organismo directamente desde el medio abiótico que da como resultado una mayor concentración en el organismo, aunque en ocasiones la concentración puede o no ser superior a la fuente (Gray y Elliott, 2009).

Los valores registrados en la anémona *Phelliactis pabista*, de Demina *et al.*, 2009, se tomaron como referencia, ya que son de un organismo muy similar al que se estudio en la presente investigación. Las similitudes o diferencias entre ellos, en orden de magnitud, se presentan a continuación:

Tabla 9. Concentraciones de cada metal analizado en mg kg⁻¹ de la anémona *Paraphelliactis pabista* y sus diferencias en órdenes de magnitud en relación con los valores de la anémona *Phelliactis pabista* de Demina *et al.*, 2009.

Metal	Este estudio, 2011	Demina <i>et al.</i> , 2009
Ba	3561.47	140
Al	716	nd
Fe	501.15	8800
Sr	146.97	nd
Zn	11.67	3317
Mn	85.94 (9 veces <)	172.1
As	53.43 (5 veces >)	8.15
Pb	15.65	70.9
Ti	11.48	Nd
Cu	8.45 (7 veces <)	69.7

Cr	6.88 (5 veces >)	1.29
Se	5.8 (4 veces >)	1.81
V	3.17	Nd
Ni	3.21	Nd
Sb	2.16 (1 >)	1.83
Co	0.24 (=)	0.28

El primer conjunto en relación con el patrón de bioacumulación incluye al Ba, Al y Fe. En el caso del bario es también el metal con mayor concentración en todas las secciones analizadas del organismo de estudio (con un máximo de 14.247 mg kg⁻¹ -dato de solo una réplica- en el tejido del disco pedal, 2295.30 mg kg⁻¹ ($\sigma=87.44$) en la columna y 3561.47 mg kg⁻¹ ($\sigma=108.11$) en el disco oral. Las concentraciones en las tres diferentes secciones tienen diferencias significativas ($p < 0.05$). Demina, 2009, registra 140 mg kg⁻¹ de Ba, en una Actinia de la Cuenca de Guaymas y un valor máximo de 1375 mg kg⁻¹ en *Rifita pachyptila*, y 1440 mg kg⁻¹ en *Nuculana grasslei*, que son especies directamente asociadas al sistema hidrotermal (Soto, 2009); los valores del organismo de estudio son notablemente mayores con relación a los mencionados anteriormente lo cual puede deberse a que de forma selectiva los antozoos acumulan este metal, pues en corales especialmente en especies hermatípicas cerca de la costa, parece que, de forma selectiva acumulan Ba con un máximo de 85.0 mg kg peso seco. Los corales al parecer pierden bario después de morir (Livingston y Thompson, 1971 *vide* Gray y Eliot, 2009). Además, en recientes investigaciones, se ha demostrado la gran disposición de este metal, ya que la mayoría de aguas oceánicas son saturadas con respecto a la barita. Los niveles máximos de saturación en los océanos con respecto a la barita es de: 63% en el Océano Atlántico, 88% en el Índico y 111% en el Pacífico (Rushdi *et al.*, 2000 *vide* Neff, 2002). La profundidad de máxima saturación de la barita es 1000 m. en el Atlántico y 2000 m. en el Océano Índico y Pacífico. Aunque la concentración saturada de bario en el agua de mar, está muy por debajo de las concentraciones que podrían ser tóxicas para los organismos marinos (Neff, 2002).

En los valores de aluminio de *P. pabista*, hubo similitud entre el disco oral y pedal, además son notablemente superiores a los registrados en la literatura, por ejemplo, en diferentes especies de celenterados los valores son de 453 mg kg peso seco y 80.0 mg kg peso seco en la anémona *Tealia felina*, la cuál es una especie común en las costas del noroeste de Europa, (Eisler, 2010). En el mejillón *Bathymodiolus azoricus* y el camarón *Mirocaris fortunata*, ambas especies presentes en los sistemas hidrotermales de la Cordillera del Atlántico Medio, los valores registrados van de 0.01 a 0.10 mg kg⁻¹ (Kádár *et al.*, 2005), los cuáles son considerablemente menores a los de el ejemplar estudiado. Cabe señalar que la importancia del Al en los celenterados y otros organismos marinos no se comprende perfectamente (Eisler, 2010).

En relación con los valores de hierro, no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las diferentes secciones de la anémona analizada. El promedio fue de $501.15 \text{ mg kg}^{-1}$, el cuál es menor al valor de 8800 mg kg^{-1} , registrado en la anémona *Phelliactis pabista* (Demina *et al.*, 2009); por su parte, altas concentraciones de hierro se han observado entre los corales ahermatípicos del océano profundo (arriba de 6500.0 mg kg), además se registra un valor de 730 mg kg en la anémona *Tealia felina* (Eisler, 2010); éste último, es cercano a los valores de *P. pabista*; de igual manera estos coinciden con los de *Riftia pachyptila*, los cuáles fluctúan entre 215 y un valor máximo de 785 mg kg^{-1} (Demina *et al.*, 2009).

En el segundo grupo del patrón de bioacumulación se encuentran el Mn, Zn, y Sr. En cuanto al manganeso, los valores registrados en *P. pabista*, son mayores a los de la anémona *Anemonia sulfata* (especie común que habita cerca de la costa) la cual, tiene una concentración de Mn de 21.3 mg kg^{-1} peso de cenizas (Eisler, 2010). Por otro lado, la concentración en la anémona *Phelliactis pabista*, es de 172.1 mg kg^{-1} (Demina *et al.*, 2009) la cuál entra en el rango de los valores del organismo de el ejemplar estudiado. De acuerdo con Lyle, (1976 en Carranza *et al.*, 1984), el manganeso es aportado al océano a través del flujo hidrotermal generado en las cordilleras de acreción cortical. Demina *et al.*, 2009, señala que los altos niveles de algunos metales esenciales (Cu y Mn) en los tejidos blandos del cangrejo *Munidopsis alvisca* parecen ser biomagnificados debido a sus peculiaridades metabólicas, así como por el tipo de alimentación; es decir, se aprovechan de otros organismos como el simbiotrófico *Riftia pachyptila* y las almejas *Archivesica gigas* y *Nuculana grasslei*. Demina *et al.*, 2009, menciona que *Phelliactis pabista* es un organismo depredador, que puede recoger los fragmentos de los tapetes bacterianos y materia orgánica en los campos de ventilación por lo que podrían mejorar su bioacumulación de metales.

Cabe señalar que el contenido de Mn en *P. pabista*, está en relación con lo que menciona Demina *et al.*, 2009, pues señala que en organismos dominantes del sistema hidrotermal de la Cuenca de Guaymas los valores de Mn son considerablemente más bajos que el contenido de Fe (de uno a dos órdenes de magnitud). Por otra parte, las menores concentraciones de Mn fueron en el disco oral de *P. pabista*, lo cual coincide con los valores más bajos de este metal detectados en los órganos exteriores tales como los tubos de *Riftia* y las conchas de *Archivesica* (Demina *et al.*, 2009).

El zinc presenta valores similares entre el disco oral y columna, la mayor concentración se registró en el disco pedal ($167.26 \text{ mg kg}^{-1}$). En general, estos valores son notablemente menores en comparación con el dato de una Actinia de la Cuenca de Guaymas (3317 mg kg^{-1}). Por el contrario, los datos de *P. pabista* entran en el rango de valores registrados en *Riftia pachyptila*, los cuáles fluctúan entre 40 y 410 mg kg^{-1} (Demina *et al.*, 2009). Se menciona que la elevada concentración de Zn en invertebrados de sistemas hidrotermales se asocia con la presencia de una proteína de transporte de sulfuro y con Zn en su sitio activo (Childress *et al.*, 1993; Flores *et al.*, 2005 *vide* Kádár, 2007). Es importante señalar que Kádár *et al.*, (2007) registró variaciones en los niveles tróficos específicos del nivel en la acumulación de metales esenciales en la comunidad hidrotermal de Menez Gwen de la dorsal Atlántica, que muestra una tendencia general de biomagnificación de Cu, Fe y Zn de los productores primarios (bacterias endosimbiontes) a primarios (especies simbiotas dependientes y suspensívoros) y consumidores secundarios (depredadores y carroñeros). Por otra parte, los niveles de Zinc en celenterados varían ampliamente. -los altos valores registrados son de 603.0 mg/kg peso seco en la anémona *Actinia equina* (habita en

costas mediterráneas y en el Atlántico nororiental) particularmente en especímenes colectados en la zona contaminada de metales; en la anémona *Tealia felina* el valor es de 280.0 mg kg⁻¹ peso seco (Ireland, 1973 *vide* Eisler, 2010).

El estroncio tuvo valores con diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las secciones de la anémona *Paraphelliactis pabista*. En general son mayores a lo registrado en la anémona *Tealia felina*, cuyo valor es de 9.5 mg kg⁻¹ (Eisler, 2010). Cabe señalar que no se encontraron estudios con registros de Sr en organismos asociados a los sistemas hidrotermales profundos.

El tercer grupo de acuerdo con el patrón de biocumulación incluye al As, Pb y Ti.

Las concentraciones de arsénico de *P. pabista* tuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las tres secciones analizadas. El valor más alto fue registrado en disco oral (53.43 mg kg⁻¹) el cuál es cercano al de la anémona *Tealia felina* de 72.0 mg kg⁻¹ (Eisler, 2010). Por su parte Demina *et al.*, 2009 registran una concentración de As de 8.15 mg kg⁻¹ en una anémona de la Cuenca de Guaymas, el cuál es menor a los valores registrados en nuestro organismo de estudio. El valor más alto registrado en el disco oral de *P. pabista* está en relación con la acumulación en mayor medida, con respecto a otros órganos, en el manto de *Archivesica gigas*, además *R. pachyptila*, tiene el contenido más alto de As, Cd, Mn, Se y Zn en el obturaculo que es el lociniato anterior (o ala) final orientado hacia los fluidos (Demina *et al.*, 2009).

Plomo. El organismo de estudio presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) en las tres secciones, aunque obtuvo mayor concentración de este elemento en el disco pedal. En la actinia de Demina, *et al.*, 2009 el valor es de 70.9 mg kg⁻¹, cuyo valor es mayor a los registrados en *P. pabista*. En general, los corales ahermatípicos de mar profundo contienen altas concentraciones de plomo reconocido entre los celenterados mientras que las medusas y corales de zonas costeras contienen las más bajas (Eisler, 2010). Las concentraciones más elevadas de Pb, han sido registradas en las secciones anatómicas más expuestas de los organismos estudiados por Demina *et al.*, (2009), lo cual es contrastante a lo registrado en el organismo de estudio.

El titanio no tuvo diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las diferentes secciones de la anémona. El rango de valores es de (11.43 y 12.50 mg kg⁻¹). Eisler, (2010) registró concentraciones de titanio en celenterados que oscilaron entre 330.0 mg kg⁻¹ peso seco, hasta 1400.0 en base a peso de cenizas, los cuáles son notablemente mayores en orden de magnitud (3 veces) respecto a *P. pabista*. La importancia de estas considerables acumulaciones de titanio en los organismos estudiados por Eirsler, (2010) se desconoce.

En el cuarto grupo en relación con el patrón de bioacumulación se encuentran el Cu y Cr.

Las concentraciones de cobre en *Paraphelliactis pabista* son similares entre el disco oral y la columna y mayores en el disco pedal. Demina *et al.*, (2009) registró una concentración de cobre en la actinia *Phelliactis pabista* de 69.7 mg kg⁻¹, lo cual es mayor a lo obtenido en *P. pabista*. Sin embargo, las concentraciones de la anémona analizada, entran en el rango de valores registrados en *Riftia pachyptila*, *Archivesica gigas* y *Bathymodiolus thermophilus*. Cabe mencionar que los valores registrados en la literatura son menores en las secciones anatómicas posteriores de

organismos asociados a los sistemas hidrotermales lo cual está en discordancia a lo registrado en *P. pabista*. Se han registrado concentraciones de cobre en celenterados como es el caso de la anémona *T. felina* (520 mg/kg peso seco) y en la medusa *Cyanea capillata* (68.0 mg/kg peso seco). Además, altas acumulaciones de cobre en invertebrados marinos se han observado en tejidos de moluscos y otras partes blandas, seguido por crustáceos, macrofitas, anélidos, tunicados, algas, equinodermos y celenterados, en esa secuencia general (Eisler, 2010).

En relación al cromo, hay similitud de concentraciones entre la columna y el disco pedal, y se obtuvo una concentración menor en el disco oral. Por su parte, las concentraciones de cromo en las colecciones de campo de celenterados oscilan entre <0.12 a 35.0 mg/kg peso seco (Eisler, 2010), los cuáles son mayores a lo registrado en *P. pabista*. Demina *et al.*, (2009), registró en la anémona *Phelliactis pabista* una concentración de cromo de 1.29 mg kg⁻¹; evidentemente los valores registrados en el organismo de estudio son mayores en 1, orden de magnitud. En relación con los organismos restantes analizados por Demina *et al.*, (2009).

Entre los elementos que no mostraron un patrón claro de bioacumulación, figuran el Se, V, Co, Sb y Ni.

Paraphelliactis pabista presentó un promedio de 5.8 mg kg⁻¹ de selenio, pues no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las tres secciones de la anémona; este valor fue mayor al obtenido en *Phelliactis pabista* que fue de 1.81 mg kg⁻¹ (Demina *et al.*, 2009). Sin embargo, en *R. pachyptila*, el valor máximo registrado es de 4.35 en el obturaculo, el cuál es cercano a lo registrado en nuestro ejemplar estudiado.

En el caso del vanadio en la anémona *P. pabista* no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$), por lo cuál se consideró el promedio que fue de 3.17 mg kg⁻¹. En organismos marinos (celenterados) los valores estuvieron habitualmente cerca de los límites de detección de los métodos analíticos usados (Eisler, 2010). En relación a organismos de ventilas hidrotermales, no existen registros de análisis de vanadio. De acuerdo al patrón de bioacumulación, el vanadio y níquel, tienen valores cercanos, sin diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las tres secciones de la anémona *P. pabista*; el níquel tuvo un promedio de 3.21 mg kg⁻¹. Recordemos que este sitio contiene hidrocarburos de petróleo con un contenido de C_{org} en la superficie de los sedimentos que van desde 0.15% (zona de alta temperatura) a 2.23% (zona de baja temperatura) (Bogdanov *et al.*, 2004 *vide* Demina *et al.*, 2009) y llegar hasta el 6,21% en algunos depósitos saturados de hidrocarburos (Demina *et al.*, 2009). Se sabe que el petróleo no intemperizado contiene metales traza (níquel y vanadio) en cantidades considerables. (Botello, 1996). Esto puede dar como consecuencia concentraciones similares de estos metales en *P. pabista*.

El cobalto no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tejidos de la anémona *Paraphelliactis pabista*. La concentración promedio fue de 0.24 mg kg⁻¹; este valor es similar al de la anémona *Phelliactis pabista* analizada por Demina *et al.*, 2009., que fue de 0.28 mg kg⁻¹. Como referencia se ha reconocido que, los valores de cobalto son bajos entre las especies de coral cercanos a la costa desde Hawaii, Tahití, Samoa y otras áreas y rara vez exceden 0.04 mg/kg peso seco. Valores altos de Co han sido registrados en medusas y especialmente entre algunas especies de corales ahermatípicos del océano profundo (Eisler, 2010).

En el caso del antimonio, los valores tuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las secciones de la anémona. El valor más alto fue de 4.92 mg kg⁻¹ en el disco pedal, el cuál es cercano a la concentración de Sb (4.95 mg kg⁻¹)

en el trofosoma (el cual contiene bacterias simbióticas que generan los alimentos del gusano a través de la quimiosíntesis de sulfuros) de *Riftia pachyptila*, además el valor de 1.81 mg kg⁻¹ registrado en la anémona *Phelliactis pabista* de Demina *et al.*, 2009 se encuentra dentro del intervalo de valores de la anémona analizada. En otros organismos marinos, los datos de Sb son limitados, e indican que el rango de concentraciones es de 0.022 y de 0.043 mg/kg peso seco. En la anémona *Tealia felina* el valor registrado es de 0.0022 mg kg⁻¹ peso seco (Eisler, 2010)

Por último, el Ni no tuvo diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las secciones de la anémona *Paraphelliactis pabista*. El promedio fue de 3.21 mg kg⁻¹. La acumulación de níquel por arriba de 23.0 mg/kg peso seco, son documentados en corales, especialmente entre los no hermatípicos y medusas (Eisler, 2010). Se tiene el registro de Ni en una actiniaria (sin registro de especie) no asociada a los sistemas hidrotermales de la Cordillera del Atlántico Medio, de 0.0045 mg kg⁻¹, el cual es menor a lo obtenido en *P. pabista*.

La tolerancia de los seres vivos a los metales pesados se debe a varios mecanismos como son: 1) la unión del metal a la pared celular y a la cara externa de la membrana plasmática, con lo cual se impide el paso de éste hacia el interior celular; 2) la reducción del transporte a través de la membrana celular; 3) la expulsión activa, por medio de la cual libera mayor cantidad de metal que la que absorbe; 4) la compartimentalización, consistente en el secuestro del metal en un organelo en el interior celular; 5) la acción quelante, ya sea por proteínas o péptidos (metalotioninas o fitoquelatinas), compuestos orgánicos (citrato, malato, oxaloacetato) o por compuestos inorgánicos (sulfuro, fosfato, polifosfatos); 6) la biotransformación, ya sea por reducción u oxidación del metal o por alquilación; y 7) la precipitación y atrapamiento por secreción de compuestos en el medio extracelular (Tomsett y Thurman, 1988; Reed y Gadd, 1990; Verkleii y Schat, 1990; Gadd, 1993; De Filippis y Pallaghy, 1994 *vide* Cervantes y Moreno, 1999).

Como regla general, existen vías específicas de bioacumulación de metales en los tejidos, dependiendo de su contacto directo con el entorno, la biodisponibilidad (formas químicas) de los metales, la eficiencia de la captación, el almacenamiento, el traslado a los órganos internos, los mecanismos de excreción y el estado fisiológico (Cosson *et al.*, 2008). También se considera el alimento de organismos marinos como una importante fuente de metales traza en sus tejidos. Los organismos heterótrofos tienen un modo especializado de nutrición dependiente de la actividad quimiosintética de bacterias endosimbiontes, de modo que la incorporación de metales pesados se lleva a cabo a través de un estrecho contacto con el agua (Luoma, 1983, *vide* Ruelas *et al.*, 2003). *Paraphelliactis pabista* acumula en su tejido altas concentraciones de metales en general, lo cual se debe a que su hábitat se caracteriza por la presencia de yacimientos metalíferos además de que los fluidos hidrotermales son ricos en metales (Ruelas *et al.*, 2003). Se ha sugerido también que la posición trófica afecta las concentraciones de metales en los phyla. Los organismos con niveles tróficos superiores tienen mayor concentración de los elementos, que los niveles tróficos inferiores (Amsong *et al.*, 2008).

Al iniciar esta investigación, se tenía la incertidumbre acerca de si la anémona *Paraphelliactis pabista*, podría ser considerada un indicador biológico que pudiera reflejar las condiciones del medio circundante, a través de su capacidad de adaptación en los sistemas hidrotermales. Aunado a esto, se sabe que, en los estudios de la

abundancia de contaminantes tóxicos, un indicador biológico generalmente se define como un organismo que puede ser utilizado para cuantificar los niveles relativos de contaminación por la medición de la concentración de sustancias tóxicas en sus tejidos. O bien el organismo entero, o parte de ella, o de un solo tejido (que pueden incorporar metales del resto del organismo) pueden ser utilizados. Las características ideales que debe tener éste de acuerdo con Butler *et al.*, 1971 *vide* Phillips, 1977, se resumen a continuación:

1. El organismo debe acumular los contaminantes sin que éste muera por los niveles determinados.
2. El organismo debe ser sedentario con el fin de ser representativo de la zona de colecta.
3. El organismo debe ser abundante en la región de estudio.
4. El organismo debe ser suficientemente longevo para permitir el muestreo de más de un año.
5. El organismo debe ser de un tamaño razonable, con suficiente tejido para su análisis.

En el caso de la anémona *P. pabista*, esta reúne ampliamente los atributos de un buen indicador biológico del sistema hidrotermal profundo de la cuenca de Guaymas, en el Golfo de California.

Microanálisis de partículas

Al realizar el microanálisis de microscopía electrónica de barrido, se pudo identificar la morfología y composición química del material particulado absorbido y adsorbido en el tejido (epidermis, gastrodermis) del organismo de estudio. El mineral que se observó con mayor frecuencia fue la barita (BaSO_4), seguido de Fe, aluminosilicatos, Sr, y con menor presencia el Cr, Ti y pirita (FeS_2). Una característica común de todos los sitios de actividad hidrotermal, es que las partículas en suspensión contienen ricas concentraciones de Fe y metales traza (Kádár *et al.*, 2005). También se logró reconocer la presencia de partículas de origen orgánico (de acuerdo a su morfología) y que consisten principalmente de CaCO_3 las cuáles se consideran de naturaleza pelágica (Kádár *et al.*, 2005).

Los resultados de las observaciones de partículas a través del microanálisis por microscopía electrónica de barrido no deben ser interpretados como la concentración de partículas en suspensión, ya que solo representan la presencia relativa de una partícula dada. Sin embargo, el estudio de la composición de partículas tiene por objeto obtener información sobre la composición de la tipología, la morfología y la química de las partículas que se encuentran adheridas y adsorbidas en la anémona *Paraphelliactis pabista* y su relación con las partículas registradas en la zona hidrotermal. Se sabe que la baja temperatura hidrotermal produce asociaciones minerales en el sedimento de la Cuenca de Guaymas y están representados por ópalo y barita, mientras que la pirrotita, la esfalerita y la calcopirita, son los minerales mena dominantes en altas temperaturas (Bogdanov *et al.*, 2004). Por otra parte, en un estudio de microscopía electrónica realizado por Kádár *et al.*, (2005), en fluidos de sistemas hidrotermales de la Cordillera del Atlántico Medio, el mineral más ubicuo fue la barita (BaSO_4), los sulfatos de Fe (pirita, marcasita, pirrotita, calcopirita, etc.) y sus productos de oxidación. Los resultados aquí obtenidos confirman que la anémona *Paraphelliactis pabista*, está constantemente expuesta a fluidos de metales que caracterizan el

entorno del sistema hidrotermal. Aunado a ello, los resultados del análisis de ICP-MS comprueban la alta acumulación principalmente de Ba, Al y Fe en los tejidos de la anémona *P. pabista*.

Las estrategias y las posibles vías de desintoxicación desarrolladas por los organismos que habitan estos sistemas hidrotermales profundos merecen más investigaciones.

Conclusiones

De acuerdo al análisis isotópico dual de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, revelan que la anémona *Paraphelliactis pabista* es un organismo suspensívoro, el cual probablemente se beneficia nutricionalmente del carbono orgánico derivado de microorganismos de vida libre presentes en el sistema hidrotermal, aunque no exclusivamente; es decir, que puede alimentarse de partículas que provienen de la superficie, y también de zooplancton batipelágico.

En términos generales, el disco oral y el disco pedal muestran mayor capacidad de bioconcentración de metales pesados, que la columnela. El disco oral, que es la estructura de mayor exposición a la absorción de metales disueltos en el medio, presenta cierta selectividad por algunos elementos tales como el Al, Fe, Ti; en tanto que el disco pedal muestra mayor afinidad hacia el Al, Fe, Sr, Ti, Cr y Cu. La estructura de la columnela, en contraste, nos muestra un patrón reconocible de concentraciones de metales.

Las secuencias y concentración de metales pesados en tejido de *P. pabista* es distinta a los otros organismos hidrotermales (*Riftia pachyptila*, *Vesicomya gigas*) analizados en sitios activos diferentes, de la Cuenca de Guaymas. Esto significa que en este sistema hidrotermal profundo existe una heterogeneidad en la concentración de los elementos que conforman el flujo hidrotermal y por lo tanto una biodisponibilidad distinta para los organismos filtradores y suspensívoros.

Los resultados obtenidos a través del microanálisis de partículas, confirman que la anémona *Paraphelliactis pabista*, está constantemente expuesta a fluidos de metales que caracterizan el entorno del sistema hidrotermal. Aunado a ello, los resultados del análisis de ICP-MS comprueban la alta acumulación principalmente de Ba, Al y Fe en los tejidos de la anémona *P. pabista*.

P. pabista, reúne ampliamente los atributos de un buen indicador biológico del sistema hidrotermal profundo de la cuenca de Guaymas, en el Golfo de California.

Referencias

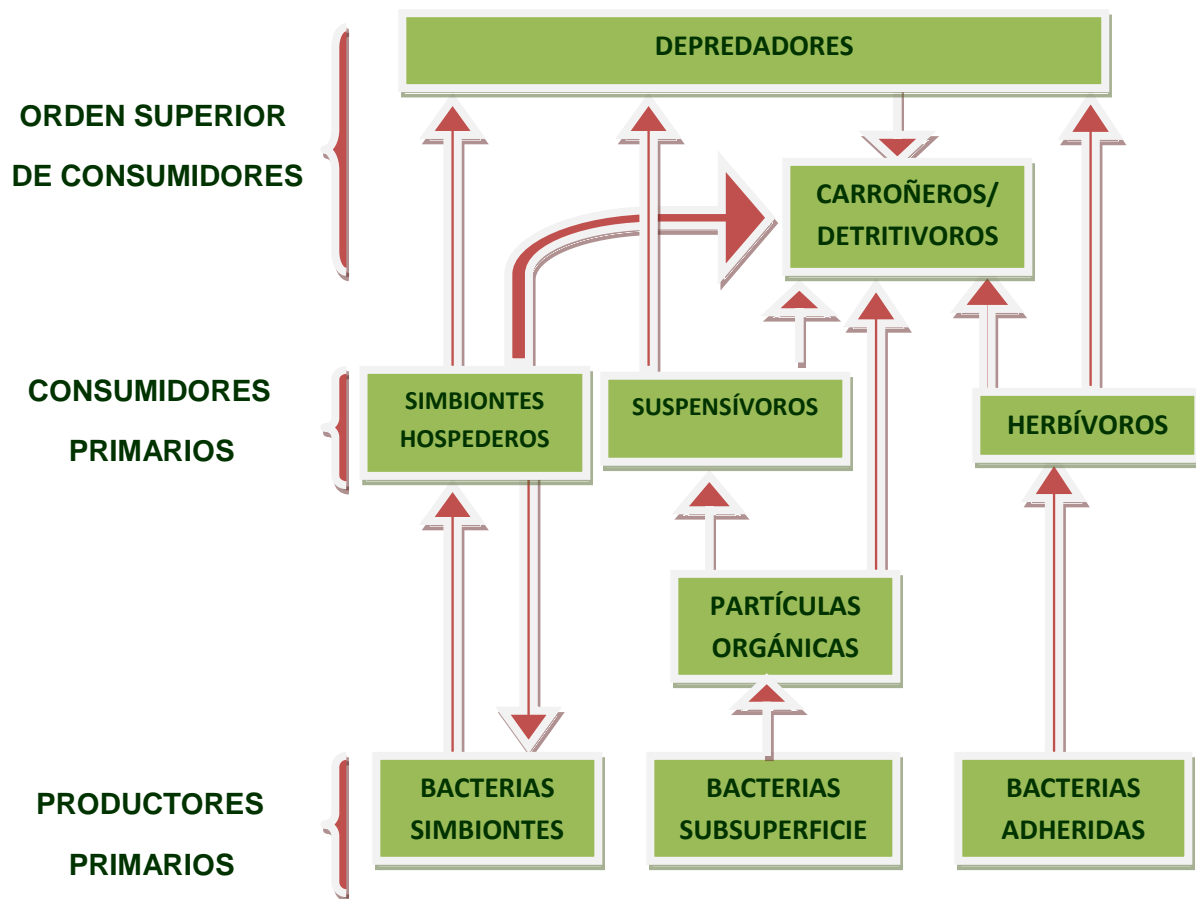
- Ansong, A. K., T. Agusa, H. Mochizuki, K. Ramu, S. Inoue, T. Kubodera, S. Takahashi, A. Subramanian y Tanabe, S. 2008. Trace elements and stable isotopes ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) in shallow and deep-water organisms from the East China Sea. *Environmental Pollution*. 156: 862-873
- Bergquist, D.C, Eckner, T.J, Urcuyo, A.I, Cordes, E.E., Hourdez, S., Macko, A.S y C. R. Fisher. 2007. Using stable isotopes and quantitative community characteristics to determine a local hydrothermal vent food web. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 330: 49-65
- Bogdanov, Y.A., Lisitzin, A.P., Sagalevitch, A.M. y Gurvich., E. G. 2004. Hydrothermal ore formation at the Bogdanov ocean floor: Moscow, Russia, Nauka, 528 p.
- Brusca, C.R y G.G. Brusca. 2003. Invertebrates. Sinaver Associates. 2ª edition. United States of America. 936 pp.
- Cervantes, C. y S.R. Moreno. 1999. Contaminación ambiental por metales pesados; Impacto en los seres vivos. A.G.T. Editor. México. 157 pp.
- Colaço, A., F. Dehairs y Desbruyères, D. 2002. Nutritional relations of deep-sea hydrothermal fields at the Mid-Atlantic Ridge: a stable isotope approach. *Deep-Sea Research I*. 49: 395-412
- Colaço, A., P., P. Bustamante, Y. Fouquet, P.M. Sarradin y Serrao-Santos, R. 2006. Bioaccumulation of Hg, Cu, and Zn in the Azores triple junction hydrothermal vent fields food web. *Chemosphere*. 65: 2260-2267
- Cosson, P.R., E. Thiébaud, R. Company, M. C. Rouelle, Colaco, I. M., P. M Sarradin y Bebianno, J. M. 2008. Spatial variation of metal bioaccumulation in the hydrothermal vent mussel *Bathymodiolus azoricus*. *Marine Environmental Research*. 65. 405-415
- Chevaldonne', P., D. Jollivet, A. Vangriesheim, y Desbruyères, D. 1997. Hydrothermal-vent alvinellid polychaete dispersal in the eastern Pacific. 1. Influence of vent site distribution, bottom currents, and biological patterns. *Limnol. Oceanogr.* 42 (1): 67-80
- Demina, L. L. y S. V. Galkin. 2008. On the role of abiogenic factors in the bioaccumulation of heavy metals by the hydrothermal fauna of the Mid-Atlantic Ridge. *Oceanology*. (48): 6 784–797

- Demina, L.L., Galkin, S.V y E. N. Shumilin. 2009. Bioaccumulation of some trace elements in the biota of hydrothermal fields of the Guaymas Basin (Gulf of California). *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 61 (1): 31-45
- Dhillon, A., Teske, A., Dillon, J., Stahl, A.D. y Mitchell, J.S. 2003. Molecular characterization of sulfate-reducing bacteria in the Guaymas Basin. *Applied and Environmental Microbiology*. 69 (5): 2765-2772
- Eisler, R. 2010. Compendium of Trace Metals and Marine Biota Volume 1: Plants and Invertebrates. Elsevier. Gran Bretaña. Pp 610
- Espina, S., y C. Vanegas, 1996. Ecofisiología y contaminación, p. 45-68. In: A.V. Botello, J.L. Rojas Galaviz, J. A. Benítez y D. Zárate Lomelí (Eds.) Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. *EPOMEX Serie Científica 5*. Universidad Autónoma de Campeche. México. 666 p
- Grassle, J. F. 1986. The ecology of deep-sea hydrothermal vent communities. *Advances in Marine Biology*. U.S.A. 23: 301-347
- Gray S.J. y Elliott, M. 2009. Ecology of marine sediments. From science to management. 2^a edition. Oxford University Press. United States of America. 225 pp.
- Kádár, E. 2007. Postcapture Depuration of essential metals in the deep sea hydrothermal mussel *Bathymodiolus azoricus*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol*. 78: 99-106
- Kádár, E., V. Costa, I. Martins, R. S. Santos y Powell, J.J. 2005. Enrichment in trace metals (Al, Mn, Co, Cu, Mo, Cd, Fe, Zn, Pb and Hg) of macro-invertebrate habitats at hydrothermal vents along the Mid-Atlantic Ridge. *Hydrobiologia*. 548:191-205
- López, G. P. J., Rodríguez, J. M. Gili y Segonzac. M. 2003. New records on sea anemones (Anthozoa: Actiniaria) from hydrothermal vents and cold seeps. *Zoologische Mededelingen*. 345: 215-243
- McCarthy, D.M., S.R. Beaupré, B.D. Walker, I., Voparil, T.P., Guilderson y Druefel, E.R.M. 2011. Chemosynthetic origin of ¹⁴C-depleted dissolved organic matter in a ridge-flank hydrothermal system. *Nature Geoscience*. 4: 32-36
- Neff, J.M. 2002. Bioaccumulation in marine organisms: effect of contaminants from oil well produced water. Elsevier. Oxford UK. Pp. 452
- Newman, C.M y Unger, A. M. 2003. Fundamentals of ecotoxicology. 2^a edition. Lewis publishers. United States of America. Pp 53-73
- Phillips, J. H. D. 1977. The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments-a review. *Environmental pollution*. 13 (4): 281-317

- Ruelas, I. J., L. A. Soto y Paez. O.F. 2003. Heavy-metal accumulation in the hydrothermal vent clam *Vesicomya gigas* from Guaymas Basin, Gulf of California. *Deep-Sea Research I*. 50: 757-761
- Sanamyan, N.P. y K.E. Sanamyan. 2007. Deep-water actinaria from East Pacific hydrothermal vents and cold seeps. *Invertebrate Zoology*. 4(1): 83-102
- Simoneit, R.T. y J. C. Fetzer. 1996. High molecular weight polycyclic aromatic hydrocarbons in hydrothermal petroleum from the Gulf of California at Northeast Pacific Ocean. *Org. Geochem.* 24 (10/11): 1065-1077
- Soto, L. A. 2009. Stable carbon and nitrogen isotopic signatures of fauna associated to the deep-sea hydrothermal vent system of Guaymas Basin, Gulf of California. *Deep sea Research II. Topical Studies in Oceanography*. 56 (19-20): 1675-1682
- Van Dover, C.L., Fry, B., 1989. Stable isotopic compositions of hydrothermal vent organisms. *Marine Biology* 102, 257–263
- Van Dover, C. L. 2000. The ecology of deep-sea hydrothermal vents. Princeton University Press. United States of America. 424 pp.
- Van Dover, C. L. 2002. Community structure of mussel beds at deep-sea hydrothermal vents. *Marine Ecology Progress Series*. 230: 137–158

Anexos

1.



Estructura hipotética de red alimenticia en una comunidad del sistema hidrotermal, las flechas indican la dirección de transferencia de energía (consumo) (Modificado por Tunnicliffe, 1991) (Bergquist *et al.*, 2007)

