



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

EVALUACIÓN DEL ERIZO DE MAR *Toxopneustes
roseus* COMO INDICADOR DE CONTAMINACIÓN
POR METALES PESADOS.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A :

CAROLINA MARTÍN CAO ROMERO



DIRECTOR DE TESIS:
DR. FRANCISCO ALONSO SOLÍS MARÍN

2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

<p>1. Datos del alumno. Autor. Apellido paterno: Apellido materno: Nombre: Teléfono: Universidad: Facultad o escuela: Carrera: No. De cuenta</p>	<p>1. Datos del alumno. Martín Cao Romero Carolina 55193568 Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias Biología 404020646</p>
<p>2. Datos del tutor. Grado: Apellido paterno: Apellido materno: Nombre(s):</p>	<p>2. Datos del tutor. Dr. Solís Marín Francisco Alonso</p>
<p>3. Datos del sinodal 1 Grado: Apellido paterno: Apellido materno: Nombre(s):</p>	<p>Dr. Laguada Figuera Alfredo</p>
<p>4. Datos del sinodal 2 Grado: Apellido paterno: Apellido materno: Nombre(s):</p>	<p>Dr. Arellano Aguilar Rodolfo Omar</p>
<p>5. Datos del sinodal 3 Grado: Apellido paterno: Apellido materno: Nombre(s):</p>	<p>M. en C. Muñoz Hernández Adriana</p>
<p>6. Datos del sinodal 4 Grado: Apellido paterno: Apellido materno: Nombre(s):</p>	<p>M. en C. Martínez Melo Alejandra</p>
<p>7. Datos de la tesis. Título: No. de páginas: Año:</p>	<p>3. Datos de la tesis. Evaluación del erizo de mar <i>Toxoneustes roseus</i> como indicador de contaminación por metales pesados. 92 p. 2010</p>

No hay cosas imposibles, sólo hay cosas que requieren un mayor esfuerzo del que estamos dispuestos a dar.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por darme educación de muy alta calidad, además de una infinidad de cosas que de otra manera nunca hubiera podido tener o vivir.

Agradezco al Dr. Alfredo Laguarda Figuras por tu tiempo y sus valiosos comentarios en la revisión de este trabajo y además por permitirme ser parte del laboratorio.

Al Dr. Francisco Solís Marín por apoyarme y ayudarme durante todo este proyecto, además de enseñarme entre otras muchas cosas que en la UNAM hay todo, solo hay que saber buscarlo.

Al Dr. Omar Arellano Aguilar por sus atinados comentarios y por todas las atenciones brindadas.

A la M. en C. Adriana Muñoz Hernández por el tiempo invertido en la revisión de este trabajo, además de por todo lo que me ha enseñado a lo largo de estos años.

A la M. en C. Alejandra Martínez Melo por su ayuda en todo momento durante la realización de este trabajo y de otros, además por hacer mi estancia en el laboratorio mucho más agradable.

Al Dr. Felipe Vázquez Gutiérrez y al laboratorio de fisico-química del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología por su ayuda con los análisis tanto de parámetros fisicoquímicos como las lecturas de los metales en tejidos.

Dedicatoria

A mis abuelos que me enseñaron que el trabajo duro y la generosidad desinteresada son fundamentales en la vida.

A mis padres que han sido y seguirán siendo mi ejemplo a seguir, les doy las gracias por todo: por la libertad, por todas las enseñanzas, por las risas, por el día a día, por enseñarme a disfrutar la vida, pero sobretodo por el profundo amor.

A mis hermanas que han sido mis eternas cómplices gracias por todo lo vivido y por lo que nos falta, las amo.

A Ricardo que se ha convertido en una persona fundamental en mi vida, gracias por estos maravillosos años juntos, gracias por apoyarme en todos mis proyectos, gracias por compartir tu vida y tu corazón conmigo.

A mis tías, primas y primos que han sido un apoyo incondicional.

A todos mi amigos por las horas y horas de risa y diversión, por todos los momentos compartidos, por ser mi familia me muchas ocasiones, por estar ahí siempre.

A todos muchas gracias por hacer mi vida tan feliz.

ÍNDICE

Resumen.....	7
Introducción.....	8
Antecedentes.....	22
Objetivos.....	27
Objetivo general.....	27
Objetivos particulares.....	27
Área de estudio.....	28
Método.....	30
Resultados.....	37
Discusión.....	55
Conclusiones.....	62
Referencias.....	63
Índice de tablas.....	77
Índice de figuras.....	78
Apéndice I.....	79
Apéndice II.....	80
Apéndice III.....	82

RESUMEN

Se determinó el contenido de metales pesados (Cobre, Níquel, Zinc, Plomo, Mercurio, Cromo y Cadmio) en testa, linterna de Aristóteles y gónadas del erizo de mar *Toxopneustes roseus* (A. Agassiz) de la localidad del "El Jardín" Acapulco, Guerrero. Los resultados fueron procesados mediante una prueba de correlación de Pearson y posteriormente compararon con los valores de metales pesados en agua y sedimento del mismo sitio para ver si hay diferencias significativas entre sus concentraciones, se realizó la comparación de los muestreos tanto de la temporada de lluvias como de la temporada de secas para detectar posibles variaciones de dichos valores entre las temporadas mencionadas. Además se hicieron pruebas de t y Levene entre los tejidos para detectar diferencias. *Toxopneustes roseus* mostró ser sensible a la contaminación por metales pesados, por lo que su uso como bioindicador es factible. En cuanto a la sensibilidad por concentración en tejidos, para todos los metales en la mayoría de los meses la concentración fue mayor en gónadas, excepto mercurio.

INTRODUCCIÓN

El estudio de metales pesados como contaminantes en el medio marino es de gran interés, ya que el mar es, el último destino de los aportes que viajan a través de las cuencas de drenaje y que transportan, entre otros, desechos de las actividades antropogénicas.

Los desechos que pueden contener metales pesados están relacionados con los procesos industriales, minero-metalúrgicos, la producción de cemento, el consumo de combustibles fósiles, utilización de metales, la lixiviación (filtración o escurrimiento de un líquido a través de las capas del suelo) de los metales desde los depósitos de residuos sólidos y de la basura, desechos en cantidades significativas de fertilizantes y fungicidas enriquecidos con metales (Duffus, 1983; Páez-Osuna, 2005).

Los metales pesados son elementos traza (metales, metaloides y no metales), que se encuentran en una concentración de 1000 partes por mil (ppm) o inferior en la corteza terrestre. Los niveles excesivos de metales traza pueden producirse de modo natural como resultado de fenómenos geológicos o como efecto de las actividades antropogénicas. Normalmente una vez que están disponibles en el ambiente, ya no cambian de lugar con rapidez ni experimentan detoxificación rápida a través de actividades metabólicas. Como resultado de todo esto se acumulan en el ambiente, generando un riesgo de exposición para los organismos que habitan ese sitio (Apolinar *et al.*, 2007). La mayoría de los organismos vivos no toleran las altas concentraciones de metales pesados en el ambiente (Duffus, 1983), es decir, la mayoría de los organismos mueren o migran a un sitio menos contaminado, sin embargo es importante destacar que algunos organismos han desarrollado mecanismos que les permiten permanecer en ambientes con altas concentraciones de metales pesados.

Las características químicas de los metales pesados son las siguientes:

- Tienen densidades superiores a 5g cm^{-3} .

- Sus pesos atómicos exceden 20 umas (Unidad de Masa Atómica).
- Están constituidos por elementos de transición y post-transición incluyendo algunos metaloides como el Arsénico y Selenio.
- Presentan diferentes estados de oxidación en agua, aire y suelo, con diversos grados de reactividad, carga iónica y solubilidad en el agua.

La introducción del concepto de ecotoxicología por Truhaut en 1969 reflejó un crecimiento en la conciencia de los efectos de los químicos ambientales sobre otras especies además del humano. Esto dio lugar a un área de estudios sobre los efectos nocivos de las sustancias químicas en el contexto de la ecología. Walker define a la ecotoxicología como el estudio de los efectos nocivos de las sustancias químicas sobre los ecosistemas. En la práctica esta disciplina se ocupa de la detección y determinación de muestras de productos químicos de plantas y animales. Rara vez los resultados del análisis podrían estar relacionados con los efectos sobre los organismos individuales, por no hablar de los efectos sobre las poblaciones o comunidades (Walker, 1996).

Los metales disueltos en el medio acuoso son fácilmente absorbidos por la biota acuática: es decir, tienen una alta biodisponibilidad en este medio. Se conoce como biodisponibilidad a la capacidad de interacción de un contaminante con un sistema biológico (Vega, 1985).

Muchos metales pesados son indispensables para la vida, aunque sólo se encuentren en cantidades muy pequeñas en los tejidos del cuerpo. Sin embargo, los metales pesados pueden ser tóxicos. Un metal puede considerarse tóxico si resulta perjudicial para el crecimiento o metabolismo de las células. La toxicidad de un metal depende de la vía de exposición y del compuesto químico al que está ligado (Vega, 1985).

De manera general la toxicidad de los contaminantes puede ser modificada por factores de tipo fisicoquímico (Salinidad, pH y dureza) y biológico (edad, talla, hábitos alimenticios y madurez).

En el ambiente marino, la contaminación crónica conlleva a cambios ecológicos que alteran el estado original del medio, generándose procesos como bioacumulación y biomagnificación. En consecuencia los organismos expuestos manifiestan concentraciones elevadas de los contaminantes, lo que en la mayoría de los casos se relaciona con niveles de absorción, acumulación y excreción alterados. Podemos definir a la bioacumulación como la acumulación neta de un contaminante en un organismo, este contaminante puede provenir de cualquier fuente, incluidos el agua, el aire y fases sólidas del medio ambiente (Newman, 2003). Así mismo, el fenómeno de biomagnificación consiste en la acumulación de un contaminante que se transfiere a través de la cadena trófica (Vega, 1985).

De la misma manera, debemos entender que un compuesto químico puede ingresar al organismo acuático desde diferentes vías de exposición, entre éstas, podemos mencionar: Ingestión de alimento o agua, filtración, absorción dérmica e intercambio de gases (Calderón, 2007).

De manera general es importante determinar en los litorales, en primera instancia, los niveles naturales de metales pesados en diferentes tejidos de organismos marinos, para de esta manera contar con criterios adecuados para diagnosticar la presencia de metales asociados con las actividades antropogénicas de la zona costera. Se puede considerar “niveles naturales” a las concentraciones básicas de metales pesados propias para un área geográfica dada y para los organismos que habitan en ella, es decir, cuando en la zona la influencia humana es tal que no altera las concentraciones de las sustancias presentes en el agua, sedimentos y/o organismos (Apolinar *et al.*, 2007).

En el caso particular de México, este cuenta con dos mares semicerrados, el Golfo de México y el Golfo de California, así como con dos mares abiertos colindantes con el Pacífico: el correspondiente a la costa occidental de la península de Baja California y el Pacífico tropical mexicano. Está, además, el Caribe mexicano, fundamentalmente representado por el

litoral de Quintana Roo (De la Lanza-Espino, 2001). Cabe mencionar que México cuenta con más 11 000 Km de costas (De la Lanza-Espino, 1991).

Un biomarcador es una célula, tejido, fluido corporal o fisiológico de un organismo que es usado cuantitativamente durante un biomonitoreo y el cual permite determinar la presencia de un contaminante con un potencial efecto tóxico. Un biomarcador es llamado bioindicador por algunos autores (Newman 2003).

El análisis de tejidos de organismos acuáticos permite conocer de manera integral y en promedio (la concentración de los metales en el organismo son resultado de todo lo que ha ocurrido en el medio a lo largo de la vida del organismo) las condiciones de contaminación ambiental, eliminando con ésto las fluctuaciones temporales (diurnas y de la marea) frecuentemente encontradas en el análisis de muestras de agua marina (Morales, 2001).

Las actividades económicas de Pesca y acuicultura animal son realizadas por Unidades pesqueras o acuícolas (personas físicas, cooperativas, uniones, etc.) dedicadas principalmente a la captura, extracción o acuicultura de especies acuáticas. Dentro de este rubro debemos decir que en las costas mexicanas podemos encontrar seis clases de actividad: Pesca de camarón; Pesca de túnidos; Pesca de sardina y anchoveta; Pesca de otras especies (como guachinango, mojarra, pulpo, langosta, entre otras); Camaronicultura (explotación del camarón en ambientes controlados) y Acuicultura animal (explotación de peces, moluscos o crustáceos en ambientes controlados) (www.inegi.org.mx).

Así mismo, los Censos Económicos 2004, registraron 196 481 personas ocupadas en la Pesca y la acuicultura animal, esto nos habla de que un sector importante de la población tiene como base económica está actividad (www.inegi.org.mx).

Pesch y Morgan en 1978 consideraron que el tamaño de partícula del sedimento es sumamente importante para determinar la toxicidad de los

metales pesados para la biota que en él habita. Si el sedimento es fino, la superficie de interacción con los contaminantes es mayor y por lo tanto, podremos encontrar una mayor cantidad de contaminantes en este sedimento. Además se agrega el peligro que existe en zonas costeras, donde dada la baja dinámica de las tasas de renovación o reciclaje de nutrientes, permite que los metales pesados queden atrapados entre los sedimentos que actúan como reservorios naturales de contaminantes (Villanueva *et al.*,1988). Debido a que el aporte de contaminantes se da mayormente en zonas cercanas a los asentamientos humanos, es importante realizar estudios que nos revelen los niveles de contaminación en las costas de nuestro país.

Especies bioindicadoras

Es apropiado mencionar que la flora y la fauna acuáticas crecen y se desarrollan en condiciones físicas y químicas específicas, las alteraciones naturales o antropogénicas del marco ambiental, repercutirán en la distribución y supervivencia de los organismos. Así mismo, debemos reconocer que cada especie o población tiene determinados límites de estas condiciones ambientales, entre las cuales los organismos pueden sobrevivir (límites máximos), crecer (intermedios) y reproducirse (límites más estrechos). Las especies bioindicadoras suelen ser abundantes y sensibles a los cambios en los parámetros físicos y/o químicos de su hábitat, debemos mencionar que si el organismo es muy sensible puede sesgar el resultado teniendo una sobre-respuesta a un cambio que no es determinante, además de tener poca movilidad y ciclos de vida cortos (Navarrete, 2003).

Basado en este concepto se desarrolló el empleo de bioindicadores como un método para medir la calidad del agua. Las especies bioindicadoras (o restos de las mismas que se utilizan) son aquellas que ayudan a determinar cualquier fenómeno o acontecimiento actual (o pasado) relacionado con el estudio de un ambiente (De la Lanza *et al.*, 2000). En contraste ha surgido el concepto de especies centinelas son monitores biológicos que acumulan la contaminación en sus tejidos sin efectos adversos significantes (Beeby, 2001).

El análisis de tejidos de organismos bioindicadores permite obtener información sobre la contaminación de los ambientes costeros por metales pesados; ello presenta ventajas sobre el uso de muestras de agua, ya que muchos de los organismos acumulan metales pesados en concentraciones altas, en comparación con el agua. Los niveles de metales pesados en la biota también permiten conocer de manera integral y en promedio las condiciones de contaminación ambiental, eliminando con esto las fluctuaciones temporales (diurnas y de la marea) frecuentemente encontradas en el análisis de muestras de agua (Morales, 2001). Sin embargo, el empleo de bioindicadores tiene limitaciones como:

- Grado al que pueden ser detectados impactos sutiles.
- La carencia de herramientas de diagnóstico para determinar las causas del impacto observado (De la Lanza *et al.*, 2000).
- Grado de conocimiento de la biología y ecología de la especie.

Por su parte, De Zwart (1995) señala que los métodos de biomonitoreo en las estrategias de control de la contaminación química tienen varias ventajas sobre el monitoreo químico:

1. Miden la biodisponibilidad de los compuestos, integrando la concentración y su toxicidad intrínseca. Sobre todo si se trata de contaminantes persistentes, es decir que tienen larga vida en el medio y tienden tanto a aumentar su concentración como a moverse a lo largo de la red trófica (Newman, 2003).
2. La respuesta biológica es integrativa, ya que toma en cuenta los efectos en un grupo de organismos y acumulativa en la naturaleza, especialmente en los niveles superiores de organización biológica.
3. Permite determinar concentraciones de compuestos biológicamente relevantes, ya que nos permite conocer la fracción del contaminante que está en su forma química biodisponible.
4. Permite dimensionar el impacto de sustancias en el ecosistema, específicamente en la función y la estructura.

La información biológica no reemplaza los registros físicos y químicos para definir la calidad del agua, sin embargo, algunos autores consideran que el método biológico juega un papel importante en la interpretación y manejo del recurso hídrico, debido a su nivel integrativo (De la Lanza *et al.*, 2000).

Como desventaja, coincidente con otros autores, tenemos la dificultad de relacionar los efectos observados con una fuente de contaminación en especial y por lo tanto es claro que no reemplazan a los análisis químicos (De la Lanza *et al.*, 2000) sino que ambos estudios se complementan.

Mecanismos de Toxicidad de los metales pesados

En el caso específico de los metales pesados, la acumulación de éstos en organismos acuáticos se puede llevar a cabo por varios mecanismos:

- Por unión a proteínas específicas denominadas metalotioneínas que son proteínas citoplasmáticas de bajo peso molecular.
- Almacenamiento en vesículas intracelulares con membranas limitadas (lisosomas).
- Precipitación en gránulos intracelulares (unidos a Selenio).

El Cobre, Níquel, Zinc, Cromo, Plomo, Mercurio y Cadmio son metales pesados que en algunas ocasiones actúan como micronutrientes (Cu, Ni, Zn y Cr) y en algunas otras como contaminantes, esto dependiendo de la forma química en la que se encuentren en el medio.

A continuación se mencionan algunas generalidades de los metales pesados que se midieron en éste estudio.

El Cobre es un micronutriente esencial para la mayoría de los organismos, ya que es constituyente de muchas metaloenzimas y de otras proteínas implicadas en el proceso de transporte de electrones y en otras reacciones de óxido-reducción. Cuando la forma iónica libre (Cu^{2+}) del metal se encuentra en altas concentraciones es tóxico para las células bacterianas,

algas, hongos, plantas e incluso animales. La toxicidad del Cobre se atribuye principalmente a sus interacciones con los ácidos nucleicos, a la alteración de sitios activos de enzimas y a la oxidación de componentes de la membrana, procesos que pueden generar radicales libre tóxicos (Páez-Osuna, 2005).

Jiménez y colaboradores en 2006 observaron que el Níquel y el Zinc deprimieron el metabolismo respiratorio y el crecimiento en *Artemia franciscana*, además de afectar, en concentraciones superiores a 40 mg, el proceso de eclosión de la misma especie.

En el caso del zinc, estudios recientes han demostrado que las proporciones correctas entre el Zinc del medio externo, el Zinc enlazado en las membranas de las células y el Zinc en el medio interno son esenciales en el mantenimiento de la estructura y las funciones celulares (Páez-Osuna, 2005).

En cuanto al Plomo, los mecanismos clásicos de toxicidad del Plomo son análogos a los del Ca^{2+} , es decir, por interacción con grupos sulfhidrilo. A concentraciones micromolares, inhibe ciertas ATPasas y a la lipoamida deshidrogenasa. Además, disminuye la fotosíntesis, el transporte mitocondrial de electrones y la actividad de varias enzimas de la vía de las pentosas. La principal fuente de contaminación por Plomo es la gasolina (Páez-Osuna, 2005). El Plomo al interactuar con el Hierro, genera ferritina y un tipo anormal de Hierro, produciendo micelas ferruginosas en las mitocondrias. También se forman complejos con nucleósidos trifosfatos (especialmente ATP). El Plomo también causa anemia en humanos y anormalidades en el metabolismo de las porfirinas: mayor excreción urinaria de porfirinas y sus precursores y la acumulación de protoporfirina libre en eritrocitos. Interactúa también con el fosfato piridoxal impidiendo la activación de la síntesis del grupo hemo (Cervantes *et al.*, 1999).

Uno de los metales que sin duda ha recibido considerable atención por su toxicidad es el Mercurio, lo cual se debe en parte al reciente descubrimiento de la conversión microbiana del Mercurio inorgánico en metil-mercurio, compuesto altamente tóxico. Existen algas y plantas acuáticas que tienen la

capacidad de acumular y consecuentemente concentrar niveles ambientales bajos del metal, el cual es posteriormente biomagnificado por los componentes subsecuentes de las cadenas alimenticias (Páez-Osuna, 2005).

Por otro lado el Cromo puede causar sensibilidad e irritación en la piel de humanos. Los estudios reportan que está involucrado en alteraciones histológicas como la decoloración de los tejidos de organismos marinos; se ha determinado que el Cromo produce problemas respiratorios en peces (Páez-Osuna, 2005).

En el caso del Cadmio, éste es un metal no esencial ni para plantas ni para animales; este metal se acumula principalmente en el hígado y riñón y se tiene conocimiento de que interfiere con los mecanismos de regulación de iones. Algunos estudios en peces revelan que el Cadmio produce un incremento en el consumo de Oxígeno, lo cual ha sido interpretado como resultado de un aumento en la actividad locomotora y en el sistema de ventilación. Lo que hace sugerir a algunos autores, que ocurre una alteración en los mecanismos que controlan las transferencias de Oxígeno sobre las branquias. En crustáceos se ha encontrado que puede ocurrir una inhibición de la enzima Na^+/K^+ -ATPasa en los tejidos después de ser expuestos a concentraciones agudas y subletales de Cloruro de Cadmio. La inhibición de esta enzima transportadora de iones que está íntimamente relacionada con la osmorregulación (Páez-Osuna, 2005).

Villanueva y colaboradores en 1988 reportaron que la evaluación del contenido de metales pesados en organismos acuáticos se realiza especialmente en organismos bentónicos y filtradores, ya que las tasas de absorción y excreción les permite retener en su cuerpo concentraciones del contaminante proporcionalmente mayores a las del medio que los rodea

Entre los organismos marinos bentónicos, los equinodermos son considerados removedores primarios de sedimento y detritus de mar, lo que hace suponer una mayor vulnerabilidad a los metales pesados (Eisler, 1981) y dentro de ellos se ha considerado a los erizos de mar (equinoideos) como

buenos indicadores de contaminación por metales (Flammang *et al.*, 1997), lamentablemente en México no existen estudios donde se utilicen equinodermos como bioindicadores de contaminación por metales pesados.

Taxonomía

Toxopneustes roseus (A. Agassiz, 1863)

Sinonimia:

Boletia rosea A. Agassiz, 1863: 69.

Toxopneustes roseus Mortensen, 1903: 483-485, lám. 31, figs. 1-5.

Diagnosis (Modificada de Caso, 1978): Testa robusta, típicamente cónica, hundida hacia el peristoma. Espinas primarias: cortas, robustas, afiladas, terminan en punta roma, estriadas longitudinalmente, con extremos distales romos; las de la superficie dorsal, más escasas y más pequeñas que las ventrales, éstas en algunos especímenes, son ligeramente aplanadas y ensanchadas distalmente. Todas las espinas de la superficie oral están dirigidas hacia abajo. Aparato apical: Las placas oculares I y V son insertas en especímenes de tallas grandes. El periprocto cubierto por numerosas placas pequeñas de formas diversas, mide menos que la mitad del peristoma. Peristoma: grande, membrana bucal con placas pequeñas esparcidas y provistas de espinas pequeñas, delgadas, con extremos distales dilatados y abundantes pedicelarios oficéfalos pequeños, dispuestos muy cerca de los dientes y escasos pedicelarios globosos grandes distribuidos sobre la periferia de la membrana bucal. Zonas ambulacrales e interambulacrales: Placas ambulacrales con tres pares de poros con un tubérculo primario en cada placa. Zonas ambulacrales al nivel del *ambitus*, ligeramente más anchas que las interambulacrales. Tubérculos secundarios de las zonas interambulacrales, poco desarrollados. Los espacios desnudos de ambas zonas, están francamente hundidos. Pedicelarios: con las clases de pedicelarios característicos del género, o sea, globosos grandes y globosos pequeños, estos últimos muy numerosos, forman una densa cubierta sobre la testa, generalmente se les observa abiertos, las valvas están unidas entre sí por una

membrana con bordes blanquizcos por la acumulación de espículas. El carácter más típico de esta especie, son sus enormes pedicelarios globosos, que al estar abiertos tienen forma triangular; su centro es de un tono púrpura intenso y los bordes rosados o blancos, dan la impresión de pequeñas florecillas. Los pedicelarios globosos grandes poco abundantes, con las valvas generalmente cerradas. Pedicelarios oficéfalos pequeños dispuestos en el peristoma. Los pedicelarios tridentes escasos, en algunos organismos los bordes de estos pedicelarios tienen pequeñas denticiones irregulares. Los pedicelarios trifoliados con valvas dilatadas distalmente. Color: esta especie es también interesante por su coloración la cual se caracteriza por ser notablemente variada e inconstante, el color predominante es el rosado "palo de rosa" cuando los especímenes están vivos. Ejemplares preservados o secos, muestran una coloración rosa amarillento-terroso, las testas desnudas son de color púrpura claro (Figura 1).



Figura 1. Fotografía tomada por el Dr. Carlos Sánchez Ortíz.

Referencias de identificación:

- Mortensen, Th. 1943. A Monograph of the Echinoidea. III. 2. Camarodonta I. Orthopsidae, Glyphocyphidae, Temnopleuridae and Toxopneustidae. Text. C. A. Rietzel, Copenhagen. 553pp.
- Mortensen, Th. 1943. A Monograph of the Echinoidea. III. 2. Camarodonta I. Orthopsidae, Glyphocyphidae, Temnopleuridae and Toxopneustidae. Plates. C. A. Rietzel, Copenhagen.

Material examinado: 7 ejemplares: ICML-UNAM 4.17.0, 1 ejemplar (Playa Hornos, Acapulco, Guerrero, México, 16°28' N, 99°35' W); ICML-UNAM 4.17.5, 2 ejemplares (Muelle de Zihuatanejo, Guerrero, México, 17°24' N, 101°35' W); ICML-UNAM 4.17.14, 3 ejemplares (Cerca de la Isla Cardones, Mazatlán, Sinaloa, México, 23°10'42" N, 106° 24' 13" W); ICML-UNAM 4.17.24, 1 ejemplar (Punta Diamante, Acapulco, Guerrero, México, 16°47' N, 99°52' W).

Material tipo: No existe material tipo (H. L. Clark, 1948).

Localidad tipo: Acapulco, México (H. L. Clark, 1948).

Reportes previos para Acapulco: Playa de Hornos, Playa de Caletilla, Playa Caleta, Guerrero, México (Caso, 1978).

Distribución geográfica: Desde la costa oeste de Norteamérica hasta las Islas Galápagos (Hickman, 1998).

Distribución batimétrica: Desde el intermareal bajo hasta los 20 m de profundidad (Hickman, 1998). Aunque es más abundante en el intervalo de 0 a 10 m.

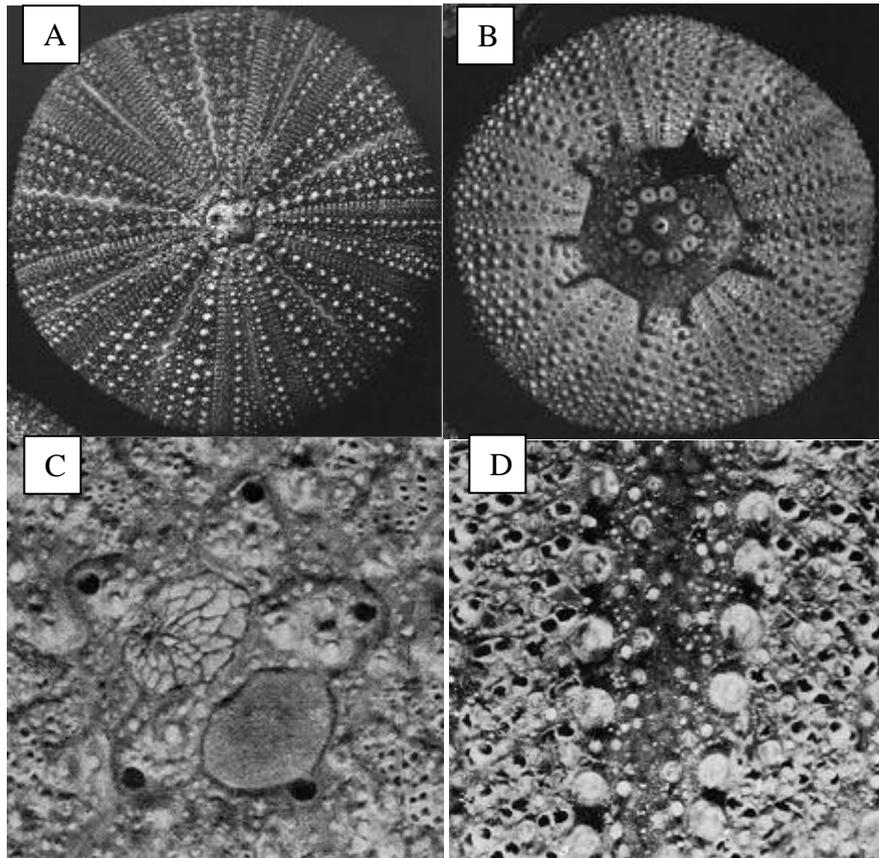


Figura 2. *Toxopneustes roseus*. A. Vista aboral, B. Vista oral (Tomado de Mortensen, 1943); C. Aparato apical, D. Vista lateral (Tomado de Caso, 1978).

Debido a que *Toxopneustes roseus* es un organismo que toma sus nutrientes del agua y los absorbe por filtración (Jangoux M. & Lawrence, 1982) podría reflejar los contaminantes del medio.

Con base en lo anterior en el presente trabajo se elaboró un protocolo para identificar la presencia de metales pesados mediante el empleo de un modelo *in vivo*, *Toxopneustes roseus*, Los metales pesados Cobre, Níquel, Zinc y Cromo fueron seleccionados para este estudio por su importancia como micronutrientes en diferentes procesos bioquímicos en los organismos marinos y por su potencial efecto tóxico potencial. El Plomo, el Mercurio y el Cadmio fueron seleccionados especialmente por esta última razón.

Además sabemos que un organismo no está aislado, es decir que las fluctuaciones de ciertos parámetros en el medio pueden afectar al organismo. Por esto se midieron las concentraciones de los mismos metales en agua y sedimento para poder hacer correlaciones entre los niveles de estos y los

niveles detectados en los organismos. Por otro lado se midieron la salinidad, temperatura, Oxígeno disuelto y pH del agua en el sitio de recolecta para detectar si existe alguna correlación entre estos parámetros y la concentraciones de los metales en los organismos.

ANTECEDENTES

Para poder proponer al erizo de mar *Toxopneustes roseus* como indicador de contaminación por metales pesados es importante hacer una revisión de algunas especies de plantas y animales que han sido utilizadas como bioindicadoras de contaminación por metales pesados en ambientes marinos. Entre éstas se puede mencionar a ciertas diatomeas (Bojorque, 2006), algunas especies de macroalgas clorofitas (Morlán, 2003), el pasto marino *Thalassia testudinum* (Tovar, 2000, Noriega, 2001 y Martínez *et al.*, 2007), además de plantas gimnospermas acuáticas como *Lemna minor* (Kara, 2004).

Dallinger y colaboradores en 1993 realizaron varios estudios sobre ecotoxicología en invertebrados, en unos de ellos describen la importancia de los metales de concentraciones traza para los invertebrados marinos. En ese trabajo describen cuales son los mecanismos para la acumulación de estos metales, además mencionan las concentraciones de cada metal que son necesarias para cubrir los requerimientos metabólicos de los organismos y que consecuencias podría tener si estas concentraciones se exceden.

Del Phylum Porifera se han utilizado como especies indicadoras a *Sigmadocia caerulea* (Páez-Osuna *et al.*, 1988) y *Zygomycala parishii* (Páez-Osuna *et al.*, 1988).

Del Phylum Cnidaria se ha utilizado a las especies *Montastraea faveolata* (Colín, 2007), *Porites sinensis* (Scott, 1990), y *Siderastrea siderea* (Guzmán *et al.*, 1992).

Del Phylum Mollusca se han utilizado numerosas especies indicadoras, entre ellas a: *Crassostrea corteziensis* llamada comúnmente ostra de cortéz y *Mytella strigata* (Páez-Osuna *et al.*, 1988). Phillips y colaboradores en 1988 utilizaron las especies: *Perna viridis*, *Capitulum mitella*, *Tetraclita squamosa* y *Balanus amphitrite* como biomonitores de metales pesados. También se han usado las especies *Balanus eburneus*, *Fistulobalanus dentivarians* y

Megabalanus coccopoma (Ruelas-Inzunza *et al.*, 1998); *Tagelus californianus* (Cohen *et al.*, 2001), *Elminius modestus* (Rainbow *et al.*, 2001), *Patella vulgata* conocida como lapa común (Pérez-López *et al.*, 2003), *Vesicomya gigas* (Ruelas-Inzunza *et al.*, 2003), *Crassostrea virginica* conocido como ostión virgínico (Rosas, 2004), *Perna perna* (Castillo *et al.*, 2005), *Pantinigera* sp. y *Aulacomya atra* (Gil *et al.*, 2006), *Patella caerulea* (Türkmen *et al.*, 2005) *Pantinigera* sp. y *Aulacomya atra* (Gil *et al.*, 2006) y *Mytilus edulis* o mejillón (Gil *et al.*, 2006 y Mubiana *et al.*, 2007).

Del Phylum Annelida se han utilizado las especies *Lumbriculus variegatus* o lombriz de tierra (Edwards *et al.*, 2005) y *Riftia pachyptila* (Ruelas *et al.*, 2005).

Del Phylum Arthropoda han sido utilizadas las siguientes especies: *Litopenaeus vannamei* o camarón blanco (Frías-Espericueta *et al.*, 1999; Wu *et al.*, 2005 y Ruelas-Inzunza *et al.*, 2004) *Gammarus fossarum* y *Niphargus rhenorhdanensis* (Plenet, 1999), *Crangon crangon* o camarón común (Guns *et al.*, 1999) y *Emerita analoga* (Valdovinos *et al.*, 2002).

Dentro de los vertebrados de la Clase Anfibia se ha utilizado a la especie *Ambystoma mexicanum* o ajolote (González, 2006); de los peces se han utilizado a las especie *Oreochromis niloticus* (Valdivieso, 1998), [Cyprinus carpio](#) (Valadez, 1998) *Leptocottus armatus*, *Fundulus parvipinnis* y *Atherionops affinis* (Cohen *et al.*, 2001) y de la Clase Mammalia se han utilizado las especies siguientes: *Stenella longirostris* (Ruelas *et al.*, 2002) y *Eschrichtius robustus* (De Luna, 2001 y De Luna *et al.*, 2004).

En el año de 2006 Gil y colaboradores analizaron los contenidos de Mercurio, Cadmio, Plomo, Cobre y Zinc en moluscos, crustáceos (tejido blando µg/g - peso seco), aves y mamíferos marinos (riñón, hígado y músculo - µg/g peso húmedo), procedentes de la zona costera de la Patagonia, Argentina.

Cohen y colaboradores (2001) utilizaron las especies de peces óseos *Leptocottus armatus*, *Fundulus parvipinnis* y *Atherionops affinis* como bioindicadores.

Riley y colaboradores en 1970 midieron la distribución de elementos mayores y menores en tejidos de 7 especies de equinodermos en condiciones naturales de no contaminación y encontraron elementos con funciones conocidas pero también encontraron otros que no tienen un rol biológico establecido; además, encontraron que en general todos los organismos tuvieron un patrón de distribución similar de elementos, encontrando una mayor concentración de metales en el tracto digestivo, intermedia en gónadas y menor en testa.

Eisler en 1981 realizó un estudio donde midió las cantidades de metales en muchos tejidos de equinodermos de todos los grupos. Los tejidos evaluados van desde gónadas, intestino y extractos lipídicos, hasta partes duras. Los elementos medidos fueron Aluminio, Bario, Boro, Cadmio, Cobalto, Cobre, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plutonio, Rubidio, Escandio, Selenio, Plata y Estroncio.

Es importante mencionar que del Phylum Echinodermata se han utilizado diversas especies indicadoras:

Asterias Rubens, también conocida como estrella de mar roja, es sin duda la estrella de mar con la que más se ha trabajado como especie bioindicadora, por ejemplo Temara y colaboradores en 1998 hicieron un estudio para validar a esta especie como indicador de contaminación por Plomo, Cadmio y Zinc, Den Besten y colaboradores en 2001 hicieron estudios de contaminación con esta especie y Coteur y colaboradores en 2003 concluyeron que la contaminación en los organismos de esta especie reflejan la contaminación por metales pesados en el sedimento. Asimismo, Danis y colaboradores en 2004 hicieron estudios para relacionar la contaminación en estos organismos y el sedimento al que se encontraban asociados.

Lawrence y colaboradores en 1993 utilizaron a dos especies de asteroideos (*Luidia clathrata* y *Luidia senegalensis*) y concluyeron que las especies del género *Luidia* tienen el potencial de servir como indicadores de los niveles de metales pesados en áreas donde su presencia es común.

Hutchins y colaboradores en 1996 utilizaron la especie *Ophiothrix fragilis* para analizar los efectos de la temperatura en la captura y retención de contaminantes del ofiuroides.

Rojas y colaboradores en 1998 utilizaron a la especie de pepino de mar *Holothuria (Halodeima) mexicana* como indicador de contaminación ambiental por metales pesados. Medina y colaboradores en 2004 midieron las concentraciones de Cadmio, Cromo, Cobre y Plomo en sedimentos y en las especies de pepinos de mar *Holothuria floridana*, *Isostichopus badionotus* y *Astichopus multifidus* y concluyen que no hay una relación clara entre los metales en los sedimentos y los metales en cada especie.

Los erizos de mar han sido uno de los grupos más empleados para investigar la toxicidad de diferentes metales y la calidad del agua, sobretodo mediante estudios de laboratorio relacionados con cambios morfológicos y embriológicos (Lee y Xu, 1984; Dinnel y Stober, 1987), mientras que como indicadores de contaminación metálica *in situ* han sido poco utilizados (Eisler, 1981).

Harriss y Pilkey en 1966 la influencia de la temperatura y la salinidad en la concentración de Sodio, Manganeseo y Hierro en la testa de la galleta de mar *Dendraster excentricus*, ellos con base en sus resultados concluyeron que la temperatura y la salinidad sólo son en parte responsables de las diferencias de composición de las testas.

Stevenson y colaboradores en 1966 estudiaron la concentración de metales pesados en los erizos de mar *Echinometra lucunter* y *Tripneustes esculentus* así como en organismos que constituyen la base de la alimentación de estas dos especies y establecieron que hay una relación entre los metales

encontrados en el alimento y en los erizos de mar. Un estudio similar fue el realizado por Bohn en 1979 en el cual analizó el contenido de metales en organismos de la especie *Strongylocentrotus droebachiensis* y del alga del cual se alimenta, encontrando relación en los valores obtenidos.

Tanto Ablanedo y colaboradores en 1990 como González y colaboradores en 1999 estudiaron las concentraciones de metales en el erizo de mar *Echinometra lucunter* y su relación con el agua y el sedimento al que se encontraba asociado, encontrando una correspondencia entre los valores obtenidos tanto para distintos tejidos del organismo como para el agua y el sedimento.

Phillips en 1991 hizo un estudio con el erizo de mar *Paracentrotus lividus*. En este estudio el autor encontró diferencias significativas entre las concentraciones de metales en diferentes estaciones expuestas a un distinto grado de contaminación.

Warnau y colaboradores en 1995, 1997 y 1998 estudiaron al erizo de mar *Paracentrotus lividus* y encontraron que existe una relación directa entre el cadmio ambiental y las concentraciones en los organismos. Flammang y colaboradores en 1997 hicieron una comparación entre los niveles de metales pesados en *Diadema setosum* y en el sedimento asociado y encontraron relación entre ambos valores.

Después de realizar la revisión de los artículos anteriormente mencionados, podemos concluir que de manera general los equinodermos tienen el potencial actuar de cómo bioindicadores de contaminación por metales pesados.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar la calidad como bioindicador de contaminación por metales pesados de la especie *Toxopneustes roseus* (Echinodermata: Echinoidea).

Objetivos particulares

- Cuantificar los valores de los metales pesados: Cobre, Níquel, Zinc, Plomo, Mercurio, Cromo y Cadmio acumulados en testa, linterna de Aristóteles y gónadas de *Toxopneustes roseus* recolectados en la localidad "El Jardín", Acapulco, Guerrero, México.
- Cuantificar los valores de los metales pesados: Cobre, Níquel, Zinc, Plomo, Mercurio, Cromo y Cadmio en agua y sedimento en la localidad "El Jardín", Acapulco, Guerrero, México.
- Comparar los valores de los metales pesados medidos en testa, linterna de Aristóteles y gónadas de *Toxopneustes roseus*, con los obtenidos en agua y sedimento circundante del hábitat de esta especie.
- Detectar si los cambios estacionales (temporada de lluvias y de secas) modifican la concentración de los metales pesados: Cobre, Níquel, Zinc, Plomo, Mercurio, Cromo y Cadmio en los tejidos de *Toxopneustes roseus*.
- Establecer la dinámica de fluctuación entre los parámetros físicoquímicos (temperatura, salinidad, pH y Oxígeno disuelto) y la concentración de metales pesados en los tejidos de *Toxopneustes roseus*.

ÁREA DE ESTUDIO

El sitio de estudio es la localidad conocida como “El Jardín” ubicada en Acapulco, Guerrero (16° 49.442' N, 99° 54.975' W), México (Figura 3).

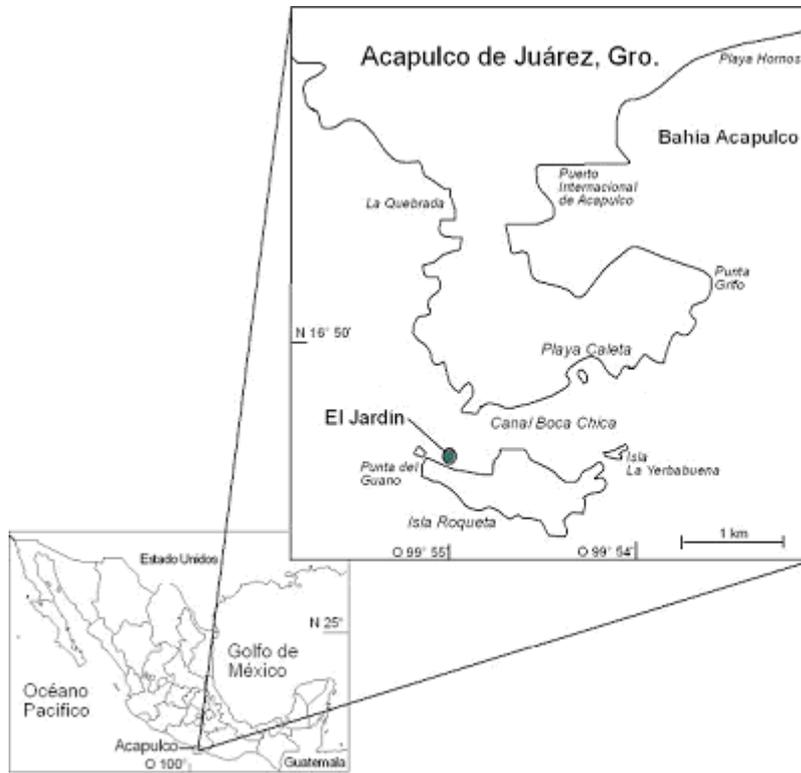


Figura 3. Localidad “El Jardín”, Acapulco, Guerrero (Modificada de Torres, 2008).

A ésta región según la clasificación de Köppen, modificada por Enriqueta García, le corresponde el grupo de clima Tropical Lluvioso con temperaturas que oscilan de 24 a 33 °C (INEGI, 2000).

Con base en datos del INEGI (2000) podemos reconocer dos temporadas:

- Lluvias: que comprende los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre.
- Secas: que comprende los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre.

La estación “El Jardín” presenta un tipo de sustrato arenoso, con una variación anual del tamaño de partícula del sedimento de 0, -1 y -3 Φ . El sedimento está compuesto por arena muy gruesa y gránulos, con granos de

tendencia a gruesos, diferentes en forma y redondez. Con una predominancia de grano grueso; esto último por la presencia de material biogénico (conchas) (Torres, 2008).

El sitio de muestreo está ubicado en el Municipio de Acapulco de Juárez el cual cuenta con ~722,499 habitantes, según el XII Censo de Población y Vivienda 2000 del INEGI (INEGI, 2000). La actividad económica preponderante se da en el sector terciario, siendo la rama de servicios la que concentra la mayor actividad. Dentro de ésta se encuentra la industria hotelera, restaurantes, transporte y comunicaciones, servicios financieros, seguros, bienes raíces, servicios bancarios, servicios comunales, sociales y personales. Lo anterior sugiere que los desechos predominantes son de origen doméstico; en estos desechos podemos encontrar Cobre, Níquel, Zinc, Plomo, Cromo y Cadmio. El empleo de los detergentes también representa una fuente de contaminación ya que se ha encontrado que la mayoría de ellos contienen cantidades importantes de metales como Cromo y Zinc (Páez-Osuna, 2005).

Otra fuente de contaminación es a la industria otra fuente importante de contaminación es la industria, ya que encontramos plantas generadoras de energía eléctrica, fábricas de cemento e industria aceitera., dentro de de esta encontramos plantas generadoras de energía eléctrica que pueden tener entre sus desechos Cobre y Cromo, además hay fábricas de cemento que también pueden contener Cromo en sus desechos, así mismo se presenta industria aceitera (Páez-Osuna, 2005).

MÉTODO

1.-Trabajo de campo:

Los muestreos se realizaron en los meses de septiembre, octubre y noviembre del 2006 y marzo y mayo del 2007 (Tabla 1), tratando de cubrir las dos distintas temporadas (lluvias y secas). Los organismos se recolectaron utilizando buceo SCUBA a profundidades ~12 m (40 pies). Se recolectaron tres ejemplares en cada muestreo, tomados al azar considerando como criterio de inclusión el tamaño aproximado de los organismos.

Tabla 1. Calendario de muestreo.

Tejidos	28/sep/ 2006	28/oct/ 2006	25/nov/ 2006	25/marzo/ 2007	20/ mayo/ 2007
Testa	3	3	3	3	3
Linterna de Aristóteles	3	3	3	3	3
Gónadas	3	3	3	3	2
Total	9	9	9	9	8

Nota: en el mes de mayo del 2007 no se pudo obtener el tejido de gónadas de uno de los ejemplares.

Se hizo la disección *in situ* y se extrajeron la testa, la linterna de Aristóteles y las gónadas, estos tejidos fueron transportados al laboratorio en hielo sin ningún fijador. Una vez en el laboratorio, las muestras se mantuvieron congeladas a 4°C.

Para analizar la presencia de metales pesados en el medio, se tomaron 1 kg de sedimento, en una bolsa de plástico negro (para evitar oxidación) y 1 L de agua de la misma profundidad a la que se recolectaron en una botella de plástico estéril.

El análisis de agua, utilizando un agente biológico, permite conocer la fracción del metal que está en su forma química biodisponible, es decir, aquella fracción de los metales pesados que tiene la capacidad para asociarse a los tejidos de los animales y que podría tener repercusiones tóxicas. Esta fracción

la podemos encontrar tanto disuelta en la columna de agua como en los sedimentos, que actúan como reservorios naturales de los contaminantes.

En cada muestreo se midió la temperatura, salinidad, pH y Oxígeno disuelto en agua de fondo, esto con el objetivo de buscar una relación entre dichos parámetros y la concentración de metales pesados en los tejidos de *Toxopneustes roseus*.

2.-Trabajo de gabinete:

Ya en el laboratorio se siguieron los siguientes pasos para la determinación de metales pesados (Fig. 4):

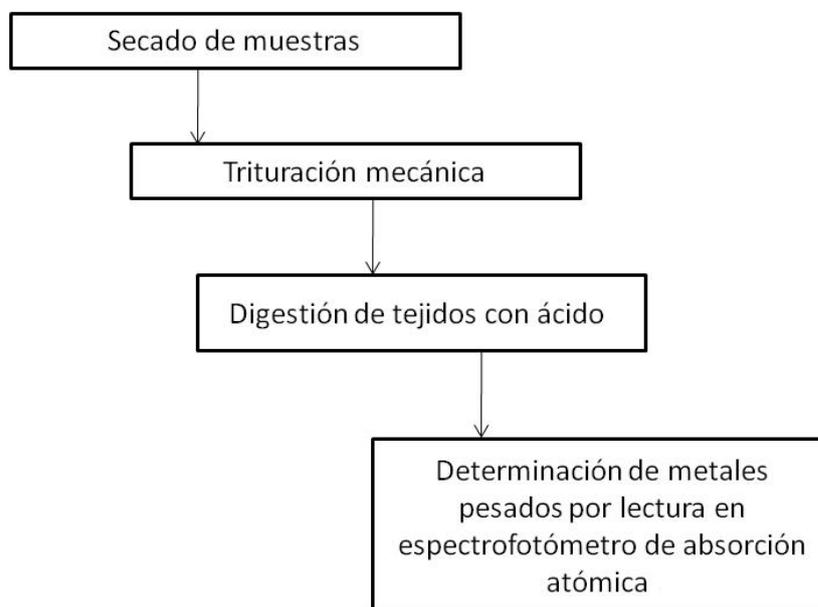


Figura 4. Diagrama de flujo del análisis de laboratorio para la determinación de los metales pesados.

Etapas del análisis de las muestras en laboratorio (Modificado de Lorenz, 2002):

1. Secado de tejidos. Las gónadas se secan durante 48 horas, y la testa y linterna de Aristóteles durante 60 horas. La temperatura constante para ambas fue de 45 °C, en una estufa de secado marca THELCO, modelo 16.
2. Triturado mecánico de las muestras. Se cubren con una bolsa de plástico para evitar algún tipo de contaminación, ya sea por metales u

otros. Para las muestras de gónadas el tejido fue insuficiente para hacer la medición de los metales en cada uno de los tres organismos colectados en cada muestreo por lo que se hizo una sola lectura por los tres organismos, esto se logró homogeneizando el tejido de los tres organismos.

3. Digestión preliminar de tejidos. Esta etapa se realiza con el objeto de reducir la interferencia de la materia orgánica y convertir el material asociado a las partículas en una forma (normalmente el metal libre) que pueda determinarse por espectrofotometría de absorción atómica (Clesceri *et al.*, 1992).

Para la testa y la linterna de Aristóteles se realizó una digestión por ácido nítrico:

- Se mezcló 1 g de muestra con 50 ml de agua destilada y se puso en matraces Kjeldahl de 800 mL.
- Se añadieron 50 ml de HNO₃ y piedras de ebullición.
- Se llevó a ebullición utilizando un equipo Kjeldahl, se evapora hasta el menor volumen posible (~10 a 20 mL).
- Se añadieron 10 mL de HNO₃ concentrado para completar la digestión (la solución se hace transparente y ligeramente amarilla).
- Se recogieron con agua los restos que quedaron en las paredes del matraz y se filtró utilizando un portafiltros y filtros de celulosa de 45 µ.
- Se enfrió y se aforó a 50 mL.
- Se tomaron porciones de esta solución para las determinaciones del metal requeridas.

Para las gónadas se realizó una digestión con ácido nítrico-ácido perclórico:

- Se mezcló la muestra con 30 mL de HNO_3 concentrado y se puso en matraces Kjeldahl de 800 mL.
 - Se agregaron unas gotas de anaranjado de metilo y 5 mL de HNO_3 más.
 - Se agregaron piedras de ebullición y se llevó a ebullición utilizando un equipo Kjeldahl. Se evaporó hasta el menor volumen posible (aproximadamente 10 a 20 mL).
 - Se enfrió.
 - Se agregaron 10 mL de HClO_4 .
 - Se llevó a ebullición utilizando un equipo Kjeldahl. Se evaporó hasta el menor volumen posible (aproximadamente 10 a 20 mL). No se retiró del equipo Kjeldahl hasta que dejaron de aparecer humos blancos densos de HClO_4 .
 - Se añadieron 10 mL de HNO_3 concentrado para completar la digestión.
 - Se aforó a 50 mL con agua destilada y se llevó a ebullición utilizando el equipo Kjeldahl, se dejó evaporar por 3 minutos y se dejó enfriar. Se aforó a 50 ml con agua destilada.
 - Se tomaron porciones de esta solución para las determinaciones del metal requeridas.
- Para la determinación de metales pesado se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer, Mod. Analyst 700. Mod. HGA-850). La metodología utilizada para la medición de los metales pesados es la Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA), que es definida como una técnica de análisis instrumental empleada para la cuantificación de diversos elementos de una muestra determinada, y se realiza a través de la medición de la absorción de radiación por un elemento de onda específica y característica del elemento a cuantificar (Arteaga *et al.*, 2002). La aplicación analítica depende de que los átomos absorban fuerte y directamente a determinadas longitudes de onda características que coinciden con las líneas espectrales emitidas por el mismo metal (Apolinar *et al.*, 2007).

- Una de las pruebas estadísticas que se utilizó fue la prueba de correlación de Pearson en el programa SPSS versión 17 para comparar la concentración de cada metal en testa, linterna de Aristóteles y gónadas. También se compararon los resultados obtenidos de los metales pesados cuantificados para la columna de agua y sedimento, provenientes del mismo sitio de recolecta que los organismos, esto con el fin de determinar la proporción de los metales que se encuentra en su forma biodisponible. Por otro lado, se realizó la comparación entre los diferentes muestreos.
- Otras de las pruebas estadísticas utilizadas fueron la prueba de comparación de varianzas de Levene y la prueba de t para la comparación de medias, ambas se realizaron en el programa XLSTAT. Estas se utilizaron para identificar diferencias significativas entre las medias de los tejidos y entre las distribuciones de los mismos. En el mismo programa se realizó una prueba de regresión múltiple entre el contenido de metal en un tejido y la concentración de dicho metal en agua y sedimento, esto con la finalidad de explicar que porcentaje de la varianza en los datos del tejido puede ser explicado por estas dos variables.

Para analizar los datos se utilizó una correlación, la cual establece una relación entre dos variables continuas, y esta se define como la cuantificación del grado de relación que existe entre dos variables, en caso de que la relación sea lineal.

La correlación entre las variables aleatorias X y Y se denota mediante la letra griega ρ (ro). La correlación cuantifica la fuerza de la relación lineal entre los resultados de X y Y. Puede considerarse el promedio del producto de las desviaciones normales estándares X y Y (Pagano *et al.*, 2001).

El estimador de la correlación es el coeficiente de correlación de Pearson, o sencillamente coeficiente de correlación, el cual se denota con r.

El valor máximo que alcanza r es 1, y su valor mínimo es -1. Si r es mayor que 0 se dice que las variables están correlacionadas positivamente (si una crece la otra también crece) y cuando r es menor que 0 se dice que las variables están correlacionadas negativamente (es decir que si una crece la otra decrece) (Pagano *et al.*, 2001).

La correlación es una medida de la asociación entre dos variables y tiene como ventaja que es independiente de las unidades de medida utilizadas en las variables (Infante *et al.*, 2000).

La prueba t , como todos los estadísticos de contraste se basa en el cálculo de estadísticos descriptivos previos: el número de observaciones, la media y la desviación típica en cada grupo. A través de estos estadísticos previos se calcula el estadístico de contraste experimental. Con la ayuda de unas tablas se obtiene a partir de dicho estadístico el p -valor. Si $p < 0,05$ se concluye que hay diferencia entre los dos tratamientos. En dicha prueba no es obligatorio que los tamaños de los grupos sean iguales, ni tampoco es necesario conocer la dispersión de los dos grupos (Pagano *et al.*, 2001).

El test de la razón de varianzas o test de Levene permitirá conocer si las varianzas de los dos grupos de observaciones son o no iguales. Si su p -valor es menor a 0,05, rechazaremos la hipótesis nula y supondremos que la variabilidad en ambos grupos es sustancialmente distinta (varianzas no homogéneas). Por lo tanto, el estadístico a calcular, variará ligeramente en función de las variabilidades muestrales.

Utilizamos la regresión múltiple cuando estudiamos la posible relación entre varias variables independientes (variables explicativas) y otra variable dependiente. Esto nos ayuda a crear un modelo donde se seleccionen las variables que pueden influir en nuestra respuesta, descartando aquellas que no aportan información (Pagano *et al.*, 2001).

Según los datos compilados por De Filippis y Pallaghy (1994) (Tomado de Cervantes & Moreno-Sánchez, 1999) para determinar si el sitio de recolecta está contaminado, se deben comparar las concentraciones de metales pesados

en agua con las concentraciones de metales pesados en aguas oceánicas no contaminadas (Tabla 2):

Tabla 2. Concentraciones de metales en aguas oceánicas no contaminadas.

Metal	Aguas Oceánicas $\mu\text{g}/\text{kg}$
Cu	0.32 - 0.57 $\mu\text{g}/\text{kg}$
Ni	0.05 - 0.65 $\mu\text{g}/\text{kg}$
Zn	0.59 - 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$
Pb	0.001 - 0.015 $\mu\text{g}/\text{kg}$
Hg	0.001 - 0.005 $\mu\text{g}/\text{kg}$
Cr	0.00016 - 0.124 $\mu\text{g}/\text{kg}$
Cd	0.00016 - 0.124 $\mu\text{g}/\text{kg}$

La precipitación puede ser un factor que produzca variación en los niveles de los metales en el agua, por esto se consideró importante determinar las concentraciones de metales pesados en *Toxopneustes roseus* tomando en cuenta la precipitación total mensual de Acapulco, Guerrero.

RESULTADOS

1.- Trabajo de campo

En cada uno de los muestreos (septiembre, octubre y noviembre de 2006 y marzo y mayo de 2007) se midieron los parámetros: salinidad, Oxígeno disuelto, pH y temperatura, estos datos se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Parámetros registrados en cada uno de los muestreos.

Parámetro/Muestreo	septiembre 2006	octubre 2006	noviembre 2006	marzo 2007	mayo 2007
Salinidad	30.4	32.30	32.9	33.7	32.9
Oxígeno disuelto (mg/L)	6.12	5.21	6.53	6.62	5.3
pH	8.33	7.92	8.02	8.06	8.0
Temperatura (°C)	29.63	29.38	28.5	26.65	27.7

2.- Trabajo de gabinete

2.2.- Cuantificación de metales en organismos

Para obtener los valores de concentración de metales pesados en las muestras, se realizó la lectura de cada una de ellas por medio de espectrofotometría de absorción atómica. Los tejidos analizados fueron testa, linterna de Aristóteles y gónadas y los metales analizados fueron Hierro, Cobre, Níquel, Zinc, Plomo y Mercurio. Estas mediciones se muestran en el Apéndice 1.

Los valores promedio para cada metal, para cada mes y cada tejido se muestran en el Tabla 4.

Tabla 4. En esta tabla se muestran promedio y error estándar por mes por tejido. Los valores que no pudieron ser detectados se consideran como <0.0275. En el caso de las gónadas Para las muestras de gónadas el tejido fue insuficiente para hacer la medición de los metales en cada uno de los tres organismos colectados en cada muestreo por lo que se hizo una sola lectura por los tres organismos, esto se logró homogeneizando el tejido de los tres organismos, es por esto que no hay valor para error estándar.

METAL	Cu	Ni	Zn	Pb	Hg	Cr	Cd
MASA	63	60	66	208	G.H	52	HG/111
Tejido	mg/kg						
Testa octubre	17.44 ± 03.02	09.86 ± 01.42	43.45 ± 02.72	01.91 ± 00.07	01.00 ± 00.44	04.41 ± 00.35	00.78 ± 00.12
Testa noviembre	09.20 ± 02.13	05.74 ± 00.54	45.33 ± 08.55	01.48 ± 00.23	00.47 ± 00.04	04.31 ± 00.78	01.09 ± 00.32
Testa marzo	14.27 ± 03.21	06.64 ± 00.26	55.08 ± 04.41	02.51 ± 00.47	00.70 ± 00.12	05.98 ± 00.34	01.45 ± 00.43
Testa mayo	12.48 ± 00.89	08.59 ± 01.17	57.89 ± 02.66	03.01 ± 00.05	00.44 ± 00.05	06.64 ± 00.21	00.68 ± 00.04
Linterna de Aristóteles septiembre	06.54 ± 01.74	09.47 ± 02.25	35.61 ± 09.97	02.44 ± 00.50	02.20 ± 00.76	04.17 ± 01.16	00.36 ± 00.13
Linterna de Aristóteles octubre	05.14 ± 00.30	07.27 ± 00.86	22.40 ± 00.94	01.06 ± 00.03	00.77 ± 00.16	02.51 ± 00.12	00.49 ± 00.13
Linterna de Aristóteles noviembre	07.73 ± 00.57	07.41 ± 00.74	34.51 ± 03.34	01.98 ± 00.21	00.69 ± 00.05	05.48 ± 00.47	00.80 ± 00.20
Linterna de Aristóteles marzo	07.09 ± 01.10	05.24 ± 00.67	26.23 ± 05.27	01.31 ± 00.27	00.20 ± 00.09	04.18 ± 00.42	00.46 ± 00.08
Linterna de Aristóteles mayo	10.17 ± 01.09	13.62 ± 04.86	45.03 ± 03.00	02.48 ± 00.16	00.33 ± 00.04	06.21 ± 00.56	00.48 ± 00.05
Gónadas septiembre	20.9	13.4	86.4	4.5	<0.0275	12.1	1.3
Gónadas octubre	30.7	29.2	169.3	8.37	<0.0275	20	3.5
Gónadas noviembre	30.3	50.1	182.7	7.65	<0.0275	18.5	5.2
Gónadas marzo	37.8	27.2	187.3	10.56	<0.0275	25.6	3.3
Gónadas mayo	29.7	120.8	321	14.52	4.2	47.9	2.7

Para poder apreciar mejor las diferencias entre los datos de la tabla 4 se graficaron tres tejidos en una misma gráfica y se incluye el error estándar, este permite observar si existen diferencias significativas entre los distintos tejidos cada mes.

La figura 5 muestra los datos de contenido de Cobre para los tres tejidos. La concentración de Cobre es mayor en gónadas, intermedio en testis y menor en linterna de Aristóteles, excepto en el mes de septiembre.

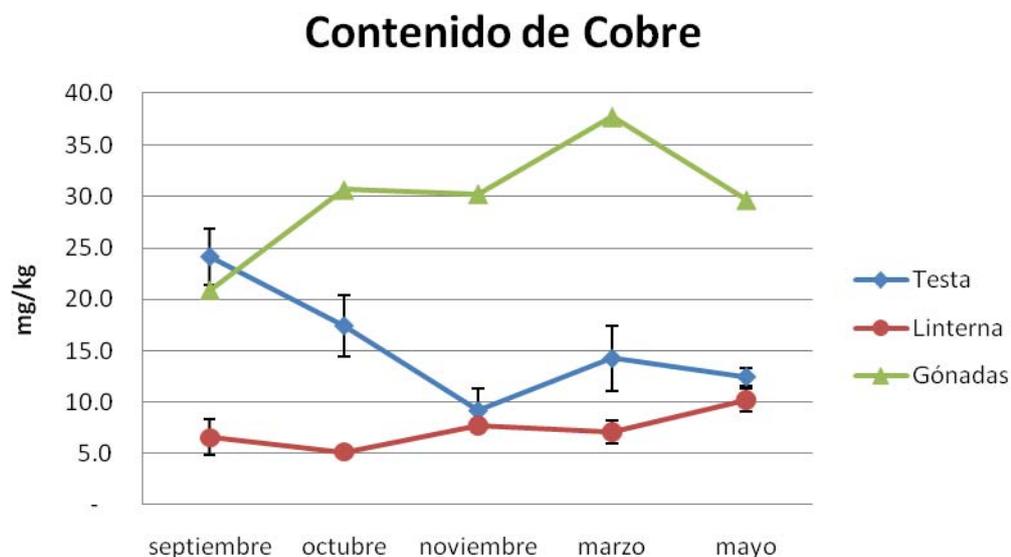


Figura 5. Análisis del contenido de Cobre en los tres tejidos en los distintos muestreos.

Haciendo una prueba de comparación de varianzas de Levene se obtuvo p-valor de 0.336 con un α de 0.05.

Interpretación de la prueba:

H₀: Las varianzas son idénticas.

H_a: Al menos una de las varianzas es diferente de otra.

Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha = 0.05$, se puede aceptar la hipótesis nula H₀.

Esto quiere decir que no hay diferencias significativas entre la distribución de la concentración de Cobre en cada uno de los tres tejidos.

Haciendo una prueba de t para la comparación de medias se obtuvieron p-valores menores al α de 0.05 (Ver Apéndice II).

Interpretación de la prueba:

Ho: La diferencia entre las medias es igual a 0.

Ha: La diferencia entre las medias es diferente de 0.

Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula HO, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.

Esto quiere decir que si hay diferencias significativas entre la concentración de Cobre en cada uno de los tres tejidos.

La figura 6 muestra los datos de contenido de Níquel para los tres tejidos. Se puede observar que la concentración en testa y linterna es similar y en gónadas presenta dos picos uno en noviembre y otro mayor en mayo.

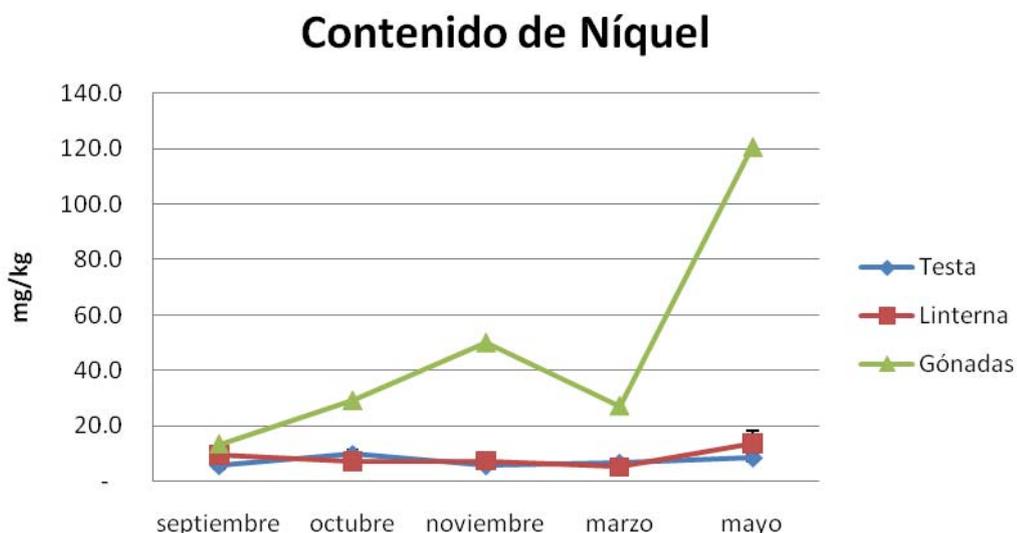


Figura 6. Análisis del contenido de Níquel en los tres tejidos en los distintos muestreos.

Haciendo una prueba de comparación de varianzas de Levene se obtuvo p-valor de 0.020 con un α de 0.05.

Interpretación de la prueba:

Ho: Las varianzas son idénticas.

Ha: Al menos una de las varianzas es diferente de otra.

Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación $\alpha = 0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula H_0 , y aceptar la hipótesis alternativa H_a .

Esto quiere decir que hay diferencias significativas entre la distribución de la concentración de Níquel en cada uno de los tres tejidos.

Haciendo una prueba de t para la comparación de medias se obtuvieron p-valores mayores al α de 0.05 (Ver Apéndice II).

Interpretación de la prueba:

H_0 : La diferencia entre las medias es igual a 0.

H_a : La diferencia entre las medias es diferente de 0.

Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha = 0.05$, se puede aceptar la hipótesis nula H_0 .

Esto quiere decir que no hay diferencias significativas entre la concentración de Níquel en cada uno de los tres tejidos.

La figura 7 muestra los datos de contenido de Zinc para los tres tejidos. Se puede observar que hay diferencias significativas entre los valores para cada tejido siendo mayores los de gónadas, intermedios los de testa y menores los de linterna Aristóteles. Además en todos los tejidos en mayo se presentan los valores más altos.

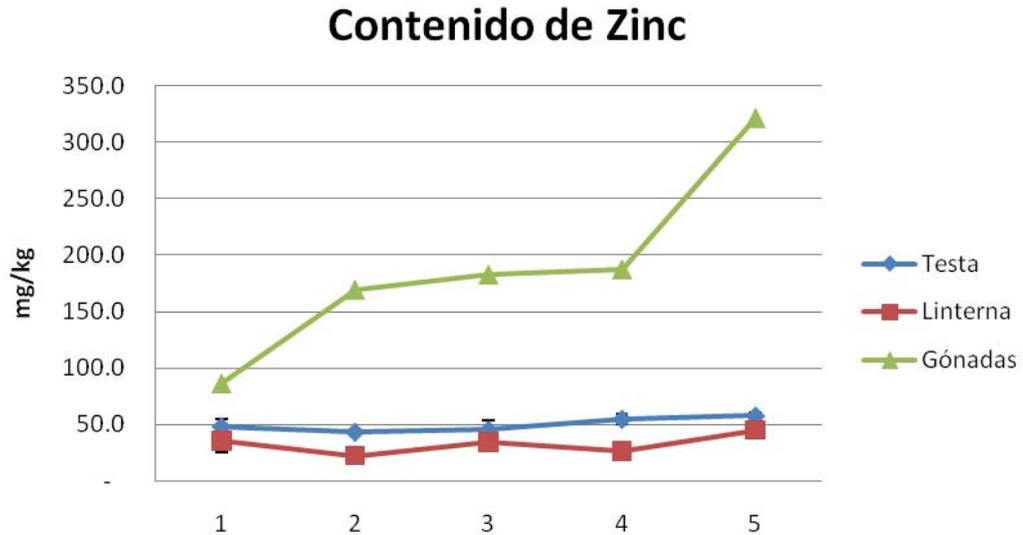


Figura 7. Análisis del contenido de Zinc en los tres tejidos en los distintos muestreos.

Haciendo una prueba de comparación de varianzas de Levene se obtuvo p-valor de 0.089 con un α de 0.05.

Interpretación de la prueba:

Ho: Las varianzas son idénticas.

Ha: Al menos una de las varianzas es diferente de otra.

Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se puede aceptar la hipótesis nula Ho.

Esto quiere decir que no hay diferencias significativas entre la distribución de la concentración de Zinc en cada uno de los tres tejidos.

Haciendo una prueba de t para la comparación de medias se obtuvieron p-valores menores al α de 0.05 (Ver Apéndice II).

Interpretación de la prueba:

Ho: La diferencia entre las medias es igual a 0.

Ha: La diferencia entre las medias es diferente de 0.

Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula Ho, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.

Esto quiere decir que hay diferencias significativas entre la concentración de Zinc en cada uno de los tres tejidos.

La figura 8 muestra los datos de contenido de Plomo para los tres tejidos. Se puede observar que la concentración en testa y linterna sigue la misma tendencia y que los valores de Plomo en gónadas son mayores que en los otros dos tejidos.

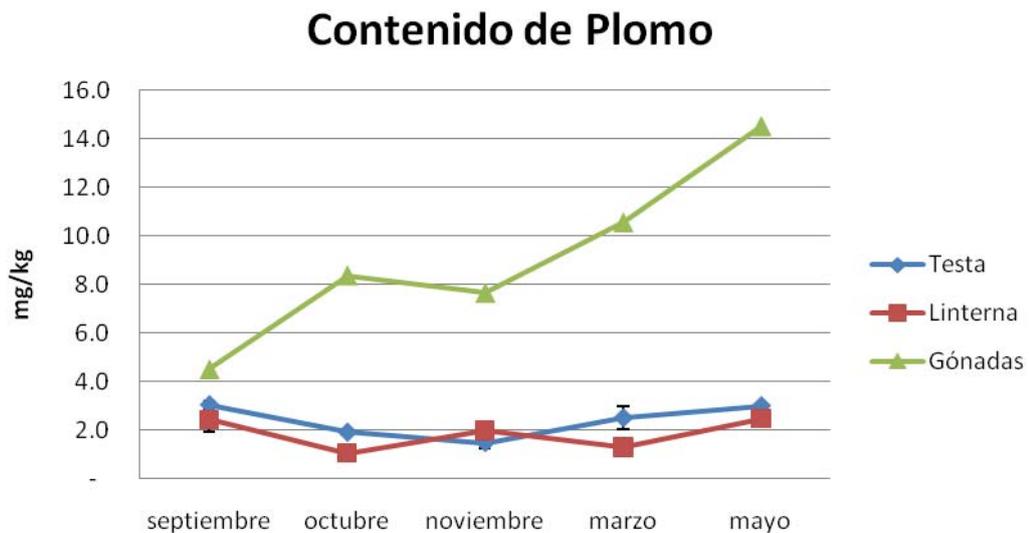


Figura 8. Análisis del contenido de Plomo en los tres tejidos en los distintos muestreos.

Haciendo una prueba de comparación de varianzas de Levene se obtuvo p-valor de 0.024 con un α de 0.05.

Interpretación de la prueba:

Ho: Las varianzas son idénticas.

Ha: Al menos una de las varianzas es diferente de otra.

Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación $\alpha = 0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula Ho, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.

Esto quiere decir que hay diferencias significativas entre la distribución de la concentración de Plomo en cada uno de los tres tejidos.

Haciendo una prueba de t para la comparación de medias entre testa y linterna se obtuvo un p-valor mayor al α de 0.05 (Ver Apéndice II).

Interpretación de la prueba:

Ho: La diferencia entre las medias es igual a 0.

Ha: La diferencia entre las medias es diferente de 0.

Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se puede aceptar la hipótesis nula Ho.

Esto quiere decir que no hay diferencias significativas entre la concentración de Plomo en testa y linterna.

Haciendo una prueba de t para la comparación de medias entre testa y gónadas y linterna y gónadas se obtuvieron p-valores menores al α de 0.05 (Ver Apéndice 2).

Interpretación de la prueba:

Ho: La diferencia entre las medias es igual a 0.

Ha: La diferencia entre las medias es diferente de 0.

Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula Ho, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.

Esto quiere decir que hay diferencias significativas entre la concentración de Plomo en testa y linterna y la concentración de Plomo en gónadas.

La figura 9 muestra los datos de contenido de Mercurio para testa y linterna de Aristóteles durante los muestreos. Se puede observar que los valores reportados para testa y linterna de Aristóteles tienen la misma tendencia, tendiendo su valor mayor en septiembre.

No se pudieron incluir los datos correspondientes a los valores de Mercurio en gónadas debido a que cuatro de los cinco valores (correspondientes a los meses de septiembre, octubre, noviembre y marzo) se encuentran por debajo del valor del nivel de detección que posee el espectrofotómetro en el que se hicieron las lecturas.

Contenido de Mercurio

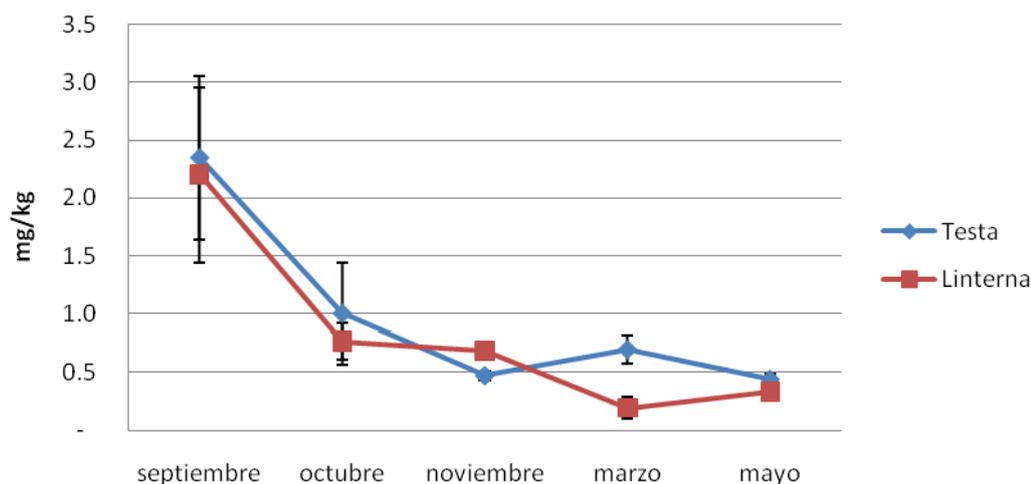


Figura 9. Análisis del contenido de Mercurio en el tejido de testa y en linterna de Aristóteles en los distintos muestreos.

Haciendo una prueba de comparación de varianzas de Levene se obtuvo p-valor de 0.982 con un α de 0.05.

Interpretación de la prueba:

Ho: La razón entre las varianzas es igual a 1.

Ha: La razón entre las varianzas es diferente de 1.

Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se puede aceptar la hipótesis nula Ho.

Esto quiere decir que hay diferencias significativas entre la distribución de la concentración de Mercurio entre los dos tejidos.

Haciendo una prueba de t para la comparación de medias se obtuvo un p-valor mayor al α de 0.05 (Ver Apéndice II).

Interpretación de la prueba:

Ho: La diferencia entre las medias es igual a 0.

Ha: La diferencia entre las medias es diferente de 0.

Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se puede aceptar la hipótesis nula Ho.

Esto quiere decir que no hay diferencias significativas entre la concentración de Mercurio para los dos tejidos.

La figura 10 muestra los datos de contenido de Cromo para testa, linterna de Aristóteles y gónadas. Se puede observar que los valores de testa y linterna tienen la misma tendencia, mientras que los valores de gónadas son mayores y tienen su mayor valor en el mes de mayo.

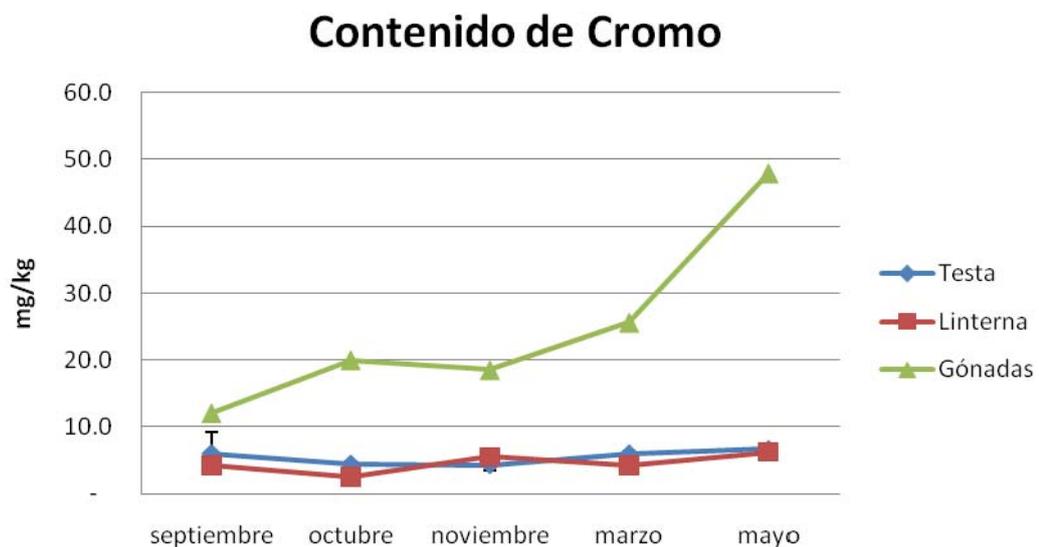


Figura 10. Análisis del contenido de Cromo en los tres tejidos en los distintos muestreos.

Haciendo una prueba de comparación de varianzas de Levene se obtuvo p-valor de 0.029 con un α de 0.05.

Interpretación de la prueba:

Ho: Las varianzas son idénticas.

Ha: Al menos una de las varianzas es diferente de otra.

Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula Ho, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.

Esto quiere decir que hay diferencias significativas entre la distribución de la concentración de Cromo en cada uno de los tres tejidos.

Haciendo una prueba de t para la comparación de medias entre testa y linterna se obtuvo un p-valor mayor al α de 0.05 (Ver Apéndice II).

Interpretación de la prueba:

Ho: La diferencia entre las medias es igual a 0.

Ha: La diferencia entre las medias es diferente de 0.

Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se puede aceptar la hipótesis nula Ho.

Esto quiere decir que no hay diferencias significativas entre la concentración de Cromo en testa y linterna.

Haciendo una prueba de t para la comparación de medias entre testa y gónadas y linterna y gónadas se obtuvieron p-valores menores al α de 0.05 (Ver Apéndice II).

Interpretación de la prueba:

Ho: La diferencia entre las medias es igual a 0.

Ha: La diferencia entre las medias es diferente de 0.

Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula Ho, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.

Esto quiere decir que hay diferencias significativas entre la concentración de Cromo en testa y linterna y la concentración de Cromo en gónadas.

La figura 11 muestra los datos de contenido de Cadmio para testa, linterna de Aristóteles y gónadas. Se puede observar que los valores de gónadas son mayores que los de los otros dos tejidos y que estos tienen un pico en el mes de noviembre.

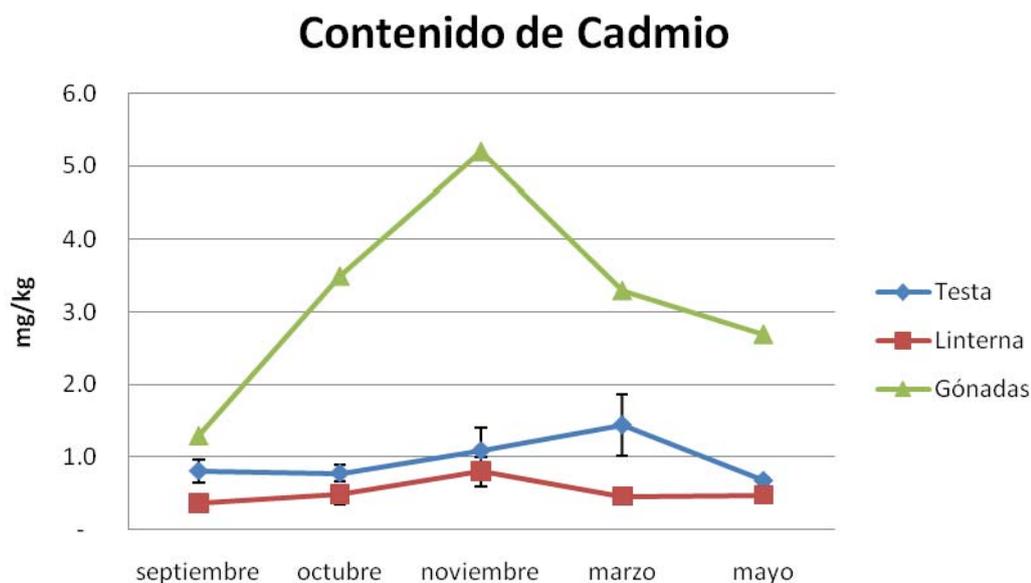


Figura 11. Análisis del contenido de Cadmio en los tres tejidos en los distintos muestreos.

Haciendo una prueba de comparación de varianzas de Levene se obtuvo p-valor de 0.061 con un α de 0.05.

Interpretación de la prueba:

Ho: Las varianzas son idénticas.

Ha: Al menos una de las varianzas es diferente de una otra

Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se puede aceptar la hipótesis nula Ho.

Esto quiere decir que no hay diferencias significativas entre la distribución de la concentración de Cadmio de los tres tejidos.

Haciendo una prueba de t para la comparación de medias se obtuvieron p-valores mayores al α de 0.05 (Ver Apéndice II).

Interpretación de la prueba:

Ho: La diferencia entre las medias es igual a 0.

Ha: La diferencia entre las medias es diferente de 0.

Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula Ho, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.

Esto quiere decir que hay diferencias significativas entre la concentración de Cadmio entre los tres tejidos.

2.2.-Cuantificación de metales en agua y sedimento

Además de los resultados obtenidos en los organismos se obtuvieron las concentraciones de los mismos metales en las muestras de agua. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados para cada metal en las muestras de agua.

Metal	Cu $\mu\text{g/Kg}$	Ni $\mu\text{g/Kg}$	Zn $\mu\text{g/Kg}$	Pb $\mu\text{g/Kg}$	Hg $\mu\text{g/Kg}$	Cr $\mu\text{g/Kg}$	Cd $\mu\text{g/Kg}$
sep-06	0.09	0.45	27.10	1.13	>0.28	0.57	<0.0014
oct-06	0.27	0.37	24.80	1.04	>0.28	0.69	<0.0014
nov-06	0.46	0.15	17.13	1.00	>0.28	0.24	<0.0014
mar-07	0.17	0.06	36.92	0.73	>0.28	0.23	<0.0014
may-07	0.42	0.86	6.20	0.47	>0.28	0.48	<0.0014

Valor mínimo de detección para el Mercurio es 0.28.

Valor mínimo de detección para el Cadmio es 0.0014.

También se analizaron las muestras de sedimento de la zona de estudio y los resultados obtenidos en se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados para cada metal en las muestras de sedimento.

Metal	Cu mg/Kg	Ni mg/Kg	Zn mg/Kg	Pb mg/Kg	Hg mg/Kg	Cr mg/Kg	Cd mg/Kg
sep-06	1.47	2.23	20.36	9.27	<0.03103	10.12	0.00
oct-06	1.58	1.89	19.46	4.69	<0.03103	3.78	0.03
nov-06	1.12	3.05	20.43	3.22	0.0563	4.24	0.09
mar-07	1.36	2.78	16.62	3.75	0.0651	3.92	0.02
may-07	0.67	1.61	9.09	5.39	<0.03103	4.46	0.01

2.3.- Pruebas estadísticas

Se realizó el análisis estadístico de correlación de Pearson entre los resultados obtenidos para muestras de agua y los resultados obtenidos para cada tejido de los organismos y los coeficientes de correlación obtenidos se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados de la correlación de Pearson entre agua y organismos.

Agua/organismos	Cu	Ni	Zn	Pb	Cr
Testa	r=-0.859 p= 0.062	r=0.46 p=0.436	r=-0.182 p= 0.769	r=-0.394 p=0.512	r=-0.36 p=0.954
Linterna	r=0.57 p=0.319	r=0.964 p=0.008	r=-0.774 p= 0.124	r=-0.2 p=0.747	r=-0.527 p=0.361
Gónadas	r=0.231 p=0.709	r=0.729 p=0.163	r=-0.686 p=0.201	r=-0.964 p=0.008	r=-0.077 p=0.905

Los valores tanto de Mercurio como de Cadmio estuvieron por debajo del nivel de detección en agua.

Además, se realizó el análisis estadístico de correlación de Pearson entre los resultados obtenidos para muestras de sedimento y los obtenidos para cada tejido de los organismos. Los coeficientes de correlación obtenidos se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados de la correlación de Pearson entre sedimento y organismos.

Sedimentos/organismos	Cu	Ni	Zn	Pb	Cr	Cd
Testa	r=0.604 p=0.280	r=-0.753 p=0.142	r=-0.854 p=0.065	r=0.711 p=0.178	r=0.343 p=0.585	r=0.294 p=0.571
Linterna	r=-0.98 p=0.003	r=-0.718 p=0.169	r=-0.618 p=0.267	r=0.557 p=0.330	r=-0.039 p=0.96	r=0.98 p=0.004
Gónadas	r=-0.090 p=0.885	r=-0.474 p=0.421	r=-0.905 p=0.035	r=0.466 p=0.429	r=-0.455 p=0.442	r=0.928 p=0.021

Los valores de Mercurio en sedimento estuvieron por debajo del nivel de detección en sedimento.

Para poder determinar que porcentaje de la varianza se puede explicar por un grupo de variables se realizó una regresión múltiple tomando como

variable dependiente la concentración de metal en cada tejido y como variables explicativas la concentración del mismo metal en agua y sedimento, estos resultados se muestran a continuación en la Tabla 9. No se pudo hacer una regresión múltiple donde se incluyera también a los factores fisicoquímicos como variables explicativas, ya que debido al número de observaciones es el número de variables que se pueden tomar como explicativas y en este caso solo podían ser dos.

Tabla 9. Resultados de la regresión múltiple. En el caso del Mercurio y el Cadmio no fue posible realizar la regresión múltiple ya que algunos de los valores se encontraron por debajo del límite de detección.

Metal	Tejido	R ²	p valor
Cobre	Testa	0.745	0.255
Cobre	Linterna	0.992	0.008
Cobre	Gónadas	0.065	0.935
Níquel	Testa	0.737	0.263
Níquel	Linterna	1.000	0.000
Níquel	Gónadas	0.654	0.346
Zinc	Testa	0.869	0.131
Zinc	Linterna	0.644	0.356
Zinc	Gónadas	0.860	0.140
Plomo	Testa	0.946	0.054
Plomo	Linterna	0.462	0.538
Plomo	Gónadas	0.956	0.044
Cromo	Testa	0.138	0.862
Cromo	Linterna	0.301	0.699
Cromo	Gónadas	0.212	0.788

La Tabla 10 muestra los resultados de la correlación de Pearson entre salinidad y contenido de metales en los organismos. Esto nos permite determinar si existe alguna relación entre este parámetro y la cantidad de metales en los organismos.

Tabla 10. Resultados de la correlación de Pearson entre salinidad y contenido de metales en los organismos.

Salinidad/organismos	Cu	Ni	Zn	Pb	Hg	Cr	Cd
Testa	r=-0.841 p=0.074	r=0.202 p=0.745	r=0.388 p=0.517	r=-0.368 p=0.542	r=-0.922 p=0.027	r=-0.070 p=0.931	r=0.566 p=0.294
Linterna	r=0.337 p=0.572	r=-0.257 p=0.667	r=-0.140 p=0.821	r=-0.442 p=0.456	r=-0.976 p=0.005	r=-0.253 p=0.687	r=0.443 p=0.443
Gónadas	r=0.946 p=0.015	r=0.384 p=0.524	r=0.639 p=0.246	r=0.711 p=0.178	-	r=0.516 p=0.347	r=0.670 p=0.223

La Tabla 11 muestra los resultados de la correlación de Pearson entre Oxígeno disuelto y contenido de metales en los organismos. Esto nos permite determinar si existe alguna relación entre este parámetro y la cantidad de metales en los organismos.

Tabla 11. Resultados de la correlación de Pearson entre Oxígeno disuelto y contenido de metales en los organismos.

Oxígeno/organismos	Cu	Ni	Zn	Pb	Hg	Cr	Cd
Testa	r=-0.163	r=-0.886	r=0.009	r=-0.208	r=0.040	r=- 0.063	r=0.831
	p=0.797	p=0.045	p=0.993	p=0.737	p=0.926	p=0.920	p=0.084
Linterna	r=-0.058	r=-0.597	r=-0.135	r=-0.006	r=0.046	r=0.174	r=0.323
	p=0.925	p=0.284	p=0.828	p=0.992	p=0.940	p=0.766	p=0.523
Gónadas	r=0.220	r=-0.456	r=-0.415	r=-0.365		r=-0.453	r=0.267
	p=0.722	p=0.440	p=0.487	p=0.545	-	p=0.441	p=0.664

La Tabla 12 muestra los resultados de la correlación de Pearson entre pH contenido de metales en los organismos. Esto nos permite determinar si existe alguna relación entre este parámetro y la cantidad de metales en los organismos.

Tabla 12. Resultados de la correlación de Pearson entre pH y contenido de metales en los organismos.

pH/organismos	Cu	Ni	Zn	Pb	Hg	Cr	Cd
Testa	r=0.704	r=-0.691	r=0.051	r=0.569	r=0.849	r=0.424	r=- 0.019
	p=0.181	p=0.196	p=0.938	p=0.317	p=0.072	p=0.484	p=0.924
Linterna	r=-0.081	r=0.084	r=0.256	r=0.561	r= 0.83	r=0.053	r=-0.461
	p=0.893	p=0.889	p=0.667	p=0.326	p=0.089	p=0.919	p=0.476
Gónadas	r=-0.677	r=-0.419	r=-0.62	r=-0.606		r=-0.452	r=-0.692
	p=0.208	p=0.483	p=0.264	p=0.279	-	p=0.444	p=0.200

La Tabla 13 muestra los resultados de la correlación de Pearson entre temperatura y contenido de metales en los organismos. Esto nos permite determinar si existe alguna relación entre este parámetro y la cantidad de metales en los organismos.

Tabla 13. Resultados de la correlación de Pearson entre temperatura y contenido de metales en los organismos.

Temp/organismos	Cu	Ni	Zn	Pb	Hg	Cr	Cd
Testa	r=0.580	r=0.078	r=-0.76	r=-0.116	r=0.649	r=-0.419	r=-0.658
	p=0.308	p=0.898	p=0.136	p=0.852	p=0.229	p=0.463	p=0.230
Linterna	r=-0.511	r=0.129	r=0.084	r=0.147	r=0.782	r=-0.415	r=-0.117
	p=0.371	p=0.824	p=0.895	p=0.813	p=0.111	p=0.488	p=0.851
Gónadas	r=-0.811	r=-0.359	r=-0.569	r=-0.704		r=-0.571	r=-0.248
	p=0.095	p=0.553	p=0.317	p=0.184	-	p=0.316	p=0.696

Fue necesario conocer los valores de precipitación promedio mensual en la zona de estudio, en los meses de los muestreos, para poder buscar alguna relación con este factor (Tabla 14).

Tabla 14. Precipitación promedio mensual de los meses de muestreo.

FUENTE: <http://clima.meteored.com.html>. Estación meteorológica: 768050.

Mes	Precipitación (mm)
sep-06	149.6 mm ³
oct-06	140.7 mm ³
nov-06	17.5 mm ³
mar-07	0 mm ³
may-07	1.5 mm ³

Precipitación Pluvial en milímetros cúbicos.

La Tabla 15 muestra los resultados de la correlación de Pearson entre los valores de precipitación registrados en la zona por mes y el contenido de metales en el agua de mar.

Tabla 15. Resultados de la correlación de Pearson entre precipitación y contenido de metales en el agua de mar.

Precipitación/agua	Cu	Ni	Zn	Pb	Cr
	r=-0.560	r=0.067	r=-0.56	r=0.765	r=0.814
	p=0.326	p=0.915	p=0.672	p=0.132	p=0.093

La Tabla 16 muestra los resultados de la correlación de Pearson entre la precipitación y el contenido de metales en los organismos. Estas correlaciones nos permiten determinar si hay estacionalidad en la cantidad de metales en los organismos, es decir, nos permite saber si la cantidad de precipitación afecta la cantidad de metales en los organismos.

Tabla 16. Resultados de la correlación de Pearson entre la precipitación y el contenido de metales en los organismos.

Precipitación/ Organismos	Cu	Ni	Zn	Pb	Hg	Cr	Cd
Testa	r=0.836	r=0.175	r=-0.651	r=0.074	r=0.803	r=-0.262	r=-0.487
	p=0.080	p=0.778	p=0.236	p=0.906	p=0.097	p=0.657	p=0.386
Linterna	r=-0.736	r=-0.073	r=-0.364	r=-0.106	r=0.783	r=-0.721	r=-0.448
	p=0.153	p=0.919	p=0.549	p=0.866	p=0.101	p=0.170	p=0.417
Gónadas	r=-0.664	r=-0.592	r=-0.705	r=-0.717		r=-0.633	r=-0.483
	p=0.224	p=0.293	p=0.184	p=0.173	-	p=0.253	p=0.411

Los valores de Mercurio en gónadas estuvieron por debajo del nivel de detección en organismos.

DISCUSIÓN

Comparando los valores obtenidos de la concentración de metales en el agua en el presente trabajo con los valores de aguas oceánicas no contaminadas (Cervantes & Moreno-Sánchez, 1999) podemos observar que los valores obtenidos son mayores a los valores reportados para Zinc, Plomo y Cromo en todos los meses y para Níquel en el mes de mayo. En otras palabras podemos afirmar que el agua está contaminada por estos metales.

Para todos los metales menos para el Mercurio se registraron, de manera general, los valores más altos en gónadas, que en testa y en linterna de Aristóteles. Esto se puede deber a que la capacidad de almacenaje de metales se debe a la afinidad de estos por los lípidos (Forstner & Wittmann en 1979) y las gónadas de erizo de mar son un tejido con un gran contenido de triglicéridos. (Hernández, 1987). Este contenido es de del 77.96% del total de lípidos medidos (Montero, 2000). Además en la literatura se encontraron reportes que indican así mismo, que tanto el Cobre como el Zinc se acumulan preferentemente en las gónadas de erizos de mar en comparación con otros tejidos analizados (Riley & Segar en 1970 y Bohn en 1979). Además en la literatura se reporta, en el artículo publicado por Warnau y colaboradores en 1998 que en los valores más altos tanto para Zinc como para Cromo se encontraron en gónadas. Se reporta, así mismo, que los resultados obtenidos se oponen a lo publicado en este mismo artículo con referencia a los valores para Plomo ya que estos autores reportan los mayores valores para este metal en testa. Adicionalmente hay que tomar en cuenta que Warnau y colaboradores en 1997 reportan que la concentración de Cadmio en los diferentes tejidos de *Paracentrotus lividus* es proporcional a las concentraciones de este metal adicionadas al agua de mar y ellos mismos reportan que para Cadmio se obtuvieron mayores valores en gónadas, valores intermedios en testa y los valores más bajos de obtuvieron para linterna de Aristóteles. Ellos proponen que los mayores valores se obtuvieron en gónadas, debido posiblemente a la gran actividad metabólica de estos órganos.

En contraste, para el Mercurio los valores en gónadas fueron indetectables, los mayores valores se hallaron en la testa y los menores para

linterna de Aristóteles. Este resultado se opone a lo reportado por Ablanado y colaboradores en 1990, ellos publicaron que la contaminación por Mercurio en las gónadas erizo de mar *Echinometra lucunter* indica la de las aguas en las cuales vive.

Lamentablemente los artículos consultados, con excepción de Stevenson de 1966, sólo publicaron sus resultados promedio por lo que fue imposible realizar pruebas estadísticas para poder establecer diferencias significativas entre sus resultados y los resultados de este trabajo. Para mayor información sobre los resultados reportados en la literatura estos se resumen en el Apéndice III.

En el caso del Cobre encontramos que los datos medidos en este trabajo son todos mayores a los valores reportados por Ablanado en 1990 para gónadas, Warnau en 1998 para los tres tejidos y González en 1999 para gónadas.

Para Níquel sólo encontramos valores reportados en el artículo de Stevenson en 1966, así mismo podemos mencionar que los valores medidos en este trabajo son significativamente mayores a los reportados en ese artículo (Apéndice III).

En el caso del Zinc los valores medidos en este trabajo son menores a los reportados por Ablanado en 1990 y González en 1999 para gónadas, en contraste los valores medidos en este trabajo son mayores que los reportados por Warnau en 1998 para los tres tejidos.

Para el Plomo sólo encontramos valores reportados en el artículo de Warnau en 1998 para los tres tejidos, así mismo podemos mencionar que los valores medidos en este trabajo para gónadas son mayores a los reportados, en linterna de Aristóteles son menores a los reportados en ese artículo, por último los valores medidos para testa están en el mismo rango que los valores reportados.

Para Mercurio en el mes de septiembre se reportaron los valores más altos tanto para testa como para linterna de Aristóteles. En el caso de este metal encontramos reportes en el artículo de Ablanedo en 1990, pero en dicho artículo no publican los datos medidos por lo cual no podemos establecer comparaciones.

Para el Cromo los valores medidos en este trabajo son mayores tanto a los reportados por Warnau en 1998 para los tres tejidos como para González en 1999 para gónadas.

En el caso del Cadmio los valores medidos en este trabajo fueron mayores a los reportados por Warnau en 1998 para los tres tejidos.

El análisis estadístico de correlación de Pearson arrojó resultados muy variados para cada metal por esto vale la pena analizarlos más detalladamente.

Debemos tomar en cuenta que los valores para Cadmio en agua no pudieron ser detectados, por lo cual no hay resultados de esta correlación.

Observando las correlaciones entre el agua y los organismos el Níquel en los tres tejidos presenta una correlación positiva con el agua: Si la concentración de Níquel aumenta en el agua entonces aumenta en los organismos, por esto podemos decir que los tres tejidos son capaces de reflejar el aumento en la concentración de Níquel en el agua.

Así mismo se presentan correlaciones positivas de acumulación de Cobre en linterna de Aristóteles y gónadas, pero en estas últimas dicha correlación ofrece poca información porque tuvo un valor cercano a cero.

En el caso de Zinc, Plomo y Cromo en los tres tejidos así como Cobre en testa se obtuvieron correlaciones negativas, en el caso de la correlación del Zinc en la linterna de Aristóteles, el Plomo en las gónadas y el Cobre en la testa tuvieron valores de correlación negativa muy altos, en otras palabras si el metal disminuye en el agua aumenta en el organismo y si aumenta en el agua

disminuye en el organismo, por esto podemos decir que estos tejidos tienen una respuesta inversa al aumento de contaminantes en el agua.

En cuanto a las correlaciones entre sedimento y organismos se obtuvieron datos de correlación positiva en testa para Cobre y Cromo, en testa y linterna de Aristóteles para Plomo y en los tres tejidos para Cadmio. Debemos destacar que, a excepción de los valores de testa para Cromo y Cadmio, todas las correlaciones positivas fueron altas. En la literatura encontramos lo publicado por González y colaboradores en 1999 donde sus datos sugieren una relación entre la biodisponibilidad de los metales en sedimentos y su concentración en los erizos de mar de la especie *Echinometra lucunter*.

Se obtuvieron correlaciones negativas para Níquel y Zinc en los tres tejidos, así como para Cobre en linterna de Aristóteles y gónadas y para gónadas en Plomo y Cromo.

Vale la pena destacar, así mismo, que para Cobre, Zinc y Níquel, a excepción de gónadas, todos los valores de correlación negativa son altos, esto se podría explicar porque el organismo posiblemente absorbe los metales del sedimento mediante su alimentación, ya que el proceso de captación de metales pesados se efectúa a través del aparato digestivo (Cervantes *et al.*, 1999) y con esto logra que bajen los niveles en el sedimento y aumentan en el organismo.

En la estación de “El Jardín” el sedimento mostró una predominancia de grano grueso (Torres, 2008) esto puede afectar la cantidad de metales que permanecen en el mismo, ya que los contaminantes suelen presentar concentraciones más altas en sedimentos finos.

Los resultados de la correlación múltiple muestran que para el Cobre solo en testa y para el Níquel solo en linterna la concentración del metal en agua y sedimento explican la varianza en 86% y 74% respectivamente. Para el Zinc estas variables explican la varianza en un 86% tanto para testa como para

gónadas. En el caso del Plomo la concentración del metal en agua y sedimento explican alrededor del 95% de la varianza tanto para testa como para gónadas. Así mismo podemos decir que para Cadmio tanto en linterna como en testa estas variables explican un muy alto porcentaje de la varianza.

En la tabla de correlación salinidad-organismos se destacan los valores del Mercurio tanto en la testa como en la linterna de Aristóteles, ya que presentan correlaciones negativas muy altas, esto nos indica que existe una relación inversa entre este parámetro y la cantidad de Mercurio en los organismos.

Para los demás metales las correlaciones no fueron informativas. Esto está de acuerdo con lo publicado por Harriss & Pilkey en 1966, en cuyo artículo analizaron la relación de la salinidad con el contenido de algunos metales en la testa de *Dendraster excentricus* y reportaron que no había una relación entre los parámetros correspondientes.

En la tabla de correlación oxígeno disuelto-organismos se destacan los valores de Mercurio pero solo en la testa, con una correlación negativa muy alta, lo cual indica que existe una relación inversa entre este parámetro y la cantidad de Mercurio en la testa de los organismos. Del mismo modo podemos destacar el valor del Cadmio para testa que muestra una correlación positiva alta, lo que indica una relación directa entre este parámetro y la concentración del metal en la testa. Vale la pena destacar que hasta el momento no se encontraron reportes en la literatura que relacionen este parámetro con la concentración de metales en los tejidos.

En la tabla de correlación pH-organismos se destacan los valores del Mercurio tanto para la testa como para la linterna de Aristóteles, que muestran correlaciones positivas muy altas, indica que existe una relación directa entre este parámetro y la cantidad de Mercurio en los organismos, lo cual se puede explicar porque el aumento en el pH incrementa la afinidad selectiva de ciertas proteínas por los metales (Cervantes *et al.*, 1999).

En la tabla de correlación temperatura-organismos se destacan los valores del Mercurio tanto para la testa como para la linterna de Aristóteles, con correlaciones positivas altas, esto indica que existe una relación directa entre este parámetro y la cantidad de Mercurio en los organismos. Al respecto Pilkey y Hower (1960) estudiaron la relación entre la temperatura y el contenido de algunos metales en la testa de una especie del género *Dendraster* y encontraron una relación directa entre estos parámetros. Por otro lado tenemos lo publicado por Harriss & Pilkey en 1966 donde encontraron que no hay una relación significativa entre el contenido de Hierro en los tejidos de la especie de erizo de mar *Dentraster excentricus* y la temperatura del agua.

En la tabla que muestra los resultados de la correlación de Pearson entre los milímetros de precipitación registrados en la zona por mes y el contenido de metales en el agua de mar se destaca que para el Cromo y el Plomo los valores de correlación son positivos y altos; esto puede deberse a que estos metales se encuentren en mayor concentración en el aire y son arrastrados al agua de mar por efecto de la precipitación. Además, vale la pena mencionar que para el Cobre y el Zinc los valores son negativos y menores a -0.5; esto puede deberse a que la precipitación diluye la concentración de estos contaminantes.

En la tabla que muestra las correlaciones de Pearson entre los milímetros de precipitación y la concentración de metales en el organismo, estas correlaciones indican que los milímetros de precipitación solo tienen una alta correlación positiva en el caso del Mercurio. Por esto se puede decir que hay estacionalidad para este metal; es decir, que la cantidad de Mercurio en los organismos se ve afectada por la cantidad de precipitación en el sitio de muestreo.

En la literatura se encontraron reportes de estacionalidad en la publicación de Ablanado y colaboradores en 1990, en la cual se reporta variación estacional para el Zinc en partes duras (testa y linterna de Aristóteles) y en gónadas para Hierro, Cobre y Zinc. Así mismo, Warnau y colaboradores en 1997 reportaron estacionalidad asincrónica para cada tejido estudiado.

Algunos estudios muestran que la temperatura y la salinidad son sólo responsables en parte de las diferencias de composición en las testas de los erizos de mar (Harriss & Pilkey en 1966). El problema es que es muy difícil determinar las condiciones ambientales en las que se depositaron dichas testas.

CONCLUSIONES

- *Toxopneustes roseus* mostró ser sensible a la contaminación por metales pesados, por lo que su uso como bioindicador es factible.
- En cuanto a la sensibilidad por concentración en tejidos, para todos los metales en la mayoría de los meses la concentración fue mayor en gónadas, excepto mercurio.
- Podemos afirmar que el agua de este sitio está contaminada por Zinc, Plomo y Cromo en todos los meses.
- Los tres tejidos son capaces de reflejar el aumento en la concentración de Níquel en el agua.
- La linterna de Aristóteles con el Zinc en, las gónadas en el Plomo y la testa en el Cobre una respuesta inversa al aumento de contaminantes en el agua.
- La testa es capaz de reflejar el aumento en la concentración de Cobre en el sedimento.
- La linterna de Aristóteles es capaz de reflejar el aumento en la concentración de Plomo en el sedimento.
- Las correlaciones indican que los milímetros de precipitación solo tienen una alta correlación positiva para todos los tejidos en el caso del Mercurio. Por esto se puede decir que hay estacionalidad para este metal.
- Con respecto a la correlación de parámetro físicoquímicos y la presencia de metales en tejido recomiendo realizar más estudios que contribuyan a tener una respuesta más clara.
- Se requieren más estudios para contribuir a la calibración de este modelo como bioindicador de ambientes perturbados.

REFERENCIAS

- Ablanado, N., H. González, M. Ramírez & I. Torres. 1990. Evaluación del erizo de mar *Echinometra lucunter* como indicador de la contaminación por metales pesados. Cuba. *Aquat. Living Resour.* 3: 113-120.
- Apolinar, F., A. Marquez & H. Osorio. 2007. Determinación de metales pesados en el Río La Antigua Veracruz. Tesis profesional. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 96 pp.
- Arteaga, M. & L. Castillo. 2002. Fundamentos y aplicaciones de la espectrofotometría de absorción atómica. Facultad de Estudios Superiores, Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 90 pp.
- Beeby, A. 2001. What do sentinels stand for?. *Environ pollut.* 112: 285-298.
- Bielmyer, G., K.V. Brix , T.R. Capo & M. Grosell. 2005. The effects of metals on embryo-larval and adult life stages of the sea urchin *Diadema antillarum*. *Aquat. Toxicol.* 74: 254–263.
- Bohn, A.1979. Trace metals in fucoid algae and purple sea urchin near a high artie lead/zinc ore deposit. *Mar. Pollut. Bull.* 10: 325-327.
- Bojorquez, M. 2006. Indicadores biológicos de la calidad del agua en el río Magdalena, México D.F. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 62 pp.
- Bojorquez, E. 1999. Concentración y distribución de metales pesados en los tejidos de los crustáceos decápodos *Panulirus gracilis*, *Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostris* de la región sureste del Golfo de California. Tesis de maestría. Colegio de Ciencias y Humanidades.

Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado.
Universidad Nacional Autónoma de México. 69 pp.

Calderón, M. 2007. Contenido de ácidos grasos y metales pesados en huevos y sangre de tortuga marina *Lepidochelys olivacea* de la colonia anidadora de Playa Escobilla, Oaxaca, México. Tesis de maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. 70 pp.

Caso, M. 1978. Los equinoideos del pacífico de México, parte segunda: Órdenes Stirodonta y Camarodonta. Centro Ciencias del Mar y Limnol. Publ. Esp. Universidad Nacional Autónoma de México. 1: 105-242.

Castillo, I., V. Acosta, G. Martínez & M. Núñez. 2005. Niveles de metales pesados en gónadas y músculo aductor del mejillón marrón *Perna perna*, cultivado en la ensenada de Turpialito, Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. *Zoo. Trop.* 2(23):141-154.

Cervantes, C. & R. Moreno-Sánchez. 1999. Contaminación Ambiental por Metales Pesados: Impacto en los Seres Vivos. AGT Editor. México. 157 pp.

Clark, H. L. 1948. A report of the Echini of the warmer Eastern Pacific, based on the collections of the "Velero" III. Allan Hancock Pac. Exped. 8 (5):225-351.

Clesceri, L., A. Greenberg & R. Trussell. 1992. Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Díaz De Santos S.A. Madrid, España. 2517 pp.

Cohen, T. S. Que Hee & R. Ambrose. 2001. Trace metals in fish and invertebrates of three California coastal wetlands. *Mar. Pollut. Bull.* 42(3):224-232.

- Colín, N. 2007. Concentración de Cd y reconstrucción ambiental a partir de corales escleractinios del Sistema Arrecifal Veracruzano. Tesis profesional. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. 49 pp.
- Coteur, G., P. Gosselin, P. Wantier, Y. Chambost-Manciet, B. Danis, Ph. Pernet, M. Warnau & Ph. Dubois. 2003. Echinoderms as Bioindicators, Bioassays, and Impact Assessment Tools of Sediment-Associated Metals and PCBs in the North Sea. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 45: 190–202.
- Dallinger, R. & P. Rainbow. 1993. *Ecotoxicology of Metals in Invertebrates*. Lewis Publishers. Florida. 461 pp.
- Danis, B., P. Wantier, S. Dutrieux, R. Flammang, Ph. Dubois & M. Warnau. 2004. Contaminant levels in sediments and asteroids (*Asterias rubens* L., Echinodermata) from the Belgian coast and Scheldt estuary: polychlorinated biphenyls and heavy metals. *Science of the Total Environ.* 333: 149-165.
- De la Lanza-Espino, G. 1991. *Oceanografía de mares mexicanos*. AGT Editor. México, D.F. 569 pp.
- De la Lanza-Espino, G. 2001. *Características físicas y químicas de los mares de México*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México y Plaza-Valdez México, D.F. 149 pp.
- De la Lanza, G., S. Hernández & J. Carvajal. 2000. Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores). Plaza y Valdés. México. pp 17-42.
- De Luna, C. 2001. Determinación de la concentración de metales pesados en tejidos de ballena gris *Eschrichtius robustus*, en agua y sedimentos de

la Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur. Tesis maestría. Colegio de Ciencias y Humanidades. Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México. 69 pp.

De Luna, C.J. & L. Rosales-Hoz. 2004. Heavy metals in Tissues of Gray Whales *Eschrichtius robustus*, and in Sediments of Ojo de Liebre Lagoon in Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 72:460-466.

De Zwarts, D. 1995. Monitoring water quality in the futur: biomonitoring. *Bilthoven*. 83 pp.

Den Besten, P.J., S. Valk, E. Van Weerlee, R. Nolting, J. Postma & J. Everaarts. 2001. Bioaccumulation and biomarkers in the sea star *Asterias rubens* (Echinodermata: Asteroidea): A North Sea field study. *Mar. Environ. Res.*, 51:365–387

Dinnel, P. y Q. Stober. 1987. Application of the Sea Urchin Sperm Bioassay to Sewage Treatment Efficiency and Toxicity in Marine Waters. *Mar. Environ. Res.* 21: 121-133.

Duffus, J. 1983. Toxicología ambiental. Ediciones OMEGA. Barcelona. pp 82-94.

Edwards, P. A. & K. Simkiss. 2005. Dietary Influences on the Bioaccumulation of Pollutants by the Annelid, *Lumbriculus variegatus*: Experiments Comparing Artificial Particles and Natural Sediments. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 74: 328–334.

Eisler, R. 1981. Trace Metal in Marine Organisms. Pergamon Press. New York. 687 pp.

- Flammang, P., M. Warnau, A. Temera, D. Lane & M. Jangoux. 1997. Heavy metals in *Diadema setosum* (Echinodermata: Echinoidea) from Singapore coral reefs. *Journal of Sea Res.* 38: 35-45.
- Frías-Espéricueta, M.G., M.R. Harfush-Melendez, J.I. Osuna-López & F. Páez-Osuna. 1999. Acute toxicity of ammonia to juveniles of shrimp *Penaeus vannamei*, Boone. *Bull. of Environ Contam and Toxicol.* 62: 646-652.
- Forstner, U. & G. Wittmann. 1979. Metal pollution in the aquatic environment. Berlin. 489pp.
- Gil, M., A. Torres, M. Harvey & J. Esteves. 2006. Metales pesados en organismos marinos de la zona costera de la Patagonia argentina continental. *Revista de Biol. Mar y Ocea.* 41(2): 167-176.
- González H., M. Pomares, M. Ramirez & I. Torres. 1999. Heavy Metals in Organisms and Sediments from the Discharge Zone of the Submarine Sewage Outfall of Havana City, Cuba. *Mar. Pollut. Bull.* 38 (11): 1048-1051.
- González, E. 2006. Evaluación *in situ* del efecto biológico de metales pesados en el ajolote *Ambystoma mexicanum*. Tesis profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 91pp.
- Guns, M., P. Van Hoeyweghen, W. Vyncke & H. Hillewaert. 1999. Trace metals in selected benthic invertebrates from Belgian coastal waters. *Mar. Pollut. Bull.* 38 (12): 1184-1193.
- Guzmán, M. & H. Jiménez. 1992. Contamination of coral reef by heavy metals along the Caribbean coast of Central America (Costa Rica and Panama). *Mar Pollu. Bull.* 24(11): 554-561.

- Harriss, R. & O. Pilkey. 1966. Temperature and Salinity Control of the Concentration of Skeletal Na, Mn, and Fe in *Dendraster excentricus*. *Pacific science*. 20: 235-238.
- Hernández, R. 1987. Dinámica del porcentaje de triglicéridos en gónadas del erizo *Echinometra lucunter*. Tesis profesional. Universidad de La Habana. Cuba. 34 pp.
- Hutchins, D., J.-L. Teyssii, F. Boisson, S. W. Fowle & N. S. Fisher. 1996. Temperature Effects on Uptake and Retention of Contaminant Radionuclides and Trace Metals by the Brittle Star *Ophiothrix fragilis*. *Mar Environ. Res.* 41(4):363-378.
- INEGI. 2000. Acapulco de Juárez, Guerrero. Cuaderno Estadístico Municipal. Gobierno del Estado de Guerrero, Ayuntamiento Constitucional de Acapulco de Juárez. 183 pp.
- Infante, S. & G. Zárate. 2000. Métodos estadísticos. Editorial Trillas. México
- Jangoux, M. & Lawrence. 1982. Echinoderm nutrition. Balkema Publishers. Netherlands. 519 pp.
- Jiménez, J., R. Gelabert & R. Brito. 2006. Toxic effects of nickel and zinc in *Artemia franciscana* (Crustacea: Branchiopoda: Anostraca). *Universidad y Ciencia*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Kara, Y. 2004. Bioaccumulation of copper from contaminated wastewater by using *Lemna minor*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 72:467-471.
- Lawrence, J.M., W.D. Mahon, W. Avery & M. Lares. 1993. Concentrations of metals in *Luidia clathrata* and *Luidia senegalensis* (Echinodermata: Asteroidea) in Tampa Bay and the nearshore Gulf of Mexico, Florida. *Comp. Biochem. Physiol.* (105C): 2: 203-206.

- Lee, H. & C. Xu. 1984. Effects of Metals on Sea Urchin Development: A Rapid Bioassay. *Mar. Pollut. Bull.* 15: 18-21.
- Lorenz, F. 2002. Determinación de metales en sedimentos en la sonda de Campeche, Camp. Tesis profesional. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón. 60 pp.
- Martínez, A. 2007. Metales pesados (Fe, Cd y Cr) en pastos marinos *Thalassia testudinum* en la laguna de Yalahau, Quintana Roo: evidencia de posible contaminación del agua subterránea. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 81 pp.
- Medina, R., C. Zetina, M. Comas & R. Pat. 2004. Concentración de Cd, Cr, Cu y Pb en sedimentos y en tres pepinos de mar (Clase Holothuroidea) de las costas del estado de Yucatán, México. *Ing. Rev. Académica.* 8(2): 7-19. México.
- Montero, M. 2000. Análisis de la composición bioquímica y de posibles biomarcadores de contaminación en el erizo de mar *Paracentrotus lividus*. Tesis de doctorado. Universidad de Santiago de Compostela.
- Morlán, Y. 2003. Determinación de metales pesados (Fe, Mn, Pb y Zn) en macroalgas clorofitas del Sistema Arrecifal Veracruzano. Tesis Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores de Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Morales, F. 2001. Concentración y distribución de metales pesados en los sedimentos y tejidos de fauna asociada al emisor de aguas municipales del puerto de Mazatlán. Tesis maestría. Colegio de Ciencias y Humanidades. Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México. 85 pp.

- Mortensen, T. 1903. "The danish Ingolf-expedition. Echinoidea. Each I. p. III. Bianco Luno, Copenhagen.
- Mortensen, Th. 1943. A Monograph of the Echinoidea. III. 2. Camarodonta I. Orthopsidae, Glyphocyphidae, Temnopleuridae and Toxopneustidae. Text. C. A. Rietzel, Copenhagen.
- Mortensen, Th. 1943. A Monograph of the Echinoidea. III. 2. Camarodonta I. Orthopsidae, Glyphocyphidae, Temnopleuridae and Toxopneustidae. Explanation of LVI Plates. C. A. Rietzel, Copenhagen.
- Mubiana, M. & R. Blust. 2007. Effects of temperature on scope for growth and accumulation of Cd, Co, Cu and Pb by the marine bivalve *Mytilus edulis*. *Mar. Environ. Res.* 63: 219–235.
- Navarrete, M. 2003. Índices e Indicadores Biológicos. Universidad de El Salvador. El Salvador. 140 pp.
- Newman, M. & M. Unger. 2003. Fundamentals of ecotoxicology. Second Edition. Lewis Publications. Boca Raton. USA. 458 pp.
- Noriega, E. 2001. Metales pesados en *Thalassia testudinum* (pasto marino), en el sistema arrecifal veracruzano. Tesis profesional. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 48 pp.
- Páez-Osuna, F. 2005. Efectos de los metales, p.343-360. En Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. 2da Edición. Universidad Autónoma De Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México e Instituto Nacional de Ecología. 696 pp.

- Páez-Osuna, F. 2005. Fuente de Metales en la Zona Costera Marina, p. 329-342. En Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. 2da Edición. Universidad Autónoma De Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México e Instituto Nacional de Ecología. 696 pp.
- Páez-Osuna, F., G. Izaguirre Fierro, R. I. Godoy Meza, F. González Farías & J. I. Osuna López. 1988. Metales pesados en cuatro especies de organismos filtradores de la región costera de Mazatlán: técnicas de extracción y niveles de concentración. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 4 (1): 33-41.
- Pagano, M. & K. Gauvreau. 2001. Fundamentos de Bioestadística. Editorial Thomson Learning. 2ª edición. México.
- Pérez-López, M., M. Nóvoa, J. Alonso, M. García Fernández & M. Melgar. 2003. Niveles de plomo y cadmio en agua marina y lapas (*Patella vulgata* L.) de la Ría de Vigo. *Rev. Toxicol.* 20:19-22.
- Pesch, C. & D. Morgan. 1978. Influence of sediment in copper toxicity tests with polychaete *Neanthes arenaceodentata*. *Water res.* 12:747-751.
- Phillips, D. & P. Rainbow. 1988. Barnacles and mussels as biomonitors of trace elements: a comparative study. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 49: 83-93.
- Phillips, D. 1991. Heavy Metal Levels in Characteristic Benthic Flora and Fauna in Central Aegean Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 22 (11): 566-569.
- Pilkey, O. & J. Hower. 1960. The effect of environment on the concentration of skeletal magnesium and strontium in *Dendraster*. *J. Geol.* 68:203-216.

- Plenet, S. 1999. Metal accumulation by an epigean and a hypogean freshwater amphipod: Considerations for water quality assessment. *Water Environ Res.* 71 (7): 1298-1310.
- Pubiana, V. & R. Blust. 2007. Effects of temperature on scope for growth and accumulation of Cd, Co, Cu and Pb by the marine bivalve *Mytilus edulis*. *Mar Environ. Res.* 63: 219–235.
- Rainbow, P. & W. Wang. 2001. Comparative assimilation of Cd, Cr, Se, and Zn by the barnacle *Elminius modestus* from phytoplankton and zooplankton diets. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 218: 239–248.
- Riley, J. & D. Segar. 1970. Echinoderms and Coelenterates. En The distribution of the major and some minor elements in marine animals. *J. mar. biol. Ass. U.K.* 50: 721-730pp.
- Rojas, M., J. Acuña & O. Rodríguez. 1998. Metales traza en el pepino de mar *Holothuria (Halodeima) mexicana* del Caribe de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 46 (6): 215-220.
- Rosas, B. 2004. Evaluación de metales pesados en sedimentos y organismos de las lagunas costeras de Veracruz, Tabasco y Campeche, Mexico. Tesis profesional, Facultad de Estudios Profesionales Iztacala. 98 pp.
- Ruelas, R. J. y F. Páez-Osuna. 2002. Distribution of Cadmium, Copper, Iron, Manganese, Lead and Zinc in Spinner Dolphins *Stenella longirostris* stranded in La Paz Lagoon (SW Gulf of California). *Bull. of Environ. Contam. and Toxicol.* 69 (3): 408-414.
- Ruelas-Inzunza, R. J. & F. Páez-Osuna. 1998. Barnacles as Biomonitors of Heavy Metal Pollution in the Coastal Waters of Mazatlán Harbor (Mexico) *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 61: 608-415.

- Ruelas-Inzunza, R. J., L. Soto & F. Páez-Osuna. 2003. Heavy-metal accumulation in the hydrothermal vent clam *Vesicomya gigas* from Guaymas basin, Gulf of California. *Deep-Sea Res.* 50: 757–761.
- Ruelas-Inzunza, R. J. & F. Páez-Osuna. 2004. Distribution and concentration of trace metals in tissues of three penaeid species from Altata-Ensenada del Pabellon Lagoon (S.E. Gulf of California). *Bull. of Environ. Contam. and Toxicol.* 772: 452-459.
- Ruelas-Inzunza, R. J., F. Páez-Osuna & L. Soto. 2005. Bioaccumulation of Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb and Zn in trophosome and vestimentum of the tube worm *Riftia pachyptila* from Guaymas basin, Gulf of California. *Deep-Sea Res.* 52: 1319-1323.
- Stevenson, R. & S. Lugo. 1966. Iron, Manganese, and Nickel in Skeletons and Food of the Sea Urchins *Tripneustes esculentus* and *Echinometra lucunter*. *Limnology and Oceanography.* 11 (1):11-17.
- Temara, A., J.M. Skei, D. Gillan, M. Warnau, M. Jangoux & P. Dubois. 1998. Validation of the asteroid *Asterias rubens* (Echinodermata) as a bioindicator of spatial and temporal trends of Pb, Cd, and Zn contamination in the field. *Mar. Environ. Res.* 45: 341–356.
- Torres, M. 2008. Amplitud de nicho alimentario, utilización de sedimento, reproducción y distribución de *Meoma ventricosa grandis* Gray 1851, (Echinodermata: Brissidae) en el canal Boca Chica, Acapulco, Guerrero, México. Tesis Maestría. Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. 74 pp.
- Tovar, E. 2000. Evaluación de metales pesados en dos sistemas bentónicos arrecifales de Veracruz, Ver. Tesis Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. 68 pp.

- Türkmen, M., A. Türkmen, I. Akyurt y Y. Tepe. 2005. Limpet, *Patella caerulea* Linnaeus, 1758 and Barnacle, *Balanus sp.*, as Biomonitors of trace metal availabilities in Iskenderun Bay, Northern East Mediterranean Sea. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 74: 301–307.
- Valadez, J. 1998. Determinación de metales pesados en tejidos de carpa (*Cyprinus carpio*) de la Laguna de Zumpango. Tesis profesional. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. 73 pp.
- Valdivieso, J. 1998. Evaluación del contenido de metales pesados en tilapia *Oreochromis niloticus* de la Presa Hidroeléctrica Zimapán. Tesis profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 51 pp.
- Valdovinos, C. & M. Zúñiga. 2002. Copper Acute Toxicity Tests with the Sand Crab *Emerita analoga* (Decapoda: Hippidae): A Biomonitor of Heavy Metal Pollution in Chilean Coastal Seawater?. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 69: 393–400.
- Vega, S. 1985. Toxicología I. Cinética y efectos de los contaminantes tóxicos del ambiente. Serie: Evaluación epidemiológica de riesgos causados por agentes químicos ambientales. Centro panamericano de ecología humana y salud. Washinton. 115 pp.
- Villanueva, S., A. Botello & F. Páez-Osuna. 1988. Evaluación de algunos metales pesados en organismos del río Coatzacoalcos y de la laguna Ostión, Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental.* 4: 19-31.
- Walker, C., S. Hopkin, R. Sibly & D. Peakall. 1996. Principles of Ecotoxicology. Taylor & Francis. U.K. 321 pp.

- Warnau, M., G. Ledent, A. Temara, M. Jangoux & P. Dubois. 1995. Experimental cadmium contamination of the echinoid *Paracentrotus lividus*: influence of exposure mode and distribution of the metal in the organism. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 116: 117-124.
- Warnau, M., R. Biondo, A. Temara, J.M. Bouquegneau, M. Jangoux & P. Dubois. 1998. Distribution of heavy metals in the echinoid *Paracentrotus lividus* from the Mediterranean *Posidonia oceanica* ecosystem: Seasonal and geographical variations. *J. Sea Res.* 39: 267–280.
- Warnau, M., J.-L. Teyssié, & S. Fowlef. 1997. Cadmium Bioconcentration in the Echinoid *Paracentrotus lividus*: Influence of the Cadmium Concentration in Seawater. *Mar. Environ. Res.* 43(4): 303-314.
- Wu, J. & H. Chen. 2005. Effects of cadmium and zinc on the growth, food, consumption and nutritional conditions of white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 74: 234-241.

www.inegi.org.mx

Índice de Tablas:

- **Tabla 1.** Calendario de muestreo.
- **Tabla 2.** Concentraciones de metales en aguas oceánicas no contaminadas.
- **Tabla 3.** Parámetros registrados en cada uno de los muestreos.
- **Tabla 4.** En este cuadro se muestran los valores promedio por mes y por tejido.
- **Tabla 5.** Resultados para cada metal en las muestras de agua.
- **Tabla 6.** Resultados para cada metal en las muestras de sedimento.
- **Tabla 7.** Resultados de la correlación de Pearson entre agua y organismos.
- **Tabla 8.** Resultados de la correlación de Pearson entre sedimento y organismos.
- **Tabla 9.** Resultados de la regresión múltiple entre el contenido de cada metal en los tejidos del organismo y agua y sedimento.
- **Tabla 10.** Resultados de la correlación de Pearson entre salinidad y contenido de metales en los organismos.
- **Tabla 11.** Resultados de la correlación de Pearson entre Oxígeno disuelto y contenido de metales en los organismos.
- **Tabla 12.** Resultados de la correlación de Pearson entre pH y contenido de metales en los organismos.
- **Tabla 13.** Resultados de la correlación de Pearson entre temperatura y contenido de metales en los organismos.
- **Tabla 14.** Resultados de la correlación de Pearson entre precipitación y contenido de metales en el agua de mar.
- **Tabla 15.** Resultados de la correlación de Pearson entre la precipitación y el contenido de metales en los organismos.

Índice de Figuras:

- **Figura 1.** Fotografía tomada por el Dr. Carlos Sánchez Ortíz.
- **Figura 2. Figura 2.** *Toxopneustes roseus*. A. Vista aboral, B. Vista oral (Tomado de Mortensen, 1943); C. Aparato apical, D. Vista lateral (Tomado de Caso, 1978).
- **Figura 3.** Localidad “El Jardín”, Acapulco, Guerrero (Tomada de Torres, 2008).
- **Figura 4.** Diagrama de flujo del análisis de laboratorio para la determinación de los metales.
- **Figura 5.** Datos del análisis de Cobre en los tres tejidos en los distintos muestreos.
- **Figura 6.** Datos del análisis de Níquel en los tres tejidos en los distintos muestreos.
- **Figura 7.** Datos del análisis de Zinc en los tres tejidos en los distintos muestreos.
- **Figura 8.** Datos del análisis de Plomo en los tres tejidos en los distintos muestreos.
- **Figura 9.** Datos del análisis de Mercurio en testa y en Linterna de Aristóteles en los distintos muestreos.
- **Figura 10.** Datos del análisis de Cromo en los tres tejidos en los distintos muestreos.
- **Figura 11.** Datos del análisis de Cadmio en los tres tejidos en los distintos muestreos.

APÉNDICE I

Metal	Cu	Ni	Zn	Pb	Hg	Cr	Cd
Masa	63	60	66	208	G.H	52	HG/11 1
	mg/kg						
Límite de detección	0.022	0.018	0.116	0.019	0.028	0.031	0.004
Tejido							
Testa septiembre	19	4	39	2.9	2.4	2.3	0.80
Testa septiembre	26	7	46	2.9	3.5	12.3	0.54
Testa septiembre	28	7	60	3.4	1.1	3.5	1.08
Linterna de Aristóteles septiembre	10	11	53	3.1	3.7	6.5	0.61
Linterna de Aristóteles septiembre	7	5	35	2.8	1.6	3.3	0.28
Linterna de Aristóteles septiembre	4	12	19	1.4	1.3	2.8	0.19
Testa octubre	23	12	44	2.0	1.2	3.9	0.54
Testa octubre	14	7	48	1.8	1.7	5.1	0.87
Testa octubre	15	11	38	1.9	0.2	4.3	0.93
Linterna de Aristóteles octubre	6	6	22	1.1	1.1	2.7	0.43
Linterna de Aristóteles octubre	5	9	21	1.1	0.6	2.3	0.29
Linterna de Aristóteles octubre	5	7	24	1.0	0.7	2.5	0.73
Testa noviembre	13	7	42	1.5	0.4	3.4	1.12
Testa noviembre	6	5	33	1.1	0.5	5.9	0.53
Testa noviembre	8	5	62	1.9	0.5	3.6	1.63
Linterna de Aristóteles noviembre	7	9	34	2.3	0.6	6.3	0.46
Linterna de Aristóteles noviembre	8	7	29	1.6	0.7	5.4	0.79
Linterna de Aristóteles noviembre	8	7	41	2.1	0.8	4.7	1.16
Testa marzo	9	7	54	2.3	0.5	5.9	0.62
Testa marzo	20	6	63	3.4	0.7	6.6	1.68
Testa marzo	13	7	48	1.8	0.9	5.4	2.04
Linterna de Aristóteles marzo	6	4	36	1.9	0.3	4.8	0.60
Linterna de Aristóteles marzo	9	5	18	1.1	0.1	4.4	0.35
Linterna de Aristóteles marzo	6	6	24	1.0	<0.0275	3.4	0.43
Testa mayo	14	7	53	2.9	0.5	6.2	0.75
Testa mayo	12	11	60	3.0	0.4	7.0	0.67
Testa mayo	11	7	61	3.1	0.4	6.7	0.61
Linterna de Aristóteles mayo	9	8	44	2.5	0.4	6.7	0.41
Linterna de Aristóteles mayo	12	23	51	2.8	0.3	6.8	0.45
Linterna de Aristóteles mayo	9	10	40	2.2	0.3	5.1	0.58
Gónadas septiembre	21	13	86	4.5	<0.0275	12.1	1.27
Gónadas octubre	31	29	169	8.4	<0.0275	20.0	3.54
Gónadas noviembre	30	50	183	7.7	<0.0275	18.5	5.23
Gónadas marzo	38	27	187	10.6	<0.0275	25.6	3.35
Gónadas mayo	30	121	321	14.5	4.2	47.9	2.70

APÉNDICE II

Metal	Tejidos comparados	p-valor	Interpretación de la prueba
			Considerando que: Ho: La diferencia entre las medias es igual a 0. Ha: La diferencia entre las medias es diferente de 0.
Cobre	testa-lintera	0.016	Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula Ho, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.
Cobre	lintera-gónadas	< 0.0001	Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula H0, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.
Cobre	testa-gónadas	0.005	Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula H0, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.
Níquel	testa-lintera	0.456	Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se puede aceptar la hipótesis nula Ho.
Níquel	lintera-gónadas	0.073	Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se puede aceptar la hipótesis nula Ho.
Níquel	testa-gónadas	0.065	Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se puede aceptar la hipótesis nula Ho.
Zinc	testa-lintera	0.007	Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula Ho, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.
Zinc	lintera-gónadas	0.003	Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula Ho, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.
Zinc	testa-gónadas	0.006	Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula Ho, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.
Plomo	testa-lintera	0.240	Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se puede aceptar la hipótesis nula Ho..

Plomo	linterna-gónadas	0.003	Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula H_0 , y aceptar la hipótesis alternativa H_a .
Plomo	testa-gónadas	0.004	Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula H_0 , y aceptar la hipótesis alternativa H_a .
Mercurio	testa-lintera	0.763	Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se puede aceptar la hipótesis nula H_0 .
Cromo	testa-lintera	0.255	Como el p-valor calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se puede aceptar la hipótesis nula H_0 .
Cromo	linterna-gónadas	0.011	Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula H_0 , y aceptar la hipótesis alternativa H_a .
Cromo	testa-gónadas	0.014	Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula H_0 , y aceptar la hipótesis alternativa H_a .
Cadmio	testa-lintera	0.023	Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula H_0 , y aceptar la hipótesis alternativa H_a .
Cadmio	linterna-gónadas	0.003	Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula H_0 , y aceptar la hipótesis alternativa H_a .
Cadmio	testa-gónadas	0.008	Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula H_0 , y aceptar la hipótesis alternativa H_a .

APÉNDICE III

Especie	Región	Tejido	Metal	Valor reportado μ/g	Referencia	Comparación con los valores de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación Santa Cruz, La Habana, Cuba	Gónadas	Cobre	6.09	Ablanado, 1990	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación Rincón, La Habana, Cuba	Gónadas	Cobre	3.71	Ablanado, 1990	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación Alamar, La Habana, Cuba	Gónadas	Cobre	3.74	Ablanado, 1990	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación Boca, La Habana, Cuba	Gónadas	Cobre	4.73	Ablanado, 1990	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación Nautico, La Habana, Cuba	Gónadas	Cobre	4.8	Ablanado, 1990	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación Santa Fé, La Habana, Cuba	Gónadas	Cobre	2.57	Ablanado, 1990	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación Santa Cruz, La Habana, Cuba	Gónadas	Zinc	273	Ablanado, 1990	Valores mayores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación Rincón, La Habana, Cuba	Gónadas	Zinc	344	Ablanado, 1990	Valores mayores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación Alamar, La Habana, Cuba	Gónadas	Zinc	436	Ablanado, 1990	Valores mayores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación Boca, La Habana, Cuba	Gónadas	Zinc	267	Ablanado, 1990	Valores mayores a los resultados de este trabajo

<i>Echinometra lucunter</i>	Estación Nautico, La Habana, Cuba	Gónadas	Zinc	317	Ablanedo, 1990	Valores mayores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación Santa Fé, La Habana, Cuba	Gónadas	Zinc	230	Ablanedo, 1990	Valores mayores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación Santa Cruz, La Habana, Cuba	Partes duras	Zinc	9.07	Ablanedo, 1990	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación Rincón, La Habana, Cuba	Partes duras	Zinc	11.5	Ablanedo, 1990	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación Alamar, La Habana, Cuba	Partes duras	Zinc	12.1	Ablanedo, 1990	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación Boca, La Habana, Cuba	Partes duras	Zinc	12.2	Ablanedo, 1990	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación Nautico, La Habana, Cuba	Partes duras	Zinc	10.6	Ablanedo, 1990	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación Santa Fé, La Habana, Cuba	Partes duras	Zinc	8.21	Ablanedo, 1990	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Calvi, Mar Mediterráneo	Gónada	Cobre	2.43	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Ischia, Mar Mediterráneo	Gónada	Cobre	2.69	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Marseille, Mar Mediterráneo	Gónada	Cobre	3.22	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Calvi, Mar Mediterráneo	Gónada	Zinc	160.75	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo

<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Ischia, Mar Mediterráneo	Gónada	Zinc	144.00	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Marseille, Mar Mediterráneo	Gónada	Zinc	122.00	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Calvi, Mar Mediterráneo	Gónada	Plomo	1.38	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Ischia, Mar Mediterráneo	Gónada	Plomo	1.93	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Marseille, Mar Mediterráneo	Gónada	Plomo	1.66	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Calvi, Mar Mediterráneo	Gónada	Cromo	0.88	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Ischia, Mar Mediterráneo	Gónada	Cromo	1.58	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Marseille, Mar Mediterráneo	Gónada	Cromo	1.39	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Calvi, Mar Mediterráneo	Gónada	Cadmio	0.88	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Ischia, Mar Mediterráneo	Gónada	Cadmio	1.58	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Marseille, Mar Mediterráneo	Gónada	Cadmio	1.39	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Calvi, Mar Mediterráneo	Linterna	Cobre	0.32	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo

<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Ischia, Mar Mediterráneo	Linterna	Cobre	0.27	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Marseille, Mar Mediterráneo	Linterna	Cobre	0.30	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Calvi, Mar Mediterráneo	Linterna	Zinc	6.63	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Ischia, Mar Mediterráneo	Linterna	Zinc	6.80	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Marseille, Mar Mediterráneo	Linterna	Zinc	6.66	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Calvi, Mar Mediterráneo	Linterna	Plomo	2.19	Warnau, 1998	Valores mayores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Ischia, Mar Mediterráneo	Linterna	Plomo	2.16	Warnau, 1998	Valores mayores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Marseille, Mar Mediterráneo	Linterna	Plomo	2.28	Warnau, 1998	Valores mayores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Calvi, Mar Mediterráneo	Linterna	Cromo	0.63	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Ischia, Mar Mediterráneo	Linterna	Cromo	0.65	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Marseille, Mar Mediterráneo	Linterna	Cromo	0.63	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Calvi, Mar Mediterráneo	Linterna	Cadmio	0.23	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo

<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Ischia, Mar Mediterráneo	Linterna	Cadmio	0.25	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Marseille, Mar Mediterráneo	Linterna	Cadmio	0.26	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Calvi, Mar Mediterráneo	Testa	Cobre	0.15	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Ischia, Mar Mediterráneo	Testa	Cobre	0.12	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Marseille, Mar Mediterráneo	Testa	Cobre	0.17	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Calvi, Mar Mediterráneo	Testa	Zinc	2.82	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Ischia, Mar Mediterráneo	Testa	Zinc	2.77	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Marseille, Mar Mediterráneo	Testa	Zinc	3.07	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Calvi, Mar Mediterráneo	Testa	Plomo	2.52	Warnau, 1998	Valores tanto mayores como menores a los resultados de este trabajo.
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Ischia, Mar Mediterráneo	Testa	Plomo	2.58	Warnau, 1998	Valores tanto mayores como menores a los resultados de este trabajo.
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Marseille, Mar Mediterráneo	Testa	Plomo	2.88	Warnau, 1998	Valores tanto mayores como menores a los resultados de este trabajo.

<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Calvi, Mar Mediterráneo	Testa	Cromo	0.53	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Ischia, Mar Mediterráneo	Testa	Cromo	0.59	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Marseille, Mar Mediterráneo	Testa	Cromo	0.58	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Calvi, Mar Mediterráneo	Testa	Cadmio	0.18	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Ischia, Mar Mediterráneo	Testa	Cadmio	0.18	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Paracentrotus lividus</i>	Estación Marseille, Mar Mediterráneo	Testa	Cadmio	0.18	Warnau, 1998	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Tripneustes esculentus</i>	Estación Punta Higuera, Puerto Rico	Testa	Níquel	35.46 ± 2.39	Stevenson, 1966	Diferencias significativas con los resultados de este trabajo.
<i>Tripneustes esculentus</i>	Estación La Parguera, Puerto Rico	Testa	Níquel	34.46 ± 1.57	Stevenson, 1966	Diferencias significativas con los resultados de este trabajo.
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación Punta Higuera, Puerto Rico	Testa	Níquel	35.46 ± 2.39	Stevenson, 1966	Diferencias significativas con los resultados de este trabajo.
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación La Parguera, Puerto Rico	Testa	Níquel	34.46 ± 1.57	Stevenson, 1966	Diferencias significativas con los resultados de este trabajo.
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación referencia, La Habana, Cuba	Gónadas	Cobre	1.9 ± 0.42	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación referencia, La	Gónadas	Cobre	1.3 ± 0.27	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este

Habana, Cuba					trabajo	
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación referencia, La Habana, Cuba	Gónadas	Cobre	0.58 ± 0.38	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación oeste, La Habana, Cuba	Gónadas	Cobre	1.3 ± 0.04	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación oeste, La Habana, Cuba	Gónadas	Cobre	1.6 ± 0.11	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación oeste, La Habana, Cuba	Gónadas	Cobre	2.9 ± 0.18	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación este, La Habana, Cuba	Gónadas	Cobre	1.5 ± 0.25	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación este, La Habana, Cuba	Gónadas	Cobre	1.1 ± 0.05	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación este, La Habana, Cuba	Gónadas	Cobre	2.6 ± 0.38	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación referencia, La Habana, Cuba	Gónadas	Zinc	248 ± 217	Gonzalez, 1999	Valores mayores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación referencia, La Habana, Cuba	Gónadas	Zinc	186 ± 111	Gonzalez, 1999	Valores mayores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación referencia, La Habana, Cuba	Gónadas	Zinc	412 ± 138	Gonzalez, 1999	Valores mayores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación oeste, La Habana, Cuba	Gónadas	Zinc	183 ± 1.4	Gonzalez, 1999	Valores mayores a los resultados de este trabajo

<i>Echinometra lucunter</i>	Estación oeste, La Habana, Cuba	Gónadas	Zinc	163 ± 128	Gonzalez, 1999	Valores mayores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación oeste, La Habana, Cuba	Gónadas	Zinc	363 ± 25	Gonzalez, 1999	Valores mayores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación este, La Habana, Cuba	Gónadas	Zinc	284 ± 59	Gonzalez, 1999	Valores mayores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación este, La Habana, Cuba	Gónadas	Zinc	235 ± 59	Gonzalez, 1999	Valores mayores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación este, La Habana, Cuba	Gónadas	Zinc	254 ± 116	Gonzalez, 1999	Valores mayores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación referencia, La Habana, Cuba	Gónadas	Níquel	1.5 ± 0.01	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación referencia, La Habana, Cuba	Gónadas	Níquel	1.1 ± 0.07	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación referencia, La Habana, Cuba	Gónadas	Níquel	<0.50	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación oeste, La Habana, Cuba	Gónadas	Níquel	1.4 ± 0.11	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación oeste, La Habana, Cuba	Gónadas	Níquel	0.9 ± 0.1	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación oeste, La Habana, Cuba	Gónadas	Níquel	3 ± 0.08	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación este, La Habana, Cuba	Gónadas	Níquel	2.8 ± 0.25	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo

<i>Echinometra lucunter</i>	Estación este, La Habana, Cuba	Gónadas	Níquel	1.3 ± 0.23	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación este, La Habana, Cuba	Gónadas	Níquel	2 ± 0.5	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación referencia, La Habana, Cuba	Gónadas	Cromo	4.7 ± 0.29	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación referencia, La Habana, Cuba	Gónadas	Cromo	3.8 ± 0.24	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación referencia, La Habana, Cuba	Gónadas	Cromo	3.6 ± 0.76	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación oeste, La Habana, Cuba	Gónadas	Cromo	4.2 ± 0.01	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación oeste, La Habana, Cuba	Gónadas	Cromo	3.7 ± 0.7	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación oeste, La Habana, Cuba	Gónadas	Cromo	6.6 ± 1.2	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación este, La Habana, Cuba	Gónadas	Cromo	8.3 ± 0.81	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación este, La Habana, Cuba	Gónadas	Cromo	4.8 ± 0.81	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación este, La Habana, Cuba	Gónadas	Cromo	5.2 ± 1.1	Gonzalez, 1999	Valores menores a los resultados de este trabajo

El artículo publicado por Stevenson en 1966 publica sus datos completos por lo que pudimos realizar una prueba de comparación de medias entre los resultados de dicha publicación y los resultados obtenidos en este trabajo. Los resultados de esta prueba se muestran a continuación:

Especie	Estación	Tejido	Metal	p-valor	Interpretación de la prueba
<i>Tripneustes esculentus</i>	Estación Punta Higuera, Puerto Rico	Testa	Níquel	< 0.0001	Ho: La diferencia entre las medias es igual a 0. Ha: La diferencia entre las medias es diferente de 0. Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación alfa=0.05, se debe rechazar la hipótesis nula Ho, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.
<i>Tripneustes esculentus</i>	Estación La Parguera, Puerto Rico	Testa	Níquel	< 0.0001	Ho: La diferencia entre las medias es igual a 0. Ha: La diferencia entre las medias es diferente de 0. Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación alfa=0.05, se debe rechazar la hipótesis nula Ho, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.

<i>Echinometra lucunter</i>	Estación Punta Higuera, Puerto Rico	Testa	Níquel	< 0.0001	<p>Ho: La diferencia entre las medias es igual a 0. Ha: La diferencia entre las medias es diferente de 0. Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación alfa=0.05, se debe rechazar la hipótesis nula Ho, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.</p>
<i>Echinometra lucunter</i>	Estación La Parguera, Puerto Rico	Testa	Níquel	< 0.0001	<p>Ho: La diferencia entre las medias es igual a 0. Ha: La diferencia entre las medias es diferente de 0. Como el p-valor computado es menor que el nivel de significación alfa=0.05, se debe rechazar la hipótesis nula Ho, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.</p>

Los otros artículos consultados solo publicaron sus resultados promedio por lo que fue imposible realizar pruebas estadísticas para poder establecer diferencias significativas entre sus resultados y los resultados de este trabajo.