



Universidad Nacional Autónoma de México

Escuela Nacional de Estudios Profesionales
I Z T A C A L A

Metales Pesados en Branquias, Exoesqueleto, Hepatopancreas,
Músculo y Porción Anterior del Cefalotorax de
los Camarones,
Panaeus vannamei Boone y *Panaeus*
californiensis Holmes

T E S I S
Que para Obtener el Título de
B I O L O G O
P r e s e n t a
Lucía Tron Mayen

Director de Tesis: DR. FEDERICO PAEZ OSUNA



Tlalnepantla, Edo. de México

1993



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Es necesario agradecer el apoyo de diversas personas que se interesaron por el presente trabajo.

Al Dr. Federico Páez Osuna, director de tesis por todo su apoyo incondicional y sus valiosas enseñanzas.

A los Biól. Agustín Vargas Vera, Roberto Velazco Garcia, Sergio Cházaro Olvera y Guillermo Horta Puga, por sus acertados comentarios y sus consejos para que esta tesis.

Al Biól. Pesq. Sergio Rendón Rodríguez por su apoyo en la colecta de organismos, por sus observaciones al manuscrito y por su amistad.

Al Biól. Pesq. Héctor Manuel Zazueta Padilla y el Quím. Humberto Bojorquez Leyva por su ayuda y sus instrucciones en el desarrollo de las técnicas de detección de metales en tejidos.

Al Ing. Pesq. Martín Frías Espericueta por su apoyo en el laboratorio y sus comentarios a la tesis.

Al M. en C. Gildardo Izaguirre Fierro por su ayuda en las disecciones y sus consejos en el laboratorio.

A la Q.F.B. Carolina Ruiz Fernández por su colaboración en la obtención de especímenes para este estudio.

En general a todo el personal del Laboratorio de Química Marina de la Estación Mazatlán del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, U.N.A.M. por lo buenos momentos y su amistad.

Al M. en C. José Salgado Barragán por sus comentarios al manuscrito y su ayuda en la redacción.

Al Biól. Pesq. Ramón Espinoza, encargado de la granja camaronícola "Clementina" por proporcionar especímenes de camarón para el estudio.

A Clara Ramirez Jáuregui por su colaboración en la búsqueda bibliográfica.

Al Pas. de Biología Luis Mitchel Arana por su ayuda en la elaboración de gráficas.

A la Estacion Mazatlán del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, U.N.A.M. por las facilidades brindadas en el desarrollo de este trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

A todas aquellas personas que de alguna manera colaboraron en este trabajo.

A la Pas. de Matemáticas Ramos Nava Ma. del Carmen por la edición de la tesis.

Gracias a Dios.

**A mis padres por su ayuda y paciencia
para llegar a mi meta**

A mis hermanas por su apoyo

**A Pepe por sus
consejos y su ayuda**

A mis amigos

Este trabajo se realizó bajo la dirección del Dr. Federico Páez Osuna, en el Laboratorio de Química Marina, de la Estación Mazatlán del I. C . M. y L., U N A M, con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT); a través del Proyecto 0625-N9110.

INDICE

	Página.
RESUMEN.....	1
INTRODUCCION.....	2
OBJETIVOS.....	4
ANTECEDENTES.....	5
GENERALIDADES DE <i>Penaeus</i>	
Sistemática.....	7
Morfología externa.....	7
Morfología interna.....	8
Ciclo de vida.....	9
Aspectos de la explotación del camarón.....	10
AREA DE ESTUDIO.....	12
Localización del área de estudio	
Granja "Clementina".....	13
Huizache-Caimanero.....	14
Boca de Sto. Domingo B.C.Sur.....	14
MATERIALES Y METODOS.....	15
RESULTADOS.....	18
Gráficas.....	22
DISCUSION.....	28
CONCLUSIONES.....	37
LITERATURA CITADA.....	39
TABLAS.....	47
ANEXOS.....	52

RESUMEN

Se analizaron las concentraciones de los metales Cd, Cu, Fe, Co, Mn, Ni, Zn, Pb y Cr en camarones *Penaeus californiensis*, *P. vannamei* silvestre y *P. vannamei* de cultivo en cinco diferentes tejidos; músculo abdominal, exoesqueleto, branquias, hepatopáncreas y porción anterior del cefalotorax (pedúnculo).

Cuando se compararon los niveles de concentración entre los camarones estudiados se presentaron en la mayoría de los casos, diferencias significativas, las cuales varían según el sexo y el tipo de tejido analizado.

Los resultados muestran que en el caso de Pb y Cr estuvieron sistemáticamente por debajo del límite de detección en los tres grupos de camarón y en cada uno de los tejidos analizados.

En general, en los cinco diferentes tejidos, los metales Fe, Zn, Cu, fueron sucesivamente los que presentaron las concentraciones más elevadas, seguidos de Mn, Ni y Cd.

El tejido que en general tuvo menor nivel de concentración en la mayoría de los metales fue el músculo y las branquias los mayores niveles de concentración. Se encontraron diferencias entre hembras y machos, siendo estos últimos los que tuvieron concentraciones altas en la mayoría de los metales de los diferentes tejidos.

INTRODUCCION

Los elementos llamados genéricamente metales pesados, metales traza u oligoelementos están ubicados en el grupo B (elementos de transición) y en los periodos 4, 5 y 6 de los grupos III y IV del grupo A de la tabla periódica, con densidades mayores a los 5 g/cm³ (Forstner y Wittmann, 1979).

La mayor parte de los metales que se encuentran en los sistemas vivos son miembros de la familia de elementos de transición dentro de los cuales podemos mencionar al cobre, cobalto, hierro y zinc. Las cantidades huella (10⁻⁶ M) de metales pesados son normales en organismos marinos y algunos como el cobre y manganeso son esenciales para su crecimiento y desarrollo (Martín *et al*, 1977). En el caso de otros metales como el cadmio y el mercurio que se ha encontrado en los organismos no se conoce de alguna utilidad en los procesos fisiológicos (Darmono y Denton, 1990). De acuerdo a Simkis y Masson (1983) la función que desempeñan en los sistemas biológicos radica en que son:

a) Activadores y constituyentes enzimáticos.

Algunos metales como el Cu, Zn, Mo, Mg y Ca forman parte de la estructura de metaloenzimas, o bien pueden actuar como activadores enzimáticos cofactores, como el Mn y Mg necesarios para la enolasa y la piruvato descarboxilasa, enzimas del metabolismo de los carbohidratos.

b) Formadores de metaloproteínas.

El Cu y Fe participan en la formación de la hemocianina y hemoglobina respectivamente, el hierro de la hemoglobina se encuentran en las células sanguíneas de muchos lamelibranquios y libre en el plasma de gasterópodos. El cobre forma parte de la hemocianina del plasma de muchos moluscos.

c) Participan en los procesos redox y de transferencia de electrones.

La presencia de los metales en los organismos es importante, y pueden obtenerlos de diferentes fuentes en el ambiente. Se pueden encontrar suspendidos o en los sedimentos, en el océano mismo y pueden ser suministrados a través de las aguas de escurrimiento (incluyendo ríos), efluentes domésticos, de la minería, industria, transporte y precipitación pluvial; el empleo de combustibles fósiles, uso de productos metálicos, dragado de puertos, excreciones de animales y humanos, residuos agrícolas y lixiviación de desechos (Páez-Osuna y Osuna-López, 1984).

Una vez que están en el medio los metales se dispersan asociándose con sedimentos, agua y biota. Los metales pueden cambiar su disponibilidad, toxicidad, concentración y a veces presentan un sinergismo o antagonismo en la presencia de otros metales o contaminantes (plaguicidas o hidrocarburos de petróleo), debido a que son afectados por factores físico-químicos como la temperatura, potencial redox, pH, oxígeno disuelto, salinidad, luz, materia

orgánica; y factores biológicos tales como la especie, sexo, tamaño, edad, actividad (Fortsner y Wittmann, 1979). Los metales pesados son capturados por los organismos acuáticos, predominantemente de acuerdo con las formas químicas disponibles en que se presentan; por ejemplo, los iones activos en las fases disueltas se encuentran disponibles en el agua, siendo las superficies respiratorias (branquias y otras superficies del cuerpo) consecuentemente las más vulnerables (Prosi, 1989). Otra manera de introducirse al organismo es mediante la ingestión de materiales en suspensión y los alimentos mismos. La concentración de metales pesados en los tejidos en algunos organismos depende de las rutas metabólicas y/o reproductivas propias de cada especie, para cada metal (Furness y Rainbow, 1990). El exceso de metales pesados en el ambiente, debido a las emanaciones de desechos industriales y urbanos al medio acuático puede ser acumulado por los organismos que lo habitan. Lo anterior puede tener un efecto nocivo sobre los recursos pesqueros y sobre las poblaciones humanas que los consumen. El realizar investigaciones acerca de la concentración de metales en organismos acuáticos es importante por su interacción dentro del ecosistema, y de manera particular si son utilizados para consumo humano como es el caso del camarón.

Por las razones anteriormente expuestas, resulta de gran importancia conocer los niveles de concentración de diversos metales pesados en las especies de camarones que se consumen en nuestro país, lo que permitiría establecer niveles de referencia naturales en camarones de importancia comercial y con ello identificar niveles de contaminación por metales pesados en estudios comparativos con otras áreas susceptibles a ser afectadas.

Este estudio se justifica por las siguientes razones:

1) Debido a la gran importancia económica y comercial que tiene el camarón en México. (2) Porque recientemente se ha venido incrementando el vertimiento numerosos desechos en la zona costera del país, en algunos casos con niveles significativos de metales pesados (Osuna-López et al., 1989) y, como es sabido, la mayoría de las especies comerciales de camarón tienen un ciclo de vida tal, que en sus etapas postlarva-juvenil-adulto habitan en aguas costeras (Broad, 1962).

OBJETIVOS

Evaluar los niveles de concentración de Cu, Cd, Co, Cr, Fe, Ni, Mn, Pb y Zn en branquias, exoesqueleto, hepatopáncreas, músculo y pedúnculo de las especies *Penaeus vannamei* silvestre, *P. vannamei* de cultivo y *P. californiensis*.

Establecer si existe diferencia de los niveles de concentración de los metales entre machos y hembras en cada una de las especies mencionadas.

Determinar los niveles naturales de los metales pesados en los diferentes tipos de tejidos de cada una de las especies que se propone estudiar con objeto de contar con criterios adecuados para diagnosticar la presencia de niveles de metales pesados asociados con las actividades humanas en las zonas, costera, estuarina y de estanquerías de cultivo.

ANTECEDENTES

No obstante la importancia que tiene el conocer los niveles de concentración de metales pesados en los organismos de los ecosistemas marinos y lagunares (particularmente los de interés comercial), en la actualidad se cuenta con poca información acerca de las concentraciones de metales en los crustáceos de la región del Pacífico tropical.

En lo que respecta a acumulación de metales durante el desarrollo, García y Fowler (1972) evaluaron las concentraciones de metales pesados en diversos invertebrados marinos en el Golfo de California. Aunque no determinaron la especie de varios de sus organismos estudiados, en ese trabajo se destaca que los niveles de concentración de Co, Cu, Mn y Zn en el camarón, *Penaeus californiensis* tienden a ser superiores en individuos de edad temprana.

Por el contrario, Martín (1974) indica que el cangrejo *Cancer irroratus* presenta niveles elevados de Mn en individuos de tallas grandes.

Ruiz-Fernández (1992) determinó las concentraciones de diversos metales pesados en diferentes estados de desarrollo de los camarones *Penaeus vannamei* y *P. stylirostris*, ambos de importancia comercial en la zona del Pacífico Este Tropical, concluyendo que los individuos de edades juveniles presentan mayores concentraciones de metales pesados como consecuencia muy probablemente de su permanencia en sistemas lagunares, los cuales presentan mayores concentraciones de metales pesados que el medio marino.

Bryan (1968) determinó las concentraciones de zinc y cobre en 18 especies de crustáceos decápodos del Reino Unido donde señala que éstas varían considerablemente en los distintos tejidos y entre las especies.

Alliot y Frenet-Piron (1990) estudiaron el camarón *Palaemon serratus* en el sur de Francia durante un período de tres años y observaron que el Cd, Co, Fe y Zn presentan una variación estacional con concentraciones elevadas durante el verano, lo cual repercute en su captura comercial.

Darmono y Denton (1990) encontraron que *Penaeus merguensis* silvestre y *Penaeus monodon* de cultivo presentan una concentración alta de cobre en el hepatopáncreas y los niveles más bajos de Zn, Cu, Hg y Cd en el músculo mientras que las concentraciones intermedias de los metales se cuantificaron en las branquias.

En un estudio comparativo Khan et al. (1989) a cerca de los niveles de metales pesados en el camarón *Palaemonetes pugio* de un área industrializada y otra no industrializada de los Estados Unidos; en la zona más afectada los crustáceos presentaron niveles mas

elevados de Hg, Cu, y Zn en los tejidos muscular y exoesqueleto que en los correspondientes al área no contaminada, por otro lado, no encontraron diferencias significativas en las concentraciones de cadmio entre los camarones de ambos lugares.

En cuanto a diferencias entre sexos, Polikarpov et al. (1979) encontraron diferencias significativas en el contenido de plomo del copépodo *Anomalocera patersoni* colectado en el Mar Mediterraneo. Por otro lado, Frenet y Alliot (1985) encontraron que el camarón *Palaemonetes varians* acumula mayores cantidades de metales pesados en el cefalotórax, lugar donde se localizan los órganos reproductores, ésto particularmente en las hembras.

El presente estudio es el primero en su tipo en nuestro país y sobre todo en las especies mencionadas.

GENERALIDADES DE LAS PENAEUS
Penaeus vannamei y Penaeus californiensis.

SISTEMATICA.

La clasificación taxonómica, de acuerdo con Schram (1986) y Brusca y Brusca (1990) se presenta a continuación:

Phylum: Arthropoda

Clase: Crustacea

Subclase: Eumalacostraca

Suborden: Eucarida

Orden: Decapoda

Suborden: Dendrobranchiata

Superfamilia: Penaeoidea

Familia: Penaeidae

Género: *Penaeus*

Subgénero: (*Litopenaeus*)

Penaeus (Litopenaeus) stylirostris Stimpson, 1874

Penaeus (Litopenaeus) vannamei Boone, 1931

Subgénero: (*Farfantepenaeus*)

Penaeus (Farfantepenaeus) brevirostris Kingsley, 1878

Penaeus (Farfantepenaeus) californiensis Holmes, 1900

HABITAT.

Los camarones del género *Penaeus* presentan una distribución muy amplia tanto en profundidad como en latitud, además pueden ser capturados tanto en aguas dulces como en hipersalinas (Hendrickx, 1990).

La mayoría de las especies son de hábitos bentónicos y viven sobre diversos tipos de fondos que van desde fangosos o fango-arenosos hasta rocosos y coralinos

En lo que concierne a los camarones de la familia Penaeidae, éstos habitan en profundidades generalmente de 0 a 100 m en la porción de la plataforma continental. La mayoría de las especies desovan en la zona costera donde los huevos eclosionan al poco tiempo para, en el caso de varias de las especies, intrudirse en los sistemas lagunares y completar sus primeros estados de desarrollo. Posteriormente los camarones emigran hacia el mar donde completan su maduración y efectúan la reproducción (Pérez-Farfante, 1978; Mena-Millar, 1989; Hendrickx, 1990).

MORFOLOGIA EXTERNA.

De acuerdo con Bliss (1983) y Barnes (1986) la morfología general del camarón se presenta como sigue:

La porción anterior ó cefalotórax está formada por un rostro aserrado, ojos pedunculados, y cinco pares de apéndices. El primer par corresponde a las anténulas, el segundo par son antenas y están

inervadas por el tritocerebro.

Flanqueado, y a menudo cubriendo la boca ventral en la cabeza, se localizan las mandíbulas, que son gruesas y cortas con superficies opuestas triturantes y masticadoras. El cuarto y quinto par corresponden a las maxilas y las maxíbulas que son apéndices alimenticios.

La porción del pereión se encuentra parcialmente cubierto por el carapacho y contiene cinco pares de patas llamados pereiópodos. Lo que corresponde al abdomen esta formado por seis segmentos bien definidos y similares que llevan cinco pares de apéndices llamados pleópodos, los cuales son los principales órganos natatorios. El sexto segmento abdominal contiene a los urópodos. El último segmento corresponde al telson y es la porción donde se encuentra el ano.

MORFOLOGIA INTERNA.

Sistema Digestivo.

El principal componente de este sistema es el intestino, se divide en tres regiones:

a) El intestino anterior que comienza a partir de la abertura de la boca, que esta localizada ventralmente, posteriormente se localiza un esófago simple, tubular comúnmente agrandado, que funciona como estómago triturante debido a que sus paredes poseen crestas quitinosas opuestas en dentrículos calcáreos.

b) La región media varía mucho en dimensiones. Casi siempre presenta varios pares de ciegos. En los malacostracos, el intestino medio contiene glándulas digestivas sólidas llamadas hepatopáncreas, que están constituidas de conductos y túbulos ciegos secretores, sus secreciones constituyen la fuente principal de enzimas digestivas. La absorción de los alimentos queda limitada a las paredes del intestino medio y a los túbulos del hepatopáncreas, que poseen células para el almacenamiento de calcio, grasa y glucógeno.

c) El intestino posterior comprende la parte final del aparato digestivo y se localiza en la parte final del tronco para desembocar en el ano (Bliss, 1983).

Sistema Excretor.

Los principales órganos de producción de orina en los camarones (y en la mayoría de los crustáceos) son unas glándulas antenales, (también llamadas glándulas verdes) y las glándulas maxilares.

La morfología de las glándulas comúnmente consiste en tres porciones: un saco interno terminal, un canal excretorio y la salida del ducto. La parte baja del canal excretor y la salida del ducto pueden ser elongadas y formar una vejiga.

Sistema Circulatorio.

El sistema circulatorio de los camarones, al igual que el resto de los crustáceos es un sistema abierto, la hemolinfa o sangre fluye a través de la cavidad hemocélica, el movimiento de la sangre se

debe a la acción de bombeo del corazón situado en el tórax que esta provisto de tres ostiolas uno en cada ángulo lateral del corazón y otro en el dorsal; de este órgano salen cinco tipos de arterias que irrigan todo el cuerpo (arteria anterior, arteria media, arteria oftálmica, un par de arterias cefálicas laterales de las antenas y arterias hepáticas).

Sistema Respiratorio.

Las branquias se originan de la pared del cuerpo. Están compuestas de un eje central a lo largo del cual se disponen en prolongaciones laterales. En los peneidos, consisten en un eje que lleva una serie de ramas apareadas en ángulo recto, en cada rama surgen numerosos filamentos perpendiculares, los cuales se bifurcan. La branquias y los filamentos están dentro de cámaras aferentes y eferentes. Este tipo de branquias se denominan dendrobranquias y son características de todos los integrantes de la superfamilia Peneoidea (Suborden Dendrobranchiata).

Sistema Reproductivo.

La mayoría de los crustáceos son dioicos. Las gónadas generalmente son pareadas y se localizan sobre el intestino lateralmente y muchas veces rodeando al intestino medio.

El aparato reproductor masculino consiste en testículos que se dirigen a un orificio genital en posición ventral. En algunos crustáceos la porción terminal del vaso deferente puede aumentar para servir como vesícula seminal. El aparato reproductor del macho se abre al exterior a través de un simple gonoporo.

El sistema reproductivo femenino está formado típicamente por ovarios que se extienden desde el cefalotorax hacia la parte posterior del abdomen conectándose con los oviductos que los conducen a unos orificios localizados en el artejo basal del tercer par de pereopodos (Bliss, 1983).

CICLO DE VIDA

Durante la copula de los camarones peneidos, el macho deposita el espermatoforo sobre el télico de la hembra durante el desove los huevecillos son fecundados posteriormente son arrojados al medio (Hendrickx, 1990). Los huevos se desarrollan y eclosionan en cuestión de horas, dando lugar al primer estado larvario denominado nauplio. Edwards (1978) describe cinco estadios nauplios, tres de protozoa y tres de mysis. A partir del estadio de postlarva, que sigue a la última etapa de mysis, pasan de vida zooplanctónica a la vida bentónica y se posa sobre el fondo, por lo general en aguas poco profundas. En ese estadio invaden lagunas costeras y/o estuarios donde alcanzan su madurez para posteriormente migrar hacia el mar.

El crecimiento de juvenil a adulto se completa, por lo general, en un año y el desove ocurre en las aguas costeras. Las hembras pueden producir hasta 10^6 huevos en cada desove (Edwards 1978). Los machos adultos miden de 140 a 200 mm de longitud total y las hembras de

160 a 240mm.

De acuerdo a Willmann y García (1986) su alimentación consiste en pequeños crustáceos, y poliquetos con micro y meiofauna asociada a detritus.

ASPECTOS DE LA EXPLOTACION DEL CAMARON.

Entre los crustáceos decápodos, la familia Penaeidae se destaca por contener a los camarones de mayor importancia desde el punto de vista comercial. De entre ellos figura el género *Penaeus* que contiene un elevado número de especies con alto valor en el mercado internacional (Hendrickx, 1985).

En lo que concierne al Pacífico mexicano, las especies de mayor importancia económica son *Penaeus vannamei* Boone, *P. stylirostris* Stimpson, *P. californiensis* Holmes y *P. brevisrostris* Kingsley (Brusca, 1980; Hendrickx, 1985).

En nuestro país el camarón constituye la principal fuente de divisas del exterior que constituyen aproximadamente el 70% de los ingresos por concepto de productos pesqueros. Su volumen de captura anual oscila entre 70 y 80 mil toneladas colocando a México en el 6o. lugar a nivel mundial de productores de camarón no cultivado (Gámez y de la Lanza, 1992). El camarón representa un recurso de gran valor comercial, por el mercado dinámico que lo demanda y las perspectivas de desarrollo que presenta actualmente con el impulso de su acuicultura (Gámez y de la Lanza *op cit.*).

En México la producción del camarón generada de la pesquería establecida en aguas continentales se ha mantenido relativamente estable en los últimos doce años, fluctuando alrededor de las 73000 toneladas anuales, de donde se infiere que se alcanzado el nivel de rendimiento máximo sostenido (Secretaría de Pesca, 1989).

Básicamente, se utilizan dos métodos para la pesca del camarón:

- i) La pesquería industrial, que utiliza barcos de 16-23 m de eslora dotados con motores diesel de 200-400 Hp. Cada barco utiliza redes de arrastre sencillas o redes dobles. Las profundidades en la que se realiza el arrastre van de 5 a 60 m. El tiempo de arrastre va de 1 a 4 horas a una velocidad de 2 nudos. El volumen de captura por embarcación ha sido muy variable durante los últimos años, oscilando entre 500 kg y 5 ó 6 toneladas durante periodos de 3 a 10 días.
- ii) La pesca artesanal, que se realiza generalmente en los sistemas lagunares, por medio de artes de captura fijos llamados tapos basándose en la utilización de canoas, botes, pequeñas balsas y otros medios flotantes o simplemente introduciéndose a pie desde la orilla. Para pescar utilizan pequeñas artes tales como atarraya, redes de sitio, pequeñas redes de arrastre y redes enmalle, estas últimas se ha

incrementado en años recientes en muchos países y sobre todo en la costa del Pacífico americano. La productividad de la pesca artesanal es estimada por Willmann y García (1985) en menos de una tonelada de camarón por embarcación al año.

AREA DE ESTUDIO

La captura de los camarones *P. vannamei* se llevó a cabo en la granja "Clementina" y en el sistema lagunar Huizache-Caimanero mientras que *P. californiensis* se colectó en la zona costera del Pacífico adyacente a la Península de Baja California

La granja "La Clementina" se localiza en la cabeza lagunar (hacia el sureste) en el Puerto y Antepuerto de Mazatlán. Este cuerpo lagunar se ubica en la parte sur del estado de Sinaloa, México entre los meridianos $106^{\circ} 20' 00''$ y $106^{\circ} 25' 35''$ al oeste del meridiano de Greenwich y entre los paralelos $23^{\circ} 10' 36''$ y $23^{\circ} 13' 00''$ de latitud Norte (Fig. 1 y 1a)

La laguna de Huizache-Caimanero se localiza a 25 km al sur del puerto de Mazatlán entre $22^{\circ} 50'$ y $25^{\circ} 10' N$ y los $106^{\circ} 00'$ y $106^{\circ} 15' W$.

EL tipo de clima del área es AWO (García 1973) cálido semiseco. Las lluvias son estivales y la precipitación invernal es 5 -10% del total anual.

Esta área se destaca por la importancia de la pesquería del camarón (Chapa-Saldaña y Soto-López, 1969) el sistema lagunar se ubica entre dos ríos, el Presidio al NW y Baluarte al SE, ambos se comunican al sistema lagunar mediante canales o esteros aportándole agua dulce al sistema. Particularmente las colectas se efectuaron en los sitios conocidos como el Ostial y Botadero (Fig. 2).

La captura de los camarones *Penaeus californiensis* se efectuó sobre la plataforma continental (24 brazas) frente a la Boca de Santo Domingo y se localiza entre los meridianos $112^{\circ} 11'$ de longitud oeste y $25^{\circ} 32' 5''$ de latitud Norte (Fig. 3).

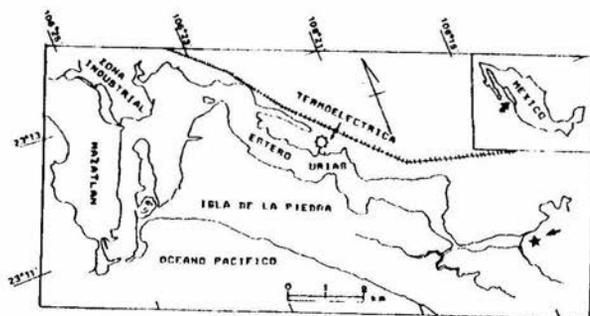


Fig. 1 Localizacion del área de estudio. Granja "La Clementina".★

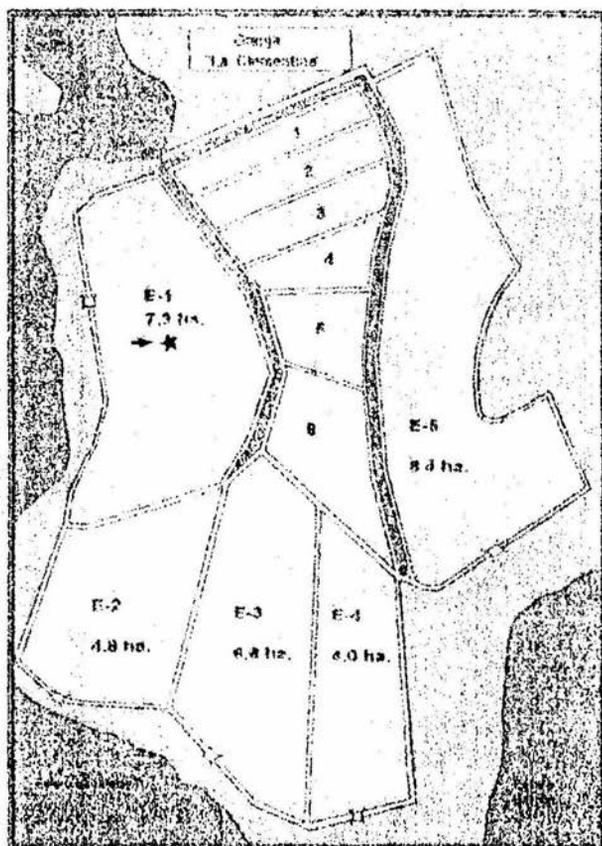


Fig. 1.- A ★ Plano de la estanquería de la granja "La Clementina". El Estanque No.1 corresponde al lugar de donde se tomaron las muestras.

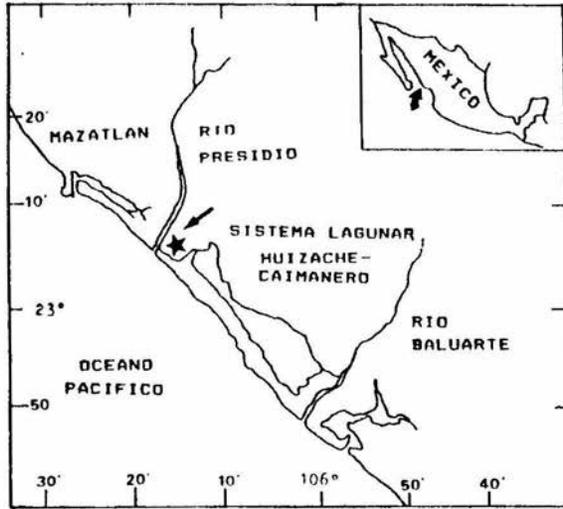


Fig.2. ★ Localización del área de estudio. Sistema Laguna Huizache-Caimanero.

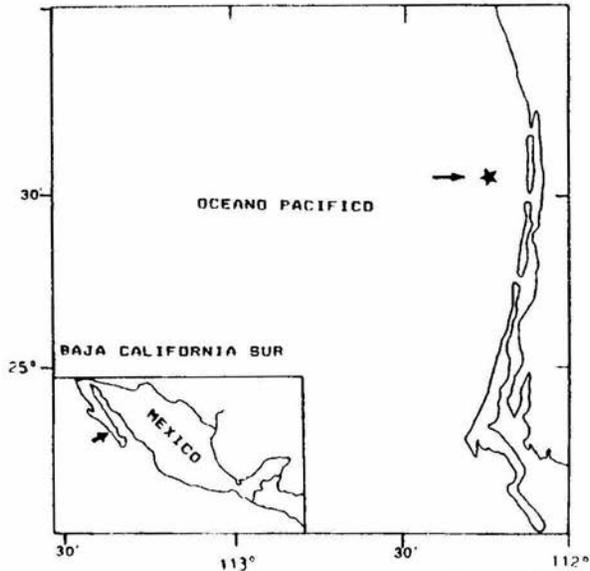


Fig.3. ★ Localización del área de estudio. Boca de Santo Domingo, Baja California Sur.

MATERIALES Y METODOS

Muestreo.

La captura del camarón se llevó a cabo de dos maneras: a) en el estero y la granja, fué de manera artesanal utilizando atarrayas de plástico con una abertura de malla de 1.5 cm; b) y en la zona costera en barcos camaroneros los cuales contaron con un sistema doble de redes de arrastre camaroneras y una abertura de malla de dos pulgadas (Willmann y García, 1986).

Después de obtener los organismos, éstos fueron colocados en un recipiente de plástico con tapa para mantenerlos libres de una posible contaminación y facilitar su conservación y transporte.

Los organismos se identificaron a nivel de especie de acuerdo con Hendrickx (1990) que considera las siguientes caracteres; los órganos reproductores, el surco y carina rostrales y el rostro como características morfológicas específicas: (ver Apéndice 1).

Selección de los organismos.

Se seleccionaron 50 organismos de cada sexo por cada especie.

Cabe señalar que, debido a las condiciones de captura de los especímenes muestreados, los organismos pertenecientes a *Penaeus vannamei* (de cultivo y silvestres) se ubicaron en un estado de madurez sexual de pre-adulto, mientras que los de *P. californiensis* (de altamar) todos fueron adultos.

Los ejemplares de *Penaeus vannamei* de cultivo tuvieron pesos de 12.0 ± 1.1 g en hembras y de 12.1 ± 1.0 g los machos, mientras que el peso promedio de los ejemplares de *P. vannamei* silvestre fueron de 11.1 ± 1.6 g en hembras y de 10.7 ± 1.0 g en machos. Los ejemplares de *Penaeus californiensis* pesaron 23.3 ± 1.7 g (machos) y 23.0 ± 1.0 g (hembras).

Los camarones se disectaron utilizando instrumentos de acero inoxidable para separarles el exoesqueleto, músculo abdominal, el hepatopáncreas, branquias y la parte anterior del cefalotórax, que abarca los ojos, anténulas, antenas y escama antenal y que, para fines prácticos, se le denominó Pedúnculo (ver Esquema 1).

Tratamiento de la muestra.

Para manipular, digerir analizar y determinar los niveles de metales en los tejidos se utilizó la técnica de adición múltiple de estándares de acuerdo con lo descrito por Paéz-Osuna et al (1988) y Paéz-Osuna y Marmolejo-Rivas (1990) (Apéndice 2).

Tratamiento estadístico.

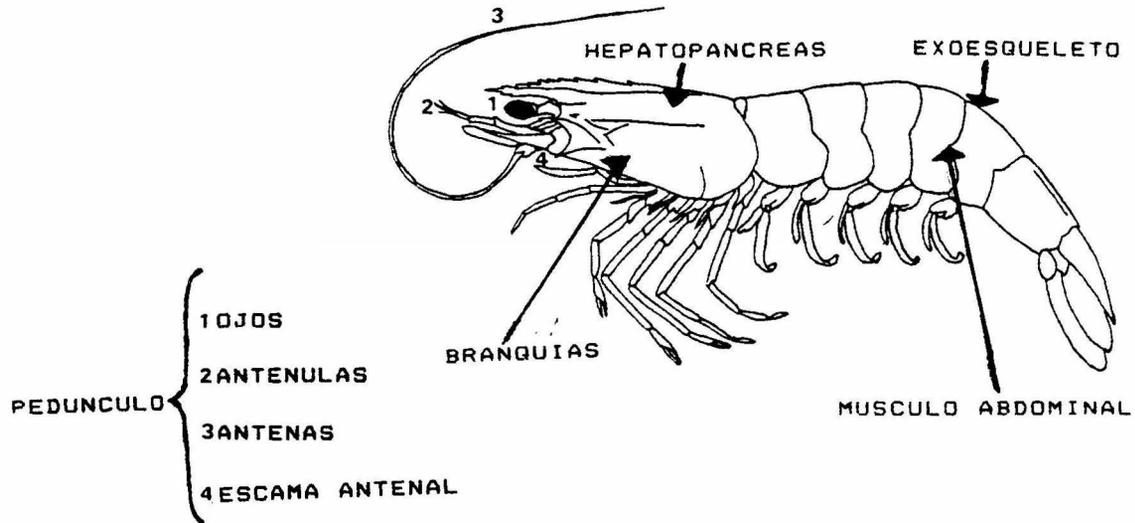
Para determinar las diferencias de concentración de metales entre machos y hembras de los tres grupos de camarones se aplicó la prueba "t" de Student (comparación de las medias de dos muestras) (Miller & Miller, 1988) utilizando la siguiente ecuación:

$$t = \sqrt{(x_1 - x_2) / s (1/n_1 + 1/n_2)}$$

Los grados de libertad se obtuvieron buscando el valor que le

corresponde con un $\alpha = 0.05$: $n_1 + n_2 - 2$

Para determinar si existieron diferencias entre los tres grupos de camarones *Penaeus vannamei* de cultivo, *P. vannamei* silvestre y *P. californiensis*, se consideró la desviación estándar de las concentraciones de cada metal en cada uno de los tejidos.



Esquema 1. Diagrama del camarón *Penaeus* sp.

RESULTADOS

En las figuras 4 a 21 se presentan las concentraciones de Cu, Cd, Fe, Mn, Ni y Zn expresadas en $\mu\text{g/g}$ de peso seco, correspondientes a músculo, exoesqueleto, branquias, pedúnculo y hepatopáncreas de *Penaeus californiensis*, *Penaeus vannamei* silvestres y *Penaeus vannamei* de cultivo.

Los elementos Cr y Pb presentaron concentraciones muy bajas en los diferentes tejidos estudiados por lo que se tuvo la necesidad de calcular el límite de detección (Apéndice 4). Este fué estimado en $0.62 \mu\text{g/g}$ para Pb y $0.40 \mu\text{g/g}$ para Cr.

Para determinar las diferencias entre los niveles de metales que se analizaron en los tejidos, en ambos sexos, entre los grupos de camarón y discutiendo con los valores publicados en la literatura se realizaron pruebas de evaluación de la técnica empleada tomando en cuenta la precisión y la exactitud de cada metal.

La evaluación de la precisión (ver apéndice 3) en los niveles más bajos se realizó mediante la repetición del análisis de la muestra (músculo abdominal del camarón silvestre) cuantificando cada uno de los metales estudiados. De los datos de precisión que se obtuvieron se calculó el coeficiente de variación (ver apéndice 3) teniendo como resultado que para el Cu fue de 19%, Co 90%, Cd 59%, Mn 23%, Fe 27%, Ni 33% y Zn 29%.

En la Tabla I se muestran los resultados de las comparaciones entre los dos sexos para cada uno de los tejidos en los tres grupos de camarones, aplicando la prueba de "t" de student (comparación entre dos medias) con un $\alpha = 0.05$ de acuerdo con Miller & Miller (1989).

COBRE

La concentración de Cu que presentó el músculo de *Penaeus vannamei* de cultivo fué bajo en comparación con los demás tejidos. Los tejidos que más sobresalieron fueron las branquias con $188 \mu\text{g/g}$ en hembras y $329 \mu\text{g/g}$ en machos y el pedúnculo con $170 \mu\text{g/g}$ para hembras y $154 \mu\text{g/g}$ en machos. En las concentraciones de Cu de hembras y machos de *P. vannamei* de cultivo (Tabla I) se encontraron diferencias significativas en el exoesqueleto, pedúnculo y hepatopáncreas siendo las hembras las que presentaron concentraciones más elevadas, solamente en las branquias de los machos se observaron mayores concentraciones que en las hembras.

No se contó con el dato de la concentración de Cu en las branquias de los machos de *Penaeus vannamei* silvestre. En el caso de las branquias de las hembras se observó que el nivel de Cu fué de $212 \mu\text{g/g}$ siendo el nivel más elevado en comparación con los demás tejidos. El músculo abdominal del camarón silvestre presentó concentraciones bajas de este metal ($18.7 \mu\text{g/g}$ machos y $19.6 \mu\text{g/g}$ hembras). Las diferencias encontradas en las concentraciones de Cu

en los dos sexos de *Penaeus vannamei* silvestre fueron significativas en hepatopáncreas y pedúnculo, destacándose los machos como los que presentaron concentraciones más altas en estos dos tejidos.

El tejido que presentó mayor concentración de Cu en *Penaeus californiensis* fué el branquial (65.8 $\mu\text{g/g}$ machos y hembras 63.7 $\mu\text{g/g}$) y el de menor concentración fue el músculo abdominal (24.6 $\mu\text{g/g}$ machos y 11.8 $\mu\text{g/g}$ hembras). Los niveles de Cu en los machos del camarón café fueron significativamente diferentes con respecto a los de las hembras en músculo y pedúnculo.

CADMIO

Los niveles de Cd en *P. vannamei* de cultivo fueron muy bajos, con concentraciones menores a 1.1 $\mu\text{g/g}$ en todos los casos donde se pudo detectar el metal. En las hembras solamente se detectó en branquias, pedúnculo y hepatopáncreas y en los machos en exoesqueleto y hepatopáncreas (Fig.4). El hepatopáncreas de los machos presentó una concentración significativamente mayor que el de las hembras.

En *Penaeus vannamei* silvestre el Cd se detectó solamente en algunos tejidos (Fig.10). El hepatopáncreas mostró una concentración de 3.6 $\mu\text{g/g}$ en machos y de 5.9 $\mu\text{g/g}$ en hembras siendo estas diferencias significativas.

En todos los tejidos de *P. californiensis* se presentaron concentraciones detectables de Cd. El hepatopáncreas mostró concentraciones Cd relativamente elevadas en comparación con los demás tejidos (20 $\mu\text{g/g}$ en hembras y machos 13.6 $\mu\text{g/g}$) (Fig.16). *Penaeus californiensis* no presentó diferencias significativas de Cd, entre sexos en ninguno de sus tejidos.

HIERRO

En *Penaeus vannamei* de cultivo las concentraciones de Fe fueron mayores a 100 $\mu\text{g/g}$ en el exoesqueleto, pedúnculo, hepatopáncreas y branquias; sobresaliendo éste último tejido, con una concentración de 852 $\mu\text{g/g}$ en hembras, seguido del pedúnculo con 289 $\mu\text{g/g}$ en machos. El pedúnculo y hepatopáncreas de los camarones de cultivo presentaron diferencias notorias entre machos y hembras (Tabla I), con concentraciones más elevadas en los primeros (pedúnculo 289 $\mu\text{g/g}$ y hepatopáncreas 234 $\mu\text{g/g}$).

Las concentraciones de Fe en *Penaeus vannamei* silvestre fueron altas en la mayoría de los tejidos sobresaliendo las branquias de las hembras con 379 $\mu\text{g/g}$, aunque cabe señalar que no fué posible obtener un valor para machos. El tejido que le siguió, en cuanto al nivel de concentración de este metal, fué hepatopáncreas en exoesqueleto fueron similares. En exoesqueleto y en hepatopáncreas de los machos las concentraciones fueron más elevadas, en tanto que en el pedúnculo de las hembras la concentración se presentó

ligramente más elevada.

A diferencia de lo que ocurrió con *P. vannamei*, *P. californiensis* presentó sus concentraciones más altas de Fe en el hepatopáncreas (247 $\mu\text{g/g}$ en machos y 215 $\mu\text{g/g}$ en hembras), seguido del pedúnculo y branquias. El músculo presentó las concentraciones más bajas. En la tabla (I) se observa que las hembras de esta especie mostraron una concentración más alta que los machos tanto el pedúnculo y branquias.

MANGANESO

Las concentraciones de Mn en *P. vannamei* de cultivo fueron bajas en el músculo y en los demás tejidos fueron relativamente altas en los dos sexos (Fig.7). En el exoesqueleto y las branquias de los machos de *P. vannamei* de cultivo las concentraciones una Mn fueron más altas que en hembras, mientras que éstas tuvieron mayor concentración en el hepatopáncreas (Tabla I).

Los camarones silvestres presentaron concentraciones bajas de Mn en músculo (3.3 $\mu\text{g/g}$ machos y 2.6 $\mu\text{g/g}$ en hembras) y en el hepatopáncreas de las hembras (5.2 $\mu\text{g/g}$) (Fig.13). Las concentraciones de Mn en exoesqueleto, pedúnculo y hepatopáncreas de los machos de este grupo de camarones fueron significativamente más altas que las de las hembras.

Penaeus californiensis presentó concentraciones bajas de Mn en todos los tejidos. El exoesqueleto (6.0 $\mu\text{g/g}$) de los machos tuvo la concentración más elevada (Fig.19). No se presentaron diferencias significativas entre hembras y machos en cuanto a este metal (Tabla I).

NIQUEL

Los niveles de concentración de Ni en el camarón de cultivo fueron menores a 4 $\mu\text{g/g}$ en todos los tejidos. Solamente hubo diferencias entre hembras y machos en las branquias siendo más altas en los segundos.

Penaeus vannamei silvestre también tuvo concentraciones bajas de Ni, aunque las branquias de las hembras presentaron el valor sobresaliente de 10.1 $\mu\text{g/g}$ (Fig.14). Las concentraciones de Ni presentes en las hembras fueron significativamente más altas que en los machos en músculo, exoesqueleto y hepatopáncreas.

En los machos de *P. californiensis* sobresalieron el hepatopáncreas y el exoesqueleto con concentraciones de Ni superiores a los 8 $\mu\text{g/g}$. Los machos tuvieron mayor concentración en el exoesqueleto y en las branquias, mientras que en las hembras se obtuvo mayor concentración en el hepatopáncreas (Tabla I).

ZINC

El contenido de Zn en el músculo de los dos grupos de camarones de

Penaeus vannamei fue un poco más elevado y el tejido que presentó la concentración más baja fue el exoesqueleto.

En *Penaeus vannamei* de cultivo el nivel de concentración del Zn en el hepatopáncreas tuvo un nivel más alto en comparación al resto de los tejidos (Fig.9). El camarón de cultivo presentó diferencias en los tejidos exoesqueleto y pedúnculo donde los machos tiene mayor concentración de Zn y las hembras en el hepatopáncreas.

En *P. vannamei* silvestre el hepatopáncreas y las branquias fueron los tejidos que presentaron una mayor concentración de Zn. Las hembras fueron las que tuvieron un nivel más elevado de Zn en el músculo (Tabla I).

Las concentraciones de Zn en *Penaeus californiensis* fueron elevadas en tres tejidos, de acuerdo con el siguiente orden: hepatopáncreas más que pedúnculo y este más que las branquias. El resto de los tejidos tuvo concentraciones bajas (Fig.21). Cuando se compararon las concentraciones de los dos sexos, los machos tuvieron mayores niveles de Zn en el músculo y las branquias; en el caso del pedúnculo y el hepatopáncreas sucedió lo contrario (Tabla I).

COMPARACION ENTRE GRUPOS DE CAMARONES

La comparación de las concentraciones de metales en los tejidos de los tres grupos de camarones por sexo arrojó los siguientes resultados.

(i) *Penaeus californiensis* vs. *P. vannamei*:

Los grupos de *Penaeus vannamei* silvestre y de cultivo difirieron de *P. californiensis* en los niveles de Cu, Fe y Mn en todos los tejidos, con excepción de las concentraciones de Fe en hepatopáncreas de los machos de los dos grupos, el exoesqueleto de *P. vannamei* silvestre y el músculo delas hembras de *P. vannamei* de cultivo, así como el Mn en las hembras de los camarones de cultivo. (Tabla II)

El nivel de Zn en los cinco tejidos de *P. californiensis* fué mayor que en los otros dos grupos de camarones salvo en el caso del tejido muscular de las hembras, en que fué semejante en los tres grupos.

(ii) *Penaeus vannamei* de cultivo vs. *P. vannamei* silvestre:

En el caso de los dos grupos de *P. vannamei* se encontró que los valores observados para cada uno de los metales fueron muy variables, en otros palabras no hay patrón de diferencias sistemático (Tabla II).

El Cu en exoesqueleto, pedúnculo y hepatopáncreas de los camarones de cultivo presentó concentraciones distintas que en los silvestres excluyendo el hepatopáncreas de los machos. Solamente en el músculo hubo niveles similares.

La concentración de cadmio en el hepatopáncreas fue mayor en *P.*

vannamei silvestre.

Por otra parte, las concentración de Fe en músculo no presentaron diferencias en estos dos grupos. El nivel de hierro en el exoesqueleto de los camarones de cultivo fué mayor que en los silvestres. El pedúnculo y el hepatopáncreas en las hembras de los camarones silvestres presentaron más hierro, mientras que lo contrario ocurrió con el pedúnculo de los machos.

Las concentraciones de níquel, en el hepatopáncreas y el exoesqueleto de los machos en los camarones de cultivo fueron mayores que en los silvestres. El pedúnculo de los camarones silvestres presentó valores más elevados de níquel que los camarones de cultivo en ambos sexos.

Se apreciaron diferencias en la concentración de Zn del exoesqueleto, pedúnculo y hepatopáncreas donde los camarones de cultivo tuvieron los niveles más elevados, excepto en el pedúnculo de las hembras, que presentaron concentraciones similares. En músculo, tanto hembras como machos no presentaron diferencias en los niveles de Zn para los dos grupos.

Fig.4. Concentración de Cd en los diferentes tejidos de Penaeus vannamei de cultivo

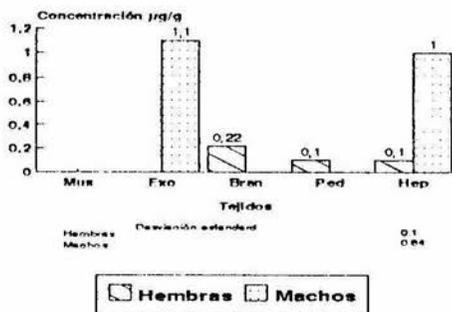


Fig.5. Concentración de Cu en los diferentes tejidos de Penaeus vannamei de cultivo

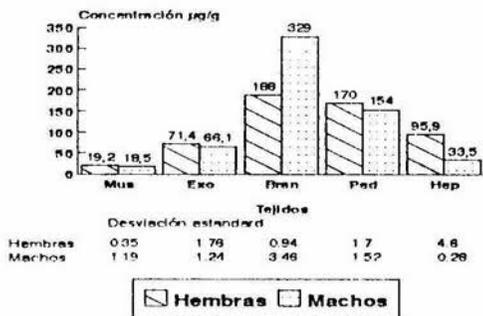


Fig.6. Concentración de Fe en los diferentes tejidos de Penaeus vannamei de cultivo

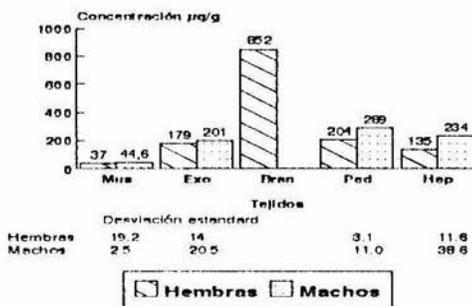


Fig.7. Concentración de Mn en los diferentes tejidos de *Penaeus vannamei* de cultivo

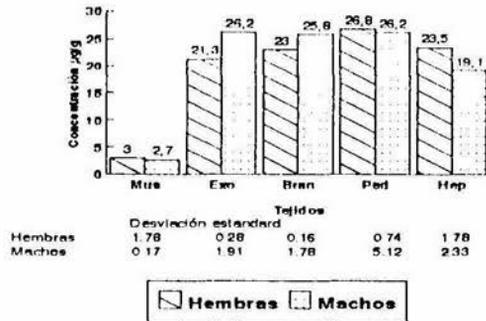


Fig.8. Concentración de Ni en los diferentes tejidos de *Penaeus vannamei* de cultivo

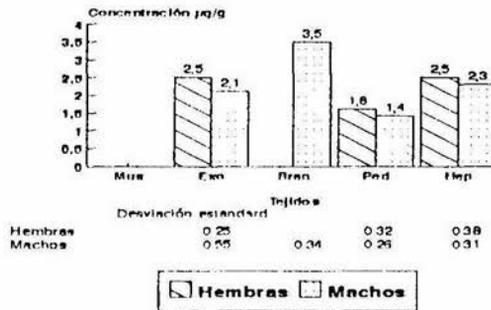


Fig.9. Concentración de Zn en los diferentes tejidos de *Penaeus vannamei* de cultivo

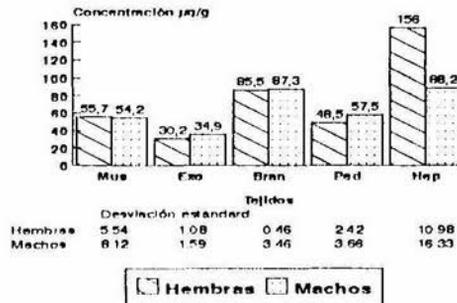


Fig.10. Concentración de Cd en los diferentes tejidos de Penaeus vannamei silvestre

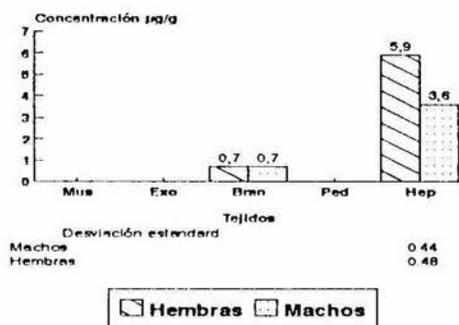


Fig.11. Concentración de Cu en los diferentes tejidos de Penaeus vannamei silvestre

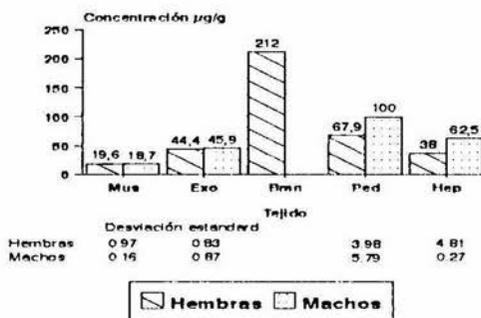


Fig.12. Concentración de Fe en los diferentes tejidos de Penaeus vannamei silvestre

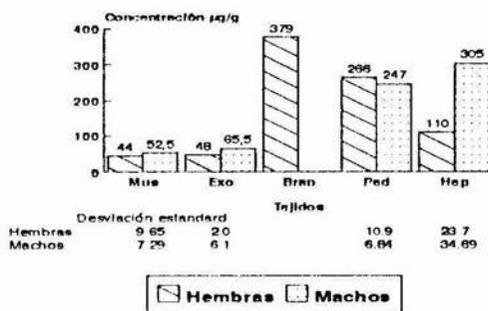


Fig.13. Concentración de Mn en los diferentes tejidos de Penaeus vannamei silvestre

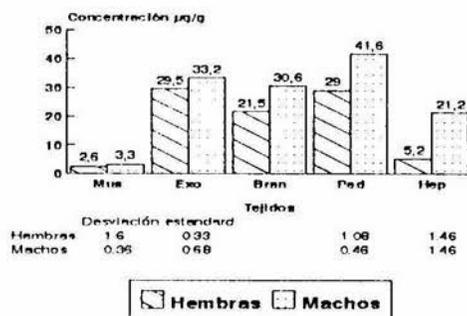


Fig.14. Concentración de Ni en los diferentes tejidos de Penaeus vannamei silvestre

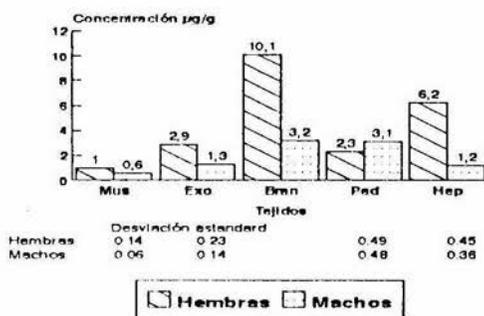


Fig.15. Concentración de Zn en los diferentes tejidos de Penaeus vannamei silvestre

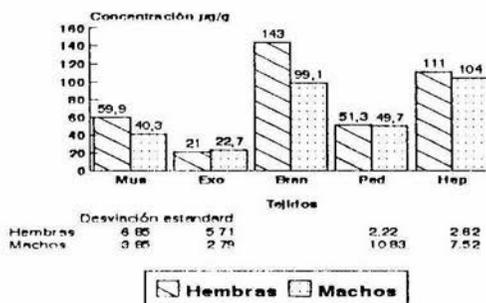


Fig.16. Concentración de Cd en los diferentes tejidos de *Penaeus californiensis* alta mar

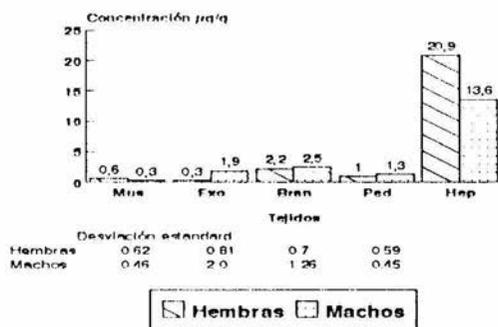


Fig.17. Concentración de Cu en los diferentes tejidos de *Penaeus californiensis* alta mar

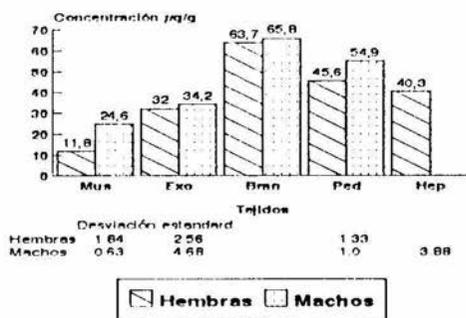


Fig.18. Concentración de Fe en los diferentes tejidos de *Penaeus californiensis* alta mar

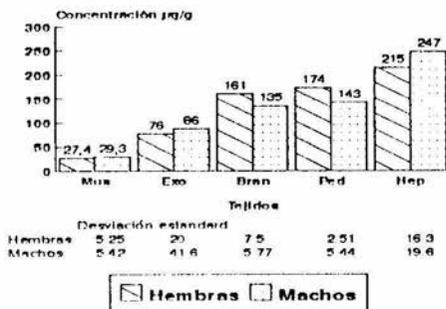


Fig.19. Concentración de Mn en los diferentes tejidos de Penaeus californiensis alta mar

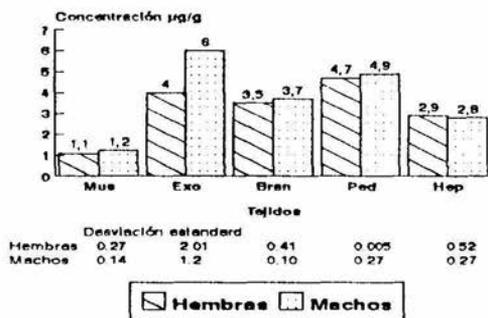


Fig.20. Concentración de Ni en los diferentes tejidos de Penaeus californiensis alta mar

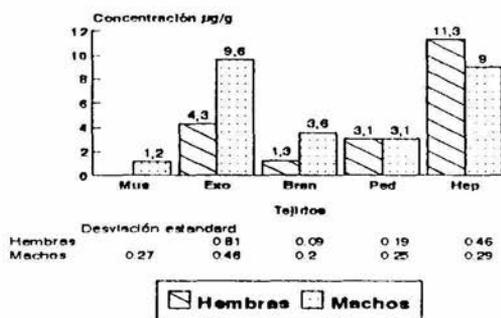
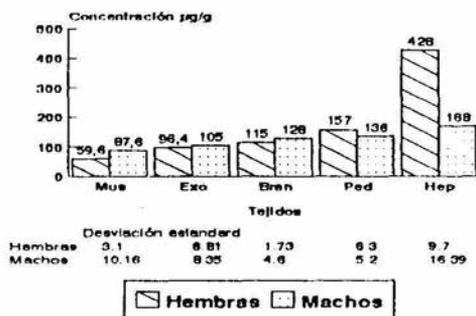


Fig.21. Concentración de Zn en los diferentes tejidos de Penaeus californiensis alta mar



DISCUSION

Las concentraciones de metales pesados fueron diferentes tanto a nivel de tejido como de especie.

En términos generales, para *Penaeus californiensis* los tejidos con mayores niveles de concentración se presentaron como sigue:

Hepatopáncreas > Pedúnculo > Branquias > Exoesqueleto > Músculo

En *Penaeus vannamei* tanto silvestre como de cultivo, las concentraciones quedaron así:

Branquias > Hepatopáncreas > Pedúnculo > Exoesqueleto > Músculo

Este orden secuencial coincide con lo encontrado por Bryan, (1968) en sus investigaciones con diferentes crustáceos decápodos; y Darmono y Denton (1990) en los camarones *Penaeus monodon* y *P. merguensis*.

En los diferentes tejidos de los camarones estudiados aquí, los niveles de Fe, Zn y Cu fueron siempre los más elevados con relación al resto de los metales (Mn, Cd y Ni) de tal manera que en terminos generales el orden secuencial de las concentraciones fue como sigue:

Fe > Zn > Cu > Mn > Ni > Cd > Pb > Cr > Co

Ruíz Fernández (1992) y Páez-Osuna y Ruíz-Fernández, (1993) señalan la misma secuencia de los metales en *Penaeus vannamei* y *Penaeus stylirostris* a excepción de Co, Cd y Cr. Horowitz y Presley (1977), indican que también el Fe en el "camarón de roca" y "camarón cafe" tuvo una concentración alta seguido de Zn, Cu, Mn y Ni. Pero algunos autores como Darmono y Denton (1990) encontraron que el Cu presentó una mayor concentración proseguido por el Zn y Fe. Balkas et al (1982) menciona que en los crustáceos *Penaeus kerathurus* y *Portunus pelagicus*, las concentraciones de Zn y Cu fueron las más altas mientras que el Cr, Ni, Cd, Pb y Mn fueron, sucesivamente más bajas.

En las secciones subsiguientes se discuten los resultados obtenidos en el presente estudio con los encontrados por otros autores. Sin embargo, la comparación de una región a otra deberá de hacerse con precaución debido a las variaciones en los procedimientos analíticos y de muestreo además de otros factores como época del año y el ciclo reproductivo. Los ejercicios de intercomparación sobre los metales pesados en el homogeneizado de camarón han revelado una pobre concordancia entre los laboratorios participantes (I.A.E.A., 1987) particularmente con respecto a cobalto, plomo y níquel (Páez-Osuna y Ruíz-Fernandez 1993).

COBRE

El Cu desempeña funciones muy importantes en los crustáceos decápodos. Es un metal esencial para el desarrollo de los organismos. Las concentraciones de Cu en músculo en los tres grupos de camarones analizados fueron bajas, lo cual concuerda con lo observado por Bryan (1968), Eisler (1981) y Darmono y Denton (1990) (tabla III y IV). Bryan (1967) menciona que la concentración de Cu en el músculo de los crustáceos es bastante baja y está relacionada con su concentración en la hemolinfa. El mismo autor sugiere que la mayor parte del Cu en el músculo es el resultado de la contaminación de los espacios extracelulares ocupados por la hemolinfa.

Las concentraciones en base a peso húmedo de Cu en el músculo abdominal de los camarones estudiados son muy bajas en comparación con los camarones *P. monodon* y *P. merguensis* (7.23 y 9.1 $\mu\text{g/g}$ peso húmedo, respectivamente) (Darmono y Denton, 1990) pero fueron similares a *Palaemon serratus*, *Crangon vulgaris*, *Homarus vulgaris*, *Austropotamobius pallipes*, *Galatea squamifera* y *Eupagurus bernhardus* (Bryan, 1968).

El exoesqueleto de *Penaeus vannamei* de cultivo mostró concentraciones de Cu más elevadas que los otros dos grupos de camarones incluso presentó el doble de concentración que *Penaeus californiensis*. Khan et al (1989) menciona que en el exoesqueleto se realizan pocos procesos metabólicos por lo cual se encuentran niveles bajos de Cu y Zn. Al realizar conversiones de las concentraciones de Cu de peso seco a peso húmedo en el exoesqueleto de los dos grupos de *P. vannamei* y *P. californiensis* y al compararse los niveles, se tiene que los camarones estudiados tuvieron una concentración mayor que el langostino *Austropotamobius pallipes* (2.5 $\mu\text{g/g}$) (Bryan, 1968). En el estudio realizado por Khan et al, (1989) con el langostino *Palaemonetes pugio* en la zona Big Sheepshea Creek se encontró una concentración de Cu similar a la observada en *P. vannamei* de cultivo; y el camarón *P. californiensis* de este estudio tiene una concentración similar al "camarón café" (32.4 $\mu\text{g/g}$) colectado en la plataforma continental texana de U.S.A. (Horowitz y Presley, 1977).

El hepatopáncreas es un órgano de almacenamiento y regulación del Cu en crustáceos, dando por resultado que los residuos de Cu son casi siempre altos en este sitio. Sin embargo, los sitios de almacenamiento, acumulación y acción del cobre varían ampliamente entre los crustáceos (Eisler, 1981). La concentración de Cu del camarón *P. merguensis* (199.1 $\mu\text{g/g}$ de peso húmedo) (Darmono y Denton, 1990), *Palaemon serratus* (185 $\mu\text{g/g}$), *Palaemonetes varians* (137 $\mu\text{g/g}$) y *Crangon vulgaris* (520 $\mu\text{g/g}$) (Bryan, 1968) fueron mayores que cualesquiera de los tres grupos de camarones estudiados en la presente investigación.

Las branquias tienen grandes cantidades de pigmentos de

hemocianina, por lo que presenta concentraciones altas de Cu, esto se observó en los tres grupos de camarones estudiados; en donde sobresale el camarón de cultivo con un nivel de Cu superior a los otros dos grupos de camarones. Darmono y Denton (1990) mencionan que en las branquias de los camarones asiáticos también se tuvieron concentraciones altas de este metal. Las branquias de los dos grupos de camarones *P. vannamei* y *P. californiensis* presentaron concentraciones ligeramente más bajas de Cu en comparación con los camarones *P. monodon* (46.2 $\mu\text{g/g}$ de Cu), *P. merguensis* (61.9 $\mu\text{g/g}$ de Cu) (Darmono y Denton, 1990) y *Palaemon serratus* (Cu 55 $\mu\text{g/g}$) (Bryan, 1968).

Lo denominado Pedúnculo en este trabajo está integrado por varias partes (ojos, anténulas, antenas y escama antenal). La información sobre concentraciones de metales disponible en la literatura es para cada órgano específico que lo compone, aunque algunos autores lo estudiaron también como cefalotorax agregando los órganos reproductivos y el hepatopáncreas.

El pedúnculo es también uno de los tejidos que presentó concentraciones altas. Este tejido presenta concentraciones altas debido a que entre otros órganos contiene a los órganos excretores y a los ojos, en los cuales se ha observado se encuentran concentraciones de metales altas. Entre los tres grupos de camarones sobresalieron los camarones de cultivo con niveles de concentración elevados en comparación al resto.

Cadmio

El cadmio es un metal no esencial para los camarones, pero esta presente en cantidades pequeñas en crustáceos decápodos en su medio natural (Frenet & Alliot 1985). El Cd una vez tomado es fuertemente enlazado en las células probablemente asociado a una proteína denominada metalotionina (Bertram y Hart 1979 citado por Pulich 1980). El Cd no es fácilmente excretado y permanece en los tejidos (Brooks 1977 citado por Pulich 1980).

Las concentraciones de Cd en el músculo solo se lograron detectar en *Penaeus californiensis*.

En *P. vannamei* y *P. californiensis* fueron muy bajas las concentraciones de Cd en el exoesqueleto. Según Khan et al. (1989), es posible que en el exoesqueleto no se puedan acumular concentraciones tóxicas de Cd debido a la muda periódica que tiene lugar en el camarón.

Los niveles de Cd en el hepatopáncreas de *P. californiensis* fueron más elevadas que en los dos grupos de *P. vannamei*.

Estos resultados son corroborados con lo señalado por Frenet y Alliot (1985) y Ray (1981) quienes encontraron que del total de cadmio que el 90% se concentró en el hepatopáncreas y en los órganos reproductivos situados en el cefalotorax de la langosta *Homarus vulgaris*.

Al comparar la concentración de Cd en machos de *P. californiensis* con *P. merguensis* (Darmono y Denton, 1990) se observa que en ambas especies los niveles son similares.

En las branquias se pueden encontrar concentraciones altas de metales debido a que son sitios altamente permeables a los metales. Las branquias fueron el segundo tejido con concentraciones más altas de Cd después del hepatopáncreas. La concentración de Cd en las branquias que sobresale por sus mayores niveles es la de las hembras de *P. vannamei* silvestre.

El pedúnculo presentó muy bajas concentraciones de Cd en los dos grupos de *Penaeus vannamei* mientras que *P. californiensis* tuvo una concentración un poco más elevada. En comparación al resto de los tejidos analizados el pedúnculo presentó concentraciones ligeramente mayores de Cd. Esto seguramente es debido a que en esta parte del camarón se encuentran los órganos excretores.

Hierro

El Fe es vital para los camarones pues juega un papel importante en los procesos enzimáticos y respiratorios. Los resultados que se obtuvieron en todos los tejidos fueron elevados, por lo que se puede considerar como el metal que presentó concentraciones más altas.

Bertine y Goldberg (1972) mencionan que en los órganos internos se puede encontrar niveles altos de Fe; en aproximadamente el doble de lo que se encuentra en el exoesqueleto. Horowitz y Presley (1977) indicaron que el Fe en músculo de "camarón de roca" (? *Sicyonia* sp.) tuvo una concentración de 40.2 µg/g expresado en base a peso seco, muy similar a lo observado en *P. vannamei* de cultivo y las hembras de *P. vannamei* silvestre. El mismo autor menciona que el "camarón café" (? *Penaeus* sp.) presentó una concentración de 14.6 µg/g de peso seco, más baja (alrededor de un tercio) que los valores observados en este estudio (tabla III).

De acuerdo con Knauer (1970) la acumulación a través de los canales internos de los camarones es más grande que la acumulación externa por medio de hidróxidos de hierro comenzando a depositarse en el exoesqueleto y los tejidos branquiales.

Las concentraciones de Fe en el exoesqueleto del camarón de granja fueron muy altas en comparación con los otros camarones analizados en el presente estudio. Los niveles de concentración Fe en exoesqueleto de las hembras de *Penaeus vannamei* silvestre fue similar al "camarón café" (Horowitz y Presley 1977) y al camarón *Enesis enesis* (Bertine y Goldberg, 1972). Horowitz y Presley (op. cit.) señala que el "camarón de roca" presentó una concentración de Fe de 235 µg/g muy similar a *Penaeus vannamei* de granja.

Los niveles de concentración en Fe en el hepatopáncreas de *Penaeus californiensis* en hembras y machos, tuvieron dos veces más hierro

que *Penaeus merguensis* y *P. monodon* (Darmono y Denton 1990). Guary y Negral, 1980 (citado por Eisler 1981) observaron que la alta concentración del hierro en el hepatopáncreas de los crustáceos generalmente se relaciona con las proteínas de alto peso molecular, (450,000 U.M.A.) como la Ferritina crustaceana, que es una proteína almacenadora de hierro.

Los dos grupos *Penaeus vannamei* presentaron niveles más altos de Fe en las branquias que *Penaeus californiensis*. Eisler (1981) menciona que durante los estados de intermuda, el cangrejo *Callinectes sapidus* acumula grandes concentraciones de hierro en las branquias: arriba de 500 $\mu\text{g/g}$ sobre la base de peso fresco; observando los resultados de las concentraciones de Fe en los camarones de este estudio se tiene que son mayores, incluso al compararlos con los especies asiáticas (Darmono y Denton, 1990).

Las concentraciones de Fe en el pedúnculo fueron altas principalmente en los dos grupos de *Penaeus vannamei*, y éste grupo de tejidos (que incluye el pedúnculo) es intermedio en el orden secuencial de las concentraciones en relación a los otros tejidos.

Manganeso

El Mn actúa en los procesos enzimáticos de los organismos. En el medio marino el manganeso iónico es absorbido directamente a través de las branquias, como en el caso de la langosta del género *Homarus*. El Mn se encuentra en un 98% en las partes calcificadas como es el exoesqueleto (Bryan y Ward 1965) por lo que se cree que pueda sustituir al Ca (Wangeiski 1961).

Las concentraciones de Mn en el músculo fueron bajas en los camarones estudiados la secuencia de concentración de este metal quedaría así: *P. vannamei* sil. > *P. vannamei* de cultivo > *P. californiensis*.

Los dos grupos de *Penaeus vannamei* presentaron una concentración mayor de Mn en el exoesqueleto que en músculo. Eisler (1981) y Horowitz y Presley (1977) mencionan que las concentraciones de Mn son más altas en tejidos calcificados y más bajas en músculo. En el camarón *P. californiensis* (hembras 4 $\mu\text{g/g}$ y machos 6 $\mu\text{g/g}$) se tuvieron concentraciones de Mn muy bajas en el exoesqueleto en comparación con los dos grupos de *P. vannamei*

Al comparar las concentraciones de Mn en el hepatopáncreas de *P. merguensis* (6.07 $\mu\text{g/g}$ de peso húmedo) y *P. monodon* (3.66 $\mu\text{g/g}$), estas son más bajas que las de los machos de *P. vannamei* de granja y silvestre.

Las concentraciones de Mn en las branquias de *P. vannamei* silvestre y de granja son semejantes a las encontradas en *P. monodon* (3.66 $\mu\text{g/g}$ de peso húmedo) y *P. merguensis* (2.44 $\mu\text{g/g}$) (Darmono y Denton, 1990).

Las concentraciones de Mn en el pedúnculo de los camarones estudiados fueron mayores que las observadas en el resto de los tejidos estudiados. Lo anterior concuerda con lo señalado por Furness y Rainbow (1991) quienes mencionan que entre un 20 % y un 40 % del Mn se elimina mediante los órganos excretores ubicados en esa parte del cuerpo.

Niquel

El Ni es otro de los metales pesados que también participa en los procesos enzimáticos de varios organismos marinos (García y Fowler, 1972). Las concentraciones de níquel fueron más elevadas en las branquias de los dos grupos de *P. vannamei*, mientras que en *P. californiensis* los valores más altos se localizaron en el hepatopáncreas.

Los niveles de concentración de Ni fueron bajos (inferiores a 7.5 $\mu\text{g/g}$ peso seco) en el músculo de los tres grupos de camarones. En tal sentido, Eisler (1981) menciona que, en términos generales, las concentraciones de este metal son más bajas en músculo que en el exoesqueleto de los crustáceos (tabla III y IV). Sin embargo, esto solamente pudo ser observado en *Penaeus vannamei* silvestre y en los machos de *P. californiensis*, mientras que en el resto de los organismos no se obtuvieron datos al respecto con la técnica empleada.

Los valores de concentración de Ni en los dos grupos de *P. vannamei* fueron inferiores a los encontrados por Horowitz y Presley (1977) en el exoesqueleto del "camarón café" (6.2 $\mu\text{g/g}$ de peso seco) y el "camarón de roca" (5.8 $\mu\text{g/g}$).

Zinc

En el presente estudio se observó que el contenido de Zn en el músculo, fué el más alto en comparación con los demás metales analizados. En *Penaeus vannamei* silvestre y de granja las concentraciones fueron similares a las encontrados por Darmono y Denton (1990) para *P. merguensis* y *P. monodon* (tabla IV).

Las concentraciones del zinc en los dos grupos de *Penaeus vannamei* fueron mayores en el músculo que en el exoesqueleto. Khan et al. (1989), encontraron la misma situación al evaluar las concentraciones de Cu, Hg y Zn de *Palaemonetes pugio* y proponen que esto se debe posiblemente a la presencia de los enlaces de los metales con proteínas como las metaloproteínas, en las que el zinc es utilizado como átomo central.

Penaeus californiensis presentó una concentración de Zn mayor en el exoesqueleto que en el músculo. Esto también ha sido encontrado por otros autores como Bertine y Goldberg (1972) en el camarón *Ensis ensis*; y García y Fowler (1972) en un cangrejo ermitaño de especie no definida.

En los tres grupos de camarones se observaron las más altas concentraciones de zinc en el hepatopáncreas, con relación a los demás tejidos analizados. Los niveles de Zn en peso húmedo en el hepatopáncreas de *P. vannamei* silvestre y los machos de *P. vannamei* de cultivo fueron más bajas que en los camarones estudiados por Darmono y Denton (1990) y por Bryan (1968)

De acuerdo con Pequegnat et al (1969) la acumulación de zinc no está limitada en los procesos metabólicos de los organismos marinos y es por ello bioacumulado en exceso de acuerdo a las necesidades inmediatas del organismo, por lo menos sobre la base de Zn enzimáticamente enlazado. Las branquias son el principal sitio de absorción y pérdida de Zn de los crustáceos (Bryan, 1968) y constituye una de las rutas de ingreso importantes en los organismos acuáticos.

En términos generales, después de hepatopáncreas, las branquias fueron el sitio con concentraciones más elevadas de zinc en los organismos del presente estudio.

DIFERENCIAS ENTRE MACHOS Y HEMBRAS.

En los datos obtenidos se observa que tanto *P. vannamei* como *P. californiensis* coinciden con el decápodo *Palaemonetes varians* (Frenet y Alliot, 1985) donde las hembras presentan las concentraciones de Cu más elevadas que los machos. Por otra parte, el camarón de cultivo coincide en el caso de las branquias en que los machos presentan dos veces más concentración de Cu que las hembras, mientras que en otros tejidos como exoesqueleto, pedúnculo y hepatopáncreas las hembras tienen concentraciones ligeramente más elevadas que los machos.

Al igual que *P. varians*, las hembras de *P. californiensis* tuvieron, en términos generales, mayores niveles de Fe, mientras que las hembras silvestres de *P. vannamei* solamente difirieron notablemente de los machos en el caso del pedúnculo. Los machos de *P. vannamei* de cultivo presentaron las concentraciones más elevadas de hierro.

Los mismos autores señalan que los niveles de Cd en las hembras fueron mayores que en machos. En este estudio solamente las hembras de los camarones silvestres presentaron tal diferencia, mientras que las mayores concentraciones de este metal se registraron en los machos de los camarones de cultivo. *Penaeus californiensis* no tuvo diferencias entre sexos.

La actividad gonadal de las hembras de algunos invertebrados se relaciona con una mayor presencia de varios metales pesados en éstas (Marina y Enzo 1983). Estos mismos autores indican que las hembras de la almeja *Donax trunculus* presentan grandes fluctuaciones en sus concentraciones de Zn y Mn pero que durante las épocas de su desarrollo gonádico estas concentraciones se

elevan considerablemente mostrándose muy diferentes a aquellas registradas en los ejemplares machos.

Las concentraciones de Cd y Cu difirieron entre los sexos de los tres grupos estudiados, lo que difiere con lo descrito para el copépodo marino *Anomalocera patersoni* en el que Polikarpov et al. (1979) no encontraron diferencias en estos dos metales ni en los niveles de cromo.

No obstante que Marina y Enzo (op. cit.) mencionan que la presencia de los órganos reproductores determina que las hembras presenten mayor concentración de metales, no se cuenta con información acerca de las causas que provocan las diferencias entre sexos en crustáceos. En este estudio no se consideraron las gónadas de los camarones, aunque se observó una diferencia de concentración entre los distintos tejidos analizados en ambos sexos.

DIFERENCIAS ENTRE GRUPOS DE CAMARONES

Las diferencias entre los grupos de camarones de este estudio pueden ser atribuidos a algunos factores tales como: (1) el estado fisiológico que presenta cada especie; (2) la etapa de desarrollo de los organismos; (3) los hábitos alimenticios de los mismos; y (4) la zona donde fueron capturados.

1) La acumulación de metales de los dos grupos de *Penaeus vannamei* difirió con lo encontrado en *P. californiensis*, a este respecto, Furness y Rainbow (1991) y Eisler (1979) mencionan que la concentración de metales se debe en parte a la habilidad que presenta cada especie para eliminar o absorber metales del medio. *Penaeus vannamei* pasa parte de su vida en estuarios por lo que tiene un sistema excretorio más eficiente y más baja permeabilidad de membranas que los organismos típicamente marinos, tales como *P. californiensis*.

2) En este estudio los organismos que se colectaron eran de diferente edad, los ejemplares de *Penaeus vannamei* estaban en la fase juvenil y los *P. californiensis* en etapa adulta, ello, consecuentemente, puede influir en las comparaciones de acuerdo con García y Fowler (1979), Darmono y Denton (1989) y White y Rainbow (1987) mencionan que en los organismos jóvenes se pueden encontrar concentraciones más altas de algunos metales (como Mn, Fe y Cu) que en adultos.

3) Una de las vías de entrada de metales en los organismos es por el alimento, Bryan (1968) menciona que la alimentación se relaciona con la concentración de los metales, Young (1977) en un experimento con *Nuccella lapillus* encontró que la entrada de metales vía alimento es más significativa que la que obtienen de metales en solución. Los camarones de cultivo, en algunas situaciones, presentaron una concentración mayor de metales en

algunos tejidos comparandolos con los otros dos grupos de camarones como por ejemplo en la concentración de Cu en exoesqueleto y pedúnculo y el nivel del Fe en exoesqueleto, esto podría deberse a la gran diferencia en las fuentes de alimentación que existen en estos tres grupos de organismos; ya que mientras los camarones silvestres (*P. vannamei* de cultivo y *P. californiensis*) toman el alimento del medio que les rodea (estuarino y marino), el camarón de cultivo consume, además alimento artificial.

4) Los dos grupos de camarones *P. vannamei* silvestre y de cultivo proceden de aguas estuarinas mientras que *P. californiensis* de la zona costera. De acuerdo a Forstner y Wittmann (1979) las aguas estuarinas se caracterizan por poseer concentraciones más elevadas de metales que las marinas. Esto permite suponer, a priori que los camarones estuarinos se exponen a concentraciones metálicas mayores que los marinos, particularmente para el Cu, Fe y Mn que se presentaron con niveles más altos en los camarones que viven en agua de ó proveniente de estuarios (de cultivo y silvestre) que los marinos

No obstante que los organismos utilizados en este estudio fueron colectados en regiones cercanas al puerto de Mazatlán, cabría pensar que las concentraciones de metales encontradas en ellos no reflejan algún nivel de contaminación, puesto que Osuna-López et al. (1989) indican que las descargas de metales pesados disueltos y particulados provenientes de la zona urbana sólo son elevadas en el área inmediata a la zona de descarga, disminuyéndose posteriormente hasta hacerse indistinguibles con relación a las aguas costeras.

CONCLUSIONES

1) En el presente estudio las concentraciones de los metales pesados en los diferentes tejidos en general de los tres grupos de camarones fueron como sigue:

Músculo	Zn> Fe> Cu> Mn> Ni> Cd
Exoesqueleto	Fe> Cu> Zn> Mn> Ni> Cd
Branquias	Fe> Zn> Cu> Mn> Ni> Cd
Pedúnculo	Fe> Cu> Zn> Mn> Ni> Cd
Hepatopáncreas	Fe> Zn> Cu> Mn> Ni> Cd

2) En *Penaeus californiensis* el tejido que mostró las concentraciones más bajas de la mayoría de los metales analizados fue el músculo abdominal. En contraste, el hepatopáncreas, fue el tejido que tuvo niveles más elevados de Fe, Cd y Zn. Las diferencias entre machos y hembras de esta especie, fueron evidentes para Cu y Zn en la que los machos tuvieron mayores concentraciones de estos metales en la mayoría de los tejidos. Por su parte, las hembras tuvieron los niveles más altos de hierro.

3) El tejido muscular de *Penaeus vannamei* silvestre mostró los niveles más bajos de concentración metálica en relación al resto de los tejidos. Las branquias de las hembras tuvieron concentraciones más elevadas de Cu, Fe, Ni y Zn, mientras que en los machos las mayores concentraciones de metales se localizaron en el hepatopáncreas, pedúnculo y branquias. Los machos registraron niveles superiores en Cu y Mn; las hembras tuvieron más Cd y Zn en términos generales.

4) Aunque existen algunas evidencias que indican que la actividad gonadal determina la elevación en los niveles de varios metales en las hembras de moluscos, no se conocen trabajos que expliquen cuales son las causas que determinan las diferencias en concentraciones de metales encontradas entre machos y hembras de las especies objeto del presente estudio.

5) En *Penaeus vannamei* de cultivo el tejido que mostró los niveles más reducidos de Cu, Fe y Mn fue el músculo; y de Zn el exoesqueleto. El pedúnculo tuvo niveles más elevados de Cu y Mn y los niveles de Fe, Ni y Zn fueron superiores en las branquias de las hembras. Los machos presentaron mayor concentración de Cd, Fe y Ni

6) Se encontraron diferencias en las concentraciones de metales en los tres grupos de camarones, en los distintos tejidos.

Las mayores diferencias en niveles de concentración se observaron entre *P. californiensis* y los dos grupos de *P. vannamei*.

En los dos grupos de *P. vannamei* los metales más concentrados fueron Cu, Fe y Mn. En ellos, los valores variaron para los distintos tejidos, con excepción del tejido muscular, en que los niveles fueron muy similares en los dos sexos.

7) No se considera que la relativa cercanía de zonas semiurbanas con las áreas de colecta de los organismos estudiados haya influido en las concentraciones de metales encontradas

LITERATURA CITADA

- Alliot, A. y M. Frenet-Piron, 1990. Relationship between metals in sea water and metal accumulation in shrimps. Marine Pollution. Bulletin 21 (1): 30-38
- Andersen, J.T. y E. Baatrup, 1988. Ultrastructural localization of mercury accumulations in the gills, hepatopancreas, midgut and antennal glands of the brown shrimp, *Crangon crangon*. Aquatic Toxicology. 13: 309-324.
- Balkas, T.I., S. Tugurul y I. Salihoglu, 1982 Trece metal levels in fish and Crustacea from Northeastern Mediterranean Coastal waters. Marine Environmental Research. 6: 281-289.
- Barnes, D.R., 1986. Zoología de Invertebrados. Ed. 4 . Interamericana. México. 759-810.
- Bertine, K.K. y E.E. Goldberg, 1972. Trace elements in clams, mussels and shrimp. Limnology and Oceanography. 17 (6):23-43.
- Bliss, E.D., 1983. The Biology of Crustacea. Internal Anatomy and Physiological Regulation. Vol. 5. Editor in Chief. Editado por Linda H. Mantel. Academic Press. New York 13-33.
- Bowen, H.J.M., 1969. Trace elements in biochemistry. Academic Press. London. pag. 241.
- Broad, A.C., 1962. Environmental requirements of shrimp. In: Biological problems in water pollution, Third Seminar: 86-91
- Brusca, R.C., 1980. Common Intertidal Invertebrates of the Gulf of California. Revised and expanded 2nd Ed. The University of Arizona Press. Tucson, 427 p.
- Brusca, R.C. y G.J. Brusca, 1990. Invertebrates. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts. 922 p.
- Bryan, G.W. y E. Ward, 1965. The absorption and loss of radioactive and non-radioactive manganese by the lobster

- Homarus vulgaris*. J. Marine Biol. Ass. U.K. 45: 65-95.
- Bryan, G.W., 1967. Zinc regulation in freshwater crayfish (including some comparative copper analyses. J. Exp. Biol. Vol. 46. pp. 281-296
- Bryan, G.W., 1968. Concentrations of zinc and copper in the tissues of Decapod Crustaceans. J. Mar Biol. Ass. U.K. 48:3329.
- Burkenroad, M.D., 1981 The higher taxonomy and evolution of Decapoda (Crustacea). Transactions of the San Diego Society of Natural History. 19 (17) 251-263.
- Burton, T. D. y J.D. Fisher, 1990. Acute toxicity of cadmium, copper, zinc ammonia, 3,3- Dichlorobenzidine 2,6-Dichloro-4 nitroaniline methylenes chloride and 2,4,6-Trichlorophenol to juvenile Grass shrimp and killifish. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 44: 776-783.
- Correal, M., 1987. Physiological effects of metal toxicity on the tropical freshwater shrimp *Macrobrachium carcinus* Linneo (1758) Enviromental Pollution. 45: 149-155.
- Chapa-Saldaña, H. y R. Soto-López, 1969. Relación de algunos factores ecológicos en la producción camaronera de las lagunas litorales del sur de Sinaloa. In: Ayala Castañares, A. y F.B. Phleger (Eds.) Lagunas Costeras un Simposio. Mem. Simp. Inter. Lagunas Costeras. México, D.F. 28-30 Nov. 1967. UNAM-UNESCO: 653-662.
- Darmono, D. y G.R.W. Denton, 1990. Heavy metal concentration in the Banna Prawn *Penaeus merguensis* and Leader prawn *P. monodon* in Townsville region of Australia. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 44: 436-471.
- Daksha, M.D., V.B. Mauserekat y B.A. Girdhar, 1988 Cadmium induced inhibition of Na^+ / K^+ ATPase activity in tissues of crab *Scylla serrata*. Bull. Enviroment. Cont. Tox. 40: 759-763.
- Eisler, R., 1981. Trace metal concentrations in in Marine Organisms Pergamon Pres. New York. pag 332-391.

- Edwards, C.R.R., 1978. The fishery and fisheries biology of Penaeid shrimp on the Pacific coast of Mexico. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 16: 145-180.
- Fong, L.M.L., 1982. Geoquímica de algunos metales pesados en sedimentos de una laguna costera, Gro. Mex. Tesis de Licenciatura. Fac. de Química. UNAM. 100pag.
- Forstner, V. y G.T.W. Wittmann.1979. Metal pollution in the aquatic environment. Springer-Verlag. Brelin and New York. 475p.
- Frenet, M. y A. Alliot, 1985. Comparative bioaccumulation of metals in *Palaemonetes varians* in polluted and non polluted environments. Marine Enviromental Research. 17:19-44.
- Frías-Espericueta, M.G., 1991. Determinación cuantitativa de algunos metales pesados (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn) en el tejido somático y gonádico de la ostra Crassostrea iridescens del sistema de estuario San Cristobal de San Blas Nay. Tesis Profesional. U.A. de Nayarit. 48pag.
- Furness W.R. and S.P. Rainbow, 1991. Heavy Metals in the Marine Enviroment. Press Inc. Florida U.S.A. 2a.reimpresión pag.16-40
- Gámez-Eternod, S. y E.G. de la Lanza., 1992. Análisis del estado de la camaronicultura en México hasta el año 1991. P.M. Intergraphic. México.
- García P.A. y S.W. Fowler, 1972. Análisis de microelementos en invertebrados marinos del Golfo de California. Mem. IV Congreso Nacional de Oceanografía (México). pp. 115-126
- García, E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía U.N.A.M. 246p.
- García, M., 1988. Programa Nacional de Cultivo de Camarón. Técnica Pesquera. 10: 10-13.
- Guary J.C. y R. Negrel, 1980 Plutonium and iron assciation metal-

binding proteins in the crab *Cancer pagurus* (L). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 42: 87-98

Hendrickx, M.E., 1985. Diversidad de los macroinvertebrados bentónicos acompañantes del camarón en el agua del Golfo de California y su importancia como recurso potencial. Cap. 3: 95-148. In: Yañez-Arancibia, A. (Ed). Recursos Pesqueros Potenciales de México: La Pesca Acompañante del Camarón. Progr. Univ. de Alimentos I.C.M. y L., Inst. Nal. de Pesca. U.N.A.M., México, D.F. 748 p.

Hendrickx, M.E., 1990. Identification sheets for the tropical central Pacific. Camarones Solenoceridae. FAO. I.C.M. y L. Estación Mazatlán. UNAM . México.

Horowitz A. and B.J. Presley, 1977. Trace metal concentration sand partitioning in zooplankton, neuston and benthos from the south Texas outer continental Shelf. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 5 (2): 241-255.

I.A.E.A., 1987. International Atomic Energy Agency. Intercalibration of analytical methods on marine environmental samples trace elements measurements on shrimp homogenate. Report. No. 27 Monaco.

Khan A.T., J.S. Weiss, y D.A. Lissane, 1989. Bioacumulation of four heavy metals in two populations of grass shrimp, *Palaemonetes pugio*. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 42: 339-343.

Knauer, G.A., 1970. Shrimps from Northeastern Gulf of Mexico. Analyst. 95:476-480.

Lowe D.M. y M.N. More, 1979. The cytochemical dsitributions of zinc (Zn II) and iron (Fe III) in the common mussel *Mytilus edulis*, and their relationship with lysosomas. J. Mar. Biol. Assn. U.K. 59: 831-858.

Marina M y O. Enzo, 1983. Variability of zinc and manganese concentrations in relation to sex and season in the bivalve *Donax trunculus*. Marine Pollution Bullutin 14 (9): 342-346.

- Martin, J.L.M., 1974. Metals in *Cancer irroratus* (Crustacea:Decapod): concentration, concentration factors, discrimination factors, correlations. Marine Biology 28: 245-251.
- Martin J.L.M., A. Van-Wormhondt y H.J. Ceccalidi, 1977. Zinc-hemocyanin binding in the hemolymph of *Carcinus means* (Crustacea, Decapod). Comp. Biochem. Physiol. 58 A: 193-195.
- Mena-Millar, A., 1989. La explotación del camarón en América Latina y el Caribe. Aspectos Económicos y Sociales. FAO. Circular de Pesca. No. 820.
- Miller, J.C y J.N. Miller, 1989. Statistics for analytical chemistry. Ellis Horwood Limited Series Analytical Chemistry U.S.A. 2" Ed. pag.230
- Osuna-López, J.I., F. Páez-Osuna, C. Marmolejo-Rivas y P. Ortega-Romero, 1989. Metales pesados disueltos y particulados en el puerto de Mazatlán. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 16(2): 307-320.
- 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. Técnica de Extracción y niveles de concentración. Contaminación Ambiental. 4: 31-39.
- Páez-Osuna, F y C. Marmolejo-Rivas, 1990. Occurrence and seasonal variation of heavy metals in oyster *Crassostrea iridescens*. Bull. Environ. Contam. Tox. 44: 129-134.
- Páez-Osuna, F. y J.I. Osuna-López, 1984. Metales tóxicos. Ciencias del Mar 1(2): 46-48.
- Páez-Osuna, F. y C. Ruiz-Fernández, 1993. Trace metals in the mexican shrimp *Penaeus vannamei* from estuarine and marine environments. Enviromental Pollution. Aceptado.
- Parker, C.R., 1972. Water analysis by atomic absorption spectroscopy. Varian Techtron Pty. LTD. U.S.A. pag 18-23.

- Pequegnat, J.E., Fowler, S.W. y Small, L.F., 1969. Estimates of the zinc requeriments of marine organisms, J. Fish. Res Board Can. 26: 145.
- Pérez-Farfante, I., 1978. Families Hippolytidae, Palaemonidae (Caridea), Penaeidae, Sicyoniidae and Solenoceridae (Penaeoidea). In: Fisher, W. (Edit) F.A.O. species Identification Sheets for Fishery Purposes, Western Central Atlantic (Fishing Area 31), Vol. VI (Unpaginated). F.A.O., Roma.
- Prosi, F., 1989. Factors controlling biological availability and toxic effects of lead in aquatic organisms. The Science of the total Environment. 79: 157-169.
- Polikarpov G.G., B. Oregioni, D.S. Parchevskaya y G. Beneyoun, 1979. Body burden of chromium, copper, cadmium and lead in the neustonic copepod *Anomalocera patersoni* (Pontellidae) collected from the Mediterranean Sea. Marine Biology. 53: 79-82.
- Pulich, M.W. Jr., 1980. Heavy metal accumulation by selected *Halodule wrightii* asch. populations in the Corpus Christi Bay Area. Contribution in Marine Science. 23: 89-99.
- Ramírez P., G. Barrera, y C. Rosas, 1989. Effects of chromium and cadmium upon respiration and survival of *Callinectes similis*. Bull. Environ. Cont. Tox. 43: 850-857.
- Ray, S., Melese D.W. y L.E. Burrige, 1981. Cadmium in tissues of lobsters captured near a lead smelter. Mar. Poll. Bull. 12: 384-386
- Reddy, S.L., N.B.R.K. Venugopal y J.V. Ramana-Rao, 1989. Effects of chloride on certain aspects of carbohydrate Metabolism in the tissues of a freshwater fiel crab *bartelphusa guerini* . Bull. Environ. Contam. Toxcol. 42: 847-853.
- Ruiz-Fernández, C.A., 1992. Estudio de la concentración de metales pesados en los camarones *Penaeus stylirostris* y *Penaeus vannamei*. Tesis Profesional. Fac. de Estudios Superiores Cuatitlan. U.N.A.M. pag 96.

- Schram, F., 1986. Crustacea. Oxford. University Press Oxford. 186pag.
- Secretaria de Pesca, 1989. Diagnostico de la camarinocultura en el estado de Sinaloa. Delegación Federal de Pesca en el Estado de Sinaloa. Dep. de Acuacultura 19 pag.
- Sims, R.R. y B.J. Presley, 1976. Heavy metal concentrations in organisms from an actively Dredged Texas Bay. Bulletin of Enviromental Contamination & Toxicology. 16 (5):520-526.
- Simkis, K. y L. Masson, 1983. The Mollusca. Enviromental Biochemistry and Physiology Metal ions. Metabolic and Toxic effects . U.S.A. 2: 102-156.
- Uma, D.V. y R.Y. Prabhakara, 1989. Heavy metal toxicity to fiddler crabs *Uca annulipes* la treille and *Uca triangularis* (Mine Edwards) respiration on exposure to copper, mercury cadmium and zinc. Bull. environ. Contam. Toxicol 43: 165-172.
- Villanueva, F. S., 1988. Evaluación de metales pesados en los sedimentos y organismos del río Coatzacoalcos y areas adyacentes, Veracruz, México. Tesis Profesional. E.N.E.P. Zaragoza. UNAM. México. 1-17 p.
- Wangeiski, P.J., 1961. Manganese in ecology. In Proceedings of the First National Symposium of Radioecology Fort Conts Colorado. Reinhold Pub. New York pp. 499-508.
- White, S.L. y P.S. Rainbow, 1984. Heavy metal and size effects in the mesopelagic decapod crustacean *Stellaspis debilis*. Mar. Eclo. Prog. Ser. 37: 147-154.
- Willmann, R. y S.M. García, 1986. Modelo bioeconómico para el análisis de pesquerías secuenciales artesanales e industriales del camarón tropical (con estudio de la pesquería de camarón suriname) F.A.O. Doc. PESCA 270: 47 p.
- Windom, H.L., 1972. Arsenic, cadmium, copper, lead, mercury and zinc in marine biota-North Atlntic Ocean, In: Baseline Stufies of Pollutants in the Marine Enviroment (I.D.O.E.). 121

Brookhaven Nat. Lab. New York.

Young, M.L., 1977. The roles of food and direct uptake from water in the accumulation of zinc and iron in the tissues of the dogwhelk *Nucella lapillus* (L). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 30: 315-325.

TABLA I. Aplicación de la prueba t-student entre machos y hembras (comparación entre dos medias), para las concentraciones de los metales pesados en los diferentes tejidos de los camarones estudiados.

	Cu	Cd	Fe	Mn	Ni	Zn
<u>P. californiensis</u>						
músculo	*	X	X	X	-	*
exoesqueleto	X	X	X	X	*	X
branquias	-	X	*	X	*	*
pedúnculo	*	X	*	X	X	*
hepatopáncreas	-	-	X	X	*	*
<u>P. vannamei (silv.)</u>						
músculo	X	-	X	X	*	*
exoesqueleto	X	-	*	*	*	X
branquias	-	-	-	-	-	-
pedúnculo	*	-	*	*	X	X
hepatopáncreas	*	*	*	*	*	X
<u>P. vannamei (cult.)</u>						
músculo	X	-	X	X	-	X
exoesqueleto	*	-	X	*	X	*
branquias	*	-	-	*	*	X
pedúnculo	*	-	*	X	X	*
hepatopáncreas	*	*	*	*	X	*

(*) Si hay diferencias

(X) No hay diferencias

(-) No se cuenta con datos

para $\alpha = 0.5$ 6 datos $t = 2.45$

5 datos $t = 2.57$

4 datos $t = 2.78$

TABLA II. Comparación entre las medias de la concentración de los metales pesados, en los diferentes tejidos de los seis grupos de camarón estudiados.

		HEMBRAS					
		Cu	Cd	Fe	Mn	Ni	Zn
músculo							
Vs / C	*	-	*	*	-	X	
Vg / C	*	-	X	X	-	X	
Vs / Vg	X	-	X	X	-	X	
exoesqueleto							
Vs / C	*	-	*	*	*	*	
Vg / C	*	-	*	*	*	*	
Vs / Vg	*	-	*	*	X	*	
branquias							
Vs / C	-	-	-	-	-	-	
Vg / C	X	X	*	*	X	*	
Vs / Vg	-	-	-	-	-	-	
pedúnculo							
Vs / C	*	-	*	*	*	*	
Vg / C	*	X	*	*	*	*	
Vs / Vg	*	-	*	*	X	X	
hepatopáncreas							
Vs / C	*	*	*	*	*	*	
Vg / C	*	*	*	*	*	*	
Vs / Vg	*	*	*	X	*	*	
		MACHOS					
músculo							
Vs / C	*	-	*	*	X	X	
Vg / C	*	-	*	*	-	*	
Vs / Vg	X	-	X	*	-	X	
exoesqueleto							
Vs / C	*	-	X	*	*	*	
Vg / C	*	X	*	*	*	*	
Vs / Vg	*	-	*	*	*	*	
branquias							
Vs / C	-	-	-	-	-	-	
Vg / C	X	X	X	*	X	*	
Vs / Vg	-	-	-	-	-	-	
pedúnculo							
Vs / C	*	-	*	*	X	*	
Vg / C	*	-	*	*	*	*	
Vs / Vg	*	-	*	*	*	*	
hepatopáncreas							
Vs / C	-	X	X	*	*	*	
Vg / C	-	X	X	*	*	*	
Vs / Vg	X	*	X	*	*	*	

Vs=*P. vannamei* silvestre; Vg=*P. vannamei* decult.; C=*P. californiensis*

(*) Si hay diferencia (X) No hay diferencia (-) No se cuenta con datos

Tabla III. Niveles de concentración de metales en el músculo abdominal de diferentes camarones ($\mu\text{g} / \text{g}$ peso seco).

Especie	Cu	Cd	Fe	Mn	Ni	Zn
($\mu\text{g}/\text{g}$ peso seco)						
Camarón café Norte del Golfo de México	24	0.1	-	-	-	14
Camarón café Área del Río Mississippi Presley, et al. 1972.	11.5	<0.1	-	-	-	23
Camarón blanco U.S. Southeast Coast Windom, 1972	17	<0.2	-	-	-	23
<i>Ensis enesis</i> Costa de Bélgica Bertine y Goldberg 1972	-	-	62	-	-	39
Camarón café Costas de San Antonio Texas. Sims y Presley 1976.	34	<0.4	-	-	-	14
Camarón café	24.2	0.16	14.2	14.2	1.4	47
Camarón de roca Sur de Texas U.S.A Horowitz y Presley 1977.	31.1	0.25	40.2	8	1.6	28
<i>Penaeus keratus</i> Costas de Turkia Balkas et al. 1982	7.4	0.03	3.1	<0.2	1.4	13
<i>Palaemonetes varians</i>	30	0.005	25	13	-	8
<i>Palaemonetes serratus</i> Cerca de la Península de Guirande Frenet y Alliot 1985	32	-	-	-	-	20

Tabla III. (continuación).

Especie	Cu	Cd	Fe	Mn	Ni	Zn
<i>Palaemonetes pugio</i> Estuarios del norte New Jersey Khan et al 1990	14.2	0.1	-	-	-	3
<i>Penaeus vannamei</i> Pacífico Este Tropical Páez-Osuna y Ruíz- Fernández 1993. Aceptado	20.1	0.9	104	6.8	1.8	60
<i>Penaeus vannamei</i> silvestre (hembras)	19.6	-	44	2.6	1.4	59
(machos)	18.7	-	52	3.3	0.6	40
<i>Penaeus vannamei</i> de cultivo (hembras)	19.2	-	37	3.0	-	55
(machos)	18.5	-	44	2.7	-	54
<i>Penaeus</i> <i>californiensis</i> (hembras)	11.8	0.5	27	1.1	-	59
(machos)	24.6	0.3	29	1.2	1.2	87
En este estudio.						

Tabla IV. Niveles de concentración de metales en el músculo abdominal de diferentes camarones ($\mu\text{g/g}$ peso húmedo).

Especie	Cu	Cd	Fe	Mn	Ni	Zn
($\mu\text{g/g}$ peso húmedo)						
<i>Palaemon serratus</i>	3.5	-	-	-	-	10
<i>Palaemonetes varians</i>	7.9	-	-	-	-	14
<i>Crangon vulgaris</i>	4.2	-	-	-	-	14
Inglaterra Bryan, 1968						
<i>Penaeus monodon</i>	7.2	N.D.		0.49	-	16
<i>Penaeus merguensis</i>	9.1	N.D.	0.6	1.09	-	12
Townsville, Región de Australia Darmono y Denton 1990						
<i>Penaeus vannamei</i> silvestre (hembras)	4.7	-	10	0.63	0.3	14
(machos)	4.4	-	12	0.77	0.1	9
<i>Penaeus vannamei</i> de cultivo (hembras)	4.6	-	8	0.72	-	13
(machos)	4.3	-	10	0.63	-	12
<i>Penaeus californiensis</i> (hembras)	2.8	0.1	6	0.26	-	13
(machos)	5.7	0.07	6	0.28	0.2	20
En este estudio						

APENDICE 1

Descripción de las especies

Penaeus vannamei.

El surco y carina adrostrales son cortos, terminan al nivel o un poco atrás del nivel diente epigástrico (especies no acanaladas). No hay carina gastrofrenal. El petasma del macho sin proyecciones distomedianas. Télico de la hembra de tipo "abierto" sin placas ni receptáculo seminal.

Rostro con 1-2 dientes ventrales; fórmula rostral generalmente 8-9 / 1-2 dientes contados anteriormente al diente epigástrico. Porción distal libre del lóbulo lateral del petasma del macho larga, de forma elipsoidal y sobrepasando netamente el lóbulo mediano. Parte de dos prominencias oblicuas cuya porción mediana se proyecta ventralmente en orejuela de borde afilado. Esternito XIII con una fuerte protuberancia mediana de forma semicircular o subrectangular.

Penaeus californiensis.

Rostro con dientes dorsales y ventrales. Surco y carina adrostrales largos, sobrepasando considerablemente el nivel del diente epigástrico, llegando frecuentemente hasta cerca del borde posterior del caparazón (especies acanaladas); carina gastrofrenal presente. Petasma del macho con proyección distomediana bien desarrollada, larga o corta. Télico de tipo "cubierto", con placas y receptáculo seminal.

Carina gastrofrenal bien definida; carina gastro-orbital larga, cubriendo por lo menos $4/5$ la distancia entre la espina hepática y el margen orbital. Parte posterior del surco adrostral casi recto. Proyección distomediana del petasma larga. Placas laterales del Esternito XIV del télico de la hembra sin setas; borde anterior truncado.

APENDICE 2

Técnica de adición de estándares.

Cada uno de los tejidos se colocan en vasos de precipitado, se pesan anotando el peso húmedo del tejido.

El tejido se pone a secar en una estufa Fisher 30G a una temperatura de 90 °C por un período de tres días para relacionar el nivel de concentración de los metales con respecto al peso seco del tejido.

Los tejidos fueron molidos en un mortero de teflón y tamizados en una malla de nylon de 250 micrometros.

Se pesa 1 gramo del tejido molido y homogenizado colocandolo en un vaso de precipitado de 100 ml, se toma por triplicado (A, B, C, D) en cada uno de los tejidos, según la cantidad disponible.

Se añadio a los vasos la solución estándar A = 0, B = 500, C = 1000 y D = 2000 µl esto sirve para compensar los efectos de matriz y para incrementar la concentración del metal , haciendolo más fácilmente detectable.

Se les agrega ácido nítrico concentrado y destilado (en condensador de cuarzo) HNO₃ para realizar la digestión vía oxidación, de la matriz orgánica que contiene a los metales.

Los cuatro vasos de precipitado se coloca en un baño sónico por espacio de 10 minutos para disgregar el tejido y de esta forma ayudar a la digestión.

Se llevan las muestras a un baño de arena para complementar la digestión a una temperatura de 90 a 100 °C hasta sequedad y hacer más fácil la siguiente disolución ácida de los metales extraídos. Se enjuaga con 10 ml de HNO₃ 2M y poner en solución a los metales. colocados en viales de plástico, los blancos fueron tratadas similarmente, posteriormente fueron leídos directamente por espectrofotometría de absorción atómica conforme a las condiciones de operación específicas de la siguiente Tabla I.

Elemento	Long de onda (mm)	Abertura de la banda	Tipo de flama	Flujo de gas
Cu	3247	1.9	CH ₂ =CH ₂ -aire	10
Cd	2288	1.9	idem	10
Cr	3579	1.9	idem	10
Mn	2795	1.9	idem	10
Ni	2320	1.9	idem	10
Co	2407	1.9	idem	10
Fe	2483	1.9	idem	10
Pb	2833	1.9	idem	10
Zn	2139	1.9	idem	10

Se calibra, el Espectrofotometro de absorción atómica Shimadzu AA-630-12 con la solución de estándares (A, F, G y H):

Estándar A

Volumen en microlitos (μ l) añadido de solución patrón	Concentración (ppm) (volumen final = 50ml)
500 sp Ni	10
500 sp Cr	10
500 sp Co	10
1000 sp Pb	20
100 sp Zn	2
100 sp Cd	2
250 sp Fe	5
100 sp Mn	2

Estándar F

1 ml de solución estándar A se lleva a un volumen de 50 ml.

Estándar G

0.5 ml de solución A se lleva a un volumen de 50 ml.

Estándar H

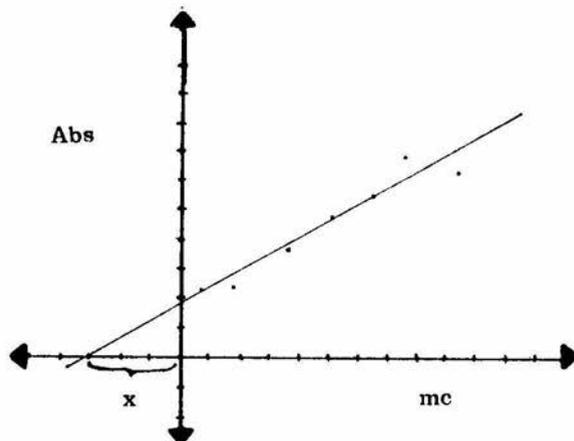
0.25 ml de solución estándar A se llevo a un volumen de 50 ml.

Se selecciona el intervalo de las lecturas mediante una prueba directa, se selecciona el modo de expansión, parade esta manera se iniciaron las lecturas de las absorbancias de cada uno de los metales ordenandolos por cada terna de la misma muestra y su blanco respectivo. Con las absorbancias de cada terna se realiza el cálculo de concentración del metal por el método de adición de estandares el cuál consiste en lo siguiente:

1) Mediante una regresión lineal simple o con una gráfica se procede a calcular la pendiente y la ordenada de la recta ajustada entre los datos de absorbancia y la concentración del metal que se añadió inicialmente.

2) Con los valores de la ordenada y la pendiente se calcula la concentración para una absorbancia igual a cero, a partir de la ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Abs} &= mc + b \\ \text{para } \text{Ab} &= 0 \\ c &= \frac{b}{m} \end{aligned}$$



Donde: Abs = absorbancia, c = concentración, b = ordenada y m = pendiente de la recta.

El coeficiente de correlación de la recta mencionada es importante en el sentido de que en caso de ser diferente de uno (0.9) permite descubrir un error en el procesamiento de las muestras.

APENDICE 3

Precisión y Exactitud de la técnica.

Para determinar las diferencias entre los niveles de concentración de cada uno de los nueve metales que se analizaron, en los tejidos, en ambos sexos y entre las especies se efectuaron las siguientes consideraciones:

1) Evaluación de la precisión analítica de cada metal, la cuál se obtuvo mediante la repetición del análisis de una muestra. Así se midió el grado de concentración de la medición de los datos alrededor de su media.

La precisión se basó en lo siguiente: se tomó el tejido músculo abdominal de *Penaeus vannamei* silvestre (por contar en ese momento con la cantidad suficiente para correr la muestra); se corrieron seis muestras con tres alicuotas cada una y se siguió paso a paso la técnica descrita anteriormente.

Se obtuvo la media de las seis muestras, la desviación estándar y el coeficiente de variación de la muestra (que es conocida también como desviación relativa estándar) que determina el porcentaje de variación de la desviación estándar que hay sobre la media y se da por:

$$100 \cdot s / x$$

Donde: s = desviación estándar y x = la media.

2) La exactitud es una medida de la diferencia entre el valor medio de un grupo de mediciones y el valor verdadero. Esto requiere de la adquisición de muchas muestras y entonces emprender un programa de estandarización que incluya gran variedad de técnicas analíticas adecuadas. Los datos obtenidos son entonces procesados analíticamente y un juego de valores "aceptados" es generado. Para evaluar la exactitud del método empleado se utilizó una muestra de camarón *Crangon crangon*, la cual fue proporcionada por la OIEA. Se evaluó la muestra utilizando la técnica el procesamiento de los camarones de este estudio los resultados se dan en la siguiente Tabla II:

Intervalos de concentración estimados por la OIEA para una muestra certificada de camarón *Crangon crangon* y niveles de concentración encontrados para la misma muestra a partir del método de Espectroscopia de Absorción Atómica de flama ($\mu\text{g} / \text{g}$ peso seco) (OIEA, 1987)

Metal	Intervalos OIEA		Niveles encontrados por EAA		
	Lim. inf	Lim. sup	Concentracion	C.V. (%)	% de recup
Cu	21.30	22.70	17.61	± 2.63	80.04
Mn	3.74	4.32	2.52	± 0.41	63.00
Cd	0.56	0.70	0.39	± 0.26	65.00
Co	ND	ND	0.32	± 0.17	ND
Cr	0.75	1.47	1.43	± 0.99	128.80
Ni	0.95	2.05	1.43	± 0.49	95.30
Fe	52.60	59.20	63.63	± 9.61	95.60
Zn	63.20	68.20	69.13	± 11.92	105.20
Pb	ND	ND	$< 0.10^{\text{LD}}$	ND	

APENDICE 4
Límite de Detección.

El Límite de Detección, se define como la concentración de un elemento en solución que está próxima al nivel del blanco. Para ello se tomaron diez lecturas de una solución (en este caso el estándar H porque contiene los metales a detectar) que contiene una concentración cercana al blanco del elemento. Se obtiene la media y la desviación estándar y se calcula el límite de detección de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Límite de detección} = 2 \cdot S \cdot C / x$$

Donde:

S: desviación estándar, x: media, y C: concentración.