



03067
1
2ej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Postgrado

Colegio de Ciencias y Humanidades

“Concentración y distribución de metales pesados en los tejidos de los crustáceos decápodos *Panulirus gracilis*, *Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostris* de la región sureste del Golfo de California.”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS DEL MAR
(OCEANOLOGÍA BIOLÓGICA Y PESQUERA)

PRESENTA:

Elsa Isela Bojórquez Mascareño

ASESOR: Dr. Federico Páez Osuna

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN
Mazatlán, Sinaloa.

273145
1989
7000



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.

Este trabajo se realizó bajo la dirección del Dr. Federico Páez Osuna en el laboratorio de Geoquímica y Contaminación Costera, de la Estación Mazatlán del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM; con el apoyo financiero parcial del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología a través del proyecto 0185P-T9506 “Biomonitoreo de la contaminación en las aguas costeras del Pacífico subtropical mexicano: metales pesados, plaguicidas e hidrocarburos del petróleo”.

Jurado para examen de maestría:

Dr. Alfonso Vázquez BotelloPresidente
Dr. Federico Páez Osuna.....Secretario
Dr. Adolfo Gracia Gasca.....Vocal
Dr. Michel E. Hendrickx Reners.....Suplente
M. en C. José I. Osuna López.....Suplente

A la memoria de mi Padre

A Pablo Rénán y Elisa

AGRADECIMIENTOS

Quiero hacer patente mi agradecimiento al DR FEDERICO PÁEZ OSUNA por la dirección tan acertada de esta tesis, así como por su apoyo y sus enseñanzas.

A mi hermano QUÍM. HUMBERTO BOJÓRQUEZ LEYVA por su asesoría técnica y participación en la elaboración de los análisis químicos de este estudio, pero sobre todo por su amistad.

Al CBTIS No. 51, especialmente al LIC. ALVARO HINOPIANO RODRÍGUEZ por su apoyo incondicional durante mis estudios en el ICMyL, UNAM.

Un sincero agradecimiento a los compañeros del laboratorio de Invertebrados y Ecología del Bentos, FACIMAR, UAS. Con su proyecto CONACYT 0948-N9111 "Estrategia para la explotación y manejo de la pesquería de langosta en el sur de Sinaloa" colaboraron para la realización de este trabajo, especialmente al M. en C. RAÚL PÉREZ GONZÁLEZ, al BIOL. JUAN FRANCISCO ARZOLA GONZÁLEZ, y al BIOL. LUIS MIGUEL VALADEZ MANZANO.

A los compañeros del laboratorio de Geoquímica y Contaminación Costera: ING. REBÉCA ENG GOON GARAYZAL, ING. EVA BOJÓRQUEZ LEYVA, M. en C. CARLOS RENÉ GREEN, ING. FABIOLA MORALES HERNÁNDEZ, M. en C. LIBIA HASCIBE PÉREZ BERNAL, Q.F.B. LOURDES PORTILLO IBARRA, M. en C. JORGE RICARDO RUELAS INZUNZA, DRA. ANA CAROLINA RUIZ FERNÁNDEZ y M. en C. MARTIN FEDERICO SOTO JIMENEZ por su apoyo y amistad durante la realización de este trabajo.

A mis maestros de Biología de Crustáceos DR. J. ANTONIO CALDERON PÉREZ y M. en C. SERGIO RENDON RODRIGUEZ por sus acertados comentarios a esta tesis y por su amistad.

A la bibliotecaria MARÍA CLARA RAMÍREZ JAUREGUI, por su colaboración en la obtención y revisión de la información bibliográfica.

INDICE

	Página
1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	4
3. Antecedentes.....	5
3.1 Internacionales.....	5
3.2 En las costas de México.....	9
4. Metodología.....	11
4.1 Area de estudio.....	11
4.2 Muestreo.....	13
4.3 Manejo en el laboratorio.....	15
4.4 Análisis químicos.....	19
5. Resultados y discusión.....	20
5.1 Concentración de metales pesados en <i>Panulirus gracilis</i>	20
5.2 Relaciones interelementales en <i>Panulirus gracilis</i>	28
5.3 Análisis de comparación de medias de las concentraciones de metales pesados por tejido en <i>P. gracilis</i>	32
5.4 Distribución de los metales en los tejidos de <i>Panulirus gracilis</i>	33
5.5 Concentración de metales pesados en <i>Litopenaeus vannamei</i> y <i>Litopenaeus stylirostris</i>	39
5.6 Relaciones interelementales en <i>Litopenaeus vannamei</i> y	

<i>Litopenaeus stylirostris</i>	48
5.7 Distribución de las concentraciones de metales pesados en los tejidos de <i>Litopenaeus vannamei</i> y <i>Litopenaeus stylirostris</i>	51
5.8 El efecto del tamaño sobre la concentración de metales pesados en <i>Panulirus gracilis</i>	54
6.0 Conclusiones.....	59
7.0 Bibliografía.....	65

1. Introducción

Entre los organismos que son capturados en las costas del Pacífico mexicano, se encuentra un número considerable de especies de importancia comercial y/o ecológica que pertenecen a los grupos de peces, crustáceos y moluscos. En México, los crustáceos que ocupan el primero y segundo lugar respectivamente en valor de captura, son el camarón y la langosta. La mayor parte de esta captura se exporta, por lo que gran parte del sector pesquero nacional depende de estos recursos. El volumen de producción pesquera nacional en peso vivo en 1997 fue de 88,489 toneladas de camarón y 2,552 toneladas de langosta (SEMARNAP, 1998).

En la costa mexicana del Pacífico, el estado de Sinaloa, en el contexto de la industria pesquera, ocupa el segundo lugar en volumen de producción pesquera nacional. Es el principal estado productor de camarón, aportando a nivel nacional el 33% en volumen total de captura y el 70% en área y volumen de cosecha en la acuicultura. Aporta, en promedio, anualmente el 10% de la producción nacional y agrupa el 45% de la flota camaronera de la costa del Pacífico (SEMARNAP, 1997). Las langostas *Panulirus inflatus* y *Panulirus gracilis* son las especies que habitan a lo largo del litoral del Pacífico mexicano, ambas con índice de explotación muy variable. El análisis de los datos de captura (Pérez-González et al., 1992) colocan a *P. inflatus* y *P. gracilis* en el tercer y cuarto lugar del total de la captura nacional de langosta respectivamente.

Panulirus inflatus es endémica de las costas mexicanas del Pacífico, encontrándose desde bahía Magdalena, en el litoral suroccidental de la península de Baja California, hasta la región de Puerto Ángel, Oaxaca, en el golfo de Tehuantepec. Su explotación está completamente bajo jurisdicción nacional, mientras que *P. gracilis* se distribuye desde Mazatlán, Sinaloa, hasta Perú (Holthuis, 1991).

Durante casi cinco décadas la explotación de este recurso se realizó bajo el sistema de especies reservadas a Sociedades Cooperativas, que estuvo vigente desde principios de

1930 hasta junio de 1992. Actualmente, la extracción queda sujeta al esquema de concesiones y permisos, contemplado en la nueva Ley de Pesca (Juárez-Rosales, 1995).

La captura de langosta en las costas del sur de Sinaloa se realiza principalmente con redes de enmalle y en ocasiones con nasas del tipo "californiano". Las redes de enmalle son consideradas como artes no tradicionales en la explotación de la langosta, siendo las costas de Sinaloa de los pocos lugares en el país donde se utiliza de manera rutinaria como método de pesca no reglamentado en la Ley de Pesca, mientras que en los estados de Guerrero y Quintana Roo, el uso de las redes de enmalle es ocasional y está determinado por la época en que los pescadores esperan una migración de langostas.

Durante las dos últimas décadas se ha dado mayor énfasis al estudio de la biología de estos crustáceos debido a la importancia económica que representa su pesquería para el país, ya que la explotación de estos recursos está considerado como uno de los de mayor trascendencia (Chapa-Saldaña, 1975).

La pesquería comercial de camarón en el litoral del Pacífico mexicano es sostenida por cuatro especies; el camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) soporta en un 90% o más la pesquería de camarón en las lagunas litorales del sur del estado de Sinaloa, seguido por el camarón azul *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1871), y en menor proporción por el camarón café *Farfantepenaeus californiensis* (Holmes, 1900) y el camarón cristalino *Farfantepenaeus brevisrostris* (Kingsley, 1878) (Macías-Regalado y Calderón-Pérez, 1979; Macías-Regalado, et al, 1982).

L. vannamei es extremadamente frecuente y abundante en los sistemas estuarino-lagunares de la región sureste del golfo de California. Ha sido recolectado en Tumbes, Puerto Pizarro y Caleta La Cruz, Perú (Méndez, 1981), en el golfo de Tehuantepec, Oaxaca (Sosa-Hernández *et al.*, 1980), frente a Mazatlán, Sinaloa (Hendrickx, 1986) y en diversas lagunas costeras de Sinaloa-Nayarit (El Verde; Urías; Huizache-Caimanero; Agua Brava) (Soto López, 1969; Hendrickx, 1984a). El material de Boone (1931) provenía de Panamá y Schmitt (1935) registra la especie en Escuinapa y otras localidades de Sinaloa, hasta

Mazatlán. Límite de pesca en las costas del golfo de California, es probablemente río Alamos (Barreriro y López Guerrero, 1972) y los sistemas lagunares de Topolobampo, Sinaloa y de Yavaros, Sonora (Rodríguez de la Cruz, 1981). Según Méndez (1981) *L. vannamei* se encuentra desde la parte norte del golfo de California y extiende su distribución hasta Caleta la Cruz, Perú.

Litopenaeus stylirostris se localiza en bahía de Panamá (Stimpson, 1871), Mazatlán, Sinaloa y Guaymas, Sonora, en el golfo de California, así como el canal de Panamá y la Palizada, Perú (cerca de Tumbes) (Schmitt, 1935); en El Salvador según Holthuis (1954). Méndez (1981) cita *L. stylirostris* para Punta Malpeto, Caleta Cruz y Paita, Perú siendo esta última localidad la más meridional para esta especie. Castro (1966) hace mención de Costa Rica y de Playa Tastiota, Sonora, México. A lo largo de la costa oceánica de Baja California, *L. stylirostris* ha sido recolectada hasta Punta Abreojos, Baja California Sur (Pérez-Farfante, 1970). Sosa-Hernández et al. (1980) la han recolectado en el golfo de Tehuantepec, Oaxaca. De la misma forma que en el caso de otras especies de *Peneidos* de la costa Pacífica de México, existe un gran número de informaciones no publicadas en donde se registran capturas de *L. stylirostris*, en particular en el norte del golfo de California (véase Snyder-Conn y Brusca, 1977; Edwards, 1978).

El estudio de los metales pesados en el medio marino despierta gran interés, al ser éste el destino de los aportes a través de las cuencas de drenaje asociadas que transportan, entre otros, desechos de las actividades antropogénicas. Estos se relacionan con los procesos industriales minero-metalúrgicos, producción de cemento, consumo de combustibles fósiles, utilización de metales y componentes metálicos, la lixiviación de los metales desde los depósitos de desperdicios sólidos y de la basura, desechos en cantidades significativas de fertilizantes y fungicidas enriquecidos con metales (Páez-Osuna 1997).

En nuestros litorales, es importante determinar los **niveles naturales** (son los niveles de concentración básicos propios para una área dada y los organismos que habitan en ella cuando en esta área la influencia humana es tal que no altera las concentraciones de las sustancias presentes en el agua, sedimentos y/o los organismos (Clark 1989)) de metales

pesados en diferentes tejidos de organismos marinos de interés comercial y de esta manera contar con criterios adecuados para diagnosticar la presencia de metales asociados con las actividades humanas de la zona costera. Este estudio se realizó con el objeto de contribuir, por un lado, generando información sobre los niveles básicos de ocho metales pesados (Co, Cd, Ni, Cu, Cr, Zn, Mn y Fe) en los principales tejidos de diversos crustáceos decápodos de importancia comercial (*Panulirus gracilis*, *Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostris*) de la región sureste del golfo de California y, por otro lado, contribuir al conocimiento de la biología de estas especies.

2. Objetivos

Objetivo general

Establecer los niveles básicos de concentración de metales pesados (Co, Cd, Ni, Cu, Cr, Zn, Mn y Fe) en los crustáceos de importancia comercial *Panulirus gracilis*, *Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostris* de la región sureste del golfo de California. Contribuir al conocimiento de la biología de estas especies en lo referente a los sitios (tejidos, órganos y fluidos) de almacenamiento de metales pesados.

Objetivos específicos

(1). Evaluar los niveles de concentración de Co, Cd, Ni, Cu, Cr, Zn, Mn y Fe en los tejidos siguientes: hepatopáncreas, hemolinfa, branquias, músculo, exoesqueleto, visceras y gónadas de la langosta *Panulirus gracilis*.

(2) Evaluar los niveles de concentración de Co, Cd, Ni, Cu, Cr, Zn, Mn y Fe en los tejidos siguientes: hepatopáncreas, branquias, visceras, músculo, apéndices, gónadas, pedúnculos oculares y ojos de *Litopenaeus vannamei*.

pesados en diferentes tejidos de organismos marinos de interés comercial y de esta manera contar con criterios adecuados para diagnosticar la presencia de metales asociados con las actividades humanas de la zona costera. Este estudio se realizó con el objeto de contribuir, por un lado, generando información sobre los niveles básicos de ocho metales pesados (Co, Cd, Ni, Cu, Cr, Zn, Mn y Fe) en los principales tejidos de diversos crustáceos decápodos de importancia comercial (*Panulirus gracilis*, *Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostris*) de la región sureste del golfo de California y, por otro lado, contribuir al conocimiento de la biología de estas especies.

2. Objetivos

Objetivo general

Establecer los niveles básicos de concentración de metales pesados (Co, Cd, Ni, Cu, Cr, Zn, Mn y Fe) en los crustáceos de importancia comercial *Panulirus gracilis*, *Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostris* de la región sureste del golfo de California. Contribuir al conocimiento de la biología de estas especies en lo referente a los sitios (tejidos, órganos y fluidos) de almacenamiento de metales pesados.

Objetivos específicos

(1). Evaluar los niveles de concentración de Co, Cd, Ni, Cu, Cr, Zn, Mn y Fe en los tejidos siguientes: hepatopáncreas, hemolinfa, branquias, músculo, exoesqueleto, visceras y gónadas de la langosta *Panulirus gracilis*.

(2) Evaluar los niveles de concentración de Co, Cd, Ni, Cu, Cr, Zn, Mn y Fe en los tejidos siguientes: hepatopáncreas, branquias, visceras, músculo, apéndices, gónadas, pédunculos oculares y ojos de *Litopenaeus vannamei*.

(3) Evaluar los niveles de concentración de Co, Cd, Ni, Cu, Cr, Zn, Mn y Fe en los tejidos siguientes: hepatopáncreas, branquias, visceras, músculo, apéndices, gónadas, peduncullos oculares y ojos de *Litopenaeus stylirostris*.

(4) Conocer la carga total o inventario de cada uno de los metales por tejido y órgano de cada una de las especies mencionadas.

(5) En el caso particular de la langosta *Panulirus gracilis*, evaluar la influencia de la talla sobre las concentraciones de los ocho metales en cada uno de los tejidos que se plantea estudiar.

(6) Establecer las diferencias existentes de los niveles de concentración de los metales en cada tejido entre machos y hembras en cada una de las especies mencionadas.

(7) Establecer 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 la región del golfo de California y parte de la zona costera del Pacífico adyacente.

3. Antecedentes

3.1 Internacionales

Existe una gran cantidad de información sobre la concentración de metales pesados en organismos marinos en muchas áreas del mundo, particularmente de las latitudes templadas. En cambio es escasa tal información en las regiones costeras tropicales y subtropicales, esencialmente en nuestro país. Entre los estudios pioneros sobresale el de Bryan (1968) quien, en las costas británicas, midió la concentración de zinc y cobre en diversos tejidos (hepatopáncreas, branquias, exoesqueleto, ovarios, vasos deferentes, órganos excretores, músculos abdominales, apéndices y los fluidos corporales tales como la

(3) Evaluar los niveles de concentración de Co, Cd, Ni, Cu, Cr, Zn, Mn y Fe en los tejidos siguientes: hepatopáncreas, branquias, visceras, músculo, apéndices, gónadas, pódunculos oculares y ojos de *Litopenaeus stylirostris*.

(4) Conocer la carga total o inventario de cada uno de los metales por tejido y órgano de cada una de las especies mencionadas.

(5) En el caso particular de la langosta *Panulirus gracilis*, evaluar la influencia de la talla sobre las concentraciones de los ocho metales en cada uno de los tejidos que se plantea estudiar.

(6) Establecer las diferencias existentes de los niveles de concentración de los metales en cada tejido entre machos y hembras en cada una de las especies mencionadas.

(7) Establecer 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 la región del golfo de California y parte de la zona costera del Pacífico adyacente.

3. Antecedentes

3.1 Internacionales

Existe una gran cantidad de información sobre la concentración de metales pesados en organismos marinos en muchas áreas del mundo, particularmente de las latitudes templadas. En cambio es escasa tal información en las regiones costeras tropicales y subtropicales, esencialmente en nuestro país. Entre los estudios pioneros sobresale el de Bryan (1968) quien, en las costas británicas, midió la concentración de zinc y cobre en diversos tejidos (hepatopáncreas, branquias, exoesqueleto, ovarios, vasos deferentes, órganos excretorios, músculos abdominales, apéndices y los fluidos corporales tales como la

hemolinfa, orina y fluidos estomacales) de 18 especies de crustáceos decápodos provenientes de un amplio intervalo de salinidades. Bryan (op. cit.) encontró que tanto camarones y langostinos (*Palemon serratus*, *P. squilla*, *Palemonetes varians*, *Crangnon vulgaris*), langostas y cangrejos (*Homarus vulgaris*, *Austropotamobius squamifera*, *Porcellana platycheles*), el cangrejo hermitaño (*Eupagurus bernhardus*) y las jaibas y cangrejos (*Carcinus maenas*, *Corystes cassivelaunus*, *Atelecyclus septemdentatus*, *Cancer pagurus*, *Portunus puber*, *P. depurator*, *Xantho incisus*, *Pilumnus hirtellus* y *Maia squinado*) presentaron concentraciones entre 20 y 35 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de ambos metales, muy probablemente debido a que en los tejidos y fluidos corporales la concentración de ambos metales es regulada por estas especies (Bryan, 1968).

Szefer et al. (1990) efectuaron un estudio sobre la distribución de los metales Fe, Zn, Mn, Cu, Pb, Cd, Co y Ni en tejidos de tres especies representativas del mar Báltico. Al crustáceo *Mesidothea entomon* se le analizaron el tracto digestivo, hepatopáncreas, sistema reproductivo, músculo y branquias. Se encontró que el hepatopáncreas de éste, representó solo el 2.4% del total del cuerpo, conteniendo 230 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (en base a peso húmedo) que equivale al 56% del total de cobre en el organismo; por lo tanto fue la principal glándula responsable de la acumulación de cobre en los tejidos de éste crustáceo. El Fe fue el metal que alcanzó los niveles más altos en casi todos los tejidos examinados, con concentraciones en branquias de 370 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (en peso húmedo), en músculo de 280 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (en peso húmedo) y en el tracto digestivo de 110 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (en peso húmedo). El cadmio fue el metal con las concentraciones más bajas en los cinco tejidos examinados.

Darmono y Denton (1990), en su estudio sobre la concentración de los metales pesados (Zn, Cu, Fe, Cd, Ag, Ni, Co y Hg) en camarones silvestres *Penaeus merguensis* y camarones de cultivo *Penaeus monodon*, del noreste de Australia, analizaron la distribución de éstos metales en el músculo, hepatopáncreas y branquias. Estos autores encontraron que el músculo de ambas especies de camarón tenían una concentración de metales más baja comparada con la de los otros dos tejidos (hepatopáncreas y branquias) examinados, siendo estas concentraciones, en promedio, como sigue: Zn, 12.60; Cu, 9.10; Fe, 0.61; Mn, 1.09; y Hg, 0.02 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (en peso húmedo). El zinc fue siempre el metal más abundante, tanto en el

hepatopáncreas y músculo como en las branquias, con concentraciones medias de 51.6, 22.4 y 12.6 $\mu\text{g.g}^{-1}$, respectivamente, seguido por el cobre. En orden de abundancia el manganeso precedió al hierro en *Penaeus merguensis* mientras que lo contrario ocurrió en el camarón cultivado *Penaeus monodon*. En ambas especies el mercurio fue el menos abundante en los tres tejidos (en músculo 0.02, en hepatopáncreas 0.03 y en branquias 0.01 $\mu\text{g.g}^{-1}$), mientras que las concentraciones de Ag, Ni, Pb, Cd, y Co estuvieron consistentemente por debajo de los límites de detección analítica.

En un estudio comparativo acerca de la distribución de varios metales pesados (Zn, Cu, Fe, Mn y Cd) en tejidos tales como músculo, hepatopáncreas, ovarios y branquias de dos especies de los crustáceos decápodos *Macrobrachium novaehollandiae* y *Macrobrachium rosenbergi* de un medio ambiente libre de contaminación antropogénica, en el norte de Australia, Peerzada et al. (1992) encontraron que el cadmio fue solamente detectado en el hepatopáncreas de ambas especies donde se hallaron las más altas concentraciones (2.0 $\mu\text{g.g}^{-1}$ en peso húmedo), y las concentraciones más bajas en el músculo. Los niveles de los cinco metales fueron bajos en el músculo de ambas especies. Los niveles más altos de Zn y Cu (15 $\mu\text{g.g}^{-1}$ y 8.3 $\mu\text{g.g}^{-1}$ respectivamente) se registraron en *M. rosenbergi*. El hepatopáncreas registró concentraciones altas de todos los metales analizados en ambas especies. Al hacer una comparación de los niveles de los metales pesados en las dos especies, se observó un nivel significativamente más alto de Fe en el hepatopáncreas de las especies de talla más grandes.

Rainbow (1985) en un estudio sobre la acumulación experimental de Zn, Cu y Cd en hemolinfa, exoesqueleto y el resto de los tejidos blandos de la jaiba *Carcinus maenas* (L) y los tejidos blandos del percebe *Elminus modestus*, que fueron expuestos ambos a niveles de concentraciones de Zn, Cu y Cd por un período de 21 días en agua de mar artificial, concluyó que la acumulación de Zn y Cu por las jaibas puede ser interpretada en términos de la presencia de mecanismos de regulación en el cuerpo de estos organismos, mientras que el percebe no regula las concentraciones corporales de Cu y Zn ni la del Cd, metal no esencial, por lo que propone a *Elminus modestus* como un organismo viable para utilizarse en el monitoreo de estos metales.

Depledge et al. (1993) evaluaron la concentración de los metales Cd, Cu, Zn y Fe y su distribución en tejidos (exoesqueleto, branquias, músculo, glándula del intestino medio y la hemolinfa) del cangrejo bentónico (hembras y machos) *Dorippe granulata* (De Haan, 1841) recolectados en el puerto de Tolo, Hong Kong, una área donde empieza a incrementar la contaminación con éstos y otros metales. Los autores encontraron altas concentraciones de cobre en la hemolinfa ($53 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ en peso seco) mientras que las concentraciones más altas de hierro ocurrieron en las branquias ($720 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ en peso seco) y las de zinc ($200 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ en peso seco) en el exoesqueleto. La concentración media de cadmio ($10 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ en peso seco) fue el valor más bajo en todos los tejidos. Depledge et al. (op. cit.) concluyen que esta especie, como otros decápodos, es capaz de regular ciertas concentraciones de metales esenciales independientemente de los niveles del ambiente donde habitan o del alimento que consumen.

En un estudio sobre el efecto del tamaño y la estación del año sobre la concentración de Cu, Cd, Pb y Zn en el crustáceo *Diastylis rathkei* de la Bahía de Kiel, al oeste del Báltico, Swaileh y Adelung (1995) evaluaron las concentraciones medias de Cu ($102.9 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) y Zn ($77.4 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$). Estimaron que son muy parecidas a los requerimientos totales, los cuales son 83.7 y $70.8 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, respectivamente (White y Rainbow, 1985). Estos dos metales son esenciales y los crustáceos han sido reportados como buenos reguladores de su contenido total corporal (Bryan, 1971; Wright, 1976; White y Rainbow, 1982; Devineau y Amiard-Triquet, 1985; Clark, 1989; Rainbow, 1990). En este mismo estudio, la concentración media de metales no esenciales, Cd y Pb, fueron de 0.3 y $7.5 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, respectivamente. El contenido corporal de estos metales son reportados generalmente como no regulados por organismos marinos (Wright, 1977; Jennings y Rainbow, 1979; White y Rainbow, 1982; Devineau y Amiard-Triquet, 1985).

Scott-Fordsmand y Depledge (1997) en un estudio sobre los cambios en las concentraciones de Ca, Cu y Zn en los tejidos de la jaiba *Carcinus maenas* durante el ciclo de muda concluyeron que el contenido de Cu aumenta en la hemolinfa hacia la ecdysis en un 34%; este aumento pareció resultar de una movilización y redistribución entre tejidos.

Durante la postmuda, el contenido de Cu total corporal disminuye debido a la pérdida del metal en la hemolinfa, la reducción del contenido de Cu en este tejido estuvo acompañada por un 50% de incremento de Cu en la glándula digestiva. Esta relación inversa es similar a los patrones observados para decápodos en intermuda (Djangmah, 1970; Depledge, 1989; Scott-Fordsmand y Depledge, 1993). El contenido de Zn corporal al igual que el de Cu es fluctuante en el ciclo de muda. Durante la premuda, aproximadamente el 28% de la carga total de Zn es perdida probablemente desde el músculo; el tejido muscular de *C. maenas* contiene altas concentraciones de Zn. La pérdida de este metal podría reflejar una reducción en la masa muscular. El catabolismo del tejido muscular durante la premuda ha sido previamente reportado para el cangrejo *Gercarcinus lateralis* (Skinner, 1966). El incremento en el contenido de Zn en las branquias podría estar con una excreción de Zn vía esta ruta (Rainbow, 1988) o podría deberse al incremento de anhidrasa carbónica en las branquias (Henry y Kormanik, 1985). Es bueno notar que solamente cerca del 3% del contenido de Zn corporal se perdió con la exhubia, con respecto al tejido blando, el contenido de Zn aumenta en la hemolinfa y la glándula digestiva alrededor de la ecdysis, quizá como resultado de la reabsorción del Zn desde el exoesqueleto durante la premuda tardía (Chang, 1990). Como con el Cu, el contenido de Zn en la hemolinfa y la glándula digestiva exhibe una relación inversa durante la postmuda. Aunque hubo una relación inversa, el Zn almacenado en la glándula digestiva solamente justifica el 10% del Zn perdido desde la hemolinfa, así este Zn perdido es probablemente excretado.

3.2 En las costas de México

A pesar de la importancia que tiene el conocer los niveles de concentración de metales pesados en organismos de interés comercial, actualmente existe poca información acerca de las concentraciones de metales en los crustáceos de las costas de México. Páez-Osuna y Ruíz-Fernández (1995 a,b) estudiaron la concentración de diversos metales pesados en diferentes estados de desarrollo de los camarones *Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostris*, ambos de importancia comercial en la zona del Pacífico oriental tropical mexicano, concluyendo que los individuos de edades juveniles presentan mayores

concentraciones de metales pesados, a consecuencia muy probablemente de su permanencia en sistemas lagunares, los cuales presentan mayores concentraciones de metales pesados que el medio marino costero.

Con respecto a la acumulación de metales durante el desarrollo, García y Fowler (1972) evaluaron las concentraciones de metales pesados en diversos invertebrados en el golfo de California, en su trabajo destacan que los niveles de concentración de Co, Cu, Mn, y Zn en el camarón, *Farfantepenaeus californiensis* tiende a ser superior en individuos de edad temprana. Estos mismos autores analizaron también las concentraciones de Zn, Cu, Mn, Cr, Ni y Co en el músculo abdominal, músculo torácico, exoesqueleto, branquias, ojos, hepatopáncreas, vasos deferentes y testículos de la langosta *Panulirus inflatus*, comparándola con el bogavante *Homarus americanus* cuya concentración de Cu en el músculo es de $25 \mu\text{g.g}^{-1}$ peso seco. Este valor es bastante similar al encontrado por estos autores en los músculos abdominales y torácico de la langosta que fue respectivamente 18 y $27 \mu\text{g.g}^{-1}$ en peso seco.

En un estudio comparativo sobre la concentración de metales pesados en *L. vannamei* silvestre y de cultivo. Páez-Osuna y Trón-Mayen (1995 a), encontraron que los elementos Fe y Zn fueron los más abundantes en todas las tallas examinadas, siguiendo el Cu, Mn Cr, Ni, Co y el Cd. Con respecto al Pb, en todos los grupos se tuvo que las concentraciones del metal estuvieron por debajo del límite de detección ($0.10 \mu\text{g/g}$ en peso seco) de la técnica empleada.

Páez-Osuna y Trón-Mayen (1995 b), estudiaron ocho metales en los tejidos de *F. californiensis*, encontrando que 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 éstos metales en la mayoría de los tejidos. Por su parte, las hembras tuvieron los niveles más altos de hierro. En cuanto a *L. vannamei* esta especie mostró, en el músculo también, 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.

Páez-Osuna y Ruíz Fernández (1995a) en un estudio sobre metales pesados en el tejido muscular del camarón *L. vannamei* de ambientes marino y estuarino, evaluaron la concentración de siete metales pesados (Fe, Mn, Cu, Co, Cd, Cr y Zn) en postlarvas, juveniles estuarinos y en adultos colectados en las costas del Pacífico de México. Con la excepción del Fe, la concentración de los metales fue muy similar a las encontradas en organismos colectados en otras partes del mundo. La dependencia con la talla fue observada solo para Ni, Fe y Zn y varió dependiendo del elemento considerado. Los organismos pequeños presentaron concentraciones más altas de Fe y Ni que los individuos más grandes. Para Zn ocurrió la tendencia opuesta, esto podría reflejar los diferentes requerimientos metabólicos de los camarones jóvenes y adultos.

4. Metodología

4.1 Area de estudio

El área de estudio se encuentra localizada entre la desembocadura del río Quelite y Punta Marmol (Fig. 1), sobre la porción sur del estado de Sinaloa, dicha zona se caracteriza por la ausencia de actividad antropogénica pronunciada, ya que solamente se hallan presentes en la zona comunidades rurales y agricultura de tipo temporal. A lo largo del lado sur oriental del Golfo de California, la naturaleza de los sedimentos transportados al golfo de California es regulada principalmente por las provincias geológicas que lo rodean. Siete provincias fisiográficas circundan al golfo, cuatro al Oeste, una al Norte y dos al Este (Byrne y Emery, 1960). Por consiguiente, la fuente de sedimento del golfo de California está irregularmente distribuida, un gran porcentaje de las áreas que lo circundan incluyendo el margen occidental son muy áridas y el sedimento es transportado al golfo por flujos

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.

Páez-Osuna y Ruíz Fernández (1995a) en un estudio sobre metales pesados en el tejido muscular del camarón *L. vannamei* de ambientes marino y estuarino, evaluaron la concentración de siete metales pesados (Fe, Mn, Cu, Co, Cd, Cr y Zn) en postlarvas, juveniles estuarinos y en adultos colectados en las costas del Pacífico de México. Con la excepción del Fe, la concentración de los metales fue muy similar a las encontradas en organismos colectados en otras partes del mundo. La dependencia con la talla fue observada solo para Ni, Fe y Zn y varió dependiendo del elemento considerado. Los organismos pequeños presentaron concentraciones más altas de Fe y Ni que los individuos más grandes. Para Zn ocurrió la tendencia opuesta, esto podría reflejar los diferentes requerimientos metabólicos de los camarones jóvenes y adultos.

4. Metodología

4.1 Area de estudio

El área de estudio se encuentra localizada entre la desembocadura del río Quelite y Punta Marmol (Fig. 1), sobre la porción sur del estado de Sinaloa, dicha zona se caracteriza por la ausencia de actividad antropogénica pronunciada, ya que solamente se hallan presentes en la zona comunidades rurales y agricultura de tipo temporal. A lo largo del lado sur oriental del Golfo de California, la naturaleza de los sedimentos transportados al golfo de California es regulada principalmente por las provincias geológicas que lo rodean. Siete provincias fisiográficas circundan al golfo, cuatro al Oeste, una al Norte y dos al Este (Byrne y Emery, 1960). Por consiguiente, la fuente de sedimento del golfo de California está irregularmente distribuida, un gran porcentaje de las áreas que lo circundan incluyendo el margen occidental son muy áridas y el sedimento es transportado al golfo por flujos

ocasionales de abanicos aluviales y por la erosión de la costa (Van Andel, 1963). La sedimentación terrígena es controlada por la precipitación de lluvias regionales, principalmente en Sonora y Sinaloa, donde las descargas de los ríos incrementan hacia el Sur. Ningún río drena en el golfo desde la región peninsular. Los sedimentos son predominantemente finos observándose que los modos arena limo arcillosa están sistemáticamente distribuidos en esta región (Paéz-Osuna, 1988). La circulación del golfo es muy complicada y no bien definida, debido al régimen de vientos, a las intensas mareas (las cuales pueden generar circulación vertical y horizontal) a los campos de densidad y a la complejidad de la batimetría.

Esta región presenta un clima cálido húmedo con lluvias en verano, siendo el más seco de los subhúmedos y con una precipitación promedio de 800.3 mm (García, 1973). La temporada de lluvias se extiende de junio a septiembre, con una precipitación media de 850 mm; su temperatura media es de 28 °C. Los efectos del océano Pacífico sobre el clima del golfo son muy reducidos por la presencia de cadenas montañosas, 1 a 3 km de altura, en la península de Baja California. Por consiguiente el clima es más continental que oceánico, realizando sus características de mar interior. La climatología y algunas condiciones oceanográficas son controladas por cuatro factores meteorológicos principales (Hastings y Turner, 1965): 1. El centro de alta presión estable y semipermeable del Pacífico norte extendido más hacia el Norte durante el verano y hacia el Sur, en otoño e invierno; 2. El centro anticiclónico sub-tropical del atlántico, el cual se expande y desplaza hacia el norte en la costa oriental de Norteamérica, durante primavera y verano; 3. Los ciclones tropicales occidentales de América, formados en la convergencia inter-tropical principalmente en otoño y 4. El retroceso y flujo hacia el Oriente de los centros de alta presión del Atlántico y el Pacífico.

En esta zona las estaciones del año no están bien definidas. Se presentan dos épocas bien marcadas: una con una baja precipitación pluvial que va de noviembre a junio y otra con precipitación pluvial alta que comprende los meses de julio a octubre. La zona es afectada por ciclones tropicales que se forman en el Pacífico Nororiental. La mayor incidencia de ellos se presenta de julio a octubre. Los vientos dominantes son del Oeste y Noroeste, con una velocidad promedio de 2.6 a 3.5 m/seg (Secretaría de Marina, 1974).

El golfo se caracteriza por tasas de productividad similares a aquellas de Perú y del suroeste de Africa, al Sur de los 25°N el valor promedio de la productividad primaria es 0.27 g C.m⁻² día⁻¹ y 0.53 g C.m⁻² día⁻¹ para el área entre 27° - 29° N (cuenca de Guaymas), en un año normal. En el bajo golfo durante periodos de "El niño", Lara-Lara et al. (1983) han cuantificado valores medios de productividad de 3.1 g C.m⁻² día⁻¹ en marzo y 1.8 g C.m⁻² día⁻¹ durante octubre de 1983, tasas muy superiores a las de años normales y comunes a surgencias muy productivos del océano.

4.2 Muestreo

La captura de las langostas se llevó a cabo en embarcaciones de pesca artesanal con redes tipo chinchorros, con luz de malla de 1.5", recolectándose la langosta comúnmente conocida como langosta verde o gringa, *Panulirus gracilis*.

La recolección de los camarones se llevó al cabo a bordo de un barco camaronero, empleando como arte de pesca la red de arrastre. Se capturaron los siguientes organismos: camarón azul, *Litopenaeus stylirostris* y el camarón blanco *Litopenaeus vannamei*.

Los camarones fueron recolectados en diciembre de 1994 y las langostas en los meses de octubre a diciembre del mismo año, en diversos sitios (Fig. 1).

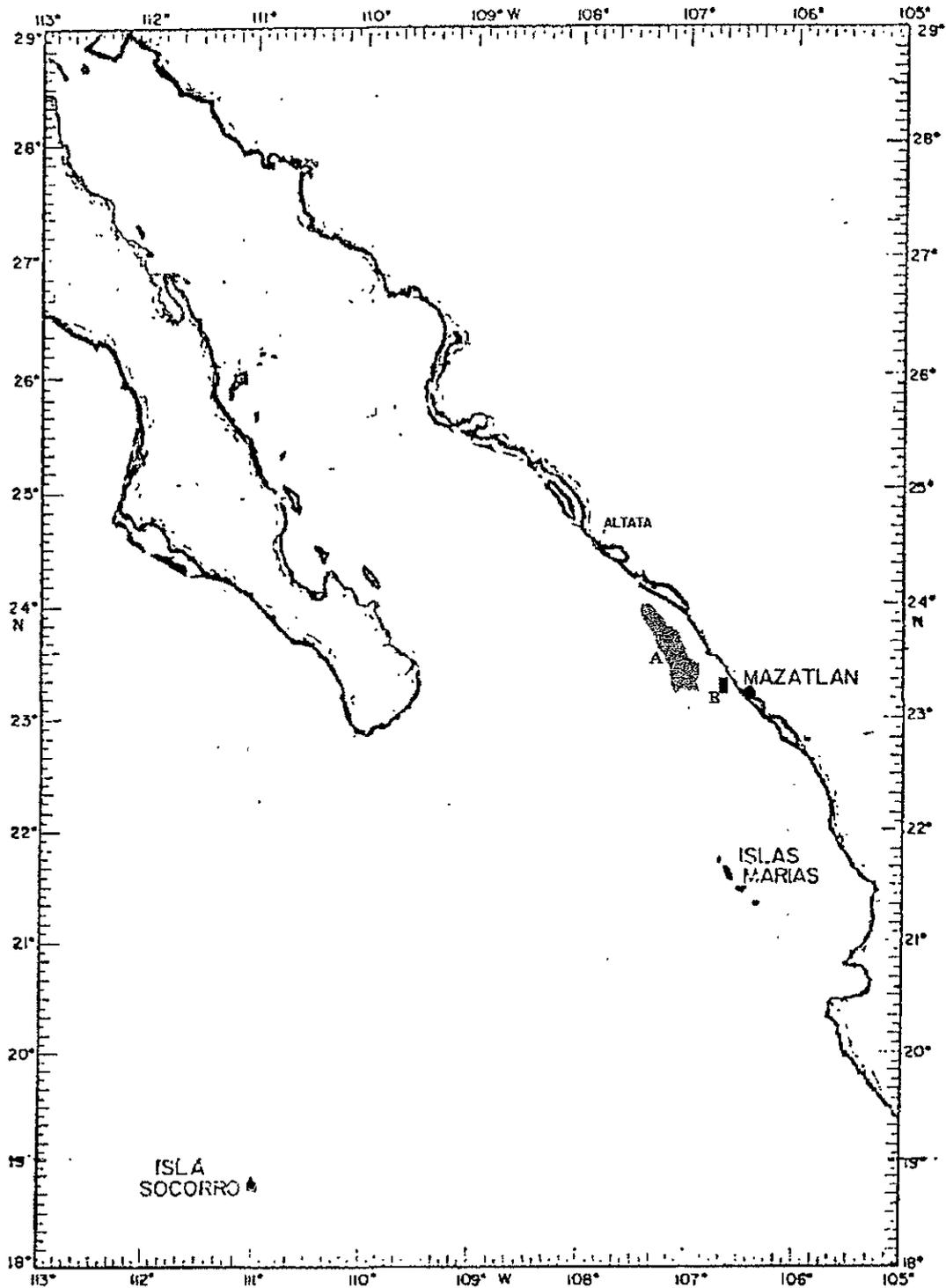


Fig. 1. Localización del área de estudio. La región A corresponde al sitio de captura de los camarones (*Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostris*) y la región B corresponde al sitio de captura de la langosta (*Panulirus gracilis*).

Se recolectaron langostas (*P. gracilis*) hembras y machos de cinco clases de talla de las poblaciones naturales localizadas en el área de estudio. Todos los organismos se seleccionaron en el estadio de intermuda.

Tabla 1. Grupos de tallas de langostas *Panulirus gracilis* recolectados.

Lc= Longitud del cefalotorax en mm.

Grupo	Frecuencia de organismos (hembras : machos)	Intervalo de talla Lc(mm)
1	6 (3:3)	50.0-59.9
2	6 (3:3)	60.0-69.9
3	6 (3:3)	70.0-79.9
4	6 (3:3)	80.0-89.9
5	6 (3:3)	90.0-99.9

Se seleccionaron 70 camarones hembras y 70 machos de cada una de las especies (*Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostris*), organismos de talla uniforme, adultos (petasma y télico bien desarrollados), con apariencia físicamente sanos (sin lesiones).

En el barco camaronero, los organismos fueron enjuagados con agua de mar del mismo lugar, colocados en recipientes de polietileno previamente lavados y enjuagados en ácidos diluidos (Moody y Lindstrom, 1977). Posteriormente, se almacenaron en cámaras de congelación a una temperatura de -30°C . Se etiquetaron incluyendo los siguientes datos: código de la muestra, estación de muestreo (longitud y latitud), fecha de muestreo (día, mes y año).

4.3 Manejo en el laboratorio

Una vez en el laboratorio, las langostas fueron identificadas taxonómicamente de acuerdo a Hendrickx (1995) y los camarones de acuerdo a Pérez Farfante (1988). En el caso de las langostas, se obtuvo la longitud total (Lt) midiendo con una regla (± 0.05 cm) desde el margen anterior (entre las espinas rostrales) hasta el extremo del telson; la longitud

cefalotorácica (Lc) con un vernier (± 0.05 mm) desde el margen anterior hasta el margen posterior del caparazón cefalotorácico. En los camarones se obtuvo la longitud total (Lt) midiendo con una regla desde el margen anterior del rostrum hasta el extremo del telson; (Lc) se midió con un vernier desde el margen anterior del rostrum hasta el margen posterior del caparazón cefalotorácico. El peso fresco (P) en las tres especies estudiadas se obtuvo con una balanza granataria (± 0.01 g). Posteriormente se realizó la disección de langostas para separar los siguientes tejidos: músculo (abdominal), exoesqueleto, hemolinfa, branquias, vísceras, hepatopáncreas y gónadas. La disección en camarones se hizo separando los siguientes tejidos: músculo (abdominal), exoesqueleto, branquias, vísceras, hepatopáncreas, gónadas, pedúnculo (incluye ojos) y apéndices. Cada tejido fue pesado separadamente (± 0.01 g) se obtuvo la relación peso tejido / peso total (%). Posteriormente se seleccionaron seis langostas (una hembra y un macho) de tallas pequeñas ($L_c=50.6 \pm 0.92$ mm y $L_c=53.2 \pm 2.0$ mm), medianas ($L_c=77.5 \pm 0.8$ mm y $L_c=76.8 \pm 1.5$ mm) y grandes ($L_c=90.1 \pm 0.1$ mm y 95.0 ± 0.5 mm) respectivamente y dos camarones adultos (uno de cada especie estudiada). Se determinó el contenido de humedad de la siguiente manera: $[100 - (\text{peso de la muestra seca por } 100) / \text{peso de la muestra húmeda}]$ para cada tejido (Tablas 2 y 3).

Todo el material utilizado para el manejo y la disección de los tejidos fue cuidadosamente lavado y enjuagado en ácidos diluidos de acuerdo al procedimiento de Moody y Lindstrom, (1977).

Tabla 2. Porcentaje de humedad y peso relativo de los tejidos (peso tejido/peso total) analizados en *Panulirus gracilis* (h, hembra; m, macho).

Tejido	h; n=3; Peso=104.3 \pm 9.3 g; Lc=50.6 \pm 0.9 mm			
	Peso de la muestra	% humedad	% de tejido	% en P. seco
Hemolinfa	12.94	82.1	13.4	7.9
Hepatopáncreas	2.7	75.9	2.8	2.2
Branquias	2.25	90.2	2.3	0.8
Exoesqueleto	32.35	51.7	33.5	53.4
Músculo	45.14	77.6	46.8	34.7
Vísceras	0.95	72.6	1.0	0.9
Gónadas	0.21	81.0	0.2	0.1

Tejido	m; n=3; Peso=125.2 ± 8.1 g; Lc=53.2 ± 2.0 mm			
	Peso de la muestra	% humedad	% de tejido	% en P. seco
Hemolinfa	16.2	87.2	13.1	5.2
Hepatopáncreas	4.8	64.3	4.0	4.4
Branquias	4.2	88.8	3.4	1.2
Exoesqueleto	37.8	47.6	30.7	49.9
Músculo	58.1	74.2	47.1	37.7
Vísceras	1.7	67.6	1.4	1.4
Gónadas	0.3	71.0	0.3	0.2

Tejido	h; n=3 Peso=420.5 ± 4.5 g; Lc=77.5 ± 0.8 mm			
	Peso de la muestra	% humedad	% de tejido	% en P. seco
Hemolinfa	25.1	87.8	6.0	2.3
Hepatopáncreas	43.1	64.4	10.2	11.3
Branquias	15.5	88.8	3.7	1.3
Exoesqueleto	101.0	47.6	24.0	39.3
Músculo	220.0	74.2	52.3	42.2
Vísceras	6.2	67.6	1.5	1.5
Gónadas	9.8	70.9	2.3	2.1

Tejido	h; n=3; Peso=459.5 ± 11.2 g; Lc=76.8 ± 1.5 mm			
	Peso de la muestra	% humedad	% de tejido	% en P. seco
Hemolinfa	27.3	87.8	5.9	1.9
Hepatopáncreas	46.2	64.3	10.1	9.4
Branquias	19.3	83.4	4.2	1.8
Exoesqueleto	114.1	47.1	24.8	34.5
Músculo	235.3	62.9	51.2	49.7
Vísceras	7.2	73.6	1.6	1.1
Gónadas	10.1	72.3	2.2	1.6

Tejido	h; n=3; Peso=595.8 ± 12.3 g; Lc=90.1 ± 0.1 mm			
	Peso de la muestra	% humedad	% de tejido	% en P. seco
Hemolinfa	22.0	89.0	3.7	1.3
Hepatopáncreas	18.0	63.8	3.0	3.6
Branquias	17.5	86.8	2.9	1.3
Exoesqueleto	187.0	48.4	31.4	54.4
Músculo	264.2	75.8	44.3	36.0
Vísceras	6.1	62.2	1.0	1.3
Gónadas	9.7	65.6	1.6	1.9

Tejido	h; n=3; Peso=752.3 ± 10.8 g; Lc=95.0 ± 0.5 mm			
	Peso de la muestra	% humedad	% de tejido	% en P. seco
Hemolinfa	15.3	78.8	2.0	1.7
Hepatopáncreas	22.3	63.6	2.9	4.5
Branquias	32.5	96.0	4.3	0.7
Exoesqueleto	201.0	58.4	26.7	46.2
Músculo	437.8	82.0	58.2	43.4
Vísceras	4.9	79.3	0.6	0.5
Gónadas	15.6	67.9	2.0	2.7

Tabla 3. Porcentaje de humedad y peso relativo de los tejidos (peso tejido/peso total) analizados en *Litopenaeus stylirostris* y *Litopenaeus vannamei*.

Litopenaeus vannamei

Tejido	h; Peso=57.4 ± 10.1g; Lc=66.0 ± 8.8mm			
	Peso de la muestra	% humedad	% de tejido	% en Peso seco
Pedúnculo	1.09	70	2.2	1.1
Hepatopáncreas	2.06	65.5	3.6	6.5
Branquias	2.1	87.5	3.7	1.6
Exoesqueleto	6.8	61.5	11.8	16.2
Músculo	36.26	75.2	62.5	60.4
Vísceras	1.03	75	1.8	0.5
Gónadas	1.78	74.6	3.2	1.2
Apéndices	6.32	69	11.2	12.5

Litopenaeus stylirostris

Tejido	m; Peso=57.4 ± 9.3 g; Lc=66.0 ± 9.2 mm			
	Peso de la muestra	% humedad	% de tejido	% en Peso seco
Pedúnculo	0.5	72.0	1.0	1.1
Hepatopáncreas	1.4	61.5	3.0	6.3
Branquias	1.5	86.6	3.3	1.5
Exoesqueleto	5.6	63.2	10.4	16.0
Músculo	33.6	76.7	70.5	60.6
Vísceras	0.6	88.5	0.8	0.5
Gónadas	0.6	76.9	1.6	1.1
Apéndices	6.3	74.4	9.3	12.5

4.4 Análisis químicos

Cada muestra de los tejidos se secó a 60° C a peso constante y se pasó a través de una malla de nylon (200 µm), después de ser molidas en morteros de teflón. Todas las muestras y los blancos para los análisis se prepararon digiriendo por triplicado con ácido nítrico destilado concentrado y empleando el método de adición múltiple de estándares (Páez-Osuna et al., 1993, 1994). Las muestras digeridas se evaporaron lentamente a 100 °C hasta sequedad y los residuos fueron disueltos en ácido nítrico 2 M, depositándolos en botellas de polietileno lavadas previamente con ácido según el método de Moody y Lindstrom (1977). Los metales se analizaron en un espectrofotómetro de absorción atómica de flama Shimadzu AA-630. La confiabilidad de la metodología se verificó empleando material de referencia, que consistió de una muestra homogenizada de camarón (*Penaeus duorarum*) MA-A-3TM, proporcionado por la International Laboratory of Marine Radioactivity del Organismo Internacional de Energía Atómica, Mónaco (IAEA, 1987). Al evaluar las concentraciones se tuvieron los siguientes porcentajes de recuperación con los intervalos de error que se indican: Cd, 105 ± 6.2%; Ni, 110 ± 9.4%; Cu, 93 ± 4.7%; Zn, 97 ± 11.8%; Mn, 67 ± 2.4%; y Fe, 98 ± 3.8%.

4.6 Abreviaciones

Las siguientes abreviaciones fueron utilizadas a lo largo del trabajo: Lc (Longitud del cefalotorax en mm), Lt (longitud total media en mm), P (peso medio en g), h (hembras), m (machos), n (número de organismos).

4.7 Análisis estadísticos utilizados

El tratamiento estadístico que se le dió a los datos para determinar la comparación de medias de la concentración de metales pesados de dos muestras se hizo con base en la prueba t-Student (Miller y Miller, 1988), las diferencias de concentración de metales entre los diversos tejidos de machos y hembras en los cinco grupos de langostas se realizó usando el paquete estadístico Graphpad Prism ver. 2.01 en Windows 95. Para verificar la

normalidad de los datos se usó la prueba Kolmogorov-Smirnov. Las diferencias entre los niveles de concentración de metales fué comparada mediante la aplicación de la prueba de comparación múltiple de Bonferroni asumiendo la premisa de que los datos provenían de una población distribuida normalmente presentando homogeneidad en la varianza (Zar, 1984).

5. Resultados y Discusión

5.1 Concentración de metales pesados en *Panulirus gracilis*

Se evaluó la concentración de ocho metales en los tejidos de hembras y machos de langosta *Panulirus gracilis* de cinco grupos diferentes de tallas comerciales. En todos los tejidos analizados, el Cu, Zn y Fe fueron los elementos que presentaron las concentraciones más elevadas, aunque el Ni con respecto al Fe en la hemolinfa de algunos grupos de langostas tuvo los mayores niveles. Los metales Ni, Mn y Co varían en su concentración según el tejido y el sexo mientras que Cr y Cd son los que se presentaron en menor concentración (Tabla 4).

Cobre. El máximo de concentración de Cu (1358 $\mu\text{g/g}$ de tejido) fue medido en la hemolinfa en el grupo de langostas machos de las tallas pequeñas (Lc media de 57.2 ± 2.5 mm); el mínimo (18.8 $\mu\text{g/g}$) se presentó en las gónadas de machos (Lc media 65.6 ± 3.4 mm), hepatopáncreas, branquias y en las gónadas de machos de las tallas grandes (Tabla 4). En estudios realizados en el hepatopáncreas de crustáceos Bryan (1968), Szefer et al. (1990), Darmono y Denton (1990), Peerzada et al. (1992), Canli y Furness (1993) encontraron más altas concentraciones de cobre que las del presente estudio.

normalidad de los datos se usó la prueba Kolmogorov-Smirnov. Las diferencias entre los niveles de concentración de metales fué comparada mediante la aplicación de la prueba de comparación múltiple de Bonferroni asumiendo la premisa de que los datos provenían de una población distribuida normalmente presentando homogeneidad en la varianza (Zar, 1984).

5. Resultados y Discusión

5.1 Concentración de metales pesados en *Panulirus gracilis*

Se evaluó la concentración de ocho metales en los tejidos de hembras y machos de langosta *Panulirus gracilis* de cinco grupos diferentes de tallas comerciales. En todos los tejidos analizados, el Cu, Zn y Fe fueron los elementos que presentaron las concentraciones más elevadas, aunque el Ni con respecto al Fe en la hemolinfa de algunos grupos de langostas tuvo los mayores niveles. Los metales Ni, Mn y Co varían en su concentración según el tejido y el sexo mientras que Cr y Cd son los que se presentaron en menor concentración (Tabla 4).

Cobre. El máximo de concentración de Cu (1358 $\mu\text{g/g}$ de tejido) fue medido en la hemolinfa en el grupo de langostas machos de las tallas pequeñas (Lc media de 57.2 ± 2.5 mm); el mínimo (18.8 $\mu\text{g/g}$) se presentó en las gónadas de machos (Lc media 65.6 ± 3.4 mm), hepatopáncreas, branquias y en las gónadas de machos de las tallas grandes (Tabla 4). En estudios realizados en el hepatopáncreas de crustáceos Bryan (1968), Szefer et al. (1990), Darmono y Denton (1990), Peerzada et al. (1992), Canli y Furness (1993) encontraron más altas concentraciones de cobre que las del presente estudio.

Tabla 4. Concentración de metales pesados en diferentes tejidos de *Panulirus gracilis* ($\mu\text{g/g}$ de tejido).

A.

GRUPO 1 m	Lc=57.2 \pm 2.4		P=157.3 \pm 21.1		n=3		
metales:	Hemolínfa	Hepatopáncreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Vísceras	Gónadas
[Co]	2.5	4.5	0.7	14.0	1.3	2.4	0.5
[Ni]	4.4	8.6	1.6	9.6	1.4	2.3	1.5
[Cd]	1.1	0.1	0.2	1.8	0.2	8.1	0.7
[Cu]	1358.7	520.1	179.3	33.1	28.9	187.7	471.7
[Cr]	0.4	1.2	0.2	6.1	0.7	0.9	0.7
[Zn]	82.0	414.7	52.0	83.7	76.8	16.7	85.4
[Mn]	1.9	11.7	6.6	23.6	0.5	2.4	2.9
[Fe]	14.5	54.1	343.8	274.6	3.9	74.5	41.1

B.

GRUPO 1 h	Lc=59.8 \pm 0.1		P=220.5 \pm 0.1		n=3		
metales:	Hemolínfa	Hepatopáncreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Vísceras	Gónadas
[Co]	0.4	8.9	0.4	3.9	0.3	13.4	0.2
[Ni]	2.5	3.5	1.8	5.3	1.0	4.6	0.6
[Cd]	0.3	0.1	2.4	0.8	0.1	0.1	0.2
[Cu]	1293.0	164.5	188.1	52.7	24.0	112.7	149.5
[Cr]	0.2	0.2	0.2	1.8	0.3	0.2	0.2
[Zn]	67.9	429.7	39.4	50.2	102.6	10.4	188.4
[Mn]	4.3	8.5	8.3	21.5	0.9	0.4	5.3
[Fe]	1.1	0.3	45.3	352.2	8.1	161.1	3.4

C.

GRUPO 2 m	Lc=65.6 \pm 3.4		P=223.87 \pm 25.4		n=3		
metales:	Hemolínfa	Hepatopáncreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Vísceras	Gónadas
[Co]	0.4	4.0	1.0	23.8	1.4	1.8	1.0
[Ni]	2.7	4.5	1.9	17.3	4.4	2.4	1.5
[Cd]	0.3	0.1	4.0	1.9	0.2	0.1	0.1
[Cu]	825.1	205.9	212.4	38.5	30.6	302.5	18.8
[Cr]	0.2	0.2	0.2	5.2	0.2	3.3	0.7
[Zn]	12.2	341.2	38.0	16.3	107.0	22.0	30.9
[Mn]	0.5	5.9	4.4	24.9	1.1	5.4	2.6
[Fe]	0.6	93.7	51.8	105.4	12.3	29.3	13.1

D.

GRUPO 2 h	Lc=64.3 ±4.5			P=252.5 ± 81.5		n=3	
metales:	Hemolinfa	Hepatopáncreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Visceras	Gónadas
[Co]	0.4	5.2	1.4	4.0	0.7	2.4	1.1
[Ni]	1.1	10.1	1.6	9.9	1.5	7.1	0.6
[Cd]	0.1	0.1	3.7	1.0	0.2	8.5	0.2
[Cu]	1047.1	322.6	196.5	48.4	29.0	63.1	46.1
[Cr]	0.3	0.7	1.0	2.3	0.2	1.7	0.4
[Zn]	70.4	339.2	52.1	15.6	112.6	13.1	90.7
[Mn]	0.6	53.8	27.9	15.3	0.7	2.0	6.6
[Fe]	0.3	54.9	384.5	225.9	5.0	67.1	7.7

E.

GRUPO 3 m	Lc=74.5 ±3.0			P=337.2 ± 31.9		n=3	
metales:	Hemolinfa	Hepatopáncreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Visceras	Gónadas
[Co]	0.4	3.4	0.8	11.7	1.2	3.5	0.3
[Ni]	2.5	6.2	3.3	11.1	1.2	3.0	1.0
[Cd]	0.3	0.1	2.3	1.9	0.3	0.1	0.4
[Cu]	1268.9	265.6	213.5	47.3	32.7	278.1	723.6
[Cr]	nd	0.2	0.2	4.3	0.1	1.8	0.2
[Zn]	51.4	364.5	45.8	9.7	113.5	13.5	51.9
[Mn]	0.8	2.7	3.0	19.0	0.8	40.0	3.1
[Fe]	2.4	53.5	34.0	205.3	9.2	321.7	11.6

F.

GRUPO 3 h	Lc=77.5 ±0.8			P=420.5 ± 26.2		n=3	
metales:	Hemolinfa	Hepatopáncreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Visceras	Gónadas
[Co]	0.5	4.2	0.1	3.5	0.7	18.1	0.6
[Ni]	1.4	6.8	0.9	15.6	0.9	8.7	2.0
[Cd]	0.3	0.1	5.3	1.2	0.3	3.0	0.9
[Cu]	1124.5	1077.4	249.2	46.3	23.0	58.7	68.2
[Cr]	0.3	0.5	0.2	2.1	0.2	1.9	0.4
[Zn]	38.4	230.3	30.8	12.2	119.5	9.6	109.4
[Mn]	1.2	27.3	2.5	20.5	0.7	4.4	17.7
[Fe]	5.8	46.2	16.4	255.8	1.7	39.5	32.6

G.

GRUPO 4 m	Lc=85.6 ±1.4			P=448.6 ± 40.7		n=3	
metales:	Hemolinfa	Hepatopáncreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Visceras	Gónadas
[Co]	0.5	8.0	0.5	8.7	2.1	1.2	1.2
[Ni]	3.0	3.9	1.5	14.6	2.4	1.8	0.9
[Cd]	0.4	0.1	2.3	1.6	0.5	0.1	0.1
[Cu]	1221.1	591.5	194.3	29.9	40.6	188.9	4920.0
[Cr]	0.2	0.2	0.2	0.9	0.2	1.7	0.2
[Zn]	60.0	448.1	39.5	16.4	81.2	139.8	53.9
[Mn]	0.6	14.9	2.5	20.7	1.0	0.6	2.6
[Fe]	6.0	166.7	49.5	345.3	34.7	27.0	31.1

H.

GRUPO 4 h	Lc=85.3 ±3.7			P=527.87 ± 66.7		n=3	
metales:	Hemolinfa	Hepatopáncreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Visceras	Gónadas
[Co]	0.5	4.7	1.7	5.3	0.6	0.2	0.3
[Ni]	1.8	2.5	2.3	8.0	0.6	0.1	1.0
[Cd]	0.4	0.1	1.3	1.3	0.3	0.1	0.5
[Cu]	1223.0	641.8	266.3	72.2	27.5	115.9	91.9
[Cr]	0.2	0.2	0.2	7.0	0.2	0.2	0.2
[Zn]	32.2	416.5	53.3	27.7	107.4	11.4	116.6
[Mn]	0.0	8.3	1.9	7.7	0.4	0.4	10.4
[Fe]	0.3	22.4	22.9	57.9	1.6	0.3	22.6

I.

GRUPO 5 m	Lc=93.5 ±2.2			P=608.8 ± 55.5		n=3	
metales:	Hemolinfa	Hepatopáncreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Visceras	Gónadas
[Co]	1.1	5.0	1.0	10.4	1.9	4.3	0.4
[Ni]	4.5	7.8	1.7	10.8	1.3	5.8	0.3
[Cd]	0.4	0.1	0.5	1.5	0.1	5.9	0.2
[Cu]	1267.1	471.7	202.0	42.3	37.9	107.5	518.7
[Cr]	0.2	0.2	0.2	14.6	0.2	2.3	0.3
[Zn]	57.4	382.6	51.5	20.5	103.5	81.9	40.3
[Mn]	1.0	9.6	2.1	19.3	1.0	9.4	1.7
[Fe]	6.6	180.2	30.9	440.5	5.3	318.2	5.5

J.

GRUPO 5 h	Lc=90.3 ±0.6			P=558.9 ± 53.2		n=3	
metales:	Hemolinfa	Hepatopáncreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Visceras	Gónadas
[Co]	0.5	10.0	1.1	6.3	0.4	21.9	0.3
[Ni]	2.1	6.3	1.8	8.0	1.1	8.7	1.6
[Cd]	0.4	0.1	4.2	1.1	0.2	5.7	0.2
[Cu]	1016.2	996.2	230.2	55.2	30.2	117.4	86.6
[Cr]	0.3	0.3	0.6	3.9	0.5	2.6	0.2
[Zn]	100.7	495.1	49.9	66.3	124.7	89.6	134.0
[Mn]	2.5	18.9	7.1	24.6	0.8	41.9	7.2
[Fe]	4.9	17.8	55.9	428.5	8.3	421.8	67.5

En el hepatopáncreas el máximo valor obtenido en las hembras fue de 1077 $\mu\text{g/g}$ (Lc promedio 77.5 ± 0.8 mm) y el mínimo de 206 $\mu\text{g/g}$, en el grupo de los machos (Lc promedio de 65.6 ± 3.4 mm). En branquias el nivel más alto de cobre medido fue de 266 $\mu\text{g/g}$, en el grupo de las hembras (Lc promedio 85.3 ± 3.7 mm) y el valor mínimo de 179 $\mu\text{g/g}$ en los machos (Lc promedio 57.2 ± 2.4 mm). En el exoesqueleto los valores de cobre estuvieron siempre por debajo de los 73 $\mu\text{g/g}$ en todos los grupos. Altos niveles de Cu en branquias y hepatopáncreas asociados con bajos niveles en el exoesqueleto, indican que el organismo acumula el elemento del agua, a través de los filamentos branquiales (Dorband et al., 1976), lo cual parece ser el caso de *Panulirus gracilis*. En las gónadas el valor más alto de cobre fue de 920 $\mu\text{g/g}$, medido en las gónadas de los machos (Lc promedio de 85.6 ± 1.4 mm) y el mínimo fue de 18.8 $\mu\text{g/g}$, también en las gónadas de los machos (Lc promedio de 65.6 ± 3.4 mm). Estos valores son similares a los valores encontrados por Páez-Osuna et al. (1995) en un estudio sobre la concentración de metales en la langosta *Panulirus inflatus* de la costa del Pacífico mexicano, donde las mas altas concentraciones de Cu fueron encontradas en las branquias y las gónadas, los valores intermedios en visceras y músculo, y los valores más bajos en el exoesqueleto. Frenet y Alliot (1985) y Depledge et al. (1993) también encontraron altas concentraciones de este metal en las branquias del camarón carideo *Palaemonetes varians* y del cangrejo *Dorippe granulata* y valores más bajos en el exoesqueleto.

Los niveles de cobre varían ampliamente entre especies de crustáceos (Eisler, 1981) y generalmente este metal se encuentra en la hemocianina, un pigmento respiratorio disuelto en la hemolinfa, presente en grandes cantidades en este fluido como constituyente de la proteína que puede combinarse reversiblemente con el oxígeno en ciertas condiciones fisiológicas del organismo (Bryan, 1968).

Zinc. El máximo de concentración de Zn ($495 \mu\text{g/g}$) fue medido en el hepatopáncreas en el grupo de langostas hembras de talla grande (Lc promedio de 90.3 ± 0.6 mm) y el mínimo ($9.7 \mu\text{g/g}$) en las vísceras de hembras (Lc promedio 77.5 ± 0.8 mm) (Tabla 4).

Hay evidencias que sugieren que los miembros fisiológicamente más adaptados de los grupos de crustáceos, por ejemplo los decápodos, son capaces de regular los niveles de zinc en su cuerpo (Rainbow, 1985; Bryan, 1968; White y Rainbow 1984; Weeks y Rainbow, 1991). Páez-Osuna et al. (1995) encontraron concentraciones más altas de zinc en las vísceras de la langosta *Panulirus inflatus* que los encontrados en el presente trabajo, mientras que en el músculo son muy similares a las concentraciones citadas por estos autores, ya que en las vísceras de *Panulirus gracilis* fue de $125 \mu\text{g/g}$ en hembras (Lc promedio 90.0 ± 0.1 mm). Estos resultados concuerdan en general con los encontrados en *Palaeomonetes varians* (Frenet y Alliot, 1985), *Dorippe granulata* (Depledge et al., 1993), en el bogavante *Nephrops norvegicus* (Canli y Furness, 1993) y en el camarón *Penaeus sp* (Horowitz y Presley, 1977). Las concentraciones relativamente más altas en el hepatopáncreas y en el músculo pueden deberse al papel que el Zn juega como un activador de numerosas enzimas presentes en el hepatopáncreas y en la glándula digestiva de langostas y jaibas (Bryan, 1968).

Hierro. Las concentraciones más altas de Fe (440 $\mu\text{g/g}$) fueron medidas en el exoesqueleto del grupo de langostas machos de las tallas (Lc promedio de 93.5 ± 2.2 mm), seguidas por las concentraciones en las vísceras y las branquias, siendo el mínimo de 0.33 $\mu\text{g/g}$ en el hepatopáncreas y la hemolinfa de las hembras de las tallas (Lc promedio 59.8 ± 0.1 mm y 85.3 ± 3.7 mm) (Tabla 4, B, H). Las concentraciones elevadas de hierro encontradas en el exoesqueleto y en las branquias se deben muy probablemente a la presencia de material particulado, el cual es adsorbido más rápidamente que con la velocidad que el metal se metaboliza por la actividad biológica (Szefer et al., 1990). Niveles similares altos de hierro han sido previamente dados para *P. inflatus* (Páez-Osuna et al. 1995) así como en los cangrejos *Cancer irroratus* (Martín, 1974) y *Scylla serrata* (Depledge et al., 1986). El hierro es un oligoelemento que juega un papel importante en los sistemas enzimáticos y respiratorios de los crustáceos (Frenet y Alliot, 1985).

Niquel, manganeso y cobalto. Estos metales presentaron variaciones en todos los tejidos y grupos de tallas. El máximo de concentración de Ni (17.3 $\mu\text{g/g}$) fue medido en el exoesqueleto en el grupo de langostas machos de talla (Lc promedio de 65.6 ± 3.4 mm) y el mínimo (0.3 $\mu\text{g/g}$) en las gónadas de los machos (Lc promedio 93.5 ± 2.2 mm) (tabla 4, C, I). El hepatopáncreas, las vísceras y la hemolinfa presentan concentraciones muy por arriba de los otros tejidos analizados. Estos resultados son similares a los obtenidos por Horowitz y Presley (1977) en el camarón *Penaeus sp*, por Szefer et al. (1990) en *Mesidothea entomon* y por Páez-Osuna et al. (1995) en *Parulirus inflatus*. En cuanto al Mn, las concentraciones más altas fueron de 53.8 $\mu\text{g/g}$ medidas en el hepatopáncreas del grupo de langostas hembras de las tallas (Lc promedio 64.3 ± 4.5 mm), seguido por el exoesqueleto que consistentemente mantuvo valores altos en todos los grupos de tallas. El valor mínimo fue de 0.4 $\mu\text{g/g}$ en músculo y vísceras de las hembras de tallas (Lc promedio 59.8 ± 0.1 mm y 85.3 ± 3.7 mm). Cabe señalar que en la hemolinfa de las hembras de tallas (Lc promedio 85.3 ± 3.7 mm), no se detectó este metal (< 0.05 $\mu\text{g/g}$). Según Eisler (1981) en general, las concentraciones de manganeso son más altas en tejidos calcificados (exoesqueleto) y bajas en los tejidos comestibles (músculo abdominal) de los crustáceos lo que se confirma con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Con respecto al cobalto, la concentración máxima fue de 21.9 $\mu\text{g/g}$ medido en el exoesqueleto del grupo de langostas machos de las tallas (Lc promedio de 65.6 ± 3.4 mm) y el mínimo 0.1 $\mu\text{g/g}$ en las branquias de las hembras (Lc promedio 77.5 ± 0.8 mm). Las vísceras y el hepatopáncreas también presentaron concentraciones por arriba de los otros tejidos analizados, con la excepción en los grupos de langostas machos y hembras (Lc promedio de 85.6 ± 1.4 y 85.3 ± 3.7 mm respectivamente), dónde en vísceras se observa un valor similar o por debajo del resto. Estos valores son comparables con los dados en camarón por Bertine y Goldberg (1972), Eisler (1981), Páez-Osuna y Ruíz-Fernández (1995 a,b), y en la langosta *Panulirus inflatus* (Páez-Osuna et al. 1995).

Generalmente es aceptado que el Mn y el Co están involucrados en enlaces covalentes al ser ligados por las proteínas localizadas en la hemolinfa, lo que favorece su circulación por los tejidos. Koringa (1952) analizó fragmentos de mucosa de algunas especies de moluscos y encontró que acumulaban iones de Mn. Aquí, la mucosa actúa como una trampa de metales y propicia la efectiva permeabilidad de las capas epiteliales subyacentes.

Cromo y cadmio. Se encontraron variaciones de las concentraciones de estos dos metales en todos los tejidos y grupos de tallas. La concentración máxima de Cr (14.6 $\mu\text{g/g}$) fue medida en el exoesqueleto del grupo de langostas machos de las tallas (Lc promedio de 93.5 ± 2.2 mm). El mínimo 0.1 $\mu\text{g/g}$ fue en el músculo de machos (Lc promedio 74.5 ± 3.0 mm). En camarón del género *Penaeus*, Horowitz y Presley (1977) encontraron altos niveles de cromo en el músculo, el exoesqueleto y las vísceras. Páez-Osuna et al. (1995) encontraron concentraciones de cromo en el músculo de *Panulirus inflatus* semejantes a las observadas en el presente estudio con *Panulirus gracilis*.

En lo que respecta al cadmio, las concentraciones más altas medidas fueron de 8.5 $\mu\text{g/g}$ en las vísceras del grupo de langostas hembras de las tallas (Lc promedio de 64.3 ± 4.5 mm) y el mínimo (0.1 $\mu\text{g/g}$) en el hepatopáncreas de todos los grupos de tallas. Estos resultados difieren de los obtenidos por Eisler (1981) donde el hepatopáncreas regularmente registró los más altos niveles. Sin embargo coincide con Páez-Osuna et al. (1995) en que las concentraciones de cadmio en *Panulirus inflatus* son varias veces más bajas que los niveles observados en la langosta *Homarus americanus* cultivado en efluentes termales

contaminados (Dorband et al., 1976), o en la jaiba béntica *Dorippe granulata* de Tolo Harbour, Hong Kong, que fue considerada contaminada por cadmio y otros productos químicos (Wu, 1988). En el caso del cadmio, se conoce que reacciona con grupos fosfatos de la bicapa de lípidos antes de ser enlazados por ligandos intracelulares. Además, en peces es capaz de romper el balance iónico y alterar las características de permeabilidad de las membranas celulares. Este metal, al igual que el plomo, afecta los movimientos pasivos de los iones así como el transporte activo, ya sea por la inhibición directa de la actividad de la ATPasa o como efecto secundario; por ejemplo, por reducción de la disponibilidad del ATP (Bouquegneau y Gilles, 1979).

Los niveles relativamente elevados de Cd encontrados en las vísceras de las langostas, pueden estar relacionados con la dieta de estos organismos. Diversos autores han demostrado la importancia del cadmio en los ciclos biogeoquímicos en las aguas de Baja California en análisis efectuados en agua y plancton. (Martin y Broenkow, 1975; Krauer y Martin, 1981); en estos trabajos fue concluido que el microplancton tiene la habilidad de bioacumular al cadmio en grandes cantidades y que se asocia con las surgencias. Considerando los resultados obtenidos aquí, se puede plantear que las relativamente elevadas concentraciones de cadmio en las vísceras de *Panulirus gracilis* están siendo promovidas por factores similares.

5.2 Relaciones interelementales en *Panulirus gracilis*

Un análisis del coeficiente de correlación lineal (r^2) entre parejas de concentraciones de los diferentes metales en *Panulirus gracilis* (Tabla 5), involucrando los cinco grupos de tallas de las hembras y de los machos, revela una correlación significativa ($P < 0.05$) en las parejas Zn-Cu ($r^2=0.97$) y Mn-Cd ($r^2=0.98$) en las gónadas de hembras; Zn-Cd ($r^2=0.82$) y Fe-Zn ($r^2=0.84$) en las gónadas de machos; Cd-Co en la hemolinfa de hembras y machos ($r^2=0.94$, $r^2=0.98$ respectivamente); en la hemolinfa de machos en las parejas Cr-Co ($r^2=0.85$), Cr-Cd ($r^2=0.85$), Zn-Cu ($r^2=0.95$), Mn-Co ($r^2=0.98$) y Mn-Cd ($r^2=0.96$); Fe-Co ($r^2=0.93$), Fe-Cd ($r^2=0.94$), Fe-Cr ($r^2=0.82$) y Fe-Zn ($r^2=0.87$). En las branquias de las

hembras Zn-Co ($r^2=0.96$); Mn-Cr ($r^2=0.91$) y Fe-Cr ($r^2=0.92$). En el exoesqueleto de las hembras Cr-Cu ($r^2=0.95$) y Fe-Mn ($r^2=0.96$). En el músculo de las hembras Fe-Mn ($r^2=0.83$) y en el de los machos Cu-Co ($r^2=0.93$) y Fe-Cd ($r^2=0.92$). En las vísceras de las hembras Cr-Ni ($r^2=0.87$), Mn-Zn ($r^2=0.99$) y Fe-Mn ($r^2=0.92$).

Los pares que se repiten al menos una vez son Zn-Cu, Mn-Cd, Fe-Cd, Fe-Cr y Fe-Mn. Estas correlaciones se han sido señaladas por Mason y SimKiss (1983) como indicativo de rutas bioquímicas similares. Como lo señala Szefer et al. (1994), se le pueden atribuir a las propiedades físico-químicas semejantes de los metales involucrados.

Tabla 5. Correlación de las concentraciones de metales pesados en diferentes tejidos de hembras y machos de *Panulirus gracilis*.

Valor crítico de $R^2=0.707$

Gónadas.

Hembras	[Co]	[Ni]	[Cd]	[Cu]	[Cr]	[Zn]	[Mn]	[Fe]
[Co]	1							
[Ni]	-0.1265	1						
[Cd]	0.0212	0.6772	1					
[Cu]	-0.8044	-0.3242	-0.2653	1				
[Cr]	0.8115	0.3246	0.5255	-0.7117	1			
[Zn]	-0.7473	-0.2749	-0.3474	0.9736	-0.6543	1		
[Mn]	0.0905	0.7755	0.9838	-0.3799	0.5884	-0.4322	1	
[Fe]	-0.3135	0.7431	0.0767	-0.2109	-0.1916	-0.1364	0.2046	1

Machos	[Co]	[Ni]	[Cd]	[Cu]	[Cr]	[Zn]	[Mn]	[Fe]
[Co]	1							
[Ni]	0.3163	1						
[Cd]	-0.6068	0.3874	1					
[Cu]	0.6048	-0.2007	-0.4798	1				
[Cr]	0.2161	0.7759	0.3861	-0.5295	1			
[Zn]	-0.2312	0.3692	0.8241	0.0929	0.1844	1		
[Mn]	0.0893	0.7721	0.3656	0.0739	0.2171	0.4574	1	
[Fe]	0.3263	0.5580	0.4805	0.3931	0.3355	0.8434	0.4969	1

Hemolinfa.

Hembras	[Co]	[Ni]	[Cd]	[Cu]	[Cr]	[Zn]	[Mn]	[Fe]
[Co]	1							
[Ni]	0.4582	1						
[Cd]	0.9444	0.7223	1					
[Cu]	0.0885	0.5605	0.3032	1				
[Cr]	0.1679	-0.2414	0.0202	-0.8802	1			
[Zn]	-0.0722	0.2983	0.0169	-0.5259	0.5846	1		
[Mn]	-0.0370	0.7947	0.2623	0.3363	-0.0148	0.5189	1	
[Fe]	0.3945	-0.0106	0.3065	-0.4442	0.7861	0.1852	0.1489	1

Machos	[Co]	[Ni]	[Cd]	[Cu]	[Cr]	[Zn]	[Mn]	[Fe]
[Co]	1							
[Ni]	0.8030	1						
[Cd]	0.9852	0.7064	1					
[Cu]	0.5349	0.5256	0.5188	1				
[Cr]	0.8564	0.7115	0.8681	0.1807	1			
[Zn]	0.7067	0.6261	0.7124	0.9525	0.4528	1		
[Mn]	0.9800	0.7532	0.9684	0.6560	0.7453	0.7846	1	
[Fe]	0.9399	0.7945	0.9433	0.7063	0.8208	0.8738	0.9358	1

Branquias.

Hembras	[Co]	[Ni]	[Cd]	[Cu]	[Cr]	[Zn]	[Mn]	[Fe]
[Co]	1							
[Ni]	0.7307	1						
[Cd]	-0.5413	-0.8978	1					
[Cu]	0.2033	0.0820	-0.0367	1				
[Cr]	0.4814	-0.0362	0.2381	-0.4669	1			
[Zn]	0.9687	0.7867	-0.5519	0.0218	0.5361	1		
[Mn]	0.3350	-0.0651	0.1035	-0.6838	0.9159	0.3928	1	
[Fe]	0.4192	-0.0644	0.0994	-0.5494	0.9241	0.4369	0.9845	1

Exoesqueleto.

Hembras	[Co]	[Ni]	[Cd]	[Cu]	[Cr]	[Zn]	[Mn]	[Fe]
[Co]	1							
[Ni]	-0.4039	1						
[Cd]	0.4469	0.5143	1					
[Cu]	0.5831	-0.4573	0.4222	1				
[Cr]	0.6672	-0.2278	0.6759	0.9503	1			
[Zn]	0.6618	-0.6872	-0.3023	0.1800	0.0801	1		
[Mn]	-0.0103	0.0533	-0.4283	-0.6932	-0.6904	0.5348	1	
[Fe]	0.1361	-0.1685	-0.4967	-0.5899	-0.6157	0.6835	0.9679	1

Exoesqueleto.

Machos	[Co]	[Ni]	[Cd]	[Cu]	[Cr]	[Zn]	[Mn]	[Fe]
[Co]	1							
[Ni]	0.6010	1						
[Cd]	0.7716	0.2630	1					
[Cu]	0.0648	-0.2363	0.2259	1				
[Cr]	-0.0609	-0.4204	-0.3733	0.4381	1			
[Zn]	0.0211	-0.5285	0.1485	-0.4524	0.0610	1		
[Mn]	0.8160	0.4630	0.6126	-0.4736	-0.2448	0.4648	1	
[Fe]	-0.8054	-0.5158	-0.9565	-0.1629	0.5036	0.0750	-0.609	1

Músculo.

Hembras	[Co]	[Ni]	[Cd]	[Cu]	[Cr]	[Zn]	[Mn]	[Fe]
[Co]	1							
[Ni]	0.1585	1						
[Cd]	0.7880	-0.1787	1					
[Cu]	0.0855	0.3830	0.4336	1				
[Cr]	-0.5006	0.0804	-0.1430	0.4015	1			
[Zn]	0.3402	0.2545	0.4423	0.3468	0.6243	1		
[Mn]	-0.5993	0.5187	-0.7859	-0.1147	0.5564	0.1814	1	
[Fe]	-0.7983	0.4134	-0.6835	0.3019	0.6944	0.0428	0.8301	1

Machos	[Co]	[Ni]	[Cd]	[Cu]	[Cr]	[Zn]	[Mn]	[Fe]
[Co]	1							
[Ni]	0.0162	1						
[Cd]	0.4551	0.0788	1					
[Cu]	0.9296	-0.1598	0.5254	1				
[Cr]	-0.3252	-0.1852	-0.2537	-0.5589	1			
[Zn]	-0.3259	0.1364	-0.3794	-0.0967	-0.7161	1		
[Mn]	0.5037	0.5931	0.1093	0.5236	-0.8117	0.5128	1	
[Fe]	0.6803	0.3138	0.9232	0.6730	-0.3679	-0.338	0.4131	1

Visceras.

Hembras	[Co]	[Ni]	[Cd]	[Cu]	[Cr]	[Zn]	[Mn]	[Fe]
[Co]	1							
[Ni]	0.7167	1						
[Cd]	0.0453	0.6681	1					
[Cu]	0.0693	-0.5147	-0.5189	1				
[Cr]	0.5868	0.8783	0.7705	-0.3808	1			
[Zn]	0.6023	0.4370	0.3597	0.4414	0.6596	1		
[Mn]	0.6656	0.5070	0.3703	0.3716	0.7163	0.9940	1	
[Fe]	0.7028	0.4886	0.2822	0.4801	0.5512	0.9344	0.9238	1

5.3 Análisis de comparación de medias de la concentración de metales pesados por tejido en *P. gracilis*.

Con base en la prueba t-Student de comparación de medias de dos muestras (Miller y Miller, 1988) con $P \leq 0.05$ (Tabla 6), se encontró evidencia de que las concentraciones medias de los siguientes metales analizados en los tejidos de los organismos machos y hembras no son significativamente: **Cobalto** en gónadas ($0.7 \pm 0.2 \mu\text{g/g}$ contra $11.2 \pm 4.2 \mu\text{g/g}$ respectivamente); en hemolinfa ($0.9 \pm 0.4 \mu\text{g/g}$ contra $0.4 \pm 0.03 \mu\text{g/g}$); en branquias ($0.8 \pm 0.09 \mu\text{g/g}$ contra $0.9 \pm 0.3 \mu\text{g/g}$); en exoesqueleto ($13.7 \pm 2.6 \mu\text{g/g}$ contra $4.6 \pm 0.5 \mu\text{g/g}$ respectivamente) y en vísceras ($2.6 \pm 0.5 \mu\text{g/g}$ contra $11.2 \pm 4.3 \mu\text{g/g}$ respectivamente); **niquel** en músculo ($38.1 \pm 6.9 \mu\text{g/g}$ contra $34.1 \pm 4.9 \mu\text{g/g}$ respectivamente); **cadmio** en hemolinfa ($0.5 \pm 0.1 \mu\text{g/g}$ contra $0.3 \pm 0 \mu\text{g/g}$ respectivamente); **cobre** en gónadas ($1331 \pm 904 \mu\text{g/g}$ contra $88.4 \pm 17.0 \mu\text{g/g}$ respectivamente) y en vísceras ($212.0 \pm 35 \mu\text{g/g}$ contra $93.5 \pm 13.3 \mu\text{g/g}$); **romo** en hemolinfa ($0.2 \pm 0.05 \mu\text{g/g}$ contra $0.2 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$ respectivamente); **manganeso** en gónadas ($2.6 \pm 0.2 \mu\text{g/g}$ contra $9.4 \pm 2.2 \mu\text{g/g}$ respectivamente); en hemolinfa ($0.9 \pm 0.2 \mu\text{g/g}$ contra $1.7 \pm 0.7 \mu\text{g/g}$ respectivamente); en hepatopáncreas ($8.9 \pm 2.1 \mu\text{g/g}$ contra $23.3 \pm 8.4 \mu\text{g/g}$ respectivamente); en branquias ($3.7 \pm 0.8 \mu\text{g/g}$ contra $9.5 \pm 4.7 \mu\text{g/g}$, respectivamente) y en exoesqueleto ($21.5 \pm 1.1 \mu\text{g/g}$ contra $17.9 \pm 2.9 \mu\text{g/g}$, respectivamente); mientras que el **hierro** en hepatopáncreas ($109.0 \pm 27.1 \mu\text{g/g}$ contra $28.3 \pm 9.8 \mu\text{g/g}$ respectivamente) y en músculo ($13.1 \pm 5.6 \mu\text{g/g}$ contra $4.9 \pm 1.4 \mu\text{g/g}$, respectivamente) las aparentes semejanzas entre concentraciones promedio de metal y entre órganos probablemente se debe a que los metales estudiados son ligados por proteínas que circulan en la hemolinfa por todos los tejidos.

Tabla 6. Análisis de la comparación de medias de la concentración de metales pesados entre los tejidos de los cinco grupos de tallas en *Panulirus gracilis*.

Metales		Gónadas	Hemolinfa	Hepatopáncreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Visceras
	m	0.7 ± 0.2	0.9 ± 0.4		0.8 ± 0.09	13.7 ± 2.6		2.6 ± 0.5
[Co]					0.9 ± 0.3	4.6 ± 0.5		11.2 ± 4.3
	h	11.2 ± 4.2	0.4 ± 0.03					
	m						2.1 ± 0.6	
[Ni]							1.0 ± 0.1	
	h							
	m		0.5 ± 0.1					
[Cd]								
	h		0.3 ± 0					
	m	1331 ± 904						212 ± 35
[Cu]								
	h	88.4 ± 17						93.5 ± 13.3
	m		0.2 ± 0.05					
[Cr]								
	h		0.2 ± 0.02					
	m	2.6 ± 0.2	0.9 ± 0.2	8.9 ± 2.1	3.7 ± 0.8	21.5 ± 1.1		
[Mn]								
	h	9.4 ± 2.2	1.7 ± 0.7	23.3 ± 8.4	9.5 ± 4.7	17.9 ± 2.9		
	m			109 ± 27.1			13.1 ± 5.6	
[Fe]								
	h			28.3 ± 9.8			4.9 ± 1.4	

5.4 Distribución de los metales en los tejidos de *Panulirus gracilis*

La distribución de las cargas de metales entre los tejidos (entendida como el porcentaje de cada metal respecto al total presente en el organismo) se presenta en la tabla 7 y en la Figs. 2, 3 y 4. A continuación se señalan y se discuten las observaciones más

significativas. Para el caso del **grupo 1h**, (langostas hembras de Lc promedio 59.8 ± 0.1 mm y un peso medio de 220.5 ± 0.3 g) las cargas más elevadas de Co, Ni, Cd, Cr, Mn y Fe se hallan asociados con el exoesqueleto (82.2%, 80.8%, 83.6%, 88.8%, 92.6% y 97.5% respectivamente), mientras que para el Zn las mayores cargas del metal se asocian con el músculo (45.5%), el exoesqueleto (34.5%) y el hepatopáncreas (12.3%). En el Cu se tiene que el principal reservorio del metal viene a ser la hemolinfa (70.6%) y el exoesqueleto (19.4%).

En el caso del **grupo 1m**, (langostas machos de Lc promedio 57.2 ± 2.4 mm y un peso medio de 157.3 ± 21.1 g) las cargas más elevadas de Co, Ni, Cd, Cr, Mn, Zn y Fe se hallan asociados con el exoesqueleto (89.1%, 74.4%, 78.1%, 89.4%, 44.3%, 92.7% y 93.3% respectivamente), mientras que para el Cu las mayores cargas del metal se asocian con hemolinfa (55.8%), el hepatopáncreas (17.9%) y el exoesqueleto (13.1%).

Tabla 7. Distribución de los porcentajes (%) de contenidos de metales pesados en los tejidos de *Panulirus gracilis*.

GRUPO 1 h	Lc= 59.8 ± 0.1			P= 220.5 ± 0.3		n=3		
Metales:	Hemolinfa	Hepatopáncreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Vísceras	Gónadas	
[Co]	1.4	7.8	0.1	82.3	3.6	4.8	0.0	
[Ni]	5.7	2.3	0.4	80.9	9.6	1.2	0.0	
[Cd]	5.0	0.2	3.8	83.6	7.2	0.1	0.1	
[Cu]	70.6	2.5	1.0	19.4	5.7	0.7	0.1	
[Cr]	1.5	0.4	0.1	88.9	8.9	0.2	0.0	
[Zn]	6.9	12.3	0.4	34.5	45.5	0.1	0.3	
[Mn]	2.7	1.5	0.5	92.7	2.5	0.0	0.1	
[Fe]	0.0	0.0	0.2	97.6	1.4	0.7	0.0	

GRUPO 1 m	Lc= 57.2 ± 2.4			P= 157.3 ± 21.1		n=3		
Metales:	Hemolinfa	Hepatopáncreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Vísceras	Gónadas	
[Co]	1.7	2.5	0.1	89.1	6.1	0.4	0.0	
[Ni]	10.6	5.8	0.3	74.5	8.2	0.5	0.1	
[Cd]	5.1	0.2	0.2	78.1	6.3	10.0	0.1	
[Cu]	55.8	17.9	1.7	13.0	8.6	2.1	0.9	
[Cr]	0.6	1.5	0.1	89.4	8.0	0.4	0.0	
[Zn]	4.5	19.3	0.7	44.3	30.8	0.3	0.2	
[Mn]	0.8	4.0	0.6	92.7	1.5	0.3	0.1	
[Fe]	0.5	1.6	2.8	93.3	1.0	0.7	0.1	

GRUPO 2 h	Lc=64.3 ± 4.5			252.5 ± 81.5		n=3	
Metales:	Hemolinfa	Hepatopáncreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Visceras	Gónadas
[Co]	1.1	4.5	0.4	84.3	8.8	0.8	0.1
[Ni]	1.3	3.6	0.2	85.4	8.5	1.0	0.0
[Cd]	1.5	0.1	3.7	73.3	11.2	10.2	0.0
[Cu]	64.8	5.6	1.1	20.1	7.8	0.4	0.1
[Cr]	1.5	1.1	0.6	90.5	5.2	1.1	0.0
[Zn]	9.2	12.4	0.6	13.7	63.7	0.2	0.2
[Mn]	0.5	12.1	2.1	82.6	2.4	0.2	0.1
[Fe]	0.0	1.0	2.3	94.9	1.3	0.5	0.0

GRUPO 2 m	Lc=65.6 ± 3.4			223.8 ± 25.4		n=3	
Metales:	Hemolinfa	Hepatopáncreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Visceras	Gónadas
[Co]	0.2	1.4	0.1	94.0	4.1	0.2	0.0
[Ni]	5.1	1.8	0.2	77.8	14.9	0.3	0.0
[Cd]	1.4	0.2	4.3	87.5	6.5	0.1	0.0
[Cu]	47.9	10.1	2.8	21.4	12.9	4.8	0.0
[Cr]	0.4	0.3	0.1	94.3	3.1	1.7	0.1
[Zn]	1.0	23.0	0.7	12.5	62.2	0.5	0.1
[Mn]	0.2	1.9	0.4	93.6	3.2	0.6	0.0
[Fe]	0.1	6.6	1.0	84.3	7.4	0.7	0.0

GRUPO 3h	Lc=77.5 ± 0.8			420.5 ± 26.2		n=3	
Metales:	Hemolinfa	Hepatopáncreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Visceras	Gónadas
[Co]	0.5	19.6	0.1	56.3	12.1	11.0	0.5
[Ni]	0.4	10.3	0.2	81.7	5.1	1.7	0.6
[Cd]	0.9	1.5	9.1	63.0	16.9	6.0	2.5
[Cu]	14.1	67.6	1.8	10.0	5.3	0.5	0.8
[Cr]	0.7	5.6	0.3	81.5	8.3	2.8	0.8
[Zn]	1.0	30.8	0.5	5.6	59.2	0.2	2.7
[Mn]	0.2	26.0	0.3	67.3	2.5	0.5	3.1
[Fe]	0.1	4.9	0.2	93.0	0.7	0.5	0.6

GRUPO 3m	Lc=74.5 ± 3.0			337.2 ± 31.9		n=3	
metales	Hemolinfa	Hepatopáncreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Visceras	Gónadas
[Co]	0.2	7.0	0.2	82.5	9.1	0.9	0.1
[Ni]	1.0	12.3	0.7	76.0	8.8	0.8	0.4
[Cd]	0.7	1.2	3.2	80.2	13.6	0.2	0.9
[Cu]	25.4	26.6	2.4	16.3	12.1	3.6	13.4
[Cr]	0.0	1.3	0.1	94.5	2.4	1.5	0.2
[Zn]	1.2	43.2	0.6	4.0	49.7	0.2	1.1
[Mn]	0.2	3.5	0.4	84.6	3.8	6.7	0.7
[Fe]	0.1	6.3	0.5	83.9	4.0	5.0	0.3

GRUPO 4 h		Lc=85.3 ± 3.7		527.7 ± 66.7		n=3	
Metales:	Hemolinfa	Hepatopáncreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Vísceras	Gónadas
[Co]	0.2	5.2	0.7	87.4	6.3	0.1	0.2
[Ni]	0.5	1.9	0.6	91.8	4.7	0.0	0.4
[Cd]	0.6	0.2	2.0	82.7	13.2	0.1	1.2
[Cu]	17.4	24.6	3.6	40.8	10.3	1.6	1.8
[Cr]	0.1	0.2	0.1	97.7	1.8	0.1	0.1
[Zn]	0.6	21.2	1.0	20.8	53.2	0.2	3.1
[Mn]	0.0	6.4	0.5	86.3	2.7	0.1	4.1
[Fe]	0.0	2.5	0.9	93.7	1.7	0.0	1.3

GRUPO 4 m		Lc=85.6 ± 1.4		448.6 ± 40.7		n=3	
Metales:	Hemolinfa	Hepatopáncreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Vísceras	Gónadas
[Co]	0.2	6.7	0.1	75.2	17.1	0.1	0.6
[Ni]	0.3	2.2	0.1	84.0	13.0	0.1	0.3
[Cd]	0.7	0.2	1.6	73.8	23.5	0.0	0.1
[Cu]	10.0	12.2	0.6	6.3	8.1	0.5	62.2
[Cr]	0.7	1.8	0.3	77.2	17.1	1.9	1.1
[Zn]	1.6	30.2	0.4	11.4	53.0	1.2	2.2
[Mn]	0.1	6.2	0.2	88.7	4.1	0.0	0.7
[Fe]	0.1	4.1	0.2	86.9	8.2	0.1	0.5

GRUPO 5 h		Lc=90.3 ± 0.6		558.9 ± 53.2			
Metales:	Hemolinfa	Hepatopáncreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Vísceras	Gónadas
[Co]	0.2	8.7	0.3	80.3	3.6	6.8	0.1
[Ni]	0.5	4.5	0.5	84.1	7.6	2.2	0.6
[Cd]	0.6	0.2	6.4	73.2	10.3	8.8	0.5
[Cu]	14.2	37.6	3.1	30.7	11.1	1.6	1.7
[Cr]	0.2	0.5	0.3	90.2	7.2	1.4	0.2
[Zn]	1.3	17.4	0.6	34.4	42.7	1.1	2.4
[Mn]	0.2	4.6	0.6	88.1	2.0	3.6	0.9
[Fe]	0.0	0.3	0.3	95.4	1.2	2.3	0.5

GRUPO 5 m	Lc=93.5 ± 2.2			608.8 ± 55.5			
Metales:	Hemolinfa	Hepatopáncreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Visceras	Gónadas
[Co]	0.3	3.8	0.1	81.4	13.8	0.4	0.2
[Ni]	0.4	5.9	0.2	83.6	9.3	0.5	0.2
[Cd]	1.0	0.3	0.4	87.9	5.6	4.1	0.8
[Cu]	23.6	22.1	1.5	20.3	17.1	0.6	14.9
[Cr]	0.1	0.1	0.0	98.2	1.3	0.2	0.1
[Zn]	1.4	23.1	0.5	12.7	60.3	0.6	1.5
[Mn]	0.2	4.3	0.1	89.8	4.6	0.5	0.5
[Fe]	0.1	3.8	0.1	94.1	1.1	0.8	0.1

En el caso del **grupo 2h** (langostas hembras de Lc promedio 64.3 ± 4.5 mm y peso medio de 252.5 ± 81.5 g), se tiene que las cargas más elevadas de Co, Ni, Cd, Cr, Mn y Fe son asociadas con el exoesqueleto (84.3%, 85.4%, 73.3%, 90.9%, 82.6% y 94.9% respectivamente), mientras que para el Zn las mayores cargas del metal se asocian con el músculo (63.7%), el exoesqueleto (13.6%) y el hepatopáncreas (12.3%). En el caso del Cu se tiene que el principal reservorio del metal viene a ser la hemolinfa (64.8%) y el exoesqueleto (20.1%).

En el caso del **grupo 2m** (langostas machos de Lc promedio 65.6 ± 3.4 mm y peso medio de 223.8 ± 25.4 g), se tiene que las cargas más elevadas de Co, Ni, Cd, Cr, Mn y Fe se hallan asociados con el exoesqueleto (94%, 77.7%, 87.5%, 94.3%, 93.6% y 84.2% respectivamente), mientras que para el Zn las mayores cargas del metal se asocian con el músculo (62.2%), el hepatopáncreas (22.9%) y el exoesqueleto (12.5%). En el Cu se tiene que el principal reservorio del metal viene a ser la hemolinfa (47.9%) y el exoesqueleto (21.4%).

En el caso del **grupo 3h** (langostas hembras de Lc promedio 77.5 ± 0.8 mm y peso medio de 420.5 ± 26.2 g), se tiene que las cargas más elevadas de Co, Ni, Cd, Cr, Mn y Fe se hallan asociados con el exoesqueleto (56.3%, 81.7%, 63.0%, 81.5%, 67.3% y 93.0% respectivamente), mientras que para el Zn las mayores cargas del metal se asocian con el músculo (59.2%), el hepatopáncreas (30.8%) y el exoesqueleto (5.6%). En el Cu se tiene que el principal reservorio del metal viene a ser el hepatopáncreas (67.6%) y la hemolinfa (14.1%).

En el caso del **grupo 3m** (langostas machos de Lc promedio 74.5 ± 3.0 mm y peso medio de 337.2 ± 31.9 g), se tiene que las cargas más elevadas de Co, Ni, Cd, Cr, Mn y Fe se hallan asociados con el exoesqueleto (82.5%, 76.0%, 80.2%, 94.5%, 84.6% y 83.9% respectivamente), mientras que para el Zn las mayores cargas del metal se asocian con el músculo (49.7%), el hepatopáncreas (43.2%). En el Cu se tiene que el principal reservorio del metal viene a ser el hepatopáncreas (26.6%) y la hemolinfa (25.4%).

En el caso del **grupo 4h** (langostas hembras de Lc promedio 85.3 ± 3.7 mm y peso promedio de 527.7 ± 66.7 g) se tiene que las cargas más elevadas de Co, Ni, Cd, Cu, Cr, Mn y Fe se hallan asociados con el exoesqueleto (87.4%, 91.7%, 82.6%, 40.7% 97.6%, 86.2% y 93.7% respectivamente), mientras que para el Zn las mayores cargas del metal se asocian con el músculo (53.2%), el hepatopáncreas (21.1%) y el exoesqueleto (20.7%).

En el caso del **grupo 4m** (langostas machos de Lc promedio 85.6 ± 1.4 mm y peso medio de 448.6 ± 40.7 g), se tiene que las cargas más elevadas de Co, Ni, Cd, Cr, Mn y Fe se hallan asociados con el exoesqueleto (75.2%, 83.9%, 73.8%, 77.2%, 88.7% y 86.9% respectivamente), mientras que para el Zn las mayores cargas del metal se asocian con el músculo (52.9%), el hepatopáncreas (30.2%) y el exoesqueleto (11.3%). En el Cu se tiene que el principal reservorio del metal vienen a ser las gónadas (62.2%) y el hepatopáncreas (12.2%).

En el caso del **grupo 5h** (langostas hembras de Lc promedio 90.3 ± 0.6 mm y peso medio de 558.9 ± 53.2 g), se tiene que las cargas más elevadas de Co, Ni, Cd, Cr, Mn y Fe se hallan asociados con el exoesqueleto (80.2%, 84.0%, 73.1%, 90.2%, 88.0% y 95.3% respectivamente), mientras que para el Zn las mayores cargas del metal se asocian con el músculo (42.7%), el exoesqueleto (34.3%) y el hepatopáncreas (17.4%). En el Cu se tiene que el mayor porcentaje del metal lo concentra el hepatopáncreas (37.6%) y el exoesqueleto (30.7%).

En el caso del **grupo 5m** (langostas machos de Lc promedio 93.5 ± 2.2 mm y peso medio de 608.8 ± 55.5 g), se tiene que las cargas más elevadas de Co, Ni, Cd, Cr, Mn y Fe se hallan asociados con el exoesqueleto (81.4%, 83.5%, 87.8%, 98.2%, 89.8% y 94.1% respectivamente), mientras que para el Zn las mayores cargas del metal se asocian con el músculo (60.2%), el hepatopáncreas (23.0%) y el exoesqueleto (12.6%). En el Cu se tiene que los porcentajes se reparten muy parejo entre hemolinfa (23.5%), hepatopáncreas (22.0%) y exoesqueleto (20.2%).

Deplegue (1989 a,b) puntualizó que considerar la concentración de un tejido aislado o por sí sólo, no es suficiente para tener un panorama de los sitios de mayor acumulación del metal, sino que es indispensable tomar una medida de la proporción relativa que cada tejido representa en el organismo completo. Tomando en cuenta esta consideración se obtuvo la partición de las cargas de los metales entre los tejidos utilizando los resultados de la proporción relativa de los tejidos (Tabla 2). En todos los casos analizados (Figs 2, 3 y 4), el exoesqueleto es el que contiene las más altas proporciones de seis de los metales analizados (Co, Ni, Cd, Cr, Mn y Fe). En cambio la hemolinfa en los organismos pequeños, contiene las más altas proporciones de Cu. Mientras que el músculo parece ser el mayor almacenador de Zn en todos los casos. Esta última observación coincide con la obtenida en la langosta *Panulirus inflatus* (Páez-Osuna et al., 1995), los camarones *Farfantepenaeus californiensis* (Páez-Osuna y Trón-Mayen 1995) y *Litopenaeus vannamei* (Páez-Osuna y Trón-Mayen 1996).

5.5 Concentración de metales pesados en *Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostris*

Se evaluó la concentración de ocho metales en los tejidos de hembras y machos de los camarones *Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostris* de tallas comerciales (organismos adultos de talla uniforme). En todos los tejidos analizados, el Cu, Zn y Fe

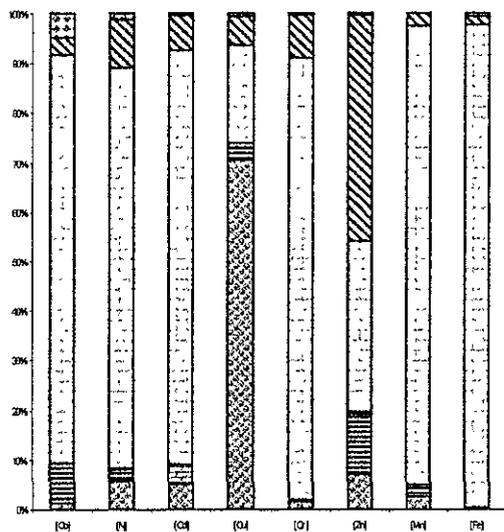
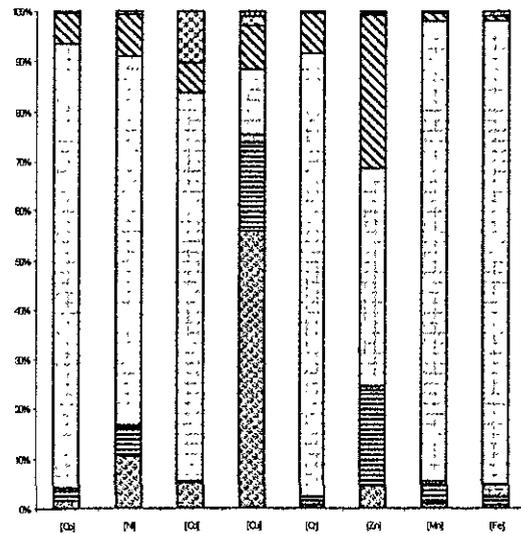
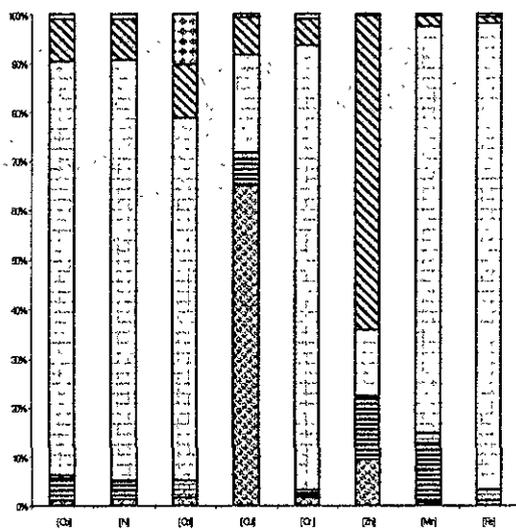
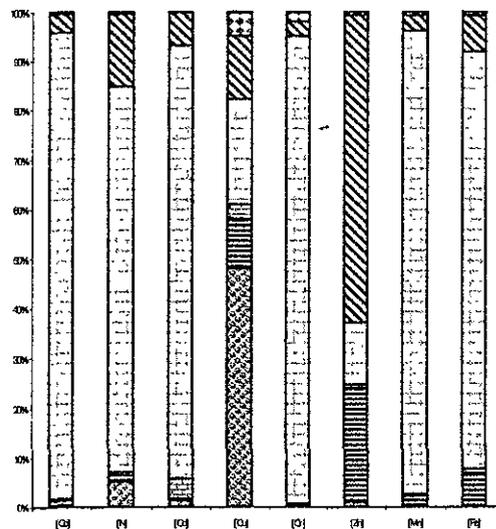
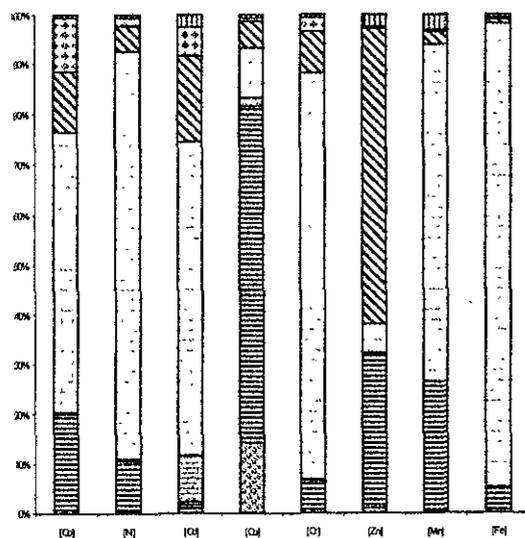
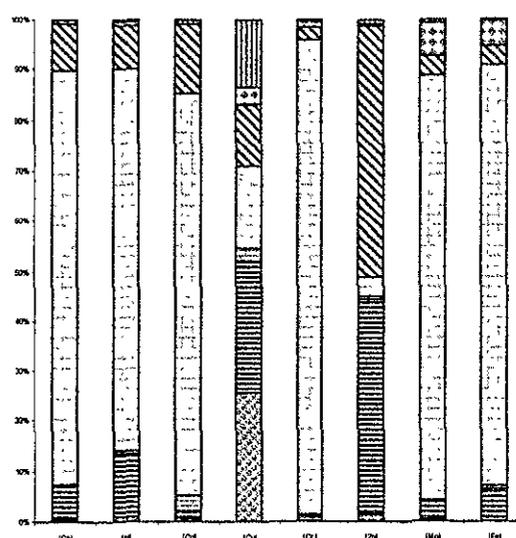
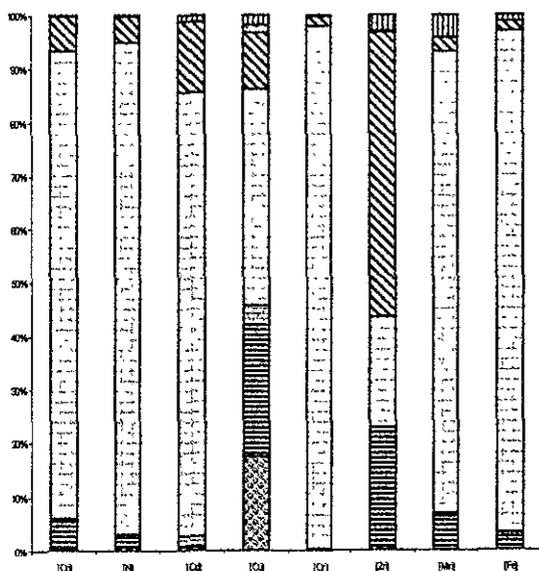
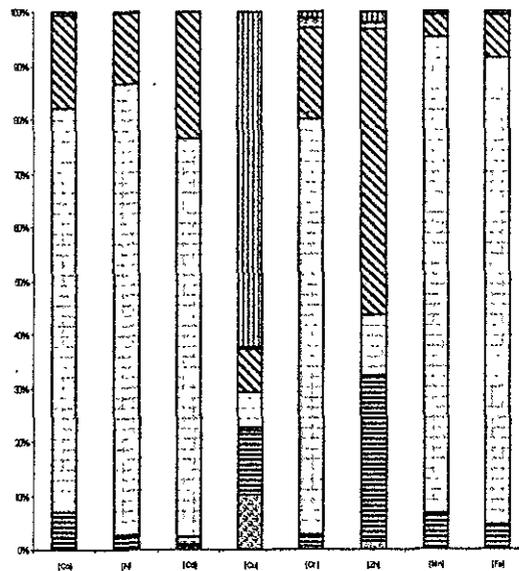
A1. Grupo 1 m ($L_c=57.2 \pm 2.4$ mm)A2. Grupo 1 h ($L_c=59.8 \pm 0.1$ mm)B1. Grupo 2 m ($L_c=65.6 \pm 3.4$ mm)B2. Grupo 2 h ($L_c=64.3 \pm 4.5$ mm)

Fig. 2. Distribución de las cargas de cada uno de los metales por tejidos en los diferentes grupos de tallas en *Panulirus gracilis*.

C1. Grupo 3 m ($L_c=74.5 \pm 3.0$ mm)C2. Grupo 3 h ($L_c=77.5 \pm 0.8$ mm)D1. Grupo 4 m ($L_c=85.6 \pm 1.4$ mm)D2. Grupo 4 h ($L_c=85.3 \pm 3.7$ mm)

Hemolinfa
 Hepatopáncreas
 Branquias
 Exoesqueleto
 Músculo
 Visceras
 Gónadas

Fig. 3. Distribución de las cargas de cada uno de los metales por tejidos en los diferentes grupos de tallas en *Panulirus gracilis*.

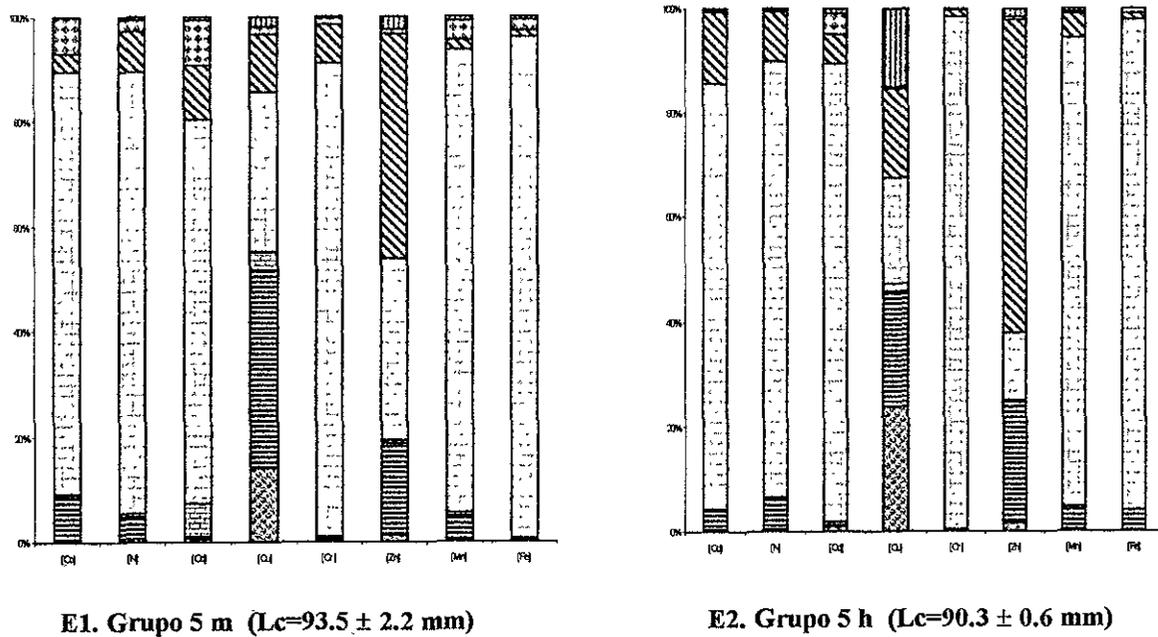


Fig. 4. Distribución de las cargas de cada uno de los metales por tejidos en los diferentes grupos de tallas en *Panulirus gracilis*.

fueron los elementos que presentaron las concentraciones más elevadas, aunque el Mn con respecto al Zn en las branquias de los machos de *L. vannamei* tuvo mayores niveles. Los metales Ni, Mn y Co varían en su concentración según el tejido y el sexo mientras que Cr y Cd son los que se encontraron en menor concentración (tabla 8).

Cobre. El máximo de concentración de Cu (373 $\mu\text{g/g}$) fue medido en el hepatopáncreas en machos de *L. stylirostris* (Lt media de 196.6 ± 11.0 mm), y el valor mínimo (16.8 $\mu\text{g/g}$) se presentó en el músculo de hembras de *L. vannamei* (Lt media de 176.4 ± 14.1 mm), (Tabla 8). Estos valores son superiores (en un 10-50 %) a los presentados en otros estudios de crustáceos (Bryan, 1968; Szefer et al., 1990; Darmono y Denton, 1990; Peerzada et al., 1992; Canli y Furness 1993), donde el hepatopáncreas fue analizado separadamente, encontrándole concentraciones de cobre menores a las del presente estudio.

Los niveles de cobre varían ampliamente entre especies de crustáceos (Eisler, 1981) y generalmente este metal se encuentra en la hemocianina (Bryan, 1968); presente en grandes cantidades en el hepatopáncreas. En branquias el nivel más alto de cobre medido fue de 191 $\mu\text{g/g}$ en los machos de *L. vannamei* (Lt media de 171.5 ± 10.0 mm), (Tabla 8) y el valor mínimo de 112 $\mu\text{g/g}$ en los machos de *L. stylirostris* (Lc media de 196.6 ± 11.0 mm), similar a los valores obtenidos por Paez-Osuna y Tron-Mayen (1996). En exoesqueleto los valores de cobre estuvieron siempre por abajo de los 50 $\mu\text{g/g}$ en las hembras y machos de las dos especies. Altos niveles de Cu en branquias y hepatopáncreas, y correspondientemente bajos niveles en exoesqueleto, indican que el organismo acumula el elemento a partir del agua, primeramente a través de los filamentos branquiales (Dorband et al., 1976). Frenet y Alliot (1985) y Depledge et al. (1993) encontraron al igual que aquí, altas concentraciones de cobre en las branquias de *Palaemonetes varians* y *Dorippe granulata* y los valores más bajos en exoesqueleto. Aunque en otros crustáceos Bryan (1968), Szefer et al. (1990), Darmono y Denton (1990), y Canli y Furness (1993) encontraron que el hepatopáncreas exhibe los más altos niveles de cobre, lo cual parece ser el caso de *L. vannamei* y *L. stylirostris* en este estudio. En gónadas el valor más alto de cobre fue de 83.3 $\mu\text{g/g}$, medido en las gónadas de las hembras de *L. stylirostris* (Lt media de 191.4 ± 9.1 mm) y el mínimo fue de 39.1 $\mu\text{g/g}$ en las gónadas de los machos de *L. vannamei* (Lt media de 171.5 ± 10.0

mm) siendo similares a los valores encontrados por Páez-Osuna et al. (1995) en un estudio sobre la concentración de metales en la langosta *Panulirus inflatus* de la costa del Pacífico mexicano.

Zinc. El máximo de concentración de Zn, 385 $\mu\text{g/g}$ fue medido en los apéndices de los machos de *L. stylirostris* (Lt media de 196.6 ± 11.0 mm) y el mínimo (23.8 $\mu\text{g/g}$) en las branquias de estos mismos organismos (Tabla 8).

Tabla 8. Concentración de metales pesados en los diferentes tejidos de *Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostris* ($\mu\text{g/g}$).

Litopenaeus vannamei

Machos	Lt=171.5 ± 10.0		P = 42.3 \pm 7.3		n=70			
Metales:	Pedúnculo	Hepatopancreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Vísceras	Gónadas	Apéndices
[Co]	1.2	3.9	2.6	12.6	0.6	21.7	0.6	0.7
[Ni]	2.4	4.0	1.5	5.4	1.3	26.9	2.3	2.4
[Cd]	0.8	0.1	1.0	1.0	0.2	6.2	0.7	1.5
[Cu]	72.4	155.0	191.0	36.8	18.9	240.0	39.1	52.9
[Cr]	0.9	0.2	0.3	2.7	0.2	7.0	0.4	1.0
[Zn]	61.7	97.6	30.3	52.0	70.7	132.7	52.7	259.0
[Mn]	5.3	5.9	36.6	9.7	0.8	4.1	3.3	5.1
[Fe]	83.9	267.0	377.0	109.0	11.1	626.0	123.0	910.0

Hembras	Lt=176.4 \pm 14.1		P= 46.65 \pm 11.4		n=70			
Metales:	Pedúnculo	Hepatopancreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Vísceras	Gónadas	Apéndices
[Co]	1.8	4.7	0.6	0.1	0.8	12.3	0.1	1.4
[Ni]	3.1	5.2	3.0	7.9	1.5	22.6	1.6	1.9
[Cd]	0.9	0.1	1.4	1.7	0.2	8.8	2.5	1.1
[Cu]	89.2	349.0	117.0	38.7	16.8	152.0	78.3	42.4
[Cr]	0.8	1.1	0.9	4.3	0.2	6.7	0.6	1.1
[Zn]	57.9	249.0	28.9	32.4	72.4	146.0	207.0	230.8
[Mn]	5.4	18.3	18.9	10.3	1.2	4.5	7.8	5.8
[Fe]	82.8	153.0	1294.0	61.2	22.9	748.0	144.0	8367.0

Litopenaeus stylirostris

Machos	Lt=196.6 ± 11.0		P= 63.7 ± 12.2		n=70			
Metales:	Pedúnculo	Hepatopancreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Visceras	Gónadas	Apéndices
[Co]	2.1	5.1	1.2	7.5	1.0	7.1	0.4	1.5
[Ni]	3.5	5.2	2.6	4.7	1.3	6.1	3.6	1.9
[Cd]	0.1	0.1	1.0	0.7	0.1	6.4	2.7	1.3
[Cu]	48.3	373.0	112.0	49.1	20.4	131.0	55.3	33.6
[Cr]	1.6	0.4	1.0	2.0	0.2	3.0	0.2	0.6
[Zn]	195.0	144.0	23.8	38.4	72.8	136.0	56.0	385.3
[Mn]	1.4	8.2	15.7	9.2	1.6	1.6	10.5	2.9
[Fe]	545.0	262.0	882.0	58.2	9.6	96.4	250.0	350.0

Hembras	Lt=191.4 ± 9.1		P= 66.0 ± 9.2		n=70			
Metales:	Pedúnculo	Hepatopancreas	Branquias	Exoesqueleto	Músculo	Visceras	Gónadas	Apéndices
[Co]	1.3	5.8	1.2	9.8	0.9	5.8	0.8	1.5
[Ni]	4.1	10.3	2.0	6.2	1.0	5.5	1.8	3.9
[Cd]	1.1	0.1	1.0	1.2	0.2	6.5	6.0	0.7
[Cu]	50.8	65.4	112.0	40.5	21.2	127.0	83.3	41.9
[Cr]	0.6	1.1	1.3	2.0	0.2	4.1	0.3	0.9
[Zn]	93.8	201.4	29.9	27.1	77.3	124.0	223.0	202.0
[Mn]	5.1	11.8	27.8	10.5	0.4	1.6	3.6	3.5
[Fe]	97.9	287.0	926.0	176.0	21.1	730.0	55.7	781.0

Páez-Osuna et al. (1995) encontraron concentraciones más altas de zinc en las vísceras que las encontradas en el presente trabajo, mientras que en el músculo son muy similares las concentraciones ya que en los camarones Peneidos objeto de este estudio, el valor mas alto fue de 77.3 µg/g en hembras de *L. stylirostris* (Lt media 191.4 ± 9.1 mm), Estos resultados concuerdan en general con los encontrados en *Palaeomon varians* (Frenet y Alliot, 1985), *Dorippe granulata* (Depledge et al., 1993), en la langosta *Nephrops norvegicus* (Canli y Furness, 1993), camarón del género *Penaeus* (Horowitz y Presley, 1977) y en juveniles de *L. vannamei* (Páez-Osuna y Trón-Mayen, 1996). La concentración más alta de Zn en hepatopáncreas fue de 249 µg/g en hembras de *L. vannamei* (Lt media 176.4 ± 14.1 mm) y la mínima fue de 97.6 µg/g en los machos de la misma especie. Las concentraciones relativamente más altas en hepatopáncreas puede deberse al papel que el Zn juega como un activador de numerosas enzimas presentes en el hepatopáncreas y en la

glándula digestiva de los crustáceos (Bryan, 1968). De acuerdo a Pequegnat et al. (1969) la acumulación de zinc no esta 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 zinc enzimáticamente enlazado. En términos generales, antes que el hepatopáncreas, los apéndices fueron los sitios con concentraciones más elevadas de zinc en los organismos *Litopenaeus* del presente estudio.

Hierro. Las concentraciones más altas de Fe, 8367 $\mu\text{g/g}$ fueron medidas en los apéndices de hembras de *L. vannamei* (Lt media de 176.4 ± 14.1 mm), seguidas por las branquias y las vísceras, siendo el mínimo de 9.64 $\mu\text{g/g}$ en músculo de los machos de *L. stylirostris* (Lt media 196.6 ± 11.0 mm) (Tabla 8). Las concentraciones elevadas de hierro encontradas en apéndices y en branquias podrían deberse a la presencia de material particulado, el cual es adsorbido más rápidamente sobre las branquias que con la velocidad que el metal se metaboliza por la actividad biológica (Szefer et al., 1990).

Niveles altos de hierro, pero menores a los encontrados en este trabajo, han sido presentados previamente para *Panulirus inflatus* (Páez-Osuna et al. 1995), *Cancer irroratus* (Martín, 1974), *Scylla serrata* (Depledge et al., 1986) y en juveniles de *L. vannamei* (Páez-Osuna y Trón-Mayen, 1996).

Niquel, manganeso y cobalto. Se encontraron variaciones de estos tres metales en todos los tejidos y grupos de tallas. El máximo de concentración de Ni, 26.9 $\mu\text{g/g}$ fue medido en las vísceras de los machos de *L. vannamei* (Lt media de 171.5 ± 10.0 mm), y el mínimo 1.05 $\mu\text{g/g}$ en el músculo de hembras de *L. stylirostris* (Lt media 191.4 ± 9.1 mm), el hepatopáncreas, el exoesqueleto y las vísceras presentan concentraciones arriba de los demás tejidos analizados. Estos resultados son similares a los obtenidos por Horowitz y Presley (1977) en el camarón *Litopenaeus sp.*, Szefer et al. (1990) en *Mesidothea entomon* y Páez-Osuna et al. (1995) en *P. inflatus*. En cuanto al Mn, las concentraciones más altas fueron de 36.6 $\mu\text{g/g}$ medidas en las branquias de los machos de *L. vannamei* (Lt media 171.5 ± 10.0 mm), seguido por el hepatopáncreas, el exoesqueleto y las gónadas. El valor mínimo fue de 0.42 $\mu\text{g/g}$ en músculo de las hembras de *L. stylirostris* (Lt media 191.4 ± 9.1

mm). En general las concentraciones de manganeso son más altas en los tejidos calcificados y bajas en los tejidos comestibles de los crustáceos (Eisler 1981), lo que se confirma con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Con respecto al cobalto el máximo de concentración fue de 21.7 $\mu\text{g/g}$ medido en las vísceras de los machos de *L. vannamei* (Lt media de 171.5 \pm 10.0 mm), y el mínimo 0.09 $\mu\text{g/g}$ en las gónadas de las hembras de *L. vannamei* (Lt media 176.4 \pm 14.1 mm), el exoesqueleto, las vísceras y el hepatopáncreas presentaron concentraciones por arriba de los otros tejidos analizados, con la excepción en el exoesqueleto de las hembras de *L. vannamei* (Lt media 176.4 \pm 14.1 mm). Estos valores son comparables con los dados en camarón por Bertine y Goldberg, (1972); Eisler, (1981); Páez-Osuna y Ruíz-Fernández, (1995 a,b); y en la langosta *P. inflatus* por Páez-Osuna et al., (1995).

Cromo y cadmio Se encontraron variaciones de estos dos metales en todos los tejidos y grupos de tallas. La concentración máxima de Cr (7.04 $\mu\text{g/g}$) fue medida en las vísceras de los machos de *L. vannamei* (Lt media de 171.5 \pm 10.0 mm), y el mínimo 0.2 $\mu\text{g/g}$ en el músculo de hembras y machos de las dos especies. En el camarón *Litopenaeus sp*, Horowitz y Presley (1977) encontraron altos niveles de cromo en músculo, exoesqueleto y vísceras. Páez-Osuna et al. (1995) encontraron concentraciones de cromo en músculo de *P. inflatus* semejantes a las observadas en el presente estudio con *L. vannamei* y *L. stylirostris*.

En lo que respecta a cadmio las concentraciones más altas medidas fueron de 8.82 $\mu\text{g/g}$ en las vísceras de hembras de *L. vannamei* (Lt media de 176.4 \pm 14.1 mm), y el mínimo 0.05 $\mu\text{g/g}$ en el hepatopáncreas de hembras y machos de las dos especies. Estos resultados difieren de los informados por Eisler (1981) donde el hepatopáncreas regularmente registró los más altos niveles. Sin embargo coincide con Páez-Osuna et al., (1995) en que las concentraciones de cadmio en *P. inflatus* son varias veces mas bajos que los niveles observados en la langosta *H. americanus* cultivado en efluentes termales (Dorband et al., 1976), o en la jaiba béntica *Dorippe granulata* del puerto de Tolo, Hong Kong, que fue considerada contaminada por cadmio y otros productos químicos (Wu, 1988).

Al igual que en la langosta *Panulirus gracilis* discutido previamente, este enriquecimiento en las vísceras puede explicarse relacionándolo con el fenómeno de surgencias y el microplácton en los cuales se ha evidenciado una elevada concentración de este elemento (Knauer y Martín, 1981); Martín y Broenkow, (1975).

5.6 Relaciones interelementales en *Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostris*

Un análisis del coeficiente de correlación lineal (r^2) entre parejas de concentraciones de los diferentes metales en hembras y machos *Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostris* (Tabla 9), revela una correlación significativa ($P < 0.05$) en las parejas Cu-Cd ($r^2=0.80$), Zn-Cu ($r^2=0.95$), Fe-Ni ($r^2=0.83$) y Fe-Mn ($r^2=0.88$) en las gónadas. Fe-Co ($r^2=0.80$), Zn-Cr ($r^2=0.86$), Mn-Cd ($r^2=0.94$), Fe-Co ($r^2=0.80$), Fe-Cr ($r^2=0.94$) y Fe-Zn ($r^2=0.97$) en pedúnculo. En el hepatopáncreas en las parejas Ni-Co ($r^2=0.86$), Zn-Cr ($r^2=0.94$), Mn-Cr ($r^2=0.87$) y Mn-Zn ($r^2=0.97$). En las branquias Cu-Co ($r^2=0.92$); Mn-Co ($r^2=0.84$) y Mn-Cu ($r^2=0.83$). En las vísceras las parejas Ni-Co ($r^2=0.91$), Cu-Co ($r^2=0.98$), Cu-Ni ($r^2=0.83$), Cr-Co ($r^2=0.83$), Cr-Ni ($r^2=0.96$), Mn-Ni ($r^2=0.96$) y Mn-Cr ($r^2=0.96$). En los apéndices la pareja Mn-Cr ($r^2=0.96$). Las parejas de concentraciones de los diferentes metales que se repiten al menos una vez son: Fe-Co, Zn-Cr, Mn-Cr y Cu-Co. Estas correlaciones, como se indicó previamente, han sido señaladas por Mason y SimKiss (1983); son indicativas de rutas bioquímicas similares, y también, como lo señala Szefer et al. (1994), se podrían atribuir a las propiedades físico-químicas semejantes de los metales involucrados.

Tabla 9. Correlaciones entre las concentraciones de metales pesados en diferentes tejidos de hembras y machos de *Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostris*.

$$r^2 = 0.7071$$

Pedúnculo

	[Co]	[Ni]	[Cd]	[Cu]	[Cr]	[Zn]	[Mn]	[Fe]
[Co]	1.0000							
[Ni]	0.2053	1.0000						
[Cd]	-0.8113	0.0691	1.0000					
[Cu]	-0.7721	-0.2668	0.9332	1.0000				
[Cr]	0.7666	-0.0793	-0.9971	-0.9374	1.0000			
[Zn]	0.7227	0.4181	-0.8576	-0.9851	0.8644	1.0000		
[Mn]	-0.7841	-0.2388	0.9449	0.9994	-0.9480	-0.9787	1.0000	
[Fe]	0.8058	0.2369	-0.9492	-0.9980	0.9496	0.9750	-0.9994	1.0000

Gónadas

	[Co]	[Ni]	[Cd]	[Cu]	[Cr]	[Zn]	[Mn]	[Fe]
[Co]	1.0000							
[Ni]	0.0163	1.0000						
[Cd]	0.4505	-0.2567	1.0000					
[Cu]	-0.0911	-0.5653	0.8079	1.0000				
[Cr]	-0.6044	-0.7780	-0.2492	0.3152	1.0000			
[Zn]	-0.0408	-0.7905	0.7120	0.9514	0.5025	1.0000		
[Mn]	-0.6805	0.6093	-0.1381	0.0320	-0.1476	-0.2239	1.0000	
[Fe]	-0.5313	0.8384	-0.4601	-0.4265	-0.3305	-0.6454	0.8886	1.0000

Hepatopáncreas

	[Co]	[Ni]	[Cd]	[Cu]	[Cr]	[Zn]	[Mn]	[Fe]
[Co]	1.0000							
[Ni]	0.8652	1.0000						
[Cd]			1.0000					
[Cu]	-0.1640	-0.6129		1.0000				
[Cr]	0.6330	0.6696		-0.1104	1.0000			
[Zn]	0.4989	0.4208		0.2000	0.9473	1.0000		
[Mn]	0.2893	0.2214		0.2951	0.8714	0.9734	1.0000	
[Fe]	0.2583	0.3889		-0.6261	-0.4237	-0.6650	-0.8119	1.0000

Branquias

	[Co]	[Ni]	[Cd]	[Cu]	[Cr]	[Zn]	[Mn]	[Fe]
[Co]	1.0000							
[Ni]	-0.9232	1.0000						
[Cd]	-0.5268	0.6125	1.0000					
[Cu]	0.9256	-0.7880	-0.1670	1.0000				
[Cr]	-0.7356	0.4766	-0.1193	-0.9154	1.0000			
[Zn]	0.3242	-0.5024	0.2708	0.4725	-0.2941	1.0000		
[Mn]	0.8398	-0.9289	-0.2855	0.8318	-0.5637	0.7718	1.0000	
[Fe]	-0.9832	0.9229	0.6705	-0.8434	0.6267	-0.1998	-0.7760	1.0000

Exoesqueleto

	[Co]	[Ni]	[Cd]	[Cu]	[Cr]	[Zn]	[Mn]	[Fe]
[Co]	1.0000							
[Ni]	-0.7417	1.0000						
[Cd]	-0.6965	0.9969	1.0000					
[Cu]	-0.0693	-0.5674	-0.6296	1.0000				
[Cr]	-0.7734	0.8415	0.8469	-0.5016	1.0000			
[Zn]	0.5074	-0.4830	-0.4290	-0.2097	-0.0390	1.0000		
[Mn]	-0.2545	0.7599	0.7664	-0.5943	0.3114	-0.6526	1.0000	
[Fe]	0.5787	-0.0361	-0.0090	-0.3659	-0.4926	-0.2798	0.6117	1.0000

Músculo

	[Co]	[Ni]	[Cd]	[Cu]	[Cr]	[Zn]	[Mn]	[Fe]
[Co]	1.0000							
[Ni]	-0.4597	1.0000						
[Cd]	-0.7934	0.7055	1.0000					
[Cu]	0.5032	-0.9420	-0.8604	1.0000				
[Cr]					1.0000			
[Zn]	0.6279	-0.8102	-0.4823	0.6195		1.0000		
[Mn]	0.3211	0.5626	-0.1876	-0.3129		-0.5271	1.0000	
[Fe]	0.1172	0.0108	0.4029	-0.3222		0.5366	-0.4066	1

Vísceras

	[Co]	[Ni]	[Cd]	[Cu]	[Cr]	[Zn]	[Mn]	[Fe]
[Co]	1.0000							
[Ni]	0.9196	1.0000						
[Cd]	-0.0602	0.3357	1.0000					
[Cu]	0.9817	0.8311	-0.2446	1.0000				
[Cr]	0.8344	0.9635	0.4287	0.7414	1.0000			
[Zn]	0.2274	0.5110	0.7970	0.0494	0.4337	1.0000		
[Mn]	0.7841	0.9649	0.5701	0.6570	0.9652	0.6524	1.0000	
[Fe]	0.2861	0.4632	0.4268	0.2343	0.6824	-0.0296	0.5440	1.0000

5.7 Distribución de las concentraciones de metales pesados en los tejidos de *Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostris*.

Se evaluó la concentración y el porcentaje de los ocho metales en los tejidos de hembras y machos de los camarones *Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostris* de tallas comerciales. En el caso de *L. vannamei* (camarones machos de Lt media de 171.5 ± 10.0 mm) y peso húmedo promedio de 42.3 ± 7.3 g), (tabla 10), se observa que los porcentajes más elevados de Co, Ni, Cr y Mn se hallan asociados con el exoesqueleto (70.5%, 35.6%, 57.2% y 41.6% respectivamente), mientras que para el Cd los mayores porcentajes del metal se asocian a los apéndices (34.3%), el exoesqueleto (29.4%) y el músculo (23.7%). Mientras que para el Zn los mayores porcentajes del metal se asocian con el músculo (46.4%) y los apéndices (35.1%). En el Cu se tiene que los porcentajes mas altos se encuentran en el músculo (29.2%) y hepatopáncreas (25.0%). En el Fe se tiene sorprendentemente que el principal reservorio del metal vienen a ser los apéndices (68.3%).

En el caso de las hembras de la misma especie (Lt media de 176.4 ± 14.1 mm y peso húmedo promedio de 46.6 ± 11.4 g) se tiene que las cantidades más elevadas de Ni, Cd, Cr y Mn se hallan asociados con el exoesqueleto (43.2%, 42.0%, 63.8% y 34.7% respectivamente), mientras que para el Co los mayores porcentajes del metal se asocian al músculo (44.8%), al hepatopáncreas (27.8%) y los apéndices (16.8%). Mientras que para el Zn los mayores porcentajes del metal se asocian con el músculo (44.8%), los apéndices (29.4%) y el hepatopáncreas (16.2%). En el Cu se observa que los porcentajes mas altos se encuentran en el hepatopáncreas (45.9 %) y músculo (21.1%). En el Fe se tiene que el principal reservorio del metal vienen a ser los apéndices (94.6%).

En el caso de *L. stylirostris* (camarones machos de Lt media de 196.6 ± 11.0 mm y peso húmedo promedio de 63.7 ± 12.3 g), (tabla 10), se tiene que las cantidades más elevadas de Co, Cr y Mn se hallan asociados con el exoesqueleto (50.1%, 52.8% y 39.6% respectivamente), mientras que para el Cd los mayores porcentajes del metal se asocian a los apéndices (32.4%), el exoesqueleto (23.3%) y el músculo (20.3%). En tanto que el Ni se

encuentra más asociado al músculo (38.6%) y al exoesqueleto (33.4%). Mientras que para el Zn los mayores porcentajes del metal se asocian con el músculo (45.3%) y los apéndices (39.6%). En el Cu se tiene que los porcentajes más altos se encuentran en el hepatopáncreas (37.0%) y el músculo (34.0%). En el Fe se tiene que el principal reservorio del metal vienen a ser los apéndices (43.3%).

En el caso de las hembras de la misma especie (Lt media de 191.4 ± 9.1 mm y peso húmedo promedio de 66.0 ± 9.2 g) se tiene que las cantidades más elevadas de Co, Ni, Cd, Cr y Mn se hallan asociados con el exoesqueleto 57.7%, 36.1%, 33.9%, 47.1% y 48.8%, respectivamente. Mientras que para el Zn los mayores porcentajes del metal se asocian con el músculo (56.0%) y los apéndices (24.2%). En el Cu se tiene que los porcentajes más altos se encuentran en el músculo (43.9%), exoesqueleto (19.3%) y apéndices (14.3%). En el Fe se tiene que el principal reservorio del metal vienen a ser los apéndices (53.5%).

Tabla 10. Distribución de los porcentajes del contenido de metales pesados en los tejidos de *Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostris*.

Litopenaeus vannamei

Machos	Lt=171.5 ± 10.0		P=42.3 ± 7.3		n=70			
Metales:	Pedúnculo	Hepatopáncreas	Bránquias	Exoesqueleto	Músculo	Vísceras	Gónadas	Apéndices
[Co]	0.5	8.7	1.4	70.5	11.8	4.1	0.2	2.9
[Ni]	1.1	10.5	0.9	35.6	32.8	5.9	1.1	12.1
[Cd]	1.6	0.6	2.9	29.4	23.7	6.0	1.5	34.3
[Cu]	2.0	25.0	7.5	15.0	29.2	3.3	1.2	16.8
[Cr]	1.3	2.0	0.6	57.2	16.0	5.0	0.6	17.3
[Zn]	0.7	6.7	0.5	9.0	46.4	0.8	0.7	35.1
[Mn]	1.5	10.0	15.2	41.6	13.0	0.6	1.0	17.1
[Fe]	0.5	10.2	3.5	10.5	4.0	2.0	0.9	68.3

Litopenaeus vannamei

Hembras	Lt=176.4 ± 14.1		P= 46.5 ± 11.4		n=70			
Metales:	Pedúnculo	Hepatopáncreas	Bránquias	Exoesqueleto	Músculo	Vísceras	Gónadas	Apéndices
[Co]	1.8	27.8	0.9	1.6	44.8	6.2	0.1	16.8
[Ni]	1.1	11.3	1.6	43.2	30.1	4.1	0.6	7.9
[Cd]	1.5	0.5	3.3	42.0	21.0	7.1	4.4	20.3
[Cu]	2.0	45.9	3.7	12.8	21.1	1.7	1.9	10.9
[Cr]	0.8	6.4	1.2	63.8	11.2	3.4	0.6	12.6
[Zn]	0.6	16.2	0.5	5.3	44.8	0.8	2.5	29.4
[Mn]	1.2	24.5	6.2	34.7	15.8	0.5	1.9	15.2
[Fe]	0.1	0.9	1.8	0.9	1.3	0.4	0.2	94.6

Litopenaeus stylirostris

Machos	Lt=196.6 ± 11.0		P= 63.7 ± 12.2		n=70			
Metales:	Pedúnculo	Hepatopáncreas	Bránquias	Exoesqueleto	Músculo	Vísceras	Gónadas	Apéndices
[Co]	1.1	8.9	0.8	50.1	29.3	2.4	0.3	7.1
[Ni]	1.9	9.6	1.9	33.4	38.6	2.2	2.6	9.8
[Cd]	0.1	0.4	3.2	23.3	20.3	10.8	9.4	32.4
[Cu]	1.3	33.8	4.0	17.2	31.0	2.3	2.0	8.4
[Cr]	3.1	2.9	2.8	52.8	22.8	3.9	0.5	11.0
[Zn]	2.1	5.3	0.3	5.5	45.3	1.0	0.8	39.6
[Mn]	0.5	9.1	6.9	39.6	30.2	0.3	4.6	8.8
[Fe]	7.2	11.7	15.4	10.0	7.2	0.8	4.4	43.3

Litopenaeus stylirostris

Hembras	Lt=191.4 ± 9.1		P= 66.0 ± 9.2		n=70			
Metales:	Pedúnculo	Hepatopáncreas	Bránquias	Exoesqueleto	Músculo	Vísceras	Gónadas	Apéndices
[Co]	0.6	8.7	0.7	57.7	23.7	1.7	0.5	6.3
[Ni]	1.8	15.5	1.2	36.1	26.4	1.6	1.1	16.4
[Cd]	2.5	0.4	2.8	33.9	20.1	9.2	17.0	14.1
[Cu]	1.9	8.1	5.5	19.3	43.9	3.1	4.0	14.3
[Cr]	1.1	6.8	3.2	47.1	20.7	4.9	0.7	15.5
[Zn]	1.2	8.7	0.5	4.5	56.0	1.0	3.8	24.2
[Mn]	1.8	14.2	13.1	48.8	8.5	0.4	1.7	11.5
[Fe]	0.7	7.1	9.0	16.8	8.8	3.5	0.5	53.5

En términos generales, tanto para hembras y machos *L. vannamei* y *L. stylirostris* los tejidos con las mayores concentraciones y porcentajes de metales pesados fueron como sigue:

Exoesqueleto y apéndices fueron los tejidos que tuvieron los mayores porcentajes y una distribución muy parecida entre ellos, de los metales pesados aunque se observa en la Tabla 10, que los metales Zn y Fe presentan porcentajes más altos en apéndices. Les siguen, en orden descendente los tejidos: músculo, hepatopáncreas, branquias, visceras, pedúnculo y gónadas. De acuerdo con Pequegnat et al (1969) la acumulación de zinc no esta limitada en los procesos metabólicos de los organismos marinos y es por ello bioacumulado en exceso de acuerdo a las necesidades inmediatas del organismo, pudiendo ser el exoesqueleto y los apéndices rutas de ingreso importantes en los camarones. Los porcentajes de Fe fueron muy altos en los apéndices en comparación con los otros tejidos analizados. 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.

5.8 El efecto del tamaño sobre la concentración de metales pesados en *Panulirus gracilis*.

En el caso de *Panulirus gracilis* los niveles de cobalto en hemolinfa muestran una ligera tendencia a incrementarse de manera lineal con la talla de las langostas hembras, en tanto que en los machos mas bien parece disminuir conforme crece el animal (Fig. 5a).

En el caso particular de machos de *Panulirus gracilis*, la acumulación de níquel en gónadas con respecto a la talla de los organismos (Figura 5b) se presenta como una variable que depende, de forma inversamente proporcional, de la talla de los individuos.

Cadmio y manganeso son dos metales que, aunque presentan acumulación en el exoesqueleto, pareciera que la acumulación del metal disminuye en los machos. En cambio, en las hembras, el cadmio sí exhibe la tendencia a aumentar conforme aumenta el tamaño de los individuos (Figs. 6a y 6b).

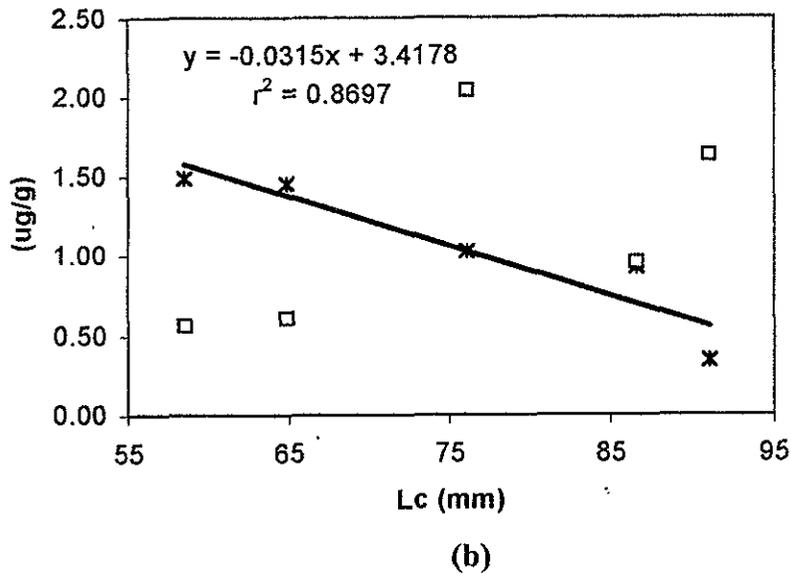
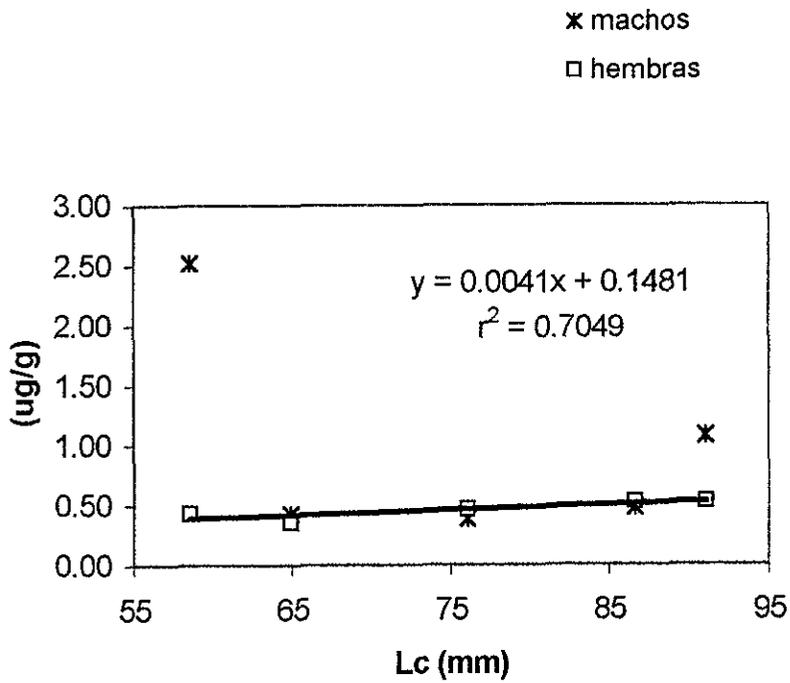


Fig. 5. Variación de la concentración de metales pesados en *Panulirus gracilis* en función de la Longitud del cefalotorax. (a) Co en hemolinfa; (b) Ni en gonada.

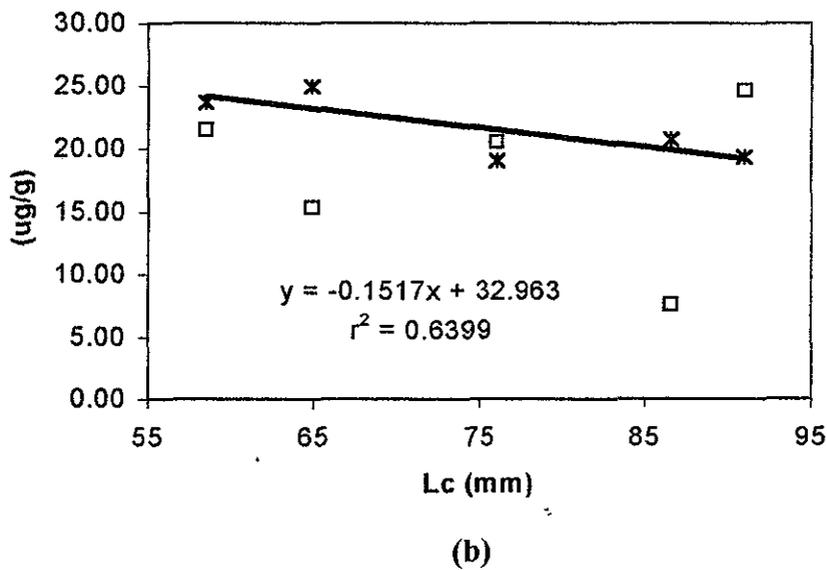
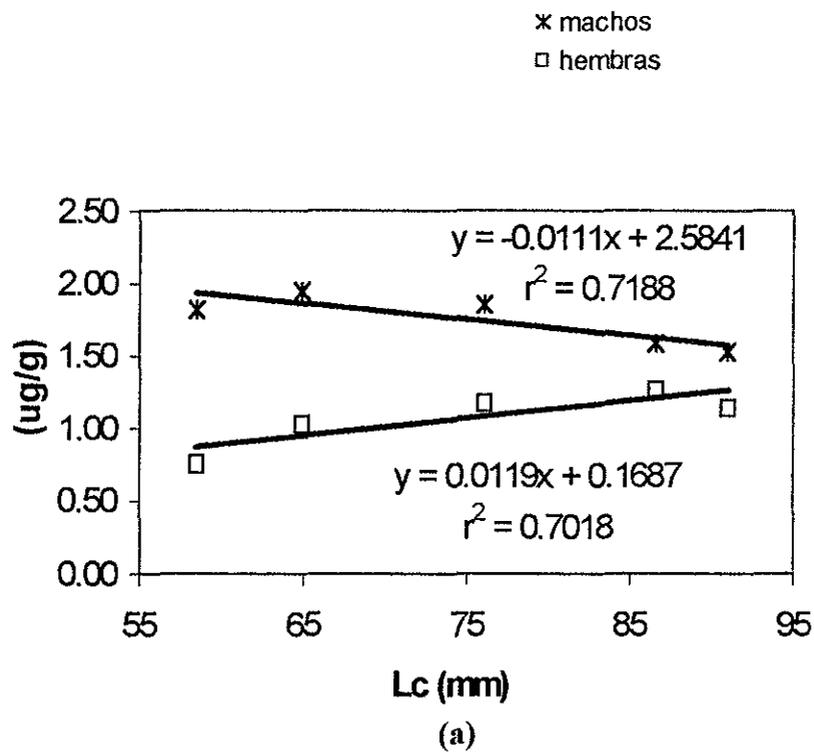


Fig. 6. Variación de la concentración de metales pesados en el exoesqueleto de *Panulirus gracilis* en función de la Longitud del cefalotorax. (a) Cd, (b) Mn.

Por su parte, la acumulación de hierro y cobre en hepatopáncreas con respecto a la talla, se presenta como una variable que depende, de forma directamente proporcional, de la talla de los individuos en el caso particular del hierro en organismos machos y del cobre en las hembras (Figs. 7a y 7b).

En los resultados de la relación entre las concentraciones de cada metal evaluado y la talla, se observaron funciones lineales del tipo $Y = a + bX$ en la que se describe la relación entre los niveles de los metales en los camarones (Y) y la longitud del cefalotorax de los mismos (X). La pendiente de las regresiones es positiva en las hembras particularmente en el caso del cobalto en la hemolinfa, del cadmio en el exoesqueleto y del cobre en el hepatopáncreas; mientras que fue negativa en el caso del hierro en el hepatopáncreas en los machos. El análisis de las concentraciones de metales contra la talla varía dependiendo del elemento, del tejido y del sexo. Esto podría estar determinado por el ciclo de vida de los organismos y por factores ambientales (Páez-Osuna y Ruíz-Fernández, 1995 a). La ausencia de correlación significativa encontrada en casi la mayoría de los tejidos y elementos

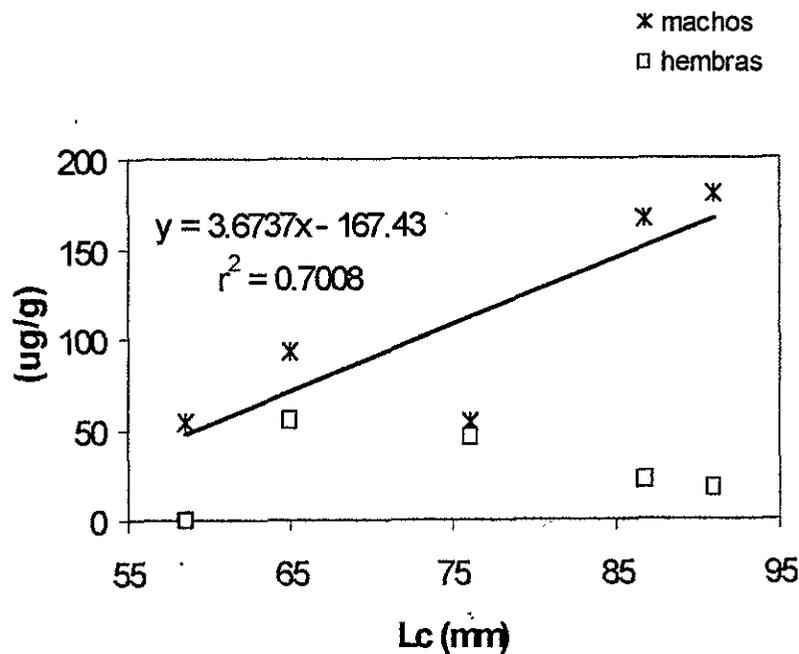


Fig. 7a. Variación de la concentración Fe en el hepatopáncreas de *Panulirus gracilis* en función de la Longitud del cefalotorax.

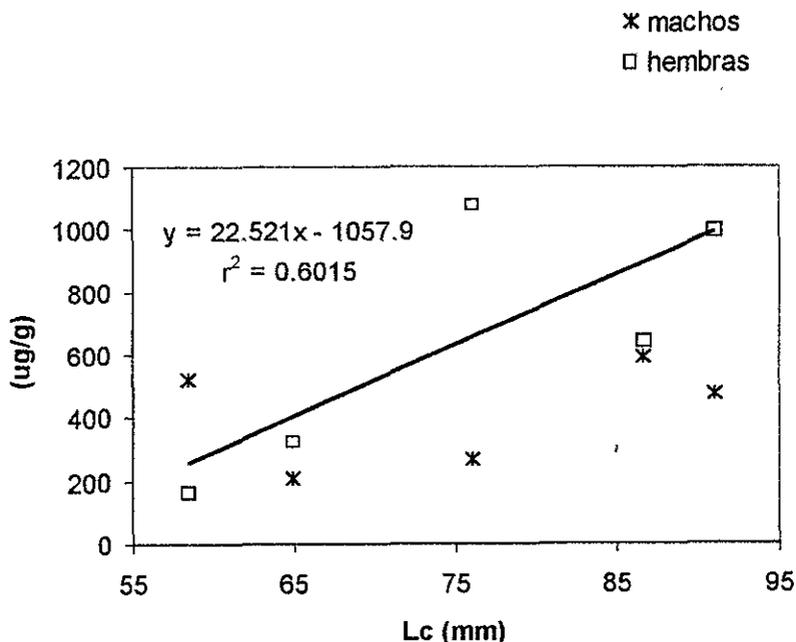


Fig. 7b. Variación de la concentración Cu en el hepatopáncreas de *Panulirus gracilis* en función de la Longitud del cefalotorax.

analizados se podría interpretar en términos de cierta habilidad que presenta *P. gracilis* para regular las concentraciones internas, y que el tamaño corporal y los factores bioquímicos asociados tienen poca o nula influencia sobre la variabilidad (Páez-Osuna y Ruíz-Fernández, 1995 b).

Varios investigadores han fundamentado sobre la existencia de una dependencia entre la talla y la acumulación del metal por los organismos acuáticos. Por ejemplo, Martin (1974) analizó varios elementos en *Cancer irroratus* y encontró una correlación significativa entre manganeso y el tamaño corporal. Rainbow y Moore (1986) encontraron que las concentraciones de cobre, hierro, plomo y zinc en anfipodos fueron significativamente afectadas por el tamaño de los organismos, obteniendo las más altas concentraciones en organismos pequeños. Darmono y Denton (1990) reportaron que los niveles de manganeso en el tejido muscular de los camarones *Penaeus monodon* y *Penaeus merguensis* tuvieron una tendencia a ser más altos en los individuos más pequeños. Canlí y Furness (1993)

experimentalmente encontraron que la acumulación de cadmio y mercurio en las branquias de la langosta *N. norvegicus* fueron más altas en los organismos pequeños.

Diferentes hipótesis podrían considerarse para explicar las correlaciones y las observaciones más generales. El efecto del tamaño podría estar en función de uno o de varios parámetros dependientes de la edad; que podrían ser la diferencia entre la relación área/volumen, tasas metabólicas y tasas de alimentación entre individuos grandes y pequeños (Phillips, 1980).

Simpson (1961), Hepper (1967), Karnciruk (1980), Ebert y Ford (1986) y Holthuis (1991) reportaron diferentes tasas de crecimiento para langostas adultas. En general ellos encontraron que los machos alcanzaban tallas mayores más rápido que las hembras. Estas mismas observaciones fueron inferidas por Pérez-González (1986) en *P. inflatus* y *P. gracilis*; sin embargo, en estadios juveniles, la segunda especie crece más rápido que la primera. Por consiguiente, diferencias en la acumulación de metales pesados entre individuos de diferente sexo podría ocurrir por la variación en las tasas de crecimiento entre los sexos. Con el patrón de crecimiento más rápido en los machos, se puede suponer que esto provoca disminución en los niveles de metales pesados en machos comparados con las hembras, al menos si el metabolismo y las cantidades de metales ingeridas son similares. Esto fue confirmado por Páez-Osuna et al. (1995) para concentraciones de zinc en el músculo y gónadas en *P. inflatus*.

6.0 Conclusiones

Los niveles básicos de concentración de metales pesados (Co, Cd, Ni, Cu, Cr, Zn, Mn y Fe) en los crustáceos de importancia comercial *Panulirus gracilis*, *Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostris* de la región sureste del Golfo de California encontrados en este estudio contribuyen al conocimiento de la Biología de estas especies

experimentalmente encontraron que la acumulación de cadmio y mercurio en las branquias de la langosta *N. norvegicus* fueron más altas en los organismos pequeños.

Diferentes hipótesis podrían considerarse para explicar las correlaciones y las observaciones más generales. El efecto del tamaño podría estar en función de uno o de varios parámetros dependientes de la edad; que podrían ser la diferencia entre la relación área/volumen, tasas metabólicas y tasas de alimentación entre individuos grandes y pequeños (Phillips, 1980).

Simpson (1961), Hepper (1967), Karnciruk (1980), Ebert y Ford (1986) y Holthuis (1991) reportaron diferentes tasas de crecimiento para langostas adultas. En general ellos encontraron que los machos alcanzaban tallas mayores más rápido que las hembras. Estas mismas observaciones fueron inferidas por Pérez-González (1986) en *P. inflatus* y *P. gracilis*; sin embargo, en estadios juveniles, la segunda especie crece más rápido que la primera. Por consiguiente, diferencias en la acumulación de metales pesados entre individuos de diferente sexo podría ocurrir por la variación en las tasas de crecimiento entre los sexos. Con el patrón de crecimiento más rápido en los machos, se puede suponer que esto provoca disminución en los niveles de metales pesados en machos comparados con las hembras, al menos si el metabolismo y las cantidades de metales ingeridas son similares. Esto fue confirmado por Páez-Osuna et al. (1995) para concentraciones de zinc en el músculo y gónadas en *P. inflatus*.

6.0 Conclusiones

Los niveles básicos de concentración de metales pesados (Co, Cd, Ni, Cu, Cr, Zn, Mn y Fe) en los crustáceos de importancia comercial *Panulirus gracilis*, *Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostris* de la región sureste del Golfo de California encontrados en este estudio contribuyen al conocimiento de la Biología de estas especies

en lo referente a los sitios (tejidos, órganos y fluidos) de almacenamiento y bioacumulación de metales pesados.

Los niveles de concentración de la langosta *P. gracilis* en machos y hembras con longitud de cefalotorax promedio 58.5 ± 1.8 mm de los metales Ni, Cu, Zn y Fe fueron como sigue: 3.45 ± 1.3 , 1325 ± 45 , 74.9 ± 9.9 y 7.8 ± 9.4 ($\mu\text{g/g}$) en hemolinfa; 6.05 ± 3.6 , 342 ± 251 , 422 ± 10.6 y 27.05 ± 38 ($\mu\text{g/g}$) en hepatopáncreas; 1.7 ± 0.1 , 183 ± 6.4 , 45.7 ± 8.9 y 194 ± 211 ($\mu\text{g/g}$) en branquias; 7.4 ± 3 , 42.9 ± 13.8 , 66.9 ± 23.6 y 313 ± 54.8 ($\mu\text{g/g}$) en exoesqueleto; 1.2 ± 0.2 , 26.4 ± 3.4 , 89.7 ± 18.2 y 6 ± 2.7 ($\mu\text{g/g}$) en músculo; 3.4 ± 1.6 , 150 ± 53 , 13.5 ± 1.4 y 117 ± 61 ($\mu\text{g/g}$) en vísceras y 3.4 ± 1.6 , 150 ± 53 , 13.5 ± 1.4 y 117 ± 61 ($\mu\text{g/g}$) en gónadas respectivamente.

Los niveles de concentración de la langosta *P. gracilis* en machos y hembras con longitud de cefalotorax promedio 64.9 ± 0.9 mm de los metales Ni, Cu, Zn y Fe fueron como sigue: 1.9 ± 1.1 , 936 ± 156 , 41.3 ± 41.1 y 0.45 ± 0.21 ($\mu\text{g/g}$) en hemolinfa; 7.3 ± 3.9 , 264 ± 82.4 , 340 ± 1.4 y 74.3 ± 27.4 ($\mu\text{g/g}$) en hepatopáncreas; 1.7 ± 0.2 , 204 ± 11.2 , 45 ± 9.9 y 218 ± 235 ($\mu\text{g/g}$) en branquias; 13.6 ± 5.2 , 43.4 ± 7 , 15.9 ± 0.4 y 165.6 ± 85 ($\mu\text{g/g}$) en exoesqueleto; 2.9 ± 2 , 29.8 ± 1.1 , 109.8 ± 3.9 y 8.6 ± 5.1 ($\mu\text{g/g}$) en músculo; 4.7 ± 3.3 , 182.8 ± 469.2 , 17.5 ± 6.2 y 48.2 ± 26.7 ($\mu\text{g/g}$) en vísceras respectivamente y 1 ± 0.6 , 32.4 ± 19.3 , 60.8 ± 42.2 y 10.4 ± 3.2 ($\mu\text{g/g}$) en gónadas, respectivamente.

Los niveles de concentración de la langosta *P. gracilis* en machos y hembras con longitud de cefalotorax promedio 76.0 ± 2.1 mm de los metales Ni, Cu, Zn y Fe fueron como sigue: 1.9 ± 0.7 , 1197 ± 101 , 44.9 ± 9.1 y 4.1 ± 2.4 ($\mu\text{g/g}$) en hemolinfa; 6.5 ± 0.4 , 671.3 ± 573.7 , 297 ± 94.8 y 49.8 ± 5.1 ($\mu\text{g/g}$) en hepatopáncreas; 2.1 ± 1.7 , 231 ± 25 , 38.3 ± 10.6 y 25.2 ± 12.4 ($\mu\text{g/g}$) en branquias; 13.3 ± 3.1 , 46.8 ± 0.7 , 10.9 ± 1.7 y 230 ± 35.7 ($\mu\text{g/g}$) en exoesqueleto; 1 ± 0.2 , 27.8 ± 6.8 , 116.5 ± 4.2 y 5.4 ± 5.3 ($\mu\text{g/g}$) en músculo; 5.8 ± 4 , 168 ± 155 , 11.5 ± 2.7 y 180 ± 199 ($\mu\text{g/g}$) en vísceras y 1.5 ± 0.7 , 396 ± 463 , 80.6 ± 40.6 y 22.1 ± 14.8 ($\mu\text{g/g}$) en gónadas, respectivamente.

Los niveles de concentración de la langosta *P. gracilis* en machos y hembras con longitud de cefalotorax promedio 85.4 ± 0.2 mm de los metales Ni, Cu, Zn y Fe fueron como sigue: 2.4 ± 0.8 , 1222 ± 1.4 , 46.1 ± 19.6 y 3.1 ± 4 ($\mu\text{g/g}$) en hemolinfa; 3.2 ± 0.9 , 6.16 ± 35.5 , 432 ± 22.3 y 94.5 ± 102 ($\mu\text{g/g}$) en hepatopáncreas; 1.9 ± 0.5 , 230 ± 50.9 , 46.4 ± 9.7 y 36.2 ± 18.8 ($\mu\text{g/g}$) en branquias; 11.3 ± 4.6 , 51 ± 29.9 , 22 ± 7.9 y 201 ± 203 ($\mu\text{g/g}$) en exoesqueleto; 1.5 ± 1.2 , 34 ± 9.2 , 94.3 ± 18.5 y 18.1 ± 23.1 ($\mu\text{g/g}$) en músculo; 0.9 ± 1.2 , 152 ± 51.6 , 75.6 ± 90.7 y 1.6 ± 18.8 ($\mu\text{g/g}$) en vísceras y 0.9 ± 0.07 , 505 ± 585 , 85.2 ± 44.3 y 26.8 ± 6 ($\mu\text{g/g}$) en gónadas respectivamente.

Los niveles de concentración de la langosta *P. gracilis* en machos y hembras con longitud de cefalotorax promedio 91.9 ± 2.3 mm de los metales Ni, Cu, Zn y Fe fueron como sigue: 3.3 ± 1.7 , 1141 ± 177 , 79 ± 30.6 y 5.7 ± 1.2 ($\mu\text{g/g}$) en hemolinfa; 7 ± 1 , 733 ± 370 , 438 ± 79 y 99 ± 114 ($\mu\text{g/g}$) en hepatopáncreas; 1.7 ± 0.07 , 216 ± 19 , 216 ± 19.9 , 50.7 ± 1.1 y 43.4 ± 17.6 ($\mu\text{g/g}$) en branquias; 9.4 ± 1.9 , 48.7 ± 9.1 , 43.4 ± 32.3 y 434 ± 8.4 ($\mu\text{g/g}$) en exoesqueleto; 1.2 ± 0.1 , 34 ± 5.4 , 114 ± 14.9 y 6.8 ± 2.1 ($\mu\text{g/g}$) en músculo; 7.2 ± 2 , 112.4 ± 7 , 85.7 ± 5.4 y 370 ± 73.2 ($\mu\text{g/g}$) en vísceras y 0.9 ± 0.9 , 302 ± 305 , 87 ± 66.2 y 36.5 ± 43.8 ($\mu\text{g/g}$) en gónadas respectivamente.

Los niveles de *Litopenaeus vannamei* en machos y hembras con longitud total promedio 173.9 ± 3.5 mm de los metales Ni, Cu, Zn y Fe fueron como sigue: 2.7 ± 0.4 , 80.8 ± 11.8 , 59.8 ± 2.6 y 83.3 ± 0.7 ($\mu\text{g/g}$) en pedúnculo; 4.6 ± 0.8 , 252 ± 137 , 173 ± 107 y 210 ± 80 ($\mu\text{g/g}$) en hepatopáncreas; 2.2 ± 1 , 154 ± 52.3 , 29.6 ± 0.9 y 835 ± 648 ($\mu\text{g/g}$) en branquias; 6.6 ± 1.7 , 37.7 ± 1.3 , 42.2 ± 13.8 y 85.1 ± 33.8 ($\mu\text{g/g}$) en exoesqueleto; 1.4 ± 0.1 , 17.8 ± 1.4 , 71.5 ± 1.2 y 17 ± 8.3 ($\mu\text{g/g}$) en músculo; 24.7 ± 3 , 196 ± 62.2 , 139.3 ± 9.4 y 688 ± 84 ($\mu\text{g/g}$) en vísceras; 1.9 ± 0.4 , 58.7 ± 27.7 , 129.8 ± 109.1 y 133.5 ± 14.8 ($\mu\text{g/g}$) en gónadas respectivamente.

Los niveles de concentración *Litopenaeus stylirostris* en machos y hembras con longitud total promedio 194.0 ± 3.7 mm de los metales Ni, Cu, Zn y Fe fueron como sigue:

3.8 ± 0.4, 49.5 ± 1.7, 144.4 ± 71.5 y 321 ± 316 (µg/g) en pedúnculo; 7.7 ± 3.6, 219 ± 217, 172.7 ± 40.5 y 274.5 ± 17.6 (µg/g) en hepatopáncreas respectivamente; 2.3 ± 0.4, 112 ± 0, 26.8 ± 4.3 y 904 ± 31.1 (µg/g) en branquias respectivamente; 5.4 ± 1, 44.8 ± 6, 32.7 ± 7.9 y 117.1 ± 83.3 (µg/g) en exoesqueleto respectivamente; 1.1 ± 0.2, 20.8 ± 0.5, 75 ± 3.1 y 15.3 ± 8.1 (µg/g) en músculo respectivamente; 5.8 ± 0.4, 129 ± 2.8, 130 ± 8.4 y 413 ± 448 (µg/g) en vísceras respectivamente; 2.7 ± 1.2, 69.3 ± 19.8, 139.5 ± 118 y 152.8 ± 137.3(µg/g) gónadas respectivamente.

Las variaciones de los niveles de concentración de los metales Co, Ni, Cd, Cu, Cr, Zn, Mn y Fe en los tejidos de *P. gracilis* con respecto a la talla de los organismos analizados, dependen del metal evaluado. Estas variaciones tuvieron un comportamiento bien definido para Co en la hemolinfa de las hembras (lineal positivo), Ni en gónadas de los machos (lineal negativo), Cd en el exoesqueleto de las hembras (lineal positivo) y los machos (lineal negativo), Mn en el exoesqueleto de los machos (lineal negativo), Fe y Cu en el hepatopáncreas en los machos (lineal positivo) y las hembras (lineal positivo), respectivamente.

En el presente estudio, las concentraciones de los metales pesados en langostas en los diferentes tejidos incluidas las distintas tallas examinadas fueron como sigue:

Hemolinfa	Cu > Zn > Fe > Ni > Mn > Co > Cd > Cr
Hepatopáncreas (machos)	Zn > Cu > Fe > Mn > Ni > Co > Cr > Cd
Hepatopáncreas (hembras)	Cu > Zn > Fe > Mn > Ni > Co > Cr > Cd
Branquias	Cu > Fe > Zn > Mn > Ni > Cd > Co > Cr
Exoesqueleto	Fe > Cu > Zn > Mn > Ni > Co > Cr > Cd
Músculo	Zn > Cu > Fe > Ni > Mn > Co > Cd > Cr
Vísceras (machos)	Cu > Fe > Zn > Mn > Cr > Ni > Co > Cd
Vísceras (hembras)	Fe > Cu > Zn > Mn > Ni > Co > Cd > Cr
Gónadas (machos)	Cu > Zn > Fe > Mn > Ni > Co > Cr > Cd
Gónadas (hembras)	Zn > Cu > Fe > Mn > Ni > Co > Cr > Cd

En los camarones las concentraciones de los metales pesados en los diferentes tejidos examinados fueron en *Litopenaeus vannamei* como sigue:

Pedúnculo	Cu > Fe > Zn > Mn > Ni > Co > Cd > Cr
Hepatopáncreas (machos)	Fe > Cu > Zn > Mn > Co > Ni > Cr > Cd
Hepatopáncreas (hembras)	Cu > Zn > Fe > Mn > Ni > Co > Cr > Cd
Branquias	Fe > Cu > Zn > Mn > Ni > Cd > Cr > Co
Exoesqueleto	Fe > Cu > Zn > Mn > Ni > Cr > Cd > Co
Músculo	Zn > Cu > Fe > Ni > Mn > Co > Cr > Cd
Visceras	Fe > Cu > Zn > Ni > Co > Cd > Cr > Mn
Gónadas	Zn > Fe > Cu > Mn > Cd > Ni > Cr > Co
Apéndices	Fe > Zn > Cu > Mn > Ni > Co > Cr > Cd

En *Litopenaeus stylirostris* las concentraciones de los metales pesados en los diferentes tejidos examinados fueron como sigue:

Pedúnculo	Fe > Zn > Cu > Mn > Ni > Co > Cd > Cr
Hepatopáncreas (machos)	Cu > Fe > Zn > Mn > Ni > Co > Cr > Cd
Hepatopáncreas (hembras)	Cu > Zn > Fe > Mn > Ni > Co > Cr > Cd
Branquias	Fe > Cu > Zn > Mn > Ni > Cd > Cr > Co
Exoesqueleto	Fe > Cu > Zn > Mn > Ni > Cr > Cd > Co
Músculo	Zn > Cu > Fe > Ni > Mn > Co > Cr > Cd
Visceras	Fe > Cu > Zn > Ni > Co > Cd > Cr > Mn
Gónadas	Zn > Fe > Cu > Mn > Cd > Ni > Cr > Co
Apéndices	Fe > Zn > Cu > Mn > Ni > Co > Cr > Cd

La carga total o inventario de cada uno de los metales por tejido y órgano de cada una de las especies mencionadas es como se indica a continuación: en *P. gracilis* el exoesqueleto tanto en organismos de tallas grandes como en los pequeños, hembras y machos, es el tejido que de los ocho metales estudiados, presentó las más altas concentraciones de seis de ellos (cobalto, níquel, cadmio, cromo, manganeso y hierro). Siendo la hemolinfa el tejido donde se encontraron las concentraciones mayores de cobre y en el músculo las más altas concentraciones de zinc.

En *L. Vannamei*, el exoesqueleto de machos y hembras fue el tejido donde concurren las más altas concentraciones de níquel, cromo y manganeso siendo el músculo el que mayores concentraciones de zinc y cobre presentó y sorprendentemente en los apéndices se encontraron las más altas concentraciones de hierro. En las hembras se tuvieron las más altas concentraciones de cobalto en músculo y cadmio en exoesqueleto. En los machos se hallaron altas concentraciones de cadmio en apéndices y cobalto en exoesqueleto.

En *L. stylirostris* el tejido que manifiesta tanto en machos como en hembras las más altas concentraciones de cobalto, cromo, manganeso y níquel es el exoesqueleto, mientras el músculo es quien muestra mayores concentraciones de zinc y el hepatopáncreas considerables concentraciones de cobre, encontrándose también en esta especie altas concentraciones de hierro en apéndices. En las hembras se hallaron las más altas concentraciones de cobalto en exoesqueleto y en los machos altas concentraciones de cadmio en apéndices.

Los niveles de concentración encontrados para Cd, Cr, Cu, Zn para las tres especies, no constituyen riesgo alguno para el consumo humano. Los niveles de estos metales son inferiores, por ejemplo, a los que el Consejo Nacional de Australia para la Salud y la Investigación del Medio ha definido como concentraciones máximas permisibles para el consumo humano: Zn 150 mg/kg, Cu 10 mg/kg y Cd 0.5 mg/kg y Cr 1.0 mg/kg (en base a peso fresco). Naven, (1983).

7. Bibliografía

Bertine, K.K. and Goldberg, E.D., 1972. Trace elements in clams, mussels, and shrimp. *Limnol. Oceanogr.* **11**: 877-884.

Bryan, G.W., 1968. Concentrations of zinc and copper in the tissues of decapod crustaceans. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* **48**: 303-321.

Canli, M. and Furness, R.W., 1993. Toxicity of heavy metals dissolved in seawater and influences of sex and size and metal accumulation and tissue distribution in the Norway lobster *Nephrops norvegicus*. *Mar. Environ. Res.* **36**: 217-36.

Chapa-Saldaña, H., 1975. Notas sobre el comportamiento de los camarones del género *Penaeus*- In: **II Simposio Latinoamericano. Oceanografía Biológica**. Venezuela, Nov. 24-28; pp. : 119-138.

Clark, R. B., 1989. Marine pollution. **Clarendon Press- Oxford**. 220 pp.

Darmono, D. and Denton, G.R.W., 1990. Heavy metal concentrations in the banana prawn, *Penaeus merguensis*, and leader prawn, *P. monodon*, in the Townsville region of Australia. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **44**: 479-486.

Depledge, M.H., Chan, R. and Loh, T.T., 1986. Iron distribution and transport in *Scylla serrata* (Forsk.) *Asian Mar. Biol.* **3**: 101-10.

Depledge, M.H., Forbes, T.L. and Forbes V.E., 1993. Evaluation of cadmium, copper, zinc, and iron concentrations and tissue distributions in the benthic crab, *Dorippe granulata* (De Haan, 1841) from Tolo Harbour, Hong Kong. *Environ. Pollut.* **81**: 15-19.

Dorband, W.R., Van Alst, J.C., Carlberg, J.M. and Ford, R.F., 1976. Effects of chemicals in thermal effluent on *Homarus americanus* in aquaculture systems. **Proc. Ann. Meet. World Mariculture Soc.** **7**: 391-414.

Ebert, T.A. and Ford, R.F., 1986. Population ecology and fishery potential of the spiny lobster *Panulirus penicillatus* at Enewetak Atoll, Marshall Islands. *Bull. Mar. Sci.* **38**: 56-67.

Eisler, R., 1981. Trace metals concentrations in marine organisms. **Pergamon Press, New York, USA**, 687 pp.

Förstner U. and Wittmann, G.T.W., 1979. Metal pollution in the aquatic environment. **Springer-Verlag, Berlin**, 486 pp.

Frenet, M. and Alliot, A., 1985. Comparative bioaccumulation of metals in *Palaeomonetes varians* in polluted and non-polluted environments. *Mar. Environ. Res.* 17: 19-44.

Hepper, B.T., 1967. On the growth at moulting of lobsters (*Homarus vulgaris*) in Cornwall and Yorkshire. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 47: 629-43.

Hendrickx, M.E., 1995. LANGOSTAS (Langostas espinosas, bogavantes, cigarras y zapateras, langostas de lodo, etc.). In: **Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-Oriental.** Vol. I. pp. 383-415.

Holthuis, L.B. and Villalobos, A., 1961. *Panulirus gracilis* Streets y *Panulirus inflatus* (Bouvier), dos especies de langostas (Crustacea, Decapoda) de la costa del Pacífico de América. *An. Inst. Biol., Univ. Nal. Autón. Méx.* 32(1-2): 251-276.

Holthuis, L.B., 1991. Marine lobster of the World. Annotated and Illustrated Catalogue of Species of Interest to Fisheries Known to Date. *FAO Fisheries Synopsis*, 125, 13: 292 pp.

Horowitz, A. and Presley, B.J., 1977. Trace metal concentrations and partitioning in zooplankton, neuston and benthos from the south Texas outer continental shelf. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 5: 241-55.

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

Juárez-Rosales, J., 1995. Eficiencia y desarrollo tecnológico de las redes de enmalle para la pesca de langosta en el sur de Sinaloa, México. Tesis Profesional. SEP (UECyTM), ITMAR-Mazatlán, 71 pp.

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

Knauer, G.A. y Martin, J.M., 1981. Phosphorus- cadmium cycling in northeast Pacific waters. *J. Mar. Res.* 39: 65-76.

Kanciruk, P., 1980. Ecology of juvenile and adult Palinuridae (spiny lobsters). In: **The Biology and Management of Lobsters.** Vol. II, ed. J.S. Cob and B.F. Phillips. Academic Press, New York. pp. 59-96.

Lara-Lara J. R. y J.E. Valdez-Olguin., 1986. Producción primaria del Golfo de California, **En Memorias de los resúmenes del primer coloquio de plancton y fertilidad de las aguas, Mazatlán, Sinaloa 2-4 mayo de 1985.**

Macías-Regalado, E., y Calderón-Pérez, J.A., 1979. Talla de inmigración de postlarvas de camarón al sistema lagunar Huizache-Caimanero, Sinaloa, México, (Crustacea: Decapoda: *Penaeus*). *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nat. Autón. Méx.* 6 (2): 99-106.

Macías-Regalado, E., Fernández-Pérez, H. y Calderón-Pérez, J.A., 1982. Variación diurna de la densidad de postlarvas de camarón en la boca del sistema lagunar Huizache-Caimanero, Sin., México (Crustacea: Decapoda: Penaeidae). *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nat. Autón. Méx.* 9 (1): 381-386.

Martin, J.M., 1974. Metals in *Cancer irrotatus* (Crustacea: Decapoda): Concentrations factors, discrimination factors, correlation. *Mar. Biol.* 30: 51-55.

Martin, J.M. y Broenkow, W.W., 1975. Cadmium in plankton: elevated concentrations off Baja California. *Science* 190: 884-885.

Mason, A.Z. and Simkiss, K., 1983. Interaction between metals and their distribution in tissues of *Littorina littorina* collected from clean and polluted sites. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 63: 661-72.

Miller, J.C. and Miller, J.N., 1988. Statistics for analytical chemistry. Second edition. **Ellis Horwood, Chichester**, 227 pp.

Moody, J.R. y Lindstrom, R.M., 1977. Selection and cleaning of plastic containers for storage of trace elements samples. *Anal Chem.* 49: 2264-2267.

Naven, C. E., 1983. Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products, **FAO, Fisheries circular No. 764**, 100 pp.

Páez-Osuna, F., 1988. *Geoquímica de los metales pesados en los sedimentos del Mar de Cortés*, Tesis de Doctorado. U.N.A.M., UACPyP-CCH-ICML, 391 pp.

Páez-Osuna, F., 1997. Fuentes de Metales. In: **Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental, Diagnóstico y Tendencias**. Botello A. V., Vázquez-Gutiérrez, J. L., Rojas-Galavíz, J. A., Benítez-Torres y D. J. Zárate-Lomelí (Eds.), EPOMEX/SEP/Univ. Autón. Campeche, México. 666. pp

Páez-Osuna F., Osuna-López, J.I., Izaguirre-Fierro, G., Zazueta Padilla, H.M.; 1993. Heavy metals in clams from a subtropical coastal lagoon associated to an agricultural drainage basin. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 50 (6): 915-921.

Páez-Osuna F., 1994. Bioindicadores de Contaminación Marina en el Pacífico Latinoamericano, *Geo-UNAM.* 2(2): 14-18.

Páez-Osuna F. and Ruiz-Fernández. C., 1995a., Trace metals in the mexican shrimp *Penaeus vannamei* from estuarine and marine enviroments. *Environ. Pollut.* 86-87: 243--247.

Páez-Osuna F. and Ruiz-Fernández, C., 1995b. Comparative Bioacumulation of trace metals in *Penaeus stylirostris* in estuarine and coastal enviroments. *Est. Coastal and Shelf Sci.* 40: 35-44.

Páez-Osuna, F., Pérez-González, R., Izaguirre-Fierro, G., Zazueta-Padilla, H.M. and Flores-Campaña, L.M., 1995. Trace metals concentrations and their distribution in the lobster *Panulirus inflatus* (Bouvier, 1895) from the mexican pacific coast. *Environ. Pollut.* 90 (2): 163-170.

Peerzada N., Nojok M. and Lee C., 1992. Distribution of heavy metals in parwns from Nrthern territory, Australia. *Mar. Pollut. Bull.* 24 (8): 416-418.

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- 150.

Pérez-González, R., 1986. Aspectos generales de la Biología y la pesquería de las langostas *Panulirus inflatus* y *Panulirus gracilis* en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis Profesional. UNAM, Facultad de Ciencias, 84 pp.

Pérez-González, R., Flores-Campaña L.M. y Nuñez-Pastén, A., 1992. Análisis de la distribución de tallas, captura y esfuerzo en la pesquería de las langostas *Panulirus inflatus* (Bouvier, 1895) y *Panulirus gracilis* Streets, 1871.(Decapoda: Palinuridae) en las costas de Sinaloa, México. *Proc. San Diego Soc. Nat. Hist.* 15: 1-5.

Phillips, D.J.H., 1980. Quantitative Aquatic Biological Indicators. **Applied Science Publishers Ltd, United Kingdom**, 488 pp.

Rainbow P.S., 1985. Accumulation of Zn, Cu and Cd by crabs and barnacles. *Est. Coastal and Shelf Sci.* 24: 669-686.

Rainbow P.S. and Moore, P.G., 1986. Comparative metal analysis in amphipod crustaceans. *Hydrobiología*, 141: 273-89.

Rainbow, P.S., Phillips, D.J.H. and Depledge, M.H., 1990. The significance of trace metal concentrations in marine invertebrates: a need for laboratory investigation of acumulation strategies. *Mar. Pollut. Bull.* 21: 321-324.

Secretaría de Marina, 1974. Estudio geográfico de la región de Mazatlán. **Secretaría de Marina, México**, 351 pp.

SEMARNAP, 1998. Anuario estadístico de Pesca 1997. SEMARNAP, México, 241 pp.

Simpson, A.C., 1961. A Contribution to the Bionomics of the Lobster (*Homarus vulgaris* Milne-Edwards) of the Coast of North Wales. *Fishery Investigations. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. 2 (23)*: 1-28.

Szefer, P., Szefer, K. and Skwarzec, B., 1990 . Distribution of Trace Metals in Some Representative Fauna of the Southern Baltic. *Mar. Pollut. Bull. 21(2)*: 60-62.

Szefer, P., Szefer, K., Pempkowiak, J., Skwarzec, B., Boanowski, R. and Holm, E., 1994. Distribution and coassociation of selected metals in seals of the antartic. *Environ. Pollut. 83*: 341-349.

Weeks, J.M. and Rainbow, P.S., 1991. The uptake and accumulation of zinc and copper from solution by two species of talitrid amphipods. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 71*: 811-826.

White, S.L. and Rainbow, P.S., 1984. Regulation of zinc concentration by *Palaemon elegans*. *Mar. Ecol. Prog. Ser. 16*: 135-147.

Wu, R.S.S., 1988. Marine Pollution in Hong Kong: A review. *Asian Mar. Biol. 5*: 1-24.

Zar, Jerrold H., 1984. Biostatistical Analysis. Second edition. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 718 pp.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA