

43
2ej-



Universidad Nacional
Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores
CUAUTITLAN



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

"Estudio de la concentración de metales pesados
en camarones *Penaeus stylirostris* y *Penaeus
vannamei*"

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

T E S I S
Que para obtener el Título de
QUIMICA FARMACEUTICA BIOLOGA

p r e s e n t a

ANA CAROLINA RUIZ FERNANDEZ

Asesor: DR. FEDERICO PAEZ OSUNA

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx.

1992



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 está 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.

I N D I C E

Página

I. Generalidades	
Importancia económica de la pesca del camarón en en México.....	8
Biología del camarón.....	11
Contaminación y organismos centinelas.....	15
Los metales pesados.....	18
Bioacumulación de metales pesados.....	20
Metales esenciales, no esenciales y tóxicos.....	21
Metales pesados y su importancia bioquímica.....	27
II. Objetivos.....	31
III. Métodos	
Area de estudio.....	32
Metodología de muestreo.....	35
Procedimiento analítico.....	42
IV. Resultados y discusión.....	48
V. Conclusiones.....	65
Anexos.....	68
Bibliografía.....	98

GENERALIDADES

Importancia económica de la pesca del camarón en México

La pesquería del camarón en el Pacífico mexicano está dedicada principalmente a 3 especies, que constituyen alrededor del 90% de la captura total (47):

Camarón café o kaqui. *Penaeus californiensis*. (Holmes, 1900, en 47).

Camarón blanco. *Penaeus vannamei*. (Boone, 1931, en 47).

Camarón azul. *Penaeus stylirostris*. (Stimpson, 1871, en 47).

El 10% de la captura restante está constituido por:

Camarón cristalino o rojo. *Penaeus brevitrostris*. (Kingsley, 1878, en 47).

Camarón blanco. *Penaeus occidentalis*. (Streets, 1871, en 47).

Adicionalmente, existen 4 especies más, de importancia secundaria para la pesquería:

Camarón de piedra, japonés o cacahuete. *Sicyonia penicillata*. (Lockington, 1878, en 47) y *Sicyonia spp.*

Camarón 7 barbas. *Xiphopenaeus riveti*. (Bowler, 1907, en 47).

Camarón botalón. *Trachypenaeus similis pacificus*. (Burkenroad, 1934, en 47).

Camarón zebra. *Trachypenaeus faoea*. (Loesch y Avila, 1964, en 47).

La explotación de camarón procedente de los litorales mexicanos reviste gran importancia en la economía del Estado de Sinaloa en particular y de México en general (48), ya que, merced a los grandes volúmenes del recurso que son exportados al mercado de los EUA y Japón, es hoy aún la principal fuente generadora de divisas del sector pesquero y hasta 1984, fue superado únicamente por el petróleo y el café (INP, 1984, en 21).

A partir de la gestión del Presidente Miguel Alemán, con la Ley de Pesca expedida el 31 de diciembre de 1947, la explotación del camarón, en sus fases de extracción y cultivo, (entre otros productos marinos como el abulón o la langosta), se concedía exclusivamente a sociedades cooperativas registradas (21), y desde octubre de 1981, casi toda la infraestructura de la industria se encuentra en manos del sector social, año en que el Gobierno Federal iniciara un sólido proceso de apoyo a este sector para la adquisición de la flota camaronera y de las plantas congeladoras en que se procesa el crustáceo (20).

Las primeras exportaciones del crustáceo se remontan a los años veinte, pero sólo hasta 1958 toma un lugar significativo en la balanza comercial y, en 1959, alcanza el tercer lugar en el valor generado por productos de exportación (21).

En los últimos quince años, la pesquería en el país se ha mantenido relativamente estable, a pesar de que se ha incrementado el esfuerzo pesquero y los gastos de operación. Para México, que en 1987 ocupara el primer lugar como exportador de camarón a los Estados Unidos, el desarrollo de la acuicultura en países latinoamericanos y asiáticos, trajo como consecuencia que en 1989 ocupara el tercer lugar, con una producción, a diciembre de 1989, de 27'391,341 kg (12), desplazado por Ecuador y China (38).

El Estado de Sinaloa ocupa uno de los primeros lugares como productor de camarón a nivel nacional (56) y para diciembre de 1990, la producción registrada del crustáceo, procedente de alta mar, estero y cultivo, alcanzó el volumen de 18'976,267 kg (38), que es casi el equivalente al volumen de camarón exportado por nuestro país a los Estados Unidos, en su saldo a la misma fecha, que alcanza 18'795,764 kg (38).

Para la temporada 1990-1991, que acaba de finalizar el 30 de abril de 1991, México ha sido desplazado hasta el quinto sitio como exportador de camarón a los Estados Unidos, con un saldo de 9.9 millones de kg (39).

Las especies de camarón procedentes del Pacífico mexicano de mayor interés comercial para nuestro país y que son destinadas a la exportación, son *Penaeus vannamei*, *Penaeus stylirostris*, *Penaeus californiensis* y *Penaeus brevistrostris* (34, 19), aunque

P. vannamei y *P. stylirostris* ocupan en conjunto el 82% del volumen total de la producción de exportación a los EUA (38).

Por esta razón y debido al prestigio que ostenta a nivel mundial este recurso mexicano, especialmente las especies *Penaeus vannamei* y *Penaeus stylirostris*, como alimentos de alto valor nutricional, sumamente apreciados por sus características organolépticas, se han planteado en el presente estudio los objetivos que se enlistan en el apartado correspondiente.

Biología del camarón

Los crustáceos son artrópodos acuáticos con respiración típica por branquias; poseen 2 pares de antenas, 3 pares de bocas primarias y numerosos apéndices en tórax y abdomen. (11). Su clasificación taxonómica se describe en la Tabla No. 3 de la sección de Anexos.

Los camarones peneidos costeros se encuentran en zonas intertropicales y subtropicales; viven la mayor parte del tiempo en zonas influenciadas por deltas, estuarios o lagunas, sobre fondos fangosos o fango-arenosos, ricos en materia orgánica (16).

Ciclo migratorio. El desove tiene lugar en el mar; las larvas y primeras poslarvas son planctónicas. Después de unas 3 semanas

de vida pelágica en el mar, las postlarvas en migración se aproximan a la costa o inician el proceso de entrada a sistemas estuarinos (los cuales operan como áreas de crianza), merced a las corrientes que prevalecen en la zona por los efectos de marea (29, 30, 31): cuando ésta aumenta, desplazando agua salada hacia los esteros y lagunas, las postlarvas dejan el fondo en respuesta al incremento de salinidad y son llevadas por la masa de agua salada a las partes más alejadas del estero; cuando la marea desciende en el refluo, las postlarvas vuelven al fondo en respuesta al descenso de salinidad (16). Su comportamiento será cada vez más bentónico. En las áreas de crianza se desarrollan los juveniles rápidamente debido a la gran disponibilidad de alimento (pequeños crustáceos, poliquetos, micro y meiofauna usualmente asociada con detritus (16, 7).

Después de la entrada a los estuarios, las postlarvas se concentran en las zonas de poca profundidad (inferior a 1 m), su distribución es muy heterogénea, pues se encuentra influenciada por factores como salinidad, fuentes de alimentación, cobertura vegetal, naturaleza del sedimento, corrientes, etc. Cuando los preadultos crecen (100-200 mm) migran hacia las zonas más profundas para su engorda y maduración sexual, y se forma un gradiente de tallas creciente desde el interior del estuario hacia su desembocadura. Regresan al mar cuando alcanzan una talla de unos 10 cm y es ahí en donde el ciclo termina (10, 16).

La talla media de los camarones en migración sigue igualmente

una variación estacional, a consecuencia de los factores que determinan el crecimiento y reclutamiento, debido a competencia por la alimentación y duración variable de la estancia en la zona estuarina por cambios de salinidad o de temperatura (condiciones tróficas y térmicas durante el crecimiento), los individuos más pequeños en la zona costera, los adultos más grandes en zonas de mayor profundidad (16).

Ciclo biológico. Los camarones peneidos son crustáceos heterosexuales, entre los cuales hay marcado dimorfismo sexual, donde la hembra alcanza mayor tamaño que los machos en el estado adulto (13).

Aunque la reproducción es normalmente continua en los peneidos, se puede apreciar en general una clara fluctuación estacional que puede ser asociada a la abundancia de hembras maduras o con postlarvas con una duración de 2 a 3 meses. El encuentro de un macho y una hembra depende de la densidad de la población, por lo que los camarones han desarrollado una migración de tipo reproductivo, mediante la cual se reúnen en los meses de primavera y verano, para asegurar los encuentros y fertilización de los huevos (22). La migración reproductiva se sucede desde aguas profundas hacia aguas someras, como una adaptación que proporcionará a las larvas la oportunidad de entrar a las bocas del litoral o de desarrollarse en aguas más someras (7).

La edad de primera reproducción ocurre a los ocho meses, en hembras de 40 g de peso corporal; los machos, que maduran

sexualmente primero que las hembras, presentan esperma eventualmente a los 10 g de peso corporal (13, 26).

La cópula ocurre entre individuos con cutícula endurecida, posterior al cortejo persecutorio del macho, el cual adhiere el espermátforo al tético de la hembra (13). El esperma es liberado del espermátforo simultáneamente con la expulsión de los óvulos. La fertilización es externa, con desoves repetidos (47).

En general los huevecillos viables son esféricos y translúcidos, con un diámetro de 0.25-0.32 mm promedio. Al eclosionar la larva nauplio (N) rompe la membrana coriónica mediante un par de espinas caudales, 12 a 15 horas después del desove. El estadio naupliar presenta 6 sub-estados (N1 a N6), desarrollados a lo largo de 38-40 horas, a temperaturas normales de 28-29 °C; sus dimensiones van de 0.35-0.39 mm a 0.49-0.57 mm de longitud total y se alimenta de la yema de su cuerpo (reservas vitelinas). El estadio protozoa (PZ) tiene una duración de 120 hrs, pasando por 3 sub-estados (PZ1 a PZ3), cuyo tamaño va de 0.48-0.53 mm a 2.38-2.77 mm de longitud total y se alimentan mediante filtración de microalgas.

El siguiente estadio Mysis (M) tiene una duración de 120 horas, y comprende tres sub-estados (M1, M2 y M3) que miden de 2.97-3.35 mm a 4.00-4.35 mm de longitud total, y sus hábitos alimenticios se modifican gradualmente de fitoplanctófago a

zooplanctófago. El tamaño de la primera postlarva (P11) es de 5.00 mm en promedio y su aspecto es virtualmente el de un adulto, de modo que tiene ya las características necesarias para poder modificar su hábitat pelágico incidental a hábitat bentónico, aproximadamente en los primeros 6 días. La edad de primer maduración sucede entre 6 y 7 meses (28).

Contaminación y organismos centinelas

Se dice que las causas más importantes de contaminación por metales proviene de fuentes antropogénicas, como desechos de bienes de consumo realizados en metal, liberación de metales como productos secundarios de la fundición y refinado industrial, pérdidas por corrosión y desgaste de piezas de metal o liberación por el propio uso de productos que contienen metales en su formulación (aditivos de gasolina o fungicidas) (52); sin embargo, existen autores que opinan que, en general, el contenido de metales traza de los océanos es mucho mayor que la tasa anual de movilización de metal por el hombre, es decir, sugieren que la posibilidad de que el hombre altere significativamente el contenido oceánico de metales traza, es remoto (44).

Salvo algunas raras excepciones, existe poca evidencia de que los alimentos de origen marino hayan causado alguna forma permanente de envenenamiento por metales pesados; sin embargo,

la gente que vive en interacción directa con las zonas estuarinas costeras y/o asociadas a la industria, no es difícil encontrar niveles de concentración que excedan los límites tolerables de metales en su cuerpo (6, 26).

Existe cierta divergencia entre la potencialidad contaminante de los metales pesados, sin embargo Bowen (5), propone grupos y órdenes de importancia como sigue:

a) Muy alto potencial de contaminación: Ag> Au> Cd> Cr> Cu> Hg> Pb> Sb> Sn> Te>Zn;

b) Alto potencial: Ba> Bi> Ca> Fe> Mn> Mo> Ti> V; y

c) Potencial de contaminación moderado: Al> As> B> Be> Co> Ge> K> Li> Na> Ni> Rb> U> W.

Sin embargo, Phillips (44) señala que plomo, hierro y estafío parecen tener la primacía en lo que se refiere a potencial contaminante; le siguen en orden decreciente cinc y cobre, después mercurio y cadmio y, al final, níquel y molibdeno.

Un contaminante se convierte en una amenaza al ambiente y a los seres vivos, sólo si puede ser tomado por la biota, a través de cualquier ruta; dado que la biodisponibilidad del mismo no puede ser evaluada en muestras de agua (44) y, en virtud de que la salud humana es un factor principal, parece razonable priorizar

la colecta de datos sobre metales en pulpa comestible de productos marinos comerciales de consumo humano, especialmente moluscos y crustáceos, dado que son organismos que habitan en sistemas acuáticos, en el medio de transporte más importante para los metales.

En la actualidad, la lista de especies recomendadas como indicadores de calidad de agua de mar prolifera rápidamente, aunque es usual utilizar moluscos, peces, algas y crustáceos. Estos últimos constituyen uno de los grupos más estudiados en cuanto a niveles de metales se refiere, aunque existen factores en su morfología que son causa principal de confusión en la interpretación de residuos de metales pesados, especialmente entre los decápodos (11).

Un buen organismo indicador (o centinela) puede producir índices de tiempo promedio de biodisponibilidad y grado de interacción de los metales con el mismo organismo, dependiendo de las tasas de captura y excreción de cada contaminante en particular. Sin embargo, existen interferencias ocasionadas por parámetros relacionados con el propio organismo, como especies de lípidos corporales, edad, talla, peso, sexo, ciclo sexual, crecimiento y dieta, interacciones con el contaminante en la captura, almacenamiento y/o excreción, y parámetros relacionados con las áreas de muestreo (salinidad, temperatura, etc.).

Los requisitos mínimos indispensables para seleccionar un

organismo indicador contempla que el organismo acumule el contaminante sin que se muera por los niveles encontrados en el ambiente; que sea sedentario, para que sea representativo del área de estudio; que sea abundante a través de la zona de estudio y que tenga una longevidad mínima de un año para permitir un muestreo prolongado. (44).

Los metales pesados

De los 108 elementos conocidos que existen en forma natural en la corteza terrestre, 84 se clasifican como metales. Cobre, manganeso, cadmio, cobalto, cromo, níquel, hierro, cinc, plata y plomo, son elementos que se incluyen dentro de la clasificación de Metales pesados o bien, Metales traza.

Metales pesados se denomina a aquellos que tienen una densidad (peso específico) superior a los 5 g/cm^3 y metales traza, es un término que pretende indicar la abundancia natural del mismo, es decir, son elementos que se encuentran en la corteza terrestre en proporciones del 0.1% en peso o menos y, que como tales representan el 0.8% del peso total de la corteza terrestre (52). En las Tablas Nos. 1 y 2 de la sección de Anexos, se muestran los niveles de abundancia natural en la corteza terrestre de dichos elementos.

Los metales se introducen a los sistemas acuáticos (sedimento, aguas intersticiales del sedimento y columna de agua) como resultado del intemperismo de suelos y rocas, erupciones

volcánicas y a partir de diversas actividades humanas como la minería (33). Alcanzan el ambiente marino vía escurrimientos de agua dulce, o por vía atmosférica; en cualquier caso, los metales son introducidos sobre o cerca de la superficie, donde ocurre la mayoría de la producción primaria (fotosíntesis) y secundaria (heterotrofia). Si su deposición exhibe largo periodos de residencia en aguas superficiales, se pueden acumular en esta porción de la columna de agua y puede afectar la ecósfera por completo (46).

Los metales solubles pueden presentarse en las aguas como iones libres en solución, iones complejados por aniones inorgánicos o iones complejados por ligandos orgánicos (14); también pueden encontrarse adsorbidos y/o ocluidos en material coloidal, o bien adsorbidos en particulados finos, detritus orgánico o material planctónico. Esto depende de las propiedades químicas del metal y de las características fisicoquímicas del medio que la rodea (salinidad, oxígeno disuelto, pH, potencial redox y temperatura) (33).

En cuanto a la solubilidad de los metales traza, bajo condiciones normales, el agua de mar aereada en el océano abierto, es considerablemente insaturada por metales traza. La mayoría de los metales traza raramente exceden su solubilidad en agua de mar y todos los metales traza podrían ser mantenidos en solución bajo condiciones normales. La única excepción de real importancia es el hierro, que exhibe muy baja solubilidad en el

agua de mar y es mantenido en la columna de agua casi por completo por adsorción de las partículas suspendidas (46).

Bioacumulación de metales pesados La biodisponibilidad de los metales traza depende de su partición entre las fases particulada y disuelta, de la especiación química, de la presencia de otras sustancias en solución, en fracciones disuelta, coloidal o particulada y del régimen fisicoquímico del medio; de ahí que pueden ser capturados por organismos vivos, vía ingesta o vía adsorción, a partir del agua, del alimento o bien de los sedimentos en que se desenvuelve el organismo, dependiendo de su ciclo de vida, estrategia de alimentación, hábitos alimenticios, edad, sexo, estado gonadal y metabolismo (11, 49).

Ciertos organismos acumulan metales en niveles superiores a los encontrados en el ambiente que los rodea, aunque muchos otros son capaces de excretar una proporción mayor de la cantidad tomada bajo condiciones de contaminación y así mantienen concentraciones de metales traza en sus cuerpos en niveles aproximadamente normales (25).

La bioacumulación puede ocurrir únicamente si el grado de absorción del metal por el organismo excede su grado de depuración. Dado que se capturan en solución de manera proporcional a las concentraciones halladas en el medio, los organismos que viven en zonas contaminadas acumulan más altas

concentraciones de metales que los que viven en áreas que no lo están (25). Este fenómeno lleva a la posibilidad de usar organismos para "monitorear" los niveles de contaminantes en cuerpos de agua, ya que la disponibilidad biológica se mide directamente y no se infiere a partir de las concentraciones en el agua y los sedimentos, o a través de la especiación de metales (44).

Metales esenciales, no esenciales y tóxicos

Según Overhoff y Forth, 1978 (en 14), un elemento es esencial cuando:

a) está consistentemente presente en todos los tejidos vivos saludables de una familia zoológica, donde las concentraciones en el tejido de una especie a otra no varía a intervalos muy grandes;

b) si los síntomas de su deficiencia se notan por su privación o remoción y desaparecen cuando los elementos regresan al tejido;
y

c) si los síntomas de deficiencia pueden atribuirse a distintos defectos bioquímicos a nivel molecular (14).

Según Bowen (5) y Venugopal-Luckey, 1975 (en 5), un elemento es esencial para un organismo si no puede crecer o completar su ciclo de vida en ausencia del elemento; no puede ser reemplazado por ningún otro, tiene una influencia directa sobre el organismo

y está involucrado en su metabolismo.

Existen metales pesados considerados como elementos esenciales para los organismos vivos. Estos pueden ser constituyentes de moléculas orgánicas utilizadas como fuentes de energía, componentes iónicos de fluidos intra y extracelulares útiles en el equilibrio osmótico o bien, pueden funcionar como piezas centrales del mecanismo metabólico de los seres vivos.

Los elementos no esenciales son necesarios en el organismo, pero nunca favorecen al crecimiento o incremento de una población determinada y por tanto, no se consideran indispensables (14).

Un elemento se considera tóxico si perjudica el crecimiento o metabolismo de un organismo a cierta concentración. Todos los elementos son potencialmente tóxicos al aumentar sus concentraciones, aunque algunos son notablemente nocivos aún en bajas concentraciones (5). Por lo anterior, la concentración de un metal puede confundirnos en cuanto a su toxicidad, ya que depende en mucho de su forma química: una concentración elevada de una especie química puede ser menos tóxica que otra en concentración menor (14).

El problema de la toxicidad es difícil de cuantificar, puesto que influyen en él situaciones adicionales como los efectos sinérgicos o antagónicos, debido a la presencia de otros

elementos de los sistemas biológicos; factores fisicoquímicos como temperatura, luz, pH; factores biológicos como la edad, sexo, estado de vida, vía de administración y tasas de depuración. Algunos elementos tóxicos son rápidamente excretados, aunque pequeños remanentes permanecen en el organismo por largos periodos y se convierten en tóxicos acumulables (por ejemplo cadmio, mercurio y plomo) (5, 14).

Se presenta a continuación una lista de metales clasificados por su toxicidad. Incluye los niveles de concentración determinados por diversos autores como naturales en organismos marinos y detalla en algunos casos sus efectos tóxicos.

Ag: Altamente tóxico para esporas fungales, plantas y mamíferos. (Vinogradov, 1953, en 5). Sus niveles naturales en organismos marinos se encuentran entre 3 y 11 ppm (5).

Tanto el metal como sus sales tienen diversos usos: como agente oxidante, desinfectante, en fotografía, platería, etc. Los polvos del metal pueden incrustarse en la piel y mucosas dando lugar a cambios locales de coloración azul-gris a café, lo que se conoce como argiria local. La argiria sistémica o generalizada resulta de la absorción de polvos o humos de plata por inhalación y se reconoce por una pigmentación generalizada de la piel, las mucosas y prácticamente todos los órganos. La pigmentación del cristalino se conoce como argiriolentis. (53).

Cd: Moderadamente tóxico en todos los organismos; veneno acumulable en mamíferos. (5). Su toxicidad se debe a la habilidad que tiene para competir con otros metales en el enlace a sitios específicos de proteínas y enzimas. (52). Altera el metabolismo debido a su capacidad para sustituir más del 30% del calcio de los huesos, provocando deformaciones óseas; provoca degeneración de las grasas en el hígado; causa inflamación de los riñones con posible daño tubular renal (49). Sus niveles naturales en organismos marinos se encuentran entre 0.15 y 3.00 ppm (5).

Co: Muy tóxico en plantas, moderadamente tóxico en mamíferos, inyectado por vía intravenosa. El contacto con este metal puede ocasionar dermatitis en los humanos (49). Sus niveles naturales en organismos marinos se encuentran entre 0.5 y 5.0 ppm (5).

Cr: Moderadamente tóxico en la forma Cr^{3+} ; Cr^{6+} es altamente tóxico a todos los organismos; probablemente carcinogénico. Aunque se considera uno de los metales menos tóxicos, la inhalación prolongada de los rocíos que se producen en los procesos de cromado, pueden causar corrosión de las membranas mucosas y hasta perforar el tabique nasal. Se supone sea un carcinogénico a nivel pulmonar y causante de úlcera, en casos de exposición prolongada. (49, 54). Sus niveles naturales en organismos marinos se encuentran entre 0.2 y 1.0 ppm (5).

Cu: Altamente tóxico para algas, semillas de plantas e

invertebrados; moderadamente tóxico en mamíferos. Es un elemento esencial para los seres vivos que actúa a nivel enzimático en el metabolismo. Su efecto en el organismo depende de interacciones con otros elementos traza como molibdeno y zinc, sin los cuales el cobre no actúa en el metabolismo ni aumenta su efecto tóxico. La ingestión excesiva de cobre provoca su acumulación en hígado y aunque no hay efectos muy bien definidos, se han observado dermatitis, irritación de los ojos y del tracto respiratorio (14, 49). Sus niveles naturales en organismos marinos se encuentran entre 4.0 y 50.0 ppm (5).

Fe: Ligeramente tóxico a los organismos, aunque la ingestión aguda de sales de hierro puede ser causante de intoxicación grave e incluso mortal. Hay dolor abdominal intenso, vómito, diarrea sanguinolenta, hipotensión arterial, acidosis metabólica, daño renal y muerte (49). Altas concentraciones de hierro en los tejidos pueden retrasar la absorción intestinal (28). Sus niveles naturales en organismos marinos alcanzan las 400 ppm (5).

Mn: Es uno de los elementos más abundantes en la naturaleza y existe también en el metabolismo de los seres vivos. En general no parece tóxico (54). Se emplea para fabricar baterías, tintas, cerámica y pintura. Se absorbe por inhalación y afecta principalmente al sistema nervioso central. Clínicamente el manganismo o intoxicación crónica se manifiesta como la enfermedad de Parkinson, siendo ambas entidades prácticamente

indistinguibles. En general hay poca correlación entre la severidad de los síntomas y los niveles de manganeso en la sangre y en la orina (49). Sus niveles naturales en organismos marinos se encuentran entre 1.0 y 80.0 ppm (5).

Ni: Muy tóxico para la mayoría de las plantas y hongos. Probablemente carcinogénico; moderadamente tóxico a los mamíferos. Puede ocasionar dermatitis y cáncer en los pulmones y nariz (28). En su refinamiento industrial se utiliza tetracarbonil de níquel, cuya inhalación aguda produce cefalea, vértigo, náusea, vómito y dolor subesternal. Después de un periodo asintomático de 12 a 36 h, aparece bruscamente dolor torácico constrictivo, tos, disnea y cianosis. Los rayos X dan imagen sugestiva de neumonía o neumonitis (49). Sus niveles naturales se encuentran entre 0.4 y 25.0 ppm (5).

Pb: Altamente tóxico a la mayoría de las plantas. Moderadamente tóxico a mamíferos, en los que tiende a acumularse en tejidos calcáreos, huesos (90%), hígado y riñones. Ocasiona hemólisis y destrucción de gónadas y células cerebrales. Sus efectos se manifiestan en la enfermedad conocida como saturnismo, entre otros, como cólicos, estreñimiento pertinaz, náuseas y disuria; además hay mialgias, artralgias y calambres en las extremidades (4, 49). Sus niveles naturales ascienden a 0.5 ppm (5).

Zn: Moderadamente tóxico a mamíferos. Las emanaciones en la atmósfera pueden ocasionar daño a los pulmones (4, 54). Los

niveles naturales encontrados en organismos marinos se encuentran entre 6.0 y 1500.0 ppm (5).

Metales pesados y sus importancia bioquímica

La importancia bioquímica de algunos metales pesados tiene origen en su participación en procesos electroquímicos (como fuente de energía libre durante la estimulación celular), tienen reacciones metabólicas cumpliendo funciones catalíticas (activando o conformando enzimas) o bien, funciones estructurales (como parte integral de organelos celulares) (5).

A continuación se presenta una lista de algunos de estos metales de importancia bioquímica y sus funciones a nivel metabólico, en la que se hace mención de las sustancias en que se encuentran presentes en el organismo de los seres vivos.

Hierro. Por su baja solubilidad, se absorbe y transporta ligado a proteínas. La función principal del hierro en el cuerpo de los organismos marinos es como componente de la hemoglobina. Es componente del sistema enzimático de citocromos, que produce ATP en la oxidación celular (27). En la mucosa intestinal, el hierro se combina con una proteína (apoferritina) para formar la ferritina. Se almacena en el hígado, bazo, riñón como Fe^{+++} combinado a una proteína hasta su uso (28).

Cataliza la descomposición del peróxido de hidrógeno, activa oxidasas, principalmente las que involucran oxígeno molecular. Es constituyente de la ferredoxina, pirocateasa y metapirocateasa. Cataliza la síntesis de aminoácidos a partir de formaldehídos y en luz solar (5). Sirve como acarreador de electrones en la formación de moléculas de NADPH en la fotosíntesis y participa en la fijación de nitrógeno -conversión de nitrógeno molecular en ión amonio (53).

Cobre. Está relacionado con el metabolismo y la absorción del hierro. Actúa en la hematopoyesis (formación de la hemoglobina) y en varios sistemas enzimáticos (27). Es esencial para el desarrollo de los huesos. Algunos animales como crustáceos y moluscos, contienen cobre como núcleo del pigmento transportador de oxígeno en la sangre, cianodina, que es análogo a la hemoglobina en los animales de sangre roja (28). Forma parte del pigmento hemocianina (0.2 - 0.4%) encontrado en crustáceos decápodos (43).

Al igual que el hierro, el cobre no se encuentra soluble como electrolito libre y, por lo tanto, se absorbe y transporta en forma de complejo cobre-proteína (28). Cataliza la oxidación de fenoles y ácido ascórbico; forma parte de las enzimas fenol oxidasa, tirosinasa, uricasa, monoaminoxidasa (5).

Cinc. Es constituyente de enzimas como proteasas, carbopeptidasa, anhidrasa carbónica, fosfatasa alcalina y

glutámico deshidrogenasa (5). Se asocia con la digestión de las proteínas del intestino, como coenzima. También es un cofactor en el metabolismo de los hidratos de carbono e interviene en la regulación del pH corporal. La insulina se almacena como un complejo de cinc (28). Toma parte en el metabolismo del exoesqueleto de crustáceos decápodos en el que la alcalina fosfatasa (metaloenzima de cinc) está asociada con la formación del nuevo caparazón (43). Estimula la incubación de quistes de nemátodos *Heterodera schachtii* (Clarke y Shepherd, 1965, en 5).

Manganeso. Las funciones del manganeso son las de cofactor en varios sistemas enzimáticos, tales como la síntesis de urea a partir de amoníaco, el metabolismo de los aminoácidos, el metabolismo de ácidos grasos y la oxidación de la glucosa (28). Participa en el ciclo de Krebs activando fosfato-transferasa, descarboxilasas y arginasas; además de catalizar la adición de fosfatos a ADP (5). En algunos casos se intercambia con Mg y compite con él por activas enzimas (43).

Cadmio. Estimula la cría de quistes de nemátodos (Clark y Shepherd, 1965, en 5).

Cobalto. Activa unas pocas enzimas tales como fosfomonoesterasa ácida, aminopolipeptidasa, glicilglicina-dipeptidasa y arginina desimidasa. Forma parte del núcleo de la cobalamina (vitamina B₁₂), útil en el tratamiento de la anemia perniciosa (53). Esencial para algas verde-azules, algunas bacterias y hongos.

semillas de plantas, insectos y mamíferos. Activa numerosas enzimas necesarias para la fijación de nitrógeno (5).

Cromo. Puede activar fosfoglucomutasa (Stickland, 1949 en 5) y es un ingrediente activo del factor de tolerancia a la glucosa (Schwartz y Mertz, 1957 y 1959 en 5). Es esencial en animales superiores, relacionado con la actividad de insulina (43). Se supone implicado en la activación enzimática y en el metabolismo oxidativo e inhibidor de organismos marinos (43).

OBJETIVOS

- 1) Establecer niveles de concentración básicos (o de referencia) de los metales "traza" cadmio, cinc, cobalto, cobre, cromo, hierro, manganeso, níquel, plata y plomo, en el tejido muscular de dos especies comerciales de camarones penidos: *P. stylirostris* y *P. vannamei*.
- 2) Evaluar la variabilidad de estos niveles de concentración con respecto a la talla (edad) de los organismos muestreados.
- 3) Determinar si estos niveles sobrepasan los límites permisibles, legislados internacionalmente para consumo humano.

MÉTODOS

Area de estudio

Complejo lagunar Huizache-Caimanero

Se localiza al sur del Estado de Sinaloa, México, a los $22^{\circ}50'$ N y $105^{\circ}55'$ W en la costa del Pacífico. Se localiza entre dos ríos, Presidio al NW y Baluarte al SE, mismos que se comunican al sistema mediante canales o esteros aportando agua al sistema. La laguna Huizache tiene una superficie aproximada de 72 km^2 y una profundidad media de 0.70 m; Caimanero, con una extensión de 134 km^2 aproximadamente, tiene una profundidad de 1.30 m. Según la época del año, el agua es típicamente marina, pues el caudal del río disminuye notablemente en la época de secas y en época de lluvias, el agua que ingresa al canal Agua Dulce (que comunica al río Baluarte con la laguna Caimanero) se estratifica y los registros de salinidad van de 0 ‰ (partes por mil) en la capa superficial a $18\text{-}20$ ‰ (partes por mil) en la capa cercana al fondo. El clima es cálido, semi-seco, con un cociente de precipitación mayor a 22.9 °C. Las lluvias son estibales y la precipitación invernal es de 5-10% de la total anual (31).

Estero El delfín

Se encuentra ubicado a 16 km al noroeste de Mazatlán entre la coordenadas $23^{\circ} 19'$ y $23^{\circ} 21'$ de latitud norte y $106^{\circ}30'$ y $106^{\circ} 28'$ de longitud oeste. Colinda al noroeste con el rancho

ganadero "Las culebras", al sureste con terrenos de propiedad privada y al oeste con el océano Pacífico, antecedido por una barra de arena, formada por el transporte sedimentario que provocan los movimientos de las masas de aire y la intensidad y dirección de las olas. Cuenta con un área de 190 ha, con una longitud media de 3500 m y una anchura que fluctúa de 150 m en la parte mas angosta y 800 m en la parte mas ancha. Tiene una profundidad variable, ya que la topografía del sistema es accidentada: presenta las máximas profundidades en la boca del sistema, de 4-5 metros y profundidades mínimas de 20 cm, llegándose a secar por completo en algunas áreas en época de estiaje, debido a la pendiente que existe en esas zonas (3).

Cuenta con clima tropical, subtropical y subhúmedo, con una precipitación medial anual para Mazatlán de 74.43 mm, con máximos en verano y mínimos en primavera. El aporte de agua dulce proviene de cuatro arroyos: El habal, Cocos, Potreros y Escopamas. Por otra parte, el aporte de agua marina se lleva a cabo por la apertura de la barra, que tiene una anchura de 25 metros aproximadamente; es de naturaleza efímera, permanece abierta durante los meses de julio, agosto y mitad de septiembre, generalmente mediante una draga se mantiene activa (3).

Complejo lagunar Teacapán-Agua Brava

Está localizado al noroeste de México, entre los paralelos

22°04' y 22°35' latitud norte y los meridianos 105°20' y 105°50' de latitud oeste. El sistema se encuentra entre los límites de los estados de Nayarit y Sinaloa, donde son abundantes las lagunetas, esteros y marismas; al norte está limitado con el estero del Mezcal y el Agua Grande, Sin., al sur con las marismas de Canoas y la laguna de Pericos, Nay. (41).

El clima de la región es de subtropical a tropical. La temperatura promedio anual es de 25 °C, con precipitaciones de 800 mm en el norte de Mazatlán, de 1,200 mm en Tepic y de 1,660 mm en la costa sur, cerca de San Blas, Nay. (42).

Botadero

En el extremo NW del sistema Huizache-Caimanero se encuentra un estero sinuoso cuyas diferentes partes se conocen con los nombres del Ostial y Botadero. El estero Botadero se comunica al estuario del río Presidio, el cual desemboca en el mar en Boca Barrón y a través de una boca artificial llamada Boca Botadero.

El estero Botadero tiene una longitud total aproximada de 7 km, con una amplitud máxima de 30 m y una profundidad máxima de 2 m en la época de lluvias (30).

Metodología de muestreo

De conformidad con las sugerencias de Phillips (44), los requisitos para seleccionar un organismo indicador contemplan que el organismo acumule el contaminante sin que se muera merced a los niveles encontrados en el ambiente; que sea sedentario y por tanto representativo del área de estudio; que sea abundante a través de la zona de estudio y que tenga una longevidad mínima de un año para permitir un muestreo prolongado.

Asimismo, deberán ser consideradas las interferencias que pudieran afectar los resultados obtenidos, como pueden ser:

- Parámetros relacionados con el propio organismo (especies de lípidos corporales, edad, talla, peso, sexo, ciclo sexual, crecimiento, dieta).

- Interacciones con el contaminante (en la captura, almacenamiento y/o excreción).

- Parámetros relacionados con las áreas de muestreo (salinidad, temperatura, etc.).

Aún cuando el objetivo de este estudio no es evaluar los niveles de contaminación de las zonas de captura, ni tampoco usar a los especies analizadas como organismos indicadores, es posible observar que los camarones cumplen satisfactoriamente los

requisitos para servir como centinelas.

En el presente estudio, fueron considerados los parámetros siguientes:

- . El sitio de captura (estuarino y marino)
- . La especie
- . La longitud y la edad de los organismos capturados

A continuación, se describen los procedimientos de captura de conformidad con el sitio de colecta y el tratamiento que cada grupo recibió una vez obtenido, considerando los parámetros anteriormente enlistados.

Captura de postlarvas. Por medio del uso de un arte de pesca denominado chayo, que consiste en una pequeña red de plástico en forma de carretilla (Fig. No.3), se realizó un arrastre manual en las zonas más bajas de las marismas para recolectar las postlarvas, mismas que venían acompañadas de lodo, otras especies de crustáceos y restos de plantas.

El producto se transfirió a cubetas de plástico, donde se efectuó una selección gruesa de material útil y se desecharon las especies no deseadas (como postlarvas de peces); después de un lavado con agua del mismo medio, se llevó a la captura a otro cubo con agua fresca de la marisma, utilizando como filtro al propio chayo.

Los organismos capturados se pesaron y separaron de acuerdo a su especie. Por muestra se requirió un mínimo de 30 g, mismos que se deshidrataron hasta peso constante, por acción del calor en una estufa (pérdida de un 80% de agua, aproximadamente). El producto, una vez seco, se procedió a molerlo y homogeneizarlo, para su posterior tratamiento (46).

Captura de juveniles y adultos. Los juveniles y adultos se capturan en zonas estuarinas utilizando una atarraya, la cual consiste en una red tejida en material plástico, de forma circular (Fig. No. 3).

La atarraya se eleva en el aire para poder extenderse antes de caer al agua. Los plomos que ostenta a su alrededor sirven para hacer que se sumerja lo suficiente en el agua y así evitar la salida de los camarones sobre los cuales caiga. La red se cierra con un mecanismo que se activa al sacarla del agua, convirtiéndose en una especie de bolsa que al sacudirla sobre la tierra, suelta los organismos capturados.

Una vez capturados, se procedió a separarlos por especie, a medirlos y una vez formados los grupos de tallas, en intervalos de 1 cm para cada grupo, se pesaron individualmente. Las muestras se deshidrataron por liofilización y, una vez seco el producto, se procedió a su pulverización por medio de un mortero de teflón y una malla de nylon puro (46). Después de homogeneizarla, quedó lista para su posterior tratamiento.

Captura de adultos. Los adultos de tallas mayores se capturaron en alta mar por medio de un arrastre de fondo con un arte de pesca denominado chinchorro. Este chinchorro es una especie de bolsa formada por una red que en la parte superior de la entrada se encuentra circundada por boyas y en la parte inferior, contribuye al arrastre con el peso de las cadenas que forman la entrada de la bolsa (Fig.No. 3). La boca del chinchorro se mantiene abierta durante el arrastre, merced a una par de tablas que sirven de gufa y de sostén del artefacto, unido a un winche a partir de un par de cadenas. La red, al permanecer abierta durante el arrastre, permite el paso de los camarones y la fauna de acompañamiento al interior de la bolsa. El arrastre se interrumpe cuando se considera que la bolsa tiene ya demasiado peso o que se ha llenado. Esto último se deduce en base al rendimiento de un equipo de prueba (chango) que se levanta cada 20 ó 30 minutos, cuyas características son las mismas que el de captura, pero de menor dimensión. La red camaronera tiene un diámetro de 65 a 130 pies y un largo aproximado de 15 m, la luz de malla es de 2 pulgadas para el chinchorro y de 1.75 pulgadas para el chango. La velocidad de arrastre es de 9 millas/hora, aunque el avance real es de $\frac{1}{4}$ de ésta, debido al peso del equipo.

Los individuos capturados se separaron por especie, por sexo y por talla (en intervalos de 1 cm para cada grupo) y posteriormente se pesaron individualmente. De cada uno de estos organismos, se cortaron 3 secciones de músculo: la parte

inmediata a la cabeza, el centro del cuerpo y la parte final anterior a la cola. Después se procedió a liofilizar el conjunto de secciones de los individuos de cada grupo de tallas y una vez deshidratado el producto, se procedió a su pulverización y homogeneización (46).

Separación de especies e identificación de sexos. Los individuos *P. vannamei* y *P. stylirostris* se separaron en base a un manual de identificación (57), que contempla las características morfológicas de cada una de las dos especies, a saber:

Penaeus vannamei

Rostro largo, agudo, sobrepasa el borde anterior de los ojos. Presenta en su borde superior de 7 á 9 espinas y en su borde inferior sólo 2, implantadas a la altura o por delante de la primera espina del borde superior. Su telson es de forma fusiforme y no se notan las espinas laterales. Presenta una espina terminal muy aguda, con un surco muy notorio en la cara dorsal. La coloración de la especie es blanco amarillenta, por lo general sin pigmentación y antenas de color rojo.

Penaeus stylirostris

De rostro largo, estilizado y agudo en su extremo anterior. Borde dorsal con 7 á 9 espinas, ubicadas después del primer

tercio (el primer tercio no tiene espinas); el borde inferior presenta de 4 á 5 espinas, ubicadas desde la altura de la segunda espina del borde dorsal hacia el extremo anterior. Su telson es ligeramente triangular y termina en su vértice con una espina muy aguda y un par de espinas en los bordes laterales. La coloración de su cuerpo es azulada a blanquecina, con pigmentación total y antenas de un matiz violáceo.

Los organismos fueron separados por sexos, de acuerdo a la presencia o ausencia de petasma (órgano reproductor masculino) como único indicio, y la longitud total de los organismos se determinó con una regla, midiendo desde el extremo de la punta del rostrum hasta la punta del telson, manteniendo extendido al individuo sobre una superficie plana. Se trabajó con el promedio de estas longitudes, en grupos diferenciados en intervalos de 1 cm.

Material

Bolsas de polietileno para congelar las muestras.

Pinzas y espátula de plástico.

Frascos de vidrio para liofilizadora (30 frascos)

Morteros de teflón.

Frascos de polietileno de 60 ml para guardar la muestras pulverizadas (30 frascos).

Vasos de precipitados de 100 ml (20 vasos).

Tubos de centrifugación de polipropileno de 50 ml (20 tubos).

Frascos de polipropileno para guardar las muestras digeridas (30 frascos).

Todo el material de plástico, teflón y vidrio, fue lavado especialmente para trabajar metales pesados, con ácido nítrico y ácido clorhídrico en concentración 2N, para garantizar su limpieza (36).

Equipo

Espectrofotómetro de absorción atómica Shimadzu AA-630-12.

Estufa de laboratorio Fisher Ecotemp Mod. 30 G.

Liofilizadora Conco.

Balanza electrónica Ohaus, Mod. GT 480 (aproximación de 0.001 g).

Balanza analítica Bosch, Mod. S 2000 (aproximación de 0.0001 g).

OBaño sónico Branson B-220.

Reactivos

HNO₃ concentrado y purificado por destilación, en condensador de cuarzo.

HNO₃ 2N

HCl 2N

Soluciones patrón Merck para absorción atómica, 0.1% (1000 ppm) de cobre, níquel, cromo, cobalto, plomo, cinc, cadmio, hierro, manganeso y plata.

Agua destilada desmineralizada.

Procedimiento analítico

Método de adición de estándares

El método de adiciones de estándares utilizado en el presente estudio involucró el uso de tres alícuotas de la misma muestra. La primera alícuota es diluida a volumen, mientras que la segunda y la tercera se les añaden cantidades en orden creciente de un estándar y luego se llevan a volumen similar a la primera muestra (55).

Quando las muestras a analizar contienen una concentración baja del compuesto a analizar, inmerso en grandes cantidades de diversos constituyentes en la matriz, es inclusive difícil preparar soluciones estándar útiles. En este caso, puede ser posible añadir pequeñas cantidades de solución estándar e incrementar las cantidades a la alícuota de cada muestra (55).

El método de adición de estándares se utiliza para compensar los efectos de matriz, pues es muy útil para prevenir interferencias. En la preparación de los estándares, la matriz del compuesto a analizar, debe ser siempre igualada, por tanto, si se encuentran varios compuestos, objeto de estudio, asociados en la matriz, estos deben estar asociados también en la solución estándar (8).

I. Preparación de soluciones

- Solución estándar. Se utiliza en la preparación de las alícuotas B y C, que se describen más adelante, en el apartado de preparación de muestras. Es una solución que contiene una mezcla de los metales objeto de estudio del presente trabajo, en concentraciones similares a las encontradas en otros trabajos realizados en distintas especies de camarón, a saber:

Volumen añadido de solución patrón	Concentración del metal (volumen final = 50 ml)
50 μ l de Pb	1 μ g/ml
100 μ l de Ni	2 μ g/ml
50 μ l de Co	1 μ g/ml
50 μ l de Cr	1 μ g/ml
1 000 μ l de Cu	20 μ g/ml
500 μ l de Mn	10 μ g/ml
5 000 μ l de Fe	100 μ g/ml
5 000 μ l de Zn	100 μ g/ml
500 μ l de Cd en 50 ml = 10 μ g/ml	
De esta solución, se tomó 1 ml y se llevó a volumen de 50 ml	0.2 μ g/ml

Se midieron con microbureta los microlitros enlistados de solución patrón de los metales mencionados. Se llevaron a volumen de 50 ml con agua destilada desmineralizada.

- Solución estándar de calibración (A, F, G y H). Son una serie de soluciones utilizadas para calibrar el aparato de absorción atómica, preparadas por diluciones sucesivas del estándar A, de conformidad a la siguiente descripción.

Estándar A

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

Estándar F

1 ml de solución estándar A se llevó a volumen de 50 ml.

Estándar G

0.5 ml de solución estándar A se llevó a volumen de 50 ml.

Estándar H

0.25 ml de solución estándar A se llevó a volumen de 50 ml.

Metal	Concentración de los estándares (ppm)		
	F	G	H
Ni	0.2	0.1	0.05
Cr	0.2	0.1	0.05
Co	0.2	0.1	0.05
Pb	0.4	0.2	0.1
Zn	0.04	0.02	0.01
Cd	0.04	0.02	0.01
Fe	0.1	0.05	0.025
Mn	0.04	0.02	0.01
Ag	0.04	0.02	0.01
Cu	0.2	0.1	0.05

II. Preparación de muestras

1) Pesar 1 gramo de cada muestra molida y homogeneizada y depositar en un vaso de precipitados de 100 ml. Realizar por triplicado (vasos A, B y C).

2) Añadir a los vasos B y C, 500 y 1000 μ l respectivamente, de solución estándar. Este procedimiento se utiliza para compensar los efectos de matriz y para incrementar la concentración del metal analizado, haciéndolo más fácilmente detectable (8).

3) Agregar 25 ml de HNO₃ destilado, para realizar la digestión, vfa oxidación, de la matriz orgánica que contiene a los metales (15, 44, 45).

4) Poner cada uno de los vasos A, B y C, en el baño sónico durante 15 min, para acelerar la digestión.

5) Llevar a sequedad las muestras, a 90°C en baño de arena, con el objeto de completar la digestión del tejido biológico y hacer más fácil la posterior disolución ácida de los metales extraídos.

6) Enjuagar el residuo con 10 ml de HNO₃ 2M, para poner en solución a los metales.

7) Transferir la mezcla a tubos de centrifugación, poner en baño sónico por 15 minutos, para ayudar a la disolución de los metales; centrifugar a 3000 rpm durante 20 min, y separar, por decantación, los sólidos que aún se encuentran presentes.

8) Separar el sobrenadante de los sólidos cuidadosamente para evitar la posible obstrucción de las líneas de succión del equipo de espectroscopía de absorción atómica.

9) Repetir los pasos 7) y 8) con 10 ml adicionales de HNO₃ 2M y añadirlos a los obtenidos anteriormente, para así contar con un volumen suficiente para las determinaciones (volumen final igual a 20 ml).

De acuerdo a la descripción anterior, se prepararon 3 alícuotas de muestra y, a cada una de ellas, se les añadió una cantidad distinta pero conocida del metal a analizar, excepto a una (vaso A).

Se midió la absorbancia de cada alícuota preparada; con las lecturas obtenidas, se realizó un gráfico, dentro del cual, al extrapolar a cero (la absorbancia), se calculó la concentración real de la muestra (35, 40, 55). En la Fig. No. 5 del apartado de Anexos, se plasman algunos de estos gráficos, como ejemplo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Con la finalidad de poder comparar los resultados obtenidos en el presente estudio, con los valores publicados en la literatura, obtenidos en otros trabajos realizados en especies distintas del género de los crustáceos, publicados en la literatura, se realizaron pruebas de evaluación de la técnica empleada, por medio de las cuales se pudo valorar su precisión, exactitud y límite de detección, para cada uno de los metales analizados. Los procedimientos y resultados se detallan a continuación:

Precisión. Se define como precisión el grado de concordancia entre mediciones repetidas de la misma cantidad de muestra en una misma o varias corridas (8, 35).

El objetivo de nuestra prueba es evaluar la reproducibilidad de los valores obtenidos para cada metal en una misma muestra, a través del seguimiento de la técnica desde sus pasos iniciales. Para ello se prepararon seis réplicas de una sola muestra (elegida por la cantidad disponible de la misma) de acuerdo a la técnica ya descrita para el análisis de los metales en el capítulo de Métodos. A cada una de ellas se le cuantificaron los niveles de Cu, Mn, Cd, Co, Cr, Ni, Fe, Pb, Zn y Ag. El mismo procedimiento se realizó con dos muestras más, esta vez elegidas porque sus niveles de concentración eran de los más pequeños

para todos los metales.

A los valores de precisión obtenidos se les calculó su coeficiente de variación, también conocido como desviación estándar relativa; es un ejemplo de un error estimado, cuyas unidades se expresan en porcentajes. Su cálculo se basa en la siguiente fórmula:

$$C.V. = \frac{\text{Desviación estándar} \times 100}{\text{Promedio}}$$

Los errores relativos son usados en la comparación de las precisiones de resultados que tienen diferentes magnitudes y tienen gran importancia en el cálculo de errores de propagación (35).

Los resultados obtenidos, junto con los promedios para cada muestra, por metal, se reportan en la Tabla No. 5 de la sección de Anexos.

Cabe hacer hincapié en que, obviamente, el coeficiente de variación cambia de conformidad con el metal y las concentraciones con que se trabaja. En el caso de los niveles encontrados en la muestra A, por ejemplo, se tiene que el cobalto, el cromo y el níquel, presentan un error relativo entre 44.3 y 58%, pero este error se hace más crítico para el cobalto y el cromo, que se hallan en niveles de concentración muy pequeños, dentro del orden de los microgramos de metal por cada

gramo de tejido seco. En el caso del cadmio, para las muestras B y C, este error se hace más evidente al ascender hasta el 89.7 y 77.1%, respectivamente.

Estos resultados ponen en evidencia que la reproducibilidad del método empleado en el presente trabajo, para los casos de los niveles de cadmio, cobalto, cromo y níquel, es pobre. Esta situación ya se ha reportado anteriormente en la literatura especializada, en trabajos realizados en otras especies de camarón en el mundo.

Exactitud. La exactitud se define como la proximidad al valor verdadero (35). La evaluación de la exactitud de un método analítico se realiza analizando muestras de concentración conocida y comparando los valores obtenidos con los ya establecidos.

Debido a que el estudio de los metales pesados en especies mexicanas es aún escaso, no nos fue posible contar con material biológico certificado de las especies de nuestro interés (*P. stylirostris* y *P. vannamei*), de modo que sus niveles de concentración nos pudieran servir de referencia para realización de nuestra prueba de exactitud de la técnica seguida.

Por tal motivo, en la prueba de exactitud que se llevó a cabo se usó como material biológico una muestra de camarón de la especie *Crangon crangon*, certificada por la Agencia Internacional de

Energía Atómica y, como valores de referencia, los niveles de concentración en dicha muestra, que fueron publicados por el mismo Organismo (23).

Los valores de exactitud obtenidos en la muestra de prueba para cada metal y sus respectivos porcentajes de recuperación, se muestran con sus coeficientes de variación junto con los publicados por la Agencia (IAEA) en la Tabla No. 6 de la sección de Anexos.

A los resultados obtenidos se les realizó un test de significancia, con el objetivo de comparar nuestros promedios experimentales con los valores conocidos, publicados por la OIEA, con la intención de probar que las diferencias observadas entre el promedio obtenido y el valor verdadero, se deben únicamente a errores fortuitos.

Para todos los casos analizados encontramos, con un nivel de significancia del 5%, que las diferencias entre ambos valores (reportados y obtenidos) no es significativa; es decir que, en base a los datos disponibles, no es posible concluir que sean valores distintos.

Límite de detección. Se define como la concentración de un elemento que da una señal igual a algún múltiplo, usualmente dos, de la desviación estándar del ruido (55); o bien como la

concentración más pequeña que puede ser detectada con certeza razonable (24).

En virtud de que, de los 10 metales evaluados, en 7 de ellos se hallaron niveles promedio menores a las 5 ppm y, a que en casos como el Cr, Co o Cd, las desviaciones de dichos promedios eran mayores al 50%, fue necesario calcular el límite de detección para cada uno de los metales evaluados en el presente estudio.

Para tal efecto, los blancos usados en las pruebas de precisión sirvieron como sustrato de esta nueva evaluación. Al blanco que ofreció la señal más cercana a cero, se le hicieron un mínimo de 6 lecturas sucesivas y del promedio de las concentraciones obtenidas, el límite de detección se obtuvo al multiplicar la desviación estándar del promedio, por dos.

Los resultados se encuentran reportados en la Tabla No. 7 de la sección de Anexos.

Para los metales Ag y Pb, los niveles encontrados en las muestras analizadas eran menores a los límites de detección, por tal razón, no se informan, sino que se muestran como < 0.05 ppm y < 0.10 ppm, respectivamente.

Concentración de metales pesados en *Penaeus vannamei* y *Penaeus stylirostris*.

Los niveles promedio de metales encontrados en las dos especies se presentan en las Tablas Nos. 8 y 9 de la sección de Anexos.

De conformidad con la información referida, el orden decreciente de acumulación de metales, obtenidos en este estudio para *Penaeus stylirostris* es el siguiente:

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

Y para *Penaeus vannamei*, los niveles de metales encontrados se pueden ordenar de manera secuencial decreciente como sigue:

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

Para ambas especies, el orden de acumulación que presentan hierro, cinc, cobre y manganeso es el mismo; así como para níquel, cobalto y cadmio, orden que entre especie y especie, sólo se ve modificado por un cambio de posición. dado por el cromo, aunque este metal, para el caso de *P. vannamei*, presenta una desviación estándar mayor a la media de concentración obtenida, razón por la cual el dato se vuelve poco confiable.

Con base en la prueba de *t* de Student, de comparación de media de dos muestras (35), con 1% de significancia, no se encontró

evidencia, de que las concentraciones promedio de los metales en las dos poblaciones de camarones estudiados, fueran diferentes, para ninguno de los ocho metales.

En cada uno de los metales cuantificados, los intervalos de concentración de ambas especies son comparables entre sí y, además, comparables a los niveles encontrados en otras especies publicadas en la literatura, que se muestran en las Tablas Nos. 10 y 11, ubicadas en la sección de Anexos.

Los niveles más altos encontrados en músculo en este estudio, para ambas especies, corresponden a los metales hierro, cinc y cobre.

En el caso de hierro, los niveles hallados son más altos que en cualquier otra especie. En lo que a cobre y cinc se refiere, estos coinciden con los obtenidos por Khan *et al* (25), quienes afirman que Cu y Zn se acumulan preferentemente en el músculo de *Palaemonetes pugio*, y con Peña García y Fowler (43) que señalan también concentraciones altas de cobre y cinc en *Penaeus californiensis*.

En las mediciones del presente trabajo, continúan en orden decreciente de concentración los niveles de manganeso y níquel, para los que Eisler (11) informa los niveles más bajos en el músculo de crustáceos.

Por último, en el mismo orden, se tiene a los niveles de cobalto, cadmio y cromo. Darmono (9) encontró que los niveles de cobalto y cadmio fueron consistentemente inferiores al límite de detección de su técnica, al igual que plata y plomo, que en este estudio tampoco superaron los límites de detección de la metodología empleada.

Khan et al (25), al igual que Simões Gonçalves (50) afirman que el cadmio se acumula preferentemente en la cáscara de los crustáceos; dado que aquí solo se evaluaron las concentraciones de los metales en el tejido somático, resulta lógico que solo recuperaríamos un pequeño porcentaje del cadmio acumulado en los organismos de ambas especies.

Eisler (11) explicó que el cadmio raramente excede las 0.3 ppm (base fresca) en músculo de crustáceos; de conformidad con estas observaciones, en este estudio se encontraron niveles iguales a 0.33 ppm en *P. stylirostris* y 0.12 ppm en *P. vannamei*.

Para cobalto, el mismo autor señala que sus niveles nunca sobrepasan las 0.46 ppm (base seca), sin embargo, Goldberg y Bertini (4) encontraron 0.5 ppm en camarones y en este trabajo se tuvieron niveles de 0.81 y 0.9 ppm en *P. stylirostris* y *P. vannamei*, respectivamente.

Niveles de concentración de metales pesados y su relación con la talla de los organismos.

La acumulación de los metales pesados en los crustáceos (y en la biota en general), está en función del balance entre lo que se consume del metal y lo que se excreta. La cantidad que resulta de restar lo que se excreta de lo que se adquiere, define la cantidad de metal que se distribuye en los tejidos de los organismos. De ahí que la concentración de metales en una especie será el resultado del balance entre el consumo neto del metal y la tasa de crecimiento del organismo (44).

La Tabla No. 12 muestra las ecuaciones de regresión con los respectivos coeficientes de correlación, estadísticamente significativos (35), que presentan los niveles de algunos metales pesados en el tejido somático que guardan cierta dependencia con la talla de los organismos analizados.

Para la especie *P. stylirostris*, la acumulación de cobre, manganeso y níquel con respecto a la talla de los organismos se aprecia en los Figs. Nos. 6, 7 y 8.

Cobre se acumula de manera directamente proporcional, en tanto que níquel y manganeso de forma proporcionalmente inversa.

Con respecto al manganeso, se han señalado también relaciones inversas consistentes entre el tamaño de los individuos

analizados y sus niveles del metal en *P. monodon* y *P. merguensis* (9) y *P. californiensis* (43).

El cobalto también se acumula con una dependencia inversa con respecto a la talla, pero de forma exponencial (Fig. No. 9), en tanto que el cromo y el hierro, son almacenados con la misma tendencia pero en forma lineal (Figs. Nos. 10 y 11).

En el caso de *P. vannanet*, el níquel, hierro y cromo, al igual que en *P. stylirostris*, se acumulan con una relación inversa al crecimiento de los organismos, pero esta vez de manera exponencial (Figs. Nos. 10, 11 y 12).

Peña-García y Fowler (43) afirman que es lógico que la concentración de cromo disminuya conforme aumenta la longitud de los crustáceos, ya que estos adsorben el cromo del medio y, el área superficial de adsorción por unidad de peso (o volumen) es mayor en los animales más pequeños que en los grandes. Para los demás elementos dicen no haber relación que pueda significar que se adquieren por adsorción, sino por ingestión alimenticia.

Sin embargo, Eisler (11) menciona que el cobalto puede ser adsorbido también del medio, al igual que el manganeso (Bryan, 1968). Esta pudiera ser la razón de que ambos metales también muestren un comportamiento inversamente proporcional a la talla en *P. stylirostris*.

A diferencia de lo encontrado en *F. stylirostris*, en el camarón blanco *P. vannamei* el cobre, manganeso y cobalto no presentan evidencia de relación alguna entre sus niveles y la talla.

Cadmio y cinc no guardan dependencia alguna en ninguna de las dos especies estudiadas aquí. Khan *et al* (25) afirman que ambos metales se acumulan predominantemente en la cáscara y a consecuencia de las mudas, también son eliminados a través de ellas. Dado que las mudas se presentan influenciadas por factores hormonales y cambios de temperatura o luz (44), y no por razones inherentes al crecimiento de los organismos, es factible que la acumulación de ambos metales no muestre relación de ningún tipo con la talla de los individuos.

Sin embargo, autores como Peña García y Fowler (43) y Small *et al* (en 11) sí informan relaciones de dependencia con la talla, inversamente proporcionales para el cinc.

Además, Renfro *et al* y Bender (en 44) y Peña García y Fowler (43), sostienen que la vía alimenticia es la ruta principal de captura de cinc para los crustáceos (y no la adsorción a través de la cáscara). Eisler (11) afirma que también para cadmio, la vía dietética permite una transferencia del metal más efectiva que la absorción directa desde el agua de mar.

El sitio de captura y su influencia sobre la relación de los niveles de concentración y la talla de los organismos

En la Tabla No.13 se muestran los intervalos de concentración encontrados en *P. stylirostris*, diferenciados por el sitio en que fueron colectados. Para casi la totalidad de los metales evaluados, los niveles encontrados son comparables entre ambos sitios de captura. La excepción la constituyen los niveles de hierro, que son considerablemente mayores en los organismos colectados en el ambiente estuarino, que son ciertamente los de menor talla.

Con base en la prueba de t-Student, de comparación de medias de dos muestras (35), con un nivel de significancia del 5%, sólo se encontró evidencia de que las medias de los niveles de concentración de manganeso, cobalto y hierro en la especie *P. stylirostris*, fueran distintos debido a la diferencia de ambientes en que se llevaron a cabo las colectas.

En su mayoría, los metales analizados tienen niveles comparables en ambos ambientes aunque es posible apreciar que los metales ya mencionados, manganeso, cobalto y hierro, dan la impresión de disminuir sus niveles al pasar del ambiente estuarino al ambiente marino. Lo anterior se ve confirmado en detalle en las Figs. Nos. 15 al 19 que muestran las diversas tendencias de los niveles de metales en relación a la talla, influenciadas por el ambiente en que se desarrollan los organismos colectados.

Harding y Goyette (18) realizaron un estudio en el que evaluaron las variaciones en los niveles de algunos metales en músculos de camarones procedentes de 2 tipos distintos de ambiente: unos contaminados y otros no contaminados. Al igual que en este estudio, encontró variaciones estadísticamente significativas entre los niveles de metales en los organismos colectados en sitios distintos, aún cuando estas diferencias no eran muy grandes; sin embargo, no encontró correlación alguna entre niveles de metales en los sedimentos de los ambientes de captura y los tejidos en ninguna especie.

Khan et al (25), evaluó la bioacumulación de otros metales en 2 poblaciones de *Palaeomonetes varians* procedentes de 2 zonas de colecta distintas: la primera de ellas se ubica en un arroyo aledaño a una población altamente industrializada y la segunda, se localiza en un arroyo prístino cercano a una población no industrializada. Su estudio le permitió llegar a la conclusión de que los organismos regulan la bioacumulación de los metales (por reducción de permeabilidad a estos o aumentando la excreción de los mismos) a consecuencia de las diferencias de concentración de los propios metales en las distintas zonas de colecta de los crustáceos.

Darmono (9) midió los niveles de 11 metales traza en 3 poblaciones distintas de crustáceos: 2 grupos procedentes de ambientes naturales y 1 de cultivo, y encontró que las

diferencias entre los sitios de captura pueden influir en la relación entre niveles de metal y el tamaño de los organismos.

Dado que en el presente estudio no se midieron los niveles de concentración de los metales en agua o sedimentos, no fue posible evaluar la relación que exista entre ellos y la bioacumulación de los mismos en la biota.

En la Tabla No. 14 se reportan las ecuaciones de regresión con coeficientes de correlación (estadísticamente significativos) para las relaciones entre los niveles de concentración de los metales y la talla de los camarones, diferenciados por el sitio de captura, evaluadas en la especie *Penaeus stylirostris*.

Únicamente los niveles de cobre, manganeso y cobalto parecen guardar alguna relación con la talla de los individuos colectados en ambientes estuarinos.

Cobre y manganeso (Figs. Nos. 15 y 16) presentan una tendencia lineal, directamente proporcional al crecimiento de los crustáceos, en tanto que los niveles de cobalto (Fig. No. 17) aparentemente tienden a disminuir conforme crecen los camarones en los estuarios.

Para el ambiente marino, las variaciones en los niveles de cobre parecen reproducir el mismo comportamiento mostrado en el

ambiente estuarino (Fig. No. 15), aunque con una pendiente mayor.

Para cobalto, a diferencia de la tendencia exhibida en el ambiente estuarino, donde los niveles disminuyen logarítmicamente con el incremento de la talla, en el ambiente marino presentan una relación distinta, en la que los niveles muestran la tendencia a incrementarse con la talla de los camarones (Fig. No. 17).

De conformidad con las Figs. Nos. 18, 19 y 20, los niveles de cadmio, cromo y cinc, manifiestan sólo para el ambiente marino relaciones directamente proporcionales; en tanto que para el ambiente estuarino, los mismos metales exhiben una relación nula con la talla de los crustáceos.

Para ambos ambientes, los niveles de hierro y cinc aparentemente no guardan ninguna dependencia con la longitud de los organismos.

Niveles de concentración de metales y su relación con la edad de los organismos.

Con la finalidad de contar con más elementos de juicio para determinar si la longitud (talla) del camarón tiene o no una relación con los niveles encontrados de los metales en las muestras y, habida cuenta, de que el tamaño de los camarones no

varfa directamente con la edad, sino que su crecimiento puede verse afectado por las condiciones tróficas y fisicoquímicas del medio que lo rodea, se hicieron cálculos aproximados de la edad de los grupos analizados, de acuerdo a la especie, utilizando el modelo de Von Bertalanffy, a través de la cual fue posible calcular la edad teórica de los individuos colectados, en base a su talla.

El cálculo fue posible adecuarlo a las condiciones de nuestro trabajo gracias a un estudio realizado por Núñez Pastén (37), en algunos miles de individuos de las especies *P. vannamei* y *P. stylirostris*, utilizando en modelo de Von Bertalanffy; y que concluye que estos organismos cumplen con el modelo de crecimiento ya mencionado. Las tallas y su respectiva edad calculada para cada especie en cuestión, se presentan en la Tabla No. 15 de la sección de Anexos.

En la Tabla No. 18 se muestran las ecuaciones con sus coeficientes de regresión (estadísticamente significativos) que muestran las distintas relaciones encontradas para los niveles de concentración de metales pesados y la edad de los camarones.

En el caso particular de *Penaeus stylirostris*, los niveles de cobre y manganeso (Figs. Nos. 21 y 22) siguen mostrando tendencias acordes a acumularse de forma exponencial, aunque cobre de manera directamente proporcional y manganeso de manera contraria.

Los niveles de cadmio muestran una ligera tendencia a incrementarse linealmente con la edad de los camarones, en tanto que los de cobalto y hierro, mas bien parecen disminuir logarítmicamente conforme madura el animal (Figs. Nos. 23, 24 y 25).

Por su parte, la acumulación de níquel, con respecto a la edad calculada, al igual que con relación a la talla, sigue presentándose como una variable que depende, de forma inversamente proporcional, de la edad de los individuos, como podrá apreciarse en la Fig. No. 26.

Cromo y cinc son dos metales que, aunque presentan acumulación, no se halló evidencia estadísticamente significativa que demuestre relación de algún tipo entre sus niveles de concentración y la edad de los organismos analizados. En cambio, para *Penaeus vannamei*, los niveles de dichos metales sí exhiben la tendencia a disminuir conforme pasa el tiempo, aunque cromo lo hace con una tendencia distinta al cinc (Figs. Nos. 27 y 28).

Los niveles de níquel en *Penaeus vannamei* siguen la misma tendencia que para *P. stylirostris* (Fig. No. 29) en donde, al aumentar la edad de los organismos, pareciera que la acumulación del metal disminuye. Un comportamiento similar se encontró para el hierro, metal que tiende a disminuir sus niveles de concentración en el tejido blando del camarón blanco *P. vannamei* conforme aumenta la edad del organismo (Fig. No. 30).

CONCLUSIONES

Las variaciones de los niveles de concentración de los metales Cu, Mn, Co, Cd, Cr, Ni, Fe y Zn, en el tejido muscular de las dos especies de crustáceos *Penaeus stylirostris* y *Penaeus vannamei*, con respecto a la talla (edad) de los organismos analizados, depende del metal evaluado, de la especie en cuestión y del sitio de colecta de los especímenes examinados.

El efecto de la edad sobre la variación de los niveles encontrados es un hecho y, puede deberse a diferencias de tipo metabólico (entre jóvenes y adultos, por maduración sexual o inclusive desove), a diferencias de alimentación o bien a la biodisponibilidad que exista por el tipo de ambiente en que se desenvuelva el organismo.

Los niveles de concentración encontrados para todos los metales examinados, para ambas especies, no se consideran peligrosos para el consumo humano. Los niveles de Zn, Cu y Cd son inferiores 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, Cu = 10 y Cd = 0.5 mg/kg (peso fresco).

ANEXOS

Tabla No. 1

Abundancia de metales en la corteza terrestre (14)

Ni	75.00 ppm
Zn	70.00 ppm
Cu	55.00 ppm
Pb	12.50 ppm
Cd	0.20 ppm
Ag	0.07 ppm
Mn	1,000.00 ppm
Fe	50,000.00 ppm

Fuente: Parker, 1969

Tabla No. 2

Concentración de elementos esenciales para la vida
de las plantas en diversos materiales naturales

ELEMENTO	C O N C E N T R A C I O N (ppm)					
	Rocas Ígneas	Pizarras	Arenisca	Calizas	Suelo	Agua dulce
Mo	1.5	2.6	0.2	0.4	2.0	3.5×10^{-4}
Cu	55.0	45.0	5.0	4.0	20.0	0.01
Zn	70.0	95.0	16.0	20.0	50.0	0.01
Mn	950.0	850.0	50.0	1 100.0	850.0	0.01
Fe	5.6×10^4	4.7×10^4	9 800.0	3 800.0	3.8×10^4	0.67
B	10.0	100.0	35.0	20.0	10.0	0.13
Cl	130.0	180.0	10.0	150.0	100.0	7.8
S	280.0	2 400.0	240.0	1 200.0	700.0	3.7
P	1 050.0	700.0	170.0	400.0	650.0	5.4×10^{-3}
Mg	2.3×10^4	1.5×10^4	10^3	2 700.0	5 000.0	4.1
Ca	4.1×10^4	2.2×10^4	3.9×10^4	3.0×10^5	1.3×10^4	15.0
K	2.1×10^4	2.6×10^4	$.1 \times 10^4$	2 700.0	1.4×10^4	2.3
N	20.0	-	-	-	1 000.0	0.2
O	4.6×10^5	4.8×10^5	4.9×10^5	4.9×10^5	4.9×10^5	8.8×10^5
C	200.0	1.5×10^4	1.4×10^4	1.1×10^4	2.0×10^4	11.0
H	1 400.0	5 600.0	1 800.0	850.0	1.5×10^4	1.1×10^5

Fuente: Fortescue y Marten (32).

Tabla No. 3

Clasificación taxonómica (3)

Phylum:	Arthropoda
Clase:	Malacostraca (Latreille, 1806)
Subclase:	Eumalacostraca (Grobben, 1892)
Cohorte:	Eucarida (Caimán, 1904)
Orden:	Decápoda (Latreille, 1803)
Suborden:	Dendrobranchiata (Bate, 1888)
Superfamilia:	Peneoidea (Rafinesque, 1815)
Familia:	Penaeidae (Edwards, 1837)
Subfamilia:	Penaeidae (Burkenroad, 1935)
Género:	Penaeus (Burkenroad, 1981)
Especies:	vannamei (Boone, 1931) stylirostris (Stimpson, 1987).

Tabla No. 4

RESUMEN DE PREPARACION DE LAS MUESTRAS

	S I S T E M A S			B L A N C O		
	A	B	C	A	B	C
Muestra	1 g	1 g	1 g	-	-	-
Volumen de estándar	-	500 μ l	1000 μ l	-	500 μ l	1000 μ l
Volumen de aforo CHNO ₃ 2M	20 ml	20 ml	20 ml	20 ml	20 ml	20 ml

Tabla No. 5

METAL	COEFICIENTES DE VARIACION (%) ^a			PROMEDIO
	Muestra A	Muestra B	Muestra C	
Cu	22.0	17.9	5.0	15.0
Mn	20.5	17.7	10.9	16.4
Cd	31.0	89.7	77.1	66.0
Co	53.0	48.0	58.5	53.0
Cr	44.3	94.7	N. D.	69.5
Ni	56.0	26.1	20.2	34.1
Fe	7.6	26.7	19.6	18.0
Zn	7.3	22.9	21.6	17.2

$$^a \text{C. V. (Coeficiente de variación)} = (\sigma \times 100) \div \bar{x}$$

Tabla No. 6

INTERVALOS DE CONCENTRACION ESTIMADOS POR LA AIEA ^a PARA UNA MUESTRA CERTIFICADA DE CAMARON <i>Crangon crangon</i> Y NIVELES DE CONCENTRACION ENCONTRADOS PARA LA MISMA MUESTRA, CON EL METODO DE ESPECTROSCOPIA DE ABSORCION ATOMICA					
Metal	Intervalos AIEA		Niveles encontrados por Abs. Atómica		
	Limite inferior (ppm)	Limite superior (ppm)	Concentracion (ppm)	C. V.	Recuperacion (% R)
Cu	21.30	22.70	17.61	+ 2.63	80.04
Mn	3.74	4.32	2.52	+ 0.41	63.00
Cd	0.58	0.70	0.39	+ 0.25	65.00
Co	ND	ND	0.32	+ 0.17	ND
Cr	0.75	1.47	1.43	+ 0.99	128.80
Ni	0.95	2.05	1.43	+ 0.49	95.30
Fe	52.60	59.20	63.63	+ 9.61	95.60
Zn	63.20	68.20	69.13	+ 11.92	105.20
Ag	ND	ND	< 0.05 ^{LD}	ND	ND
Pb	ND	ND	< 0.10 ^{LD}	ND	ND

a = Agencia Internacional de Energía Atómica.

ND = No disponible.

LD = Límite de detección ($\tau \times 2$)

CV = Coeficiente de variación [$(\tau \times 100) + \bar{x}$]

%R = Porcentaje de recuperación (valor encontrado + valor de referencia).

Tabla No. 7

**LIMITES DE DETECCION CALCULADOS PARA
 ESPECTROMETRO DE ABSORCION ATOMICA SHIMADZU
 EN LAS CONDICIONES DE OPERACION EN ESTE ESTUDIO**

Técnica de adición de estándares

(L.D. = $\tau \times 2$)

Metal	C ppm
Cu	0.20
Mn	0.05
Cd	0.05
Co	0.40
Cr	0.10
Ni	0.05
Pb	0.10
Ag	0.05

Tabla No. 8

Niveles de concentración de metales pesados
en camarones *Penaeus stylirostris*

Metal	Niveles (ppm, peso seco)		
Cu	29.58	±	15.93
Mn	2.69	±	2.23
Cd	0.52	±	0.31
Co	0.81	±	0.70
Cr	0.48	±	0.38
Ni	1.17	±	0.95
Fe	82.85	±	54.06
Zn	78.73	±	23.06

Tabla No. 9

Niveles de concentración de metales pesados
en camarones *Penaeus vannamei*

Metal	Niveles (ppm, peso seco)		
Cu	23.73	±	5.9
Mn	7.11	±	3.5
Cd	0.56	±	0.3
Co	0.91	±	0.5
Cr	1.54	±	1.6
Ni	1.30	±	0.5
Fe	180.16	±	122.3
Zn	60.6	±	18.8

Tabla No. 10

NIVELES DE CONCENTRACION DE METALES PESADOS EN
DIVERSAS ESPECIES DE CRUSTACEOS DECAPODOS

Especies	Niveles (ppm, peso seco)				
	Cu	Mn	Cd	Co	Cr
<i>Metapenaeus affinis</i> ¹	28.9	†	†	†	†
<i>Palaemon serratus</i> ²	30.0	†	†	†	†
<i>P. squilla</i> ²	31.0	†	†	†	†
<i>Palaemonetes pugio</i> ³	14.2	†	0.10	†	†
<i>P. varians</i> ²	32.0	†	†	†	†
<i>Pandalopsis dispar</i> ⁴	14.2	†	0.15	†	0.50
⁵	14.2	†	0.15	†	0.51
<i>Pandalus borealis</i> ⁴	18.4	†	0.13	†	0.80
⁵	11.7	†	24.70	†	1.08
<i>P. jordani</i> ⁶	18.2	†	0.49	†	†
<i>P. montagui</i> ⁷	†	†	†	†	†
<i>P. platycercus</i> ⁴	15.4	†	0.12	†	0.50
⁵	17.2	†	0.12	†	0.52
<i>Penaeus vannamei</i> ¹³	23.7	7.1	0.60	0.90	1.50
<i>P. japonica</i> ⁸	†	1.0	†	0.05	†
<i>P. merguensis</i> ⁹	9.1	1.1	†	†	†
<i>P. monodon</i> ⁹	7.2	0.5	†	†	†
¹	34.9	15.0	†	†	†
<i>P. stylitrostris</i> ¹³	29.6	2.7	0.52	0.81	0.48
Camarones ¹⁰	†	†	†	0.50	†
Camarón café ¹¹	34.0 ¹²	21.4	0.18	†	2.10
Camarón roca ¹¹	31.1	8.0	0.25	†	2.80

Fuentes:

¹Zingde, et al (11)⁷Ray, et al (11)²Bryan, (6)⁸Ishii, et al (11)³Khan, et al (25)⁹Darmono, et al (9)⁴Harding, et al (18)¹⁰Bertine, et al (4)⁵Hamilton (1)¹¹Horowitz, et al (11)⁶Bernhard, et al (11)¹²Sims, et al (44)

† = dato no disponible

¹³Este estudio

Tabla No. 10 (cont.)

NIVELES DE CONCENTRACION DE METALES PESADOS EN
DIVERSAS ESPECIES DE CRUSTACEOS DECAPODOS

Especies	Niveles (ppm, peso seco)				
	Ni	Fe	Zn	Pb	Ag
<i>Metapenceus affinis</i> ¹	†	†	†	†	†
<i>Palaemon serratus</i> ²	†	†	21.0	†	†
<i>P. squilla</i> ²	†	†	30.0	†	†
<i>Palaemonetes pugio</i> ³	†	†	32.3	†	†
<i>P. varians</i> ²	†	†	20.0	†	†
<i>Pandalopsis dispar</i> ⁴	†	†	50.1	1.01	†
⁵	†	†	50.2	0.92	†
<i>Pandalus borealis</i> ⁴	†	†	44.1	1.27	†
⁵	†	†	45.7	0.95	†
<i>P. jordani</i> ⁶	†	†	†	†	†
<i>P. montagu</i> ⁷	†	†	70.0	†	†
<i>P. platyceros</i> ⁴	†	†	49.3	1.09	†
⁵	†	†	50.0	0.93	†
<i>Penaeus vannamei</i> ¹³	1.30	180.2	60.7	<.10	<.05
<i>P. japonica</i> ⁸	†	76.0	63.0	†	†
<i>P. mergutensis</i> ⁹	†	0.6	12.6	†	†
<i>P. monodon</i> ⁹	†	2.1	16.1	†	†
¹	†	†	21.5	†	†
<i>P. stylirostris</i> ¹³	1.20	83.0	79.0	<.10	<.05
Camarones ¹⁰	†	†	†	†	†
Camarón café ¹¹	†	14.2	47.7	1.10	0.24
Camarón roca ¹¹	1.6	40.2	56.3	1.09	†

Fuentes:

¹Zingde, et al (11)²Bryan, (6)³Khan, et al (25)⁴Harding, et al (18)⁵Hamilton (1)⁶Bernhard, et al (11)

† = dato no disponible

⁷Ray, et al (11)⁸Ishii, et al (11)⁹Darmono, et al (9)¹⁰Bertine, et al (4)¹¹Horowitz, et al (11)¹²Sims, et al (44)¹³Este estudio

Tabla No. 11
 NIVELES DE CONCENTRACION DE METALES PESADOS EN
 DIVERSAS ESPECIES DE CRUSTACEOS DECAPODOS

Especies	Niveles de concentración (ppm, en fresco)							
	Cu	Mn	Cd	Co	Cr	Ni	Fe	Zn
<i>Crangon vulgaris</i> ¹	†	†	†	†	†	†	†	14.0
<i>Palaemon serratus</i> ¹	3.5	†	†	†	†	†	†	10.0
<i>Palaemon squilla</i> ¹	†	†	†	†	†	†	†	30.0
<i>Palaemonetes varians</i> ¹	7.9	†	†	†	†	†	†	14.0
<i>Pandalus jordani</i>	3.5 ²	†	0.16 ²	†	†	†	†	11.0 ³
<i>Penaeus duorarum</i> ⁴	†	†	0.30	†	†	†	†	†
<i>Penaeus stylirostris</i> ⁷	5.2	1.6	0.13	0.20	0.33	0.29	39.7	13.4
<i>Penaeus vannamei</i> ⁷	6.6	0.6	0.12	0.20	0.12	0.29	20.3	19.1
<i>Penaeus sp.</i> ⁵	†	†	†	†	†	†	76.0	†
Camarones ⁶	†	†	<0.35	†	†	†	†	†

Fuentes:

¹Bryan (8)

²Bernhard, et al (11)

³Cutshall, et al (11)

⁴Nimmo, et al(11)

⁵Wolfe, et al (11)

⁶Won (11)

⁷Este estudio.

† = dato no disponible.

* = 20% de ppm en peso seco.

Tabla No. 12

Ecuaciones de los ajustes realizados con coeficientes de regresión estadísticamente significativos entre Lt (longitud total, en cm) y concentración de metales pesados (ppm, peso seco), en tejido blando de dos especies de camarones peneidos

$$[M] = m Lt + b \text{ (Regresión lineal)}$$

Penaeus stylirostris

Metal	Datos mixtos ^a		
	r	m	b
Cu	0.77**	1.56	3.60
Mn	†		
Cd	†		
Co	-0.78**	-0.08	2.18
Cr	-0.53*	-0.03	0.98
Ni	-0.67**	-0.09	2.78
Fe	-0.91**	-7.64	204.82
Zn	†		

Penaeus vannamei

Metal	Datos mixtos ^a		
	r	m	b
Ni	-0.82**	-0.08	1.94
Fe	-0.55*	-10.90	319.90

- Estadísticamente significativo con intervalo de confianza al 90%;
- Estadísticamente significativo con intervalo de confianza al 95%;
- r = coeficiente de regresión lineal
- m = pendiente
- b = ordenada al origen
- a = datos de captura estuarina y marina juntos
- † = coef. de regresión estadísticamente no significativo

Tabla No. 12 (cont.)

Ecuaciones de los ajustes realizados con coeficientes de regresión estadísticamente significativos para la relación entre Lt (longitud total, en cm) y concentración de metales pesados (ppm, peso seco), en tejido blando de dos especies de camarones penidos

$$[M] = \alpha e^{\beta Lt} \text{ (exponencial)}$$

<i>Penaeus stylirostris</i>			
Metal	Datos mixtos ^a		
	r	α	β
Cu	0.83**	0.06	2.37
Mn	-.57*	- 0.07	1.80
Cd	†		
Co	-.76**	- 0.09	0.99
Cr	†		
Ni	-.70**	- 0.07	1.05
Fe	-.83**	- 0.10	5.78
Zn	†		

<i>Penaeus vannamei</i>			
Metal	Datos mixtos ^a		
	r	α	β
Cr	-.68**	- 0.10	1.14
Fe	-.86**	- 0.09	8.06

- * Estadísticamente significativo con intervalo de confianza al 90%
- ** Estadísticamente significativo con intervalo de confianza al 95%
- r = coeficiente de regresión
- α = pendiente
- β = ordenada al origen
- ^a = datos de captura estuarina y marina juntos
- † = Coef. de regresión estadísticamente no significativo

Tabla No. 12 (cont.)

Ecuaciones de los ajustes realizados con coeficientes de regresión estadísticamente significativos entre Lt (longitud total, en cm) y concentración de metales pesados (ppm, peso seco), en tejido blando de dos especies de camarones penidos

$$[M] = \gamma \ln Lt + \delta \text{ (logarítmica)}$$

Penaeus stylirostris

Metal	Datos mixtos		
	r	γ	δ
Co	-.84**	- 1.18	3.97
Ni	-.66**	- 1.27	4.56
Fe	-.91**	-98.88	347.08

- * Estadísticamente significativo con intervalo de confianza al 90%
- ** Estadísticamente significativo con intervalo de confianza al 95%
- r = coeficiente de regresión lineal
- δ = ordenada al origen
- γ = pendiente
- α = datos de captura estuarina y marina juntos
- † = coef. de regresión estadísticamente no significativo

Tabla No. 13

Niveles de concentración de metales pesados en camarones de la especie *P. stylirostris*, diferenciados por zona de colecta

Metal	Niveles (ppm, peso seco)	
	Zona estuarina	Zona marina
Cu	21.19 \pm 09.32	36.56 \pm 17.58
Mn	4.21 \pm 2.50	1.42 \pm 0.85
Cd	0.43 \pm 0.13	0.61 \pm 0.40
Co	1.28 \pm 0.81	0.42 \pm 0.23
Cr	0.72 \pm 0.42	0.29 \pm 0.24
Ni	1.72 \pm 1.24	0.72 \pm 0.20
Fe	132.79 \pm 31.64	41.24 \pm 21.73
Zn	83.74 \pm 20.66	74.55 \pm 25.67

Tabla No. 14

Ecuaciones de los ajustes realizados con coeficientes de regresión estadísticamente significativos para la relación entre Lt (longitud total, en cm) y concentración de metales pesados (ppm, peso seco), en tejido blando de dos especies de camarones penelidos

Penaeus stylirostris

[M] = m Lt + b (Regresión lineal)						
Metal	Captura estuarina			Captura marina		
	r	m	b	r	m	b
Cu	0.89**	1.84	2.78	0.98**	8.56	-144.20
Mn	0.84*	0.48	- 0.40	†		
Cd	†			0.98**	0.25	- 4.71
Co	†			0.89**	0.14	- 2.47
Cr	†			0.78*	0.12	- 2.27
Zn	†			0.75*	12.73	-191.40

[M] = $\alpha e^{\beta Lt}$ (Regresión exponencial)						
Metal	Captura estuarina			Captura marina		
	r	α	β	r	α	β
Cu	0.86*	0.07	2.28	0.97**	0.23	- 1.28
Mn	†			†		
Cd	†			0.93**	0.42	- 9.40
Co	-0.92**	- 0.14	1.48	0.89**	0.30	- 7.34

- * Estadísticamente significativo con intervalo de confianza al 90%
- ** Estadísticamente significativo con intervalo de confianza al 95%
- r = coeficiente de regresión
- m, α = pendiente
- b, β = ordenada al origen
- † = Coef. de regresión estadísticamente no significativo

Tabla No. 14 (cont.)

Ecuaciones de los ajustes realizados con coeficientes de regresión estadísticamente significativos para la relación entre Lt (longitud total, en cm) y concentración de metales pesados (ppm, peso seco), en tejido blando de dos especies de camarones peneidos

Penaeus stylirostris

[M] = $\gamma \ln Lt + \delta$ (regresión logarítmica)						
Metal	Captura estuarina			Captura marina		
	r	γ	δ	r	γ	δ
Cd	†			0.98**	5.44	- 15.91
Co	- .84**	- 1.65	4.92	†		

- Estadísticamente significativo con intervalo de confianza al 90%
- ** Estadísticamente significativo con intervalo de confianza al 95%
- r = coeficiente de regresión lineal
- γ = pendiente
- δ = ordenada al origen
- † = Coef. de regresión estadísticamente no significativo

Tabla No. 15

EDADES CALCULADAS PARA *P. stylirostris* Y *P. vannamei*

$$Lt = L\alpha [1 - e^{-k(t-t_0)}]$$

Lt = longitud del camarón a la edad t (Cmm)

L α = longitud máxima promedio (Cmm)

k = constante de crecimiento

t₀ = edad teórica a longitud cero (dfas)

<i>P. stylirostris</i>	
$t = \frac{\ln [1 - (Lt/244.5)]}{-0.21023} - 0.20131$	
Longitud promedio (Cmm)	Edad (meses)

65.0	1.3
75.0	1.5
85.0	1.8
105.0	2.5
176.6	5.9
194.4	7.3
194.8	7.4
207.2	8.7
214.9	9.8
235.5	15.5

<i>P. vannamei</i>	
$t = \frac{\ln [1 - (Lt/232)]}{-0.16279} - 0.66$	
Longitud promedio (Cmm)	Edad (meses)

30.0	0.2
33.6	0.3
55.0	1.0
65.0	1.4
75.0	1.7
85.0	2.1
104.7	3.0
116.0	3.6
125.8	4.1
134.7	4.7
143.4	5.3
182.2	8.8
203.0	12.1
204.3	12.4

Fig. No. 1 Area de estudio

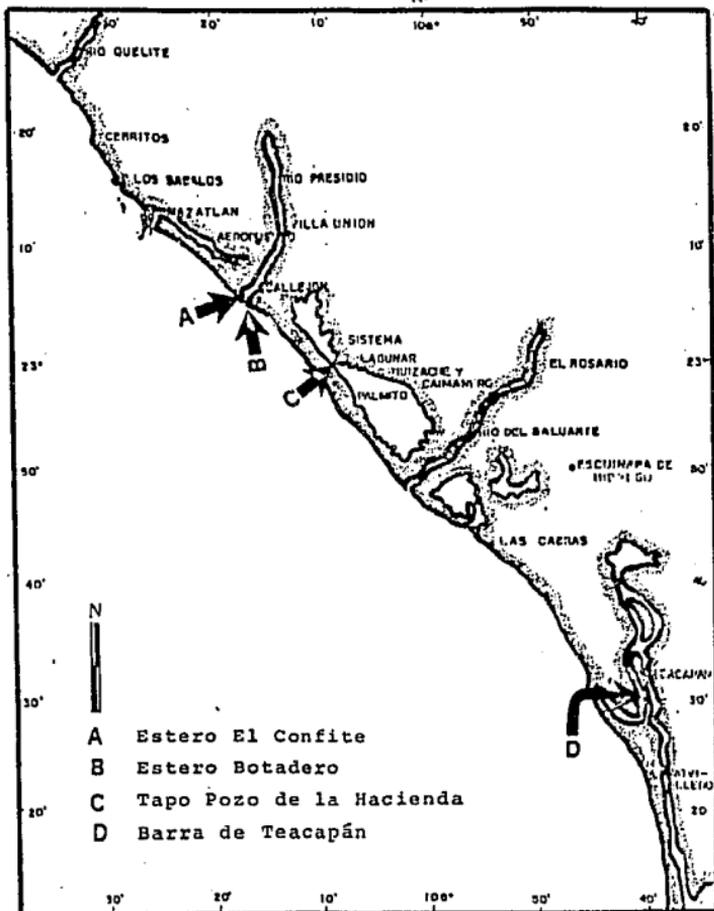


Fig. No. 2 Area de estudio

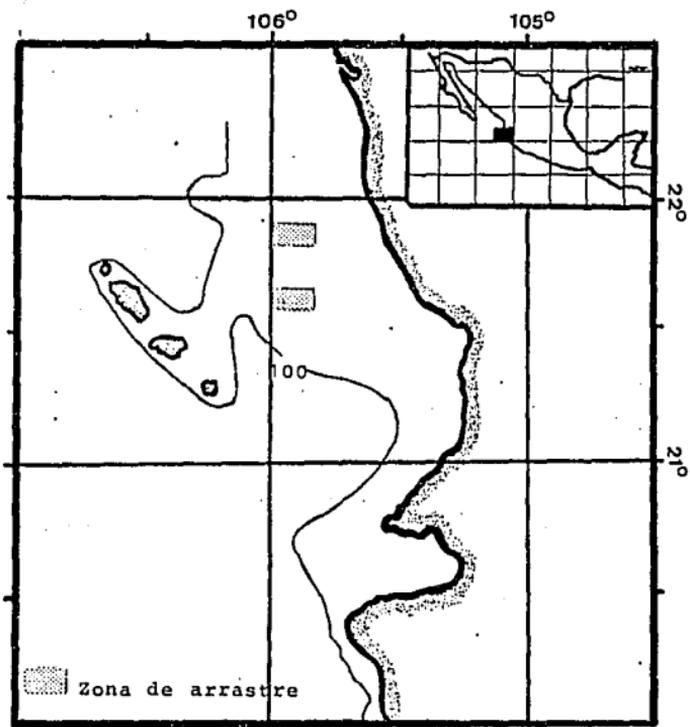
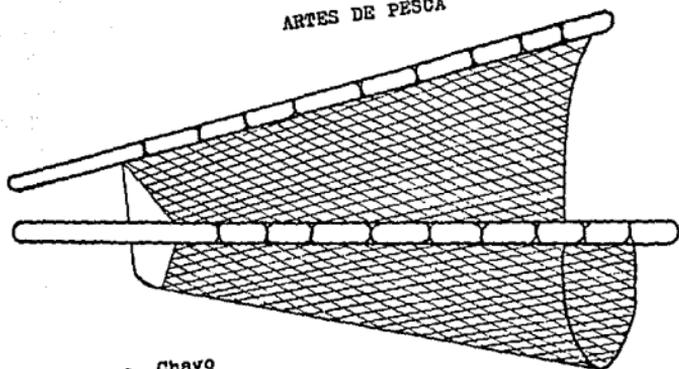
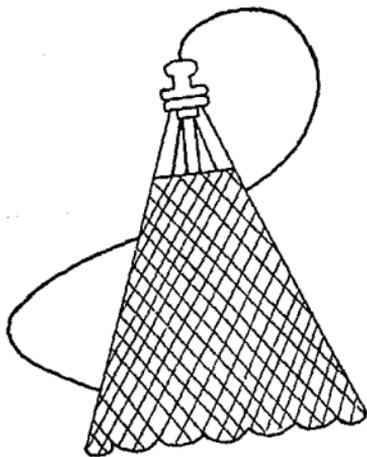


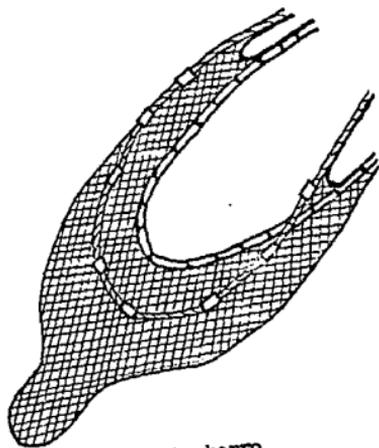
Figura No. 3
ARTES DE PESCA



a. Chayo



b. Atrarraya



c. Chinchorro

Figura No. 4

DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTO ANALITICO

Captura

Selección de organismos
por especies
Pesado individual (g)
Medición de longitud total (cm)
Separación por sexos

↓

Preparación de la muestra

Secado

Por calor
Por liofilización

Molienda

Uniformación de tamaño de partícula
Homogeneización

Digestión ácida

Solución ácida de metales pesados
CHNO₃, 2M

↓

Análisis de la muestra

Método de adición de estándares
Espectroscopía de absorción atómica
a la flama aire-acetileno

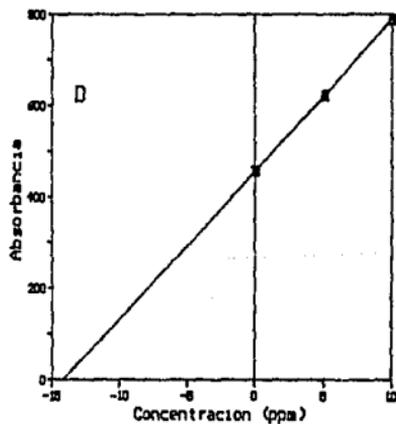
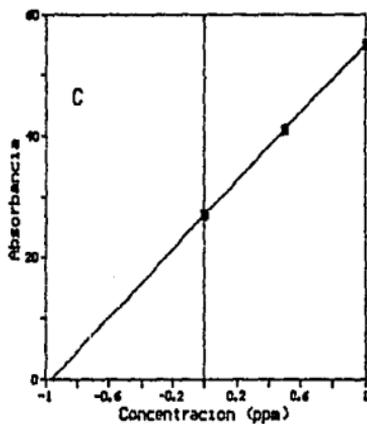
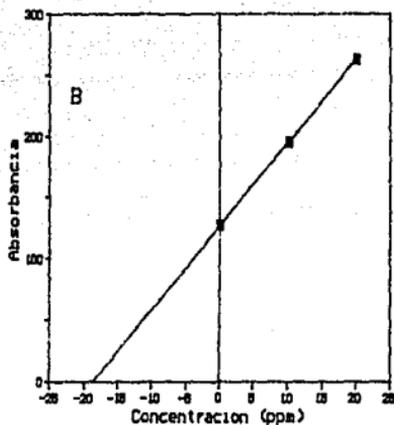
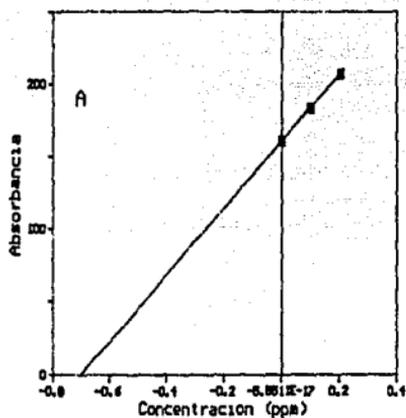
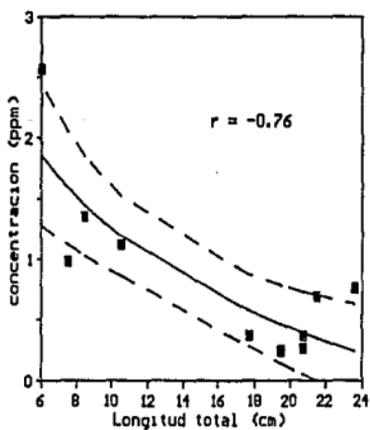
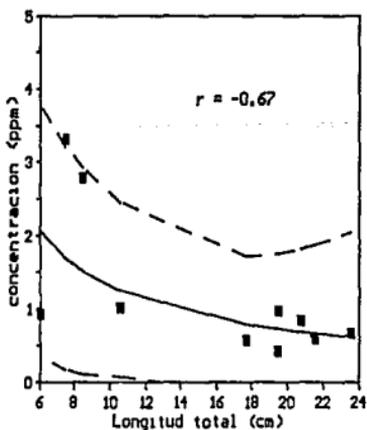
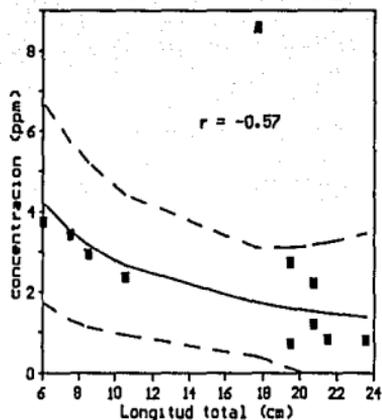
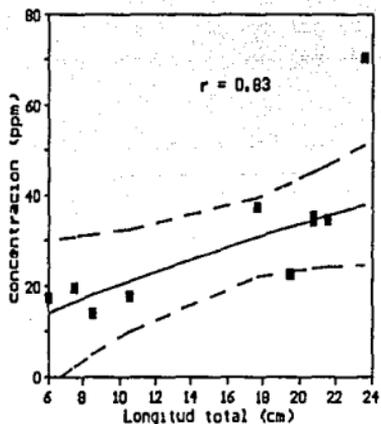


Fig No. 5 Graficas representativas del metodo de adicion de estandares: A. Cromo; B. Cobre; C. Cromo; D. Manganeso



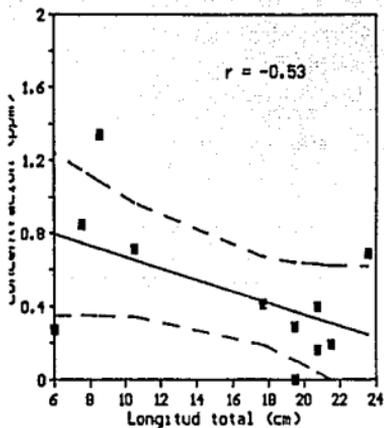


Fig No 10 Niveles de Cr en *P. stylirostris*
Captura estuarina/marina

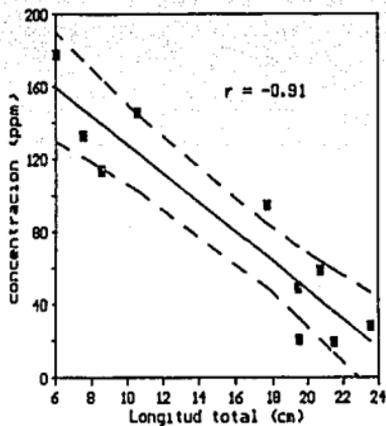


Fig No. 11 Niveles de Fe en *P. stylirostris*
Captura estuarina/marina

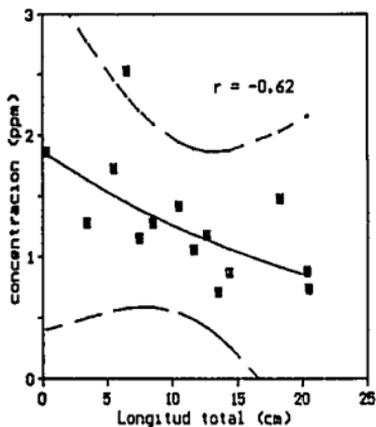


Fig No. 12 Niveles de Ni en *P. vannamei*
Captura estuarina/marina

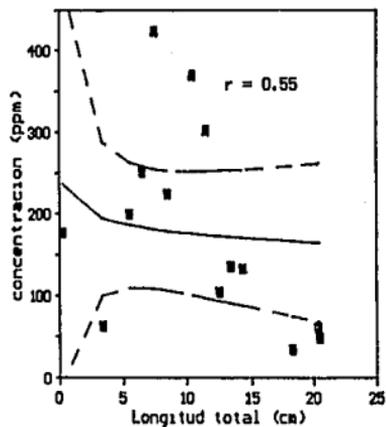


Fig No 13 Niveles de Fe en *P. vannamei*
Captura estuarina/marina

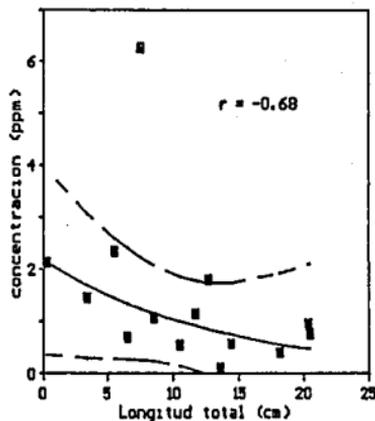


Fig. No. 14 Niveles de Cr en *P. vannamei*
Captura estuarina/marina

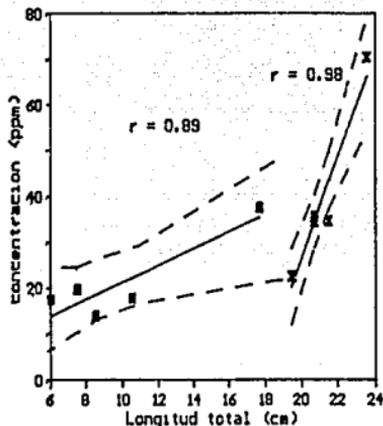


Fig. No. 15 Niveles de Cu en *P. stylirostris*
■ Estuarino X Marino

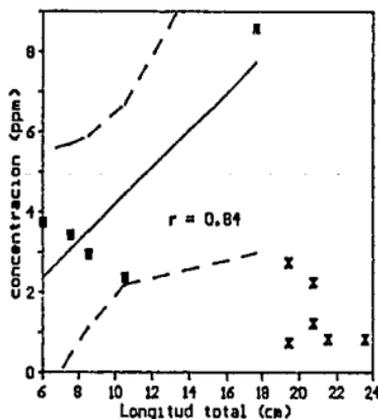


Fig. No. 16 Niveles de Mn en *P. stylirostris*
■ Estuarino X Marino

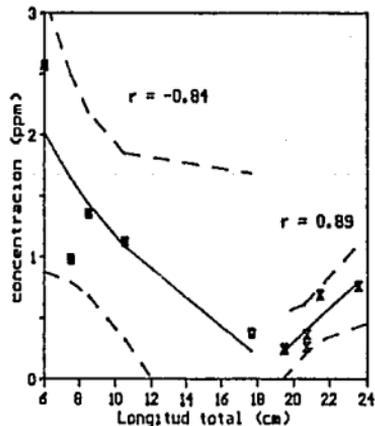
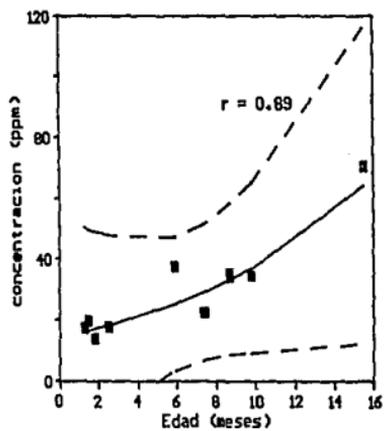
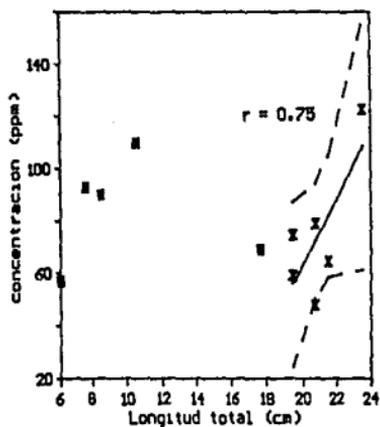
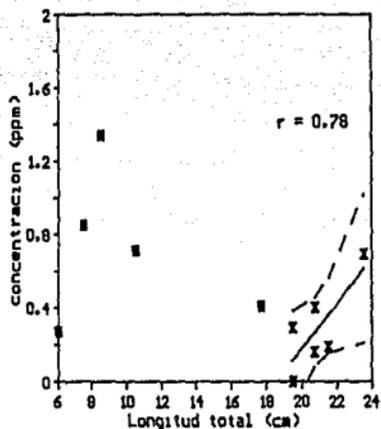
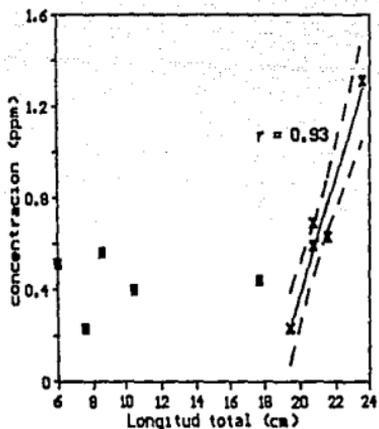


Fig. No. 17 Niveles de Co en *P. stylirostris*
■ Estuarino X Marino



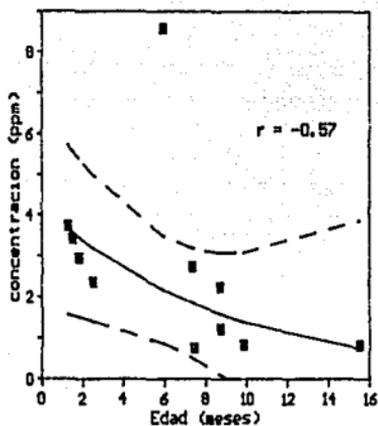


Fig. No.22 Niveles de Mn en *P. stylirostris*
Captura estuarina/marina

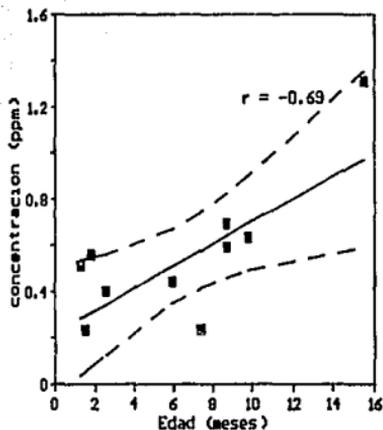


Fig. No.23 Niveles de Cd en *P. stylirostris*
Captura estuarina/marina

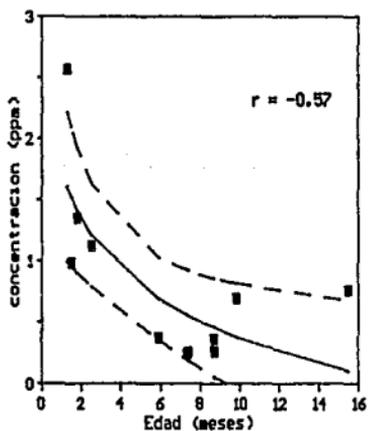


Fig. No.24 Niveles de Co en *P. stylirostris*
Captura estuarina/marina

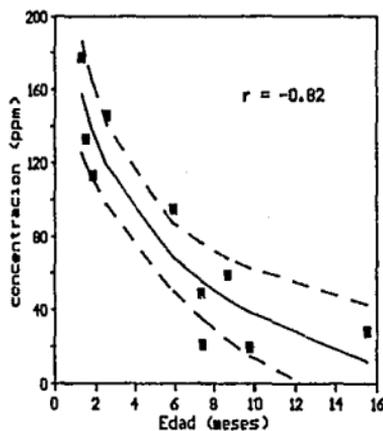


Fig. No.25 Niveles de Fe en *P. stylirostris*
Captura estuarina/marina

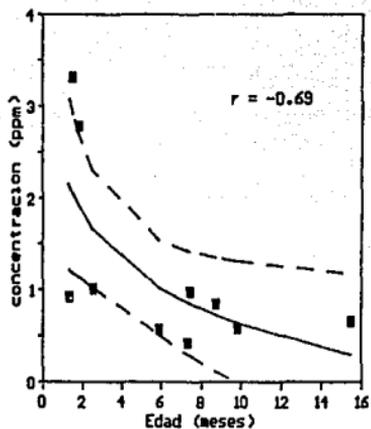


Fig. No.26 Niveles de Ni en *P. stylosotris*
Captura estuarina/marina

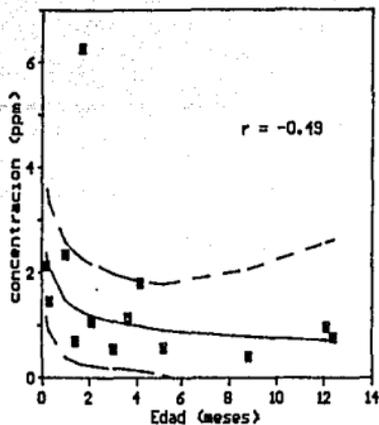


Fig. No.27 Niveles de Cr en *P. vannamei*
Captura estuarina/marina

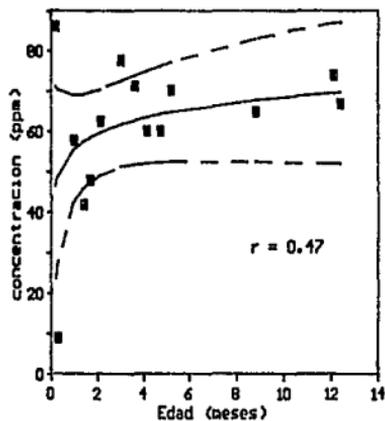


Fig. No.28 Niveles de Zn en *P. vannamei*
Captura estuarina/marina

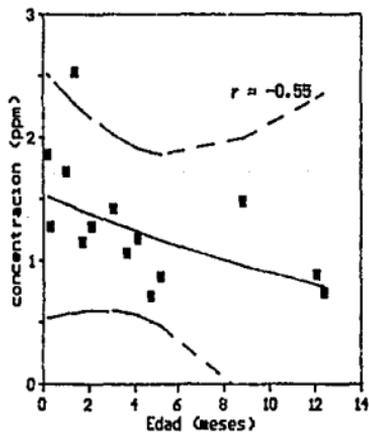


Fig. No.29 Niveles de Ni en *P. vannamei*
Captura estuarina/marina

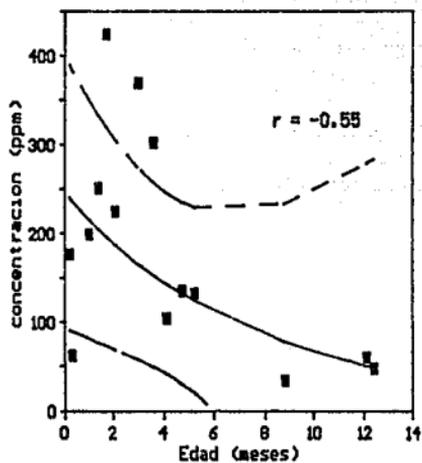


Fig. No.30 Niveles de Fe en *P. vannamei*
Captura estuarina/marina

BIBLIOGRAFIA

1. Alliot, A. and M. Frenet-Piron. Relationship between metals in sea-water and metal accumulation in shrimps. *Marine Pollution Bulletin*. Vol.21, No. 1, pp. 30-33, 1990. Great Britain.
2. Andersen, Jens and Erik Baatrup. Ultrastructural localization of mercury accumulations in the gills, hepatopancreas, midgut and antennal glands of the brown shrimp, *Crangon crangon*. *Aquatic toxicology*, 13 (1988) 309-324.
3. Beltrán Ochoa, *et al.* Contribución al estudio biológico pesquero del camarón del género *Penaeus* en el sistema lagunar Las Escopamas. Mazatlán Sin. Méx. 1986-1987 Memoria UAS/ECM. 1988.
4. Bertine K.K. y Goldberg E.D. Trace elements in clams, mussels and shrimps. *Limnology and oceanography*. Nov. 1972, V. 17(6).
5. Bowen, H.J.M. Trace elements in biochemistry. Academic Press, U.K. 1986. p. 61.
6. Bryan G.W. Concentrations of zinc and cooper in the tissues of decapod crustaceans. *J. Mar.Biol.Ass. U.K.* (1968) 48, 303-321.
7. Chapa S., Héctor. Notas sobre el comportamiento de los

camarones del género *Penaeus*. II Simposio Latinoamericano. Ocean Biol. Venezuela, Nov. 24-28:119-138. 1975.

8. Christian, Gary. Analytical Chemistry. 3rd. ed. Wiley Ed. EUA, 1980.

9. Darmono, D. and G.R.W. Denton. Heavy metal concentrations in the banana prawn, *Penaeus merguensis*, and leader prawn, *P. monodon*, in the Townsville region of Australia. Bull. Environmental Contamination and Toxicology. 1990. 44:479-486. New York, EUA.

10. D'Croz. Observaciones sobre la biología y pesca del camarón blanco (*Penaeus sp*) en el Pacífico de Panamá Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Univ. Nac. Autón. México 8 (2) 45-58 (1979).

11. Eisler Roland. Trace metals concentrations in marine organisms. Pergamon Press, EUA, 1981.

12. FDA. Food and Drug Administration. International Orientation Workshop. New FDA/NOAA Voluntary Seafood Inspection Program. Mexico City. August 8-8. 1991.

13. Flores Campaña L.M. Laboratorio de producción de poslarvas de camarón azul *Penaeus Stylirostris* Stimpson UAS/ECM/CGIP 1990.

14. Forstner G.T.W. Wittmann. Metal pollution in the aquatic environment. Springer Verlag Germany. 1979. p. 8
15. Friman, M. y H. González. Métodos de determinación por espectrofotometría de absorción atómica en Ciencias Biológicas. I. Tejidos y fluidos biológicos. Revista de Ciencias Biológicas, 13, 2, 1982. México.
16. García, S. y Le Reste L. Ciclos vitales, dinámica, explotación y ordenación de las poblaciones de camarones peneidos costeros. FAO Consejo Técnico de Pesca No 203 Roma 1987.
17. Goldber, Edward. The health of the oceans. The UNESCO Press, París, 1976, pp. 97-105.
18. Harding, Lee and Darcy Goyette. Metals in northeast Pacific coastal sediments and fish, shrimp and prawn tissues. Marine Pollution Bulletin. Vol. 20, No. 4, pp. 187-189. Pergamon Press, UK, 1989.
19. Hendrickx, Michel. Studies of the coastal marine fauna of southern Sinaloa, México. II. The decapod crustaceans of estero el verde Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Univ. Nac. Autón. México 11 (1) 23-48 1984.
20. Hernández Carballo XXV Aniversario. Los recursos pesqueros del país. SEPESCA Instituto Nacional de Pesca. Centro regional

de investigación pesquera, Mazatlán Sin. Mex. 1990.

21. Hernández Fujigaki Gloria. 75 años de la historia de la pesca, 1912-1987. Secretaría de Pesca, México, 1988.

22. Hudinaga, Motosaku. Reproduction, development and rearing of *Penaeus japonicus* Bate. Jap. Journ. of Zool., 10(2):305-493. 1981.

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

24. Johnson y Maxwell. Rock and mineral analysis. 2nd. ed. Wiley Interscience Ed., EUA. 1981.

25. Khan, T., et al. Bioaccumulation of four heavy metals in two populations of grass shrimp, *Palaeomonetes pugio*. Bull. Environ. Contam. Toxicol. (1989), 42: 339-343. EUA.

26. Kitani Matsuo Hiroshi. Guía ilustrada del cultivo del camarón. Serie de textos didácticos en Ciencia y Tecnología del Mar. México SEP/SEIT/DG Ciencia y Tecnología. 1984.

27. Lehninger, Albert. Biochemistry. Worth Publishers Inc. 2nd. ed. New York, 1981.

28. Lovell, R. T. Requerimientos minerales de los peces. Nutrición en acuicultura II. Plan de Formación de Técnicos Superiores. Programa Especial de I + D de Acuicultura. Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica. España, 1987.

29. Macfas Regalado y Calderón Pérez, Talla de Inmigración de postlarvas de camarón al sistema lagunar Huizache-Caimanero, Sinaloa Méx. (Crustacea: Decapoda: penaeidae) Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Univ. Nac. Autónoma de México 6 (2): 99-106 (1979).

30. Macfas Regalado y Calderón Pérez, Influencia de los tapos (Cartes de pesca fijas) en la migración de postlarvas al sistema lagunar Huizache-Caimanero (Crustacea: Decapoda: penaeidae) Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Univ. Nac. Autónoma de México 7 (1): 39-50 (1980).

31. Macfas Regalado, et al. Variación diurna de la densidad de postlarvas de camarón en la boca del sistema lagunar Huizache-Caimanero, Sin. México. (Crustacea: Decapoda: penaeidae). Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Univ. Nac. Autónoma de México 9 (1) 381-386 (1982).

32. Margalef, Ramón. Ecología. Ed. Omega. Barcelona, 1982.
33. Marmolejo, C. and F. Páez-Osuna. Trace metals in tropical coastal lagoon bivalves, *Mytella strigata*. Bull. Environ. Contam. Toxicol. (1990) 45:545-551. New York.
34. Menz, A. and A. B. Bowers. Bionomics of *Penaeus vannamei* Boone and *Penaeus stylirostris* stimpson in a lagoon on the mexican Pacific coast. Estuarine and Coastal Marine Science (1980) 10, London, 885-897.
35. Miller, J. C. ú J.N. Miller. Statistics for analytical chemistry. Ed. Ellis Horwood, 2nd. ed. England, 1988.
36. Moody, J. R. y R.M.Lindstrom. Selection and cleaning of plastic containers for storage of trace elements samples. Anal Chem 49: 2264-2267.
37. Núñez Pastén, Arturo. Crecimiento del camarón *P. vannamei*, *P. stylirostris* y *P. californiensis* y su relación con factores ambientales (temperatura y salinidad), en las aguas de Huizache y Caimanero, Sinaloa, México. UNAM. 1988.
38. Ocean Garden Products, Inc. Comportamiento del mercado del camarón. San Diego, Cal. Oct. 1990, año 7, No. 34.

39. Osuna-López, Isidro y Federico Páez-Osuna. Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb y Zn en los sedimentos del puerto y antepuerto de Mazatlán. *Ciencias Marinas (Méx)* V. 12(2), 1986. pp. 35-45(11).
40. Páez-Osuna, Federico, et al. Metales pesados en cuatro especies de organismos filtradores de la región costera de Mazatlán: técnicas de extracción y niveles de concentración. *Contam. Ambient.* 4, 33-41, 1988. México.
41. Páez-Osuna, Federico and C. Marmolejo-Rivas. Trace metals in tropical coastal lagoon bivalves, *Crassostrea corteziensis*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* (1990) 45:538-544. 1990. New York.
42. Páez-Osuna, Federico and C. Marmolejo-Rivas. Occurrence and seasonal variation of heavy metals in the oyster *Saccostrea tridencis*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* (1990) 44:129-134. New York.
43. Peña-García y Scott W. Fowler. Análisis de microelementos en invertebrados marinos del Golfo de California. IV Congreso Nacional de Oceanografía. México. 1972. pp. 103-114.
44. Phillips, David. Quantitative aquatic biological indicators. Pollution Monitoring Series. Ed. Applied Science Publishers. London, G. B., 1980.

45. PNUMA. Comisión Permanente del Pacífico Sur. Determination of total cadmium, zinc, lead and copper in selected marine organisms by atomic absorption spectrophotometry. Reference methods for marine pollution. Studies No. 11, PNUMA, 1982

46. PNUMA. Comisión Permanente del Pacífico Sur. Sampling of selected marine organisms and sample preparation for trace metal analysis. Reference methods for marine pollution. Studies No. 7, PNUMA, 1982. Documento informativo. PNUMA-CPPS/WG.89/8. 23 de junio de 1983.

47. Rodríguez de la Cruz, María Concepción. Aspectos pesqueros del camarón de alta mar en el Pacífico mexicano. Ciencia Pesquera Vol 1 No. 2, pp. 1 1981

48. Sierra, Carlos J. Ley Federal para el Fomento de la Pesca (análisis y comentarios). Departamento de Pesca, México 1980, 2a. ed.

49. Simkis K. y A.Z. Mason. Iones metálicos: metabolismo y efectos tóxicos. Environmental Biochemistry and Physiology. The mollusca. 1983.

50. Simões Gonçalves, et al. Effect of speciation on uptake and toxicity of cadmium to shrimp crangon crangon (L).

Springer-Verlag New York Inc.

51. Stanford Asato y Donald Reish The effects of heavy metals on the survival and feeding of *Holmesimysis costata* (Crustacea: mysidacea) VII Simposio Internacional Biol. Mar. 1-5 junio 1989. Biología Marina Memorias del VII Simposium: La Paz B.C.S. México 1988.

52. Stocker y Seager. Química ambiental: contaminación del aire y del agua. Ed. Blume ecología. Barcelona España, 1981. pp. 259-267.

53. Stryer, Lubert. Bioquímica. Ed. Reverté. España, 1979.

54. Vázquez Botello, Alfonso y Federico Páez Osuna. Medio ambiente en Coatzacoalcos. El problema crucial: la contaminación. Vol. 1, Ed. Centro de Eco Desarrollo. México, 1986.

55. Van Loon, John. Analytical atomic absorption spectroscopy. Selected methods. Academic Press. EUA, 1980.

56. Villareal Flores Daniel. Crustacea Decapoda Penaeidae en la plataforma continental del sur de Sinaloa. FACB/ UA Nvo. León, 1989.

57. Young Basurto y Reinoso Naranjo. Manual Práctico para la identificación de postlarvas y juveniles de cuatro especies de camarones marinos Instituto Nacional de la Pesca. Boletín Ciencia y Técnica Vol VI No.2 Ecuador 1983.