

03065  
2 ej 4



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Colegio de Ciencias y Humanidades  
Unidad de los Ciclos Profesional y de Posgrado

Proyecto Académico de Especialización, Maestría y Doctorado  
en Ciencias del Mar

## INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGIA

ACUMULACION DE METALES PESADOS EN  
TRES ESPECIES DE MOLUSCOS BIVALVOS DE  
LA REGION COSTERA ALEDAÑA AL PUERTO  
DE MAZATLAN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRIA EN CIENCIAS DEL MAR  
( ESPECIALIDAD OCEANOGRAFIA QUIMICA )

P R E S E N T A :

CLAUDIA MARMOLEJO RIVAS

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1989



## **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.

## Índice

1	Resumen.....	1
	Objetivos.....	2
2	Antecedentes.....	4
2.1	Especificación de los metales en agua.....	4
2.1.1	El agua como ligando.....	5
2.1.2	Otros ligandos.....	5
2.1.3	Fracción suspendida.....	7
2.2	Formas de los metales en los sedimentos.....	9
2.2.1	Procesos de intercambio sedimento-agua.....	9
2.2.2	Extracción de los metales de las fases sedimentarias.....	11
2.3	Micronutrientes y los sistemas vivos.....	12
2.4	Los bivalvos como indicadores de contaminación costera.....	14
2.5	Fisiología y hábitos de los bivalvos.....	16
2.5.1	Aspectos generales de la clase Pelecypoda.....	16
3	Área de Estudio.....	20
3.1	Aspectos generales.....	20
3.2	Área comprendida entre Playa Cerritos y el Estero El Verde.....	20
3.3	El Estero de Urrás.....	22
4	Metodología.....	24
4.1	Muestreos.....	24
4.1.1	Colección de organismos.....	24
4.1.2	Colección de agua y sedimentos.....	25
4.2	Análisis de muestras.....	25
4.2.1	Análisis de organismos.....	25
4.2.2	Análisis de agua y de material suspendido.....	27
4.2.3	Análisis del material sedimentado en trampas.....	29
4.3	Métodos analíticos para trabajar el tejido blando.....	31
4.3.1	Comparación entre los resultados de las técnicas por lectura directa y por adición de estándares.....	31
4.3.2	Evaluación de la técnica analítica.....	32
5	Resultados y discusión.....	34
5.1	Concentración de los metales en sólidos suspendidos y en agua.....	34
5.1.1	Concentración de los sólidos suspendidos en agua.....	34
5.1.2	Concentración de metales en sólidos suspendidos.....	35
5.1.3	Concentración de metales disueltos.....	38
5.2	Metales en los sólidos sedimentados en trampas.....	40
5.3	Contenido de materia orgánica y metales en los materiales suspendido y sedimentado.....	44
5.4	Concentraciones de los metales en el estero de Urrás.....	48
5.5	Niveles de concentración de los metales en los moluscos.....	53
5.6	Comparación entre las concentraciones obtenidas en este estudio y las encontradas en la literatura.....	71
6	Conclusiones y recomendaciones.....	74
	Apéndice I.....	76
	Apéndice II.....	85
	Apéndice III.....	95
	Apéndice IV.....	102
	Bibliografía.....	108

## RESUMEN

Se muestrearon mensualmente ejemplares de los ostiones *Saccostrea iridescens* y *Crassostrea Corteziana* y de los mejillones *Mytilus strigata* en la región costera aledaña al Puerto de Mazatlán durante 9, 12 y 10 meses respectivamente, entre agosto de 1985 y julio de 1986; simultáneamente se tomaron muestras de agua y de material colectado en trampas de sedimento en el Estero de Urias, donde habitan los ostiones *Crassostrea corteziana* y los mejillones *Mytilus strigata*.

Se analizaron las concentraciones de Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn en las muestras de tejido de los moluscos, en los sólidos suspendidos, en los sólidos colectados en trampas y en las fases geoquímicas de estos últimos; se cuantificó también la cantidad de Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn en las muestras de agua filtradas.

De la descripción y análisis de los resultados obtenidos se encontró que:

- La concentración de Co, Cu, Ni y Zn en el material particulado está relacionada con la cantidad de sólidos en suspensión.
- La cantidad de metales asociados al material colectado en trampas esta en función de la cantidad y del tamaño de los sólidos que se suspenden en las corrientes de marea.
- El análisis de regresión de los datos muestra que hay una relación significativa entre la concentración de los metales en el material suspendido (su) y su concentración en el tejido blando de mejillón *M. strigata* (Ms) y el ostión *C. corteziana* (Cc):

$$\begin{aligned} [Cr]_{Ms} &= 0.56[Cr]_{su} + 0.58, r=0.72, p=0.04 \\ [Cu]_{Ms} &= 1.01[Cu]_{su} + 12.25, r=0.70, p=0.05; \\ [Fe]_{Ms} &= 379.14[Fe]_{su} + 145.00, r=0.72, p=0.08; \\ [Zn]_{Ms} &= -35.86 \log[Zn]_{su} + 82.42, r=0.68, p=.11; \\ [Co]_{Cc} &= 1.55[Co]_{su} + 210, r=0.75, p=0.01 \\ [Cr]_{Cc} &= 0.74[Cr]_{su} + 0.11, r=0.76, p=0.02 \\ [Ni]_{Cc} &= 1.26[Ni]_{su} + 2.98, r=0.70, p=0.03 \\ [Pb]_{Cc} &= 2.73[Pb]_{su} - 1.68, r=0.95, p<0.01 \end{aligned}$$

- Las concentraciones de metales analizadas en el tejido blando de la especie de ostión lagunar y la especie marina fueron similares para 7 de los 9 metales, mientras que las concentraciones de Pb y Zn fueron mas grandes en el ostión de piedra.
- El Estero de Urias no es un ambiente contaminado por metales.

OBJETIVOS

El Trabajo se plantea como un estudio prospectivo para evaluar la concentración de algunos metales pesados en el tejido de tres especies de moluscos bivalvos provenientes del Estero de Urias y de la región comprendida entre Playa Cerritos y el Estero El Verde (ver área de estudio) en Mazatlán, Sinaloa. A pesar de que una porción del Estero de Urias recibe desechos de diversas actividades humanas, no se tienen noticias de aportes con concentraciones importantes de metales, por lo que se sospecha que los niveles de metales en este cuerpo de agua son los naturales. Asimismo la zona costera comprendida entre Playa Cerritos y el Estero El Verde se localiza lejos de las actividades urbanas e industriales, lo que reduce la probabilidad de contaminación de la zona por metales pesados.

El estudio entonces tiene como fin conocer tanto la cantidad como la variación de las concentraciones de distintos metales a lo largo de un año en el tejido blando de algunas especies de moluscos bivalvos típicos de la zona, con el fin de establecer un punto de partida en la evaluación de la calidad de aguas costeras tropicales que potencialmente presenten este tipo de problemas.

Además de trabajar tanto muestras de agua como de material suspendido y sedimentado en el Estero de Urias para tratar de establecer el mecanismo a través del que se movilizan los metales en el medio y sobre qué especie repercuten más claramente los cambios de concentración del mismo.

En particular se quiere analizar la concentración de Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn en el tejido de dos especies lagunares (*Crasostrea corteziensis* y *Mytella strigata*) y una especie marina (*Saccostrea iridescens*) en muestras mensuales colectadas a lo largo de un año, evaluar la concentración de estos metales en disolución, en los sólidos suspendidos y en los sólidos sedimentados en trampas así como en las fases geoquímicas del material sedimentado y de ser posible establecer relaciones entre las variaciones en los diferentes tipos de muestras.

## 2 ANTECEDENTES

Los metales se introducen en los sistemas acuáticos como resultado del intemperismo de suelos y rocas, por erupciones volcánicas y a partir de diversas actividades humanas como la minería, el procesamiento de metales o de sustancias que contienen metales pesados. Aunque algunos metales tales como el Mn, Cu y Zn actúan como micronutrientes esenciales, otros como el Hg, Cd y Pb no son requeridos, ni siquiera en pequeñas cantidades por ningún organismo (Laws, 1981).

Los metales pueden encontrarse en diversas formas químicas en las aguas naturales, incluyendo iones libres, complejos inorgánicos, complejos orgánicos, metales adsorbidos y/o ocluidos en material coloidal y adsorbidos en material particulado fino, detritus orgánico, material planctónico o coprecipitado con óxidos de hierro y manganeso (Abdullah et al., 1976; Engel et al., 1981).

La forma química de un metal en el medio acuoso dependerá tanto de las propiedades químicas del metal individual como de la composición de las aguas (Engel et al., 1981).

### 2.1 Especiación de los metales en agua.

En el medio acuoso los cationes metálicos son hidratados formando acuo-complejos; las reacciones de coordinación en las que participan en el agua son reacciones de intercambio en donde las moléculas de agua son sustituidas por algún otro ligando (Stumm y Morgan, 1970).

### 2.1.1 El agua como ligando.

La predominancia de las especies en el intervalo de pH de las disoluciones acuosas está determinada por la acidez de los iones metálicos, la cual aumenta conforme aumenta la carga y disminuye el radio. De esa manera los iones metálicos monovalentes se coordinan con moléculas de agua. Los metales divalentes se coordinan con el agua entre 6 a 12 unidades de pH y los trivalentes se coordinan con el ion  $\text{OH}^-$  en el intervalo de pH de las aguas naturales; mientras que los iones tetravalentes confieren una acidez tal a los iones acuo que, salvo raras excepciones, no son accesibles para el intervalo de pH de las disoluciones acuosas. En principio todos los iones hidratados pueden donar una cantidad de protones superior a la que corresponde a su carga formando complejos aniónicos hidroxometal. Sin embargo debido al limitado intervalo de pH de las disoluciones acuosas, no todos los elementos pueden existir como complejos aniónicos hidroxí u oxi. La formación de puentes  $-\text{OH}-$  y  $-\text{O}-$  entre los centros metálicos, es común y da lugar a complejos polinucleares que forman polímeros coloidales y/o precipitados (Stumm y Morgan, 1970).

### 2.1.2 Otros ligandos.

La concentración total de un metal, en particular, en una muestra de agua puede ser engañosa en lo que a toxicidad se



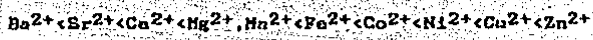
refiere, ya que, dependiendo de la forma química del metal, una alta concentración de metal en una forma química dada puede ser menos tóxica que otra de menor concentración; por ejemplo Nielsen et al. (1970), Bryan (1971) y Black (1974) han encontrado que el Cu iónico es mucho más tóxico para la fauna acuática que algunos complejos del mismo metal y estos son menos tóxicos cuanto mas estables (Florence y Batley, 1977).

La determinación analítica de las diferentes formas químicas de elementos traza disueltos en las aguas naturales se encuentra aún en estado semicuantitativo. No se dispone de datos termodinámicos para algunos complejos inorgánicos y se conocen sólo aproximadamente para otros. La falta de información es uno de los factores limitantes principales en el cálculo completo de la especiación de los elementos traza (Jenne y Luoma, 1977).

La especiación química de los metales traza en las aguas naturales representa un problema analítico difícil. No es sino hasta la última década que las técnicas disponibles son capaces de detectar concentraciones inferiores a un  $\mu\text{g/l}$  (Florence y Batley, 1977).

No existe un método satisfactorio para medir la fuerza de los ácidos y las bases de Lewis (constantes de disociación de los complejos) y que pueda ser aplicado a todos los sistemas. Estas dificultades han obligado a los profesionales de la química de coordinación a clasificar las interacciones entre los elementos y/o compuestos de manera cualitativa. Una de las primeras correlaciones fue la de la serie de estabilidad de

Irving-Williams (1953). Para un ligando dado la estabilidad de los complejos con iones metálicos divalentes guarda el siguiente orden:



Ahrland, Chatt y Davies (1958), clasifican a los iones metálicos de acuerdo a sus preferencias para enlazarse; los iones de tipo (a) incluyen a los iones de los metales alcalinos, alcalinoterreos y a los de los metales de transición mas ligeros en estados de oxidación altos (Ti<sup>4+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Co<sup>2+</sup> y al ión hidrógeno); los iones metálicos de tipo (b) incluyen a los de los metales de transición mas pesados y a los que se encuentran en estados de oxidación bajos (Cu<sup>1+</sup>, Ag<sup>1+</sup>, Hg<sup>1+</sup>, Hg<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup> y Pt<sup>2+</sup>) (Stumm y Morgan, 1970; Huheey, 1981). Pearson en 1963 clasificó a los metales de tipo (a) como ácidos duros, por su simetría esférica y alta polarizabilidad, mientras que a los de tipo (b) los denomina ácidos blandos por ser altamente polarizables. Los ácidos duros forman complejos preferentemente con ligandos cuyo átomo donador sea oxígeno; mientras que los ácidos blandos forman complejos preferentemente con el ión yoduro. Au<sup>1+</sup>, O y F son bases duras y P, S y I son bases blandas (Huheey, 1981).

2.1.3 Fracción suspendida.

Además del papel específico del plancton, la concentración del material particulado es de vital importancia para la ecología de un cuerpo de agua (Lenz, 1977; Kimmel, 1977 en Premazzi y Marugo, 1982).

El agua de mar contiene dos tipos principales de material suspendido (Riley, 1975):

(1) Material inorgánico particulado proveniente del intemperismo y de precipitados autigénicos y

(2) Organismos marinos, sus productos de desecho y otros detritus-orgánicos derivados.

La cantidad total de material suspendido varía, de acuerdo con el medio desde algunos  $\mu\text{g/l}$  o menos en aguas profundas hasta decenas de  $\text{mg/l}$  en estuarios. Similarmente, la proporción entre material inorgánico y orgánico varía geográfica y estacionalmente.

Tanto la fracción orgánica como la inorgánica son capaces de adsorber y absorber elementos traza del agua; ello hace interesante estudiar la fracción suspendida de manera independiente a la disuelta; para separarlas es común utilizar filtros de  $0.45\mu\text{m}$  de abertura de poro, sin embargo debe recordarse que esta elección es arbitraria, ya que puede haber material particulado mas fino. Por otro lado el tamaño del poro se reduce durante el proceso de filtración por obstrucción (Riley, 1975).

Abdullah et al. (1976) señalan que una gran cantidad de los metales adsorbidos en material fino, detritus orgánicos o coprecipitados con óxidos de Fe y Mn son removidos del agua durante el proceso de filtración.

## 2.2 Forma de los metales en los sedimentos.

El material sólido puede dividirse conceptualmente en fracciones específicas y pueden realizarse extracciones de los metales de manera selectiva utilizando reactivos apropiados; los métodos de extracción pueden agruparse en: (1) los destinados a separar los metales asociados a la fracción residual de los asociados a la no residual y (2) métodos más elaborados donde se efectúan reacciones sucesivas. El último requiere de más tiempo, pero proporciona más información del origen, ocurrencia, disponibilidad biológica, fisicoquímica, movilización y transporte de los metales traza (Tessier et al., 1979).

La dificultad para estudiar la ocurrencia de los metales en los sedimentos del fondo radica, de acuerdo con Luoma y Bryan (1981), en el hecho de que la distribución de los metales entre las fracciones es dinámica y se ve afectada por el medio; Los metales pueden distribuirse entre varias fases al mismo tiempo y la forma dominante de cada metal puede diferir considerablemente, tanto en sedimentos de distintos tipos como en un sedimento dado en función del tiempo (Nakhshina, 1985).

### 2.2.1 Procesos de intercambio sedimento-agua.

El intercambio entre las fases sedimento-agua, involucra fenómenos de intercambio difusivo, precipitación, coprecipitación y formación de complejos.

El intercambio superficial se da como intercambio de iones que están cerca de la superficie de intercambiadores inorgánicos debido a

fuerzas electrostáticas simples que son el resultado de diferencias de carga superficial o internas, o bien mediante la sustitución isomórfica dentro de las capas atómicas superficiales, dando como resultado una coordinación tri-dimensional del ión adsorbido dentro de la estructura cristalina del intercambiador. El intercambio difusivo resulta frecuentemente de la formación de disoluciones de compuestos sólidos produciendo el desplazamiento de iones (Jenne y Luoma, 1977).

A continuación se enumeran los diferentes mecanismos a través de los cuales se da la remoción de los metales disueltos o bien la disolución de los metales sedimentados:

Fenómeno	Vías de acceso	Referencia
(1) ad y absorción físicoquímica en sólidos suspendidos que por gravedad sedimentan o ad y absorción sobre la superficie sedimentaria.	(1) Arcillas óxidos Fe, Mn y Al.	Gadde y Laitnen (1974) Gardiner (1974) Gibbs (1973) Hart (1982)
	(2) Por intercambio iónico.	Jenne (1968) Krauskopf (1956) Reitz (1972)
(2) formación, nomenclatura y acumulación de formas metálicas.	(1) Reacciones de óxido-reducción convirtiendo formas iónicas solubles en precipitadas.	Hem (1963) Morgan (1967)
	(2) Formación de sales y co-precipitación.	Nakhshina (1985) Bauchmann (1963) Förstner (1982)
	(3) Hidrólisis y formación de óxidos hidratados.	Förstner (1982) Bauchmann (1963)

(3) Animilación biológica

(1) Sedimentación de metales en formas detritales. Förstner (1982) Hart (1982)

(2) por acceso indirecto al destruir la biomasa orgánica.

La tasa de disolución de los elementos traza ocultos esta controlada por parámetros tanto de equilibrio como cinéticos.

La cantidad liberada en condiciones de equilibrio esta relacionada con la concentración del elemento traza existente en el sedimento, el tamaño de partícula y la distribución y afinidad del elemento en el agua asociada (Jenne y Luoma, 1977).

## 2.2.2 Extracción de metales de las fases sedimentarias.

A continuación se presenta una lista de los diferentes reactivos utilizados para extraer de manera selectiva los metales asociados a las distintas fases de los sedimentos:

Fase	Reactivos	Referencia
Iones en posición de intercambio	BaCl <sub>2</sub> , MgCl <sub>2</sub>	Tessier, (1979)
	MgSO <sub>4</sub> , KNO <sub>3</sub>	Förstner, (1979)
	CH <sub>3</sub> COONa y CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>	Förstner, (1979)
Material orgánico y sulfuros	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -30 %	Kocharyan, (1977) Förstner, (1979)
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + HNO <sub>3</sub>	Ramamoorthy y Rust, (1978)
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>	Tessier, (1979) Salomona y Förstner, (1980)

Carbonatos	$\text{CH}_3\text{COONa}$ en $\text{CH}_3\text{COOH}$	Tessier, (1979)
Oxidos de Fe y Mn	$\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ en $\text{CH}_3\text{COOH}$ -25 %	Chao, (1972) Luoma y Bryan, (1981)
	$\text{CH}_3\text{COONH}_4$ en $\text{HNO}_3$	Tessier (1979)

El manejo de las muestras y las técnicas de extracción utilizadas presentan limitaciones múltiples. Kelly y McGeorge (1913), Jones (1952) y Zende (1954) encontraron, por ejemplo, que al secar la muestra, aún al aire, se alteraba la cantidad de Mn extraída con disoluciones ligeramente ácidas (Jenne y Luoma, 1977).

Rendell, et al. (1972) y Hart (1982) señalan, como una deficiencia importante de las técnicas de extracción, la posibilidad de readsorción de los metales liberados de una fase del sedimento por otra fase (Nakhshina, 1985).

Probablemente el problema más serio en la estimación cuantitativa de los elementos traza en las fases de los distintos tipos de sedimento es, en general, la pobreza selectiva de los agentes químicos utilizados en la extracción (Jenne y Luoma, 1977); sin embargo es conveniente unificar criterios de extracción con el fin de obtener resultados comparables (Nakhshina, 1985).

### 2.3 Micronutrientes y los sistemas vivos.

Los organismos vivos requieren de la disponibilidad de algunos

elementos traza o microelementos (elementos presentes comunmente en plantas y tejido de animales en concentraciones inferiores al 0.01 % del organismo) en cantidades suficientes para cubrir los requerimientos nutricionales, pero no en concentraciones efectivas (actividades) tales que causen toxicidad (Jenne y Luoma, 1977). El problema de la toxicidad es difícil de cuantificar; existen tantos efectos sinérgicos entre los diversos componentes de los sistemas biológicos que es casi imposible definir los límites de las concentraciones benéficas y nocivas. Existe, también, una gran variación entre los organismos; lo que es benéfico para uno es tóxico para otro (Huheey, 1981).

Si se examinan algunos de los elementos de transición típicamente esenciales, se encuentran además de Fe, Mn, Co, Zn y Cu el V, Cr, Mn, Ni y Mo; entre los metales representativos esenciales están el Na, K, Mg y Ca y entre los no metales el C, N, O, P, S y Cl. Todos estos elementos, salvo el Mo, son relativamente abundantes en la corteza terrestre.

Cuando se consideran los elementos que hoy en día están causando problemas en el ambiente como consecuencia de los aportes antropogénicos, se observa que son extremadamente raros en la corteza terrestre; As (0.24 átomos/át de Si), Pb (0.08 átomos/át de Si), Cd (0.0018 átomos/át de Si) y Hg ( $4 \times 10^{-5}$  átomos/át de Si) (Huheey, 1981).

Florence y Batley (1977) comentan que el orden decreciente en la toxicidad de los metales sobre organismos acuáticos es:

Hg > Ag > Cu > Cd > Zn > Pb > Cr > Ni > Co



mientras que Wood y Goldberg, (1983) encontraron que el orden decreciente en el número de complejos biológicos formados por los metales es:

Fe > Mg, Mn > Ca > Zn > Cu > Co > Mo > Ni > V > Cd

de donde se puede apreciar que entre los elementos tóxicos, además de encontrarse aquellos de abundancia relativa baja, están algunos considerados esenciales.

#### 2.4 Los bivalvos como indicadores de contaminación costera.

El estudio de los metales traza en diferentes cuerpos de agua, puede efectuarse utilizando muestras de agua, sedimento o biota, en el caso del uso de la biota, se denomina a las especies seleccionadas organismos indicadores o centinelas. La estimación cualitativa del grado relativo de contaminación de las diferentes áreas por metales pesados puede hacerse teóricamente, midiendo la acumulación de los elementos en el tejido de los organismos (Environmental Studies Board Commission on Natural Resources, 1980).

La investigación ambiental ha sugerido que algunos bivalvos pueden ser valiosos como organismos indicadores de contaminación en aguas costeras. Estos organismos concentran contaminantes en cantidades superiores a las existentes en el agua de mar. Diversas especies acumulan algunos o la mayoría de los miembros de las siguientes cuatro categorías:

(1) Metales pesados, (2) elementos transuránicos, (3) hidrocarburos

del petróleo y (4) hidrocarburos halogenados. Sin embargo, una especie dada puede presentar selectividad en el enriquecimiento para uno o todos los grupos de sustancias (Goldberg et al., 1978).

El uso de los bivalvos como indicadores, ofrece varias ventajas sobre el agua o los sedimentos; estos organismos proveen un promedio de los metales acumulados durante meses, obvian la biodisponibilidad de los metales, son organismos cosmopolitas de hábitos sedentarios y sobreviven bajo condiciones de contaminación que reducen o eliminan a otras especies; sin embargo se introducen variables biológicas (edad, sexo, etc.) así como diferentes tasas de bioacumulación para diferentes especies, todo lo cual dificulta la interpretación de resultados (Environmental Board Commission on Natural Resources, 1980; Farrington et al., 1983).

Existen numerosos trabajos que versan sobre el contenido de metales en organismos marinos; en lo que a bivalvos se refiere, además de los trabajos implementados por los programas de vigilancia ambiental en los E.E.U.U. (Goldberg et al., 1978; Goldberg y Martin, 1983; Farrington et al., 1983; Goldberg et al., 1983; Wright y Mihursky, 1985) existen en la literatura trabajos independientes que presentan datos de las concentraciones de diversos metales encontradas en las especies de bivalvos de las diferentes localidades (Brooks y Rumbaby, 1965; Bertine y Goldberg, 1972; Sims y Presley, 1976; Salanky et al., 1982; de Lacerda et al., 1983; del Cantilho et al., 1983; Talbot, 1985; Bargagli et al., 1985). En algunos trabajos se hicieron experimentos controlados, en los que se estudiaron procesos de asimilación-secreción o niveles de toxicidad para de algunos metales (Shultz - Baldea, 1974; Frazier, 1976; Manley, 1981; Bordchart, 1985;

Redpath, 1985; Riisgard et al., 1985; Sunila y Lindrom, 1985; Zasuda, 1985) y en otros se estudiaron los aspectos metabólicos de los metales pesados en los bivalvos (Pequegnat et al., 1989; Coomba, 1972; Coomba, 1974; Nelson y Donkin, 1985; Viarengo, 1985; Viarengo et al., 1985; White y Rainbow, 1985). De entre los trabajos antes mencionados sacamos tanto los realizados en arena tropicales, como los dirigidos a describir patrones de comportamiento de los metales en los organismos.

## 2.5 Fisiología y hábitos de los bivalvos.

### 2.5.1 Aspectos generales de la clase Pelecypoda.

La clase Bivalva, Pelecypoda o Lamelibranquia esta formada por moluscos bivalvos e incluye almejas, ostiones y mejillones; son organismos comprimidos lateralmente, poseen una concha con dos valvas articuladas dorsalmente que encierran al cuerpo por completo. La cabeza es muy pequeña; la cavidad del manto es la mas espaciosa entre las diversas clases de moluscos y las branquias han adquirido, en la mayor parte de las especies, la función de acumular alimento además de la del intercambio de gases. La figura 2.1 presenta la anatomía del ostión Cragostrea virginica (Barnes, 1977).

Para alimentarse, los Lamelibranquios filtran partículas menores a 1  $\mu$ m gracias a las corrientes de agua que pasan a través de los filamentos branquiales o que penetran la ostia por los filon interofrontales (fig. 2.2). Las partículas son enviadas a los cilios frontales donde son atrapadas por el moco y de allí son

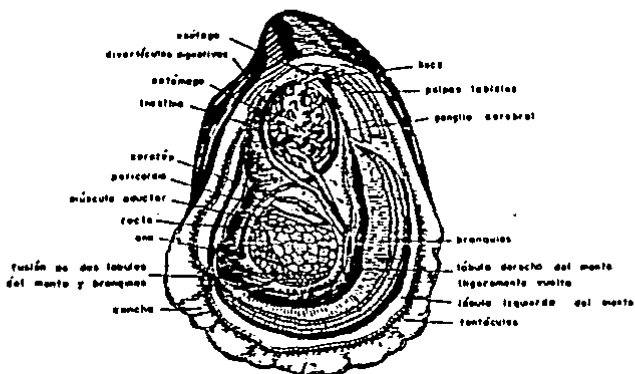


Figura 2.1. Anatomía del ostión *Crossostrea virginica* (según Goltsoff en Barnes, 1977).

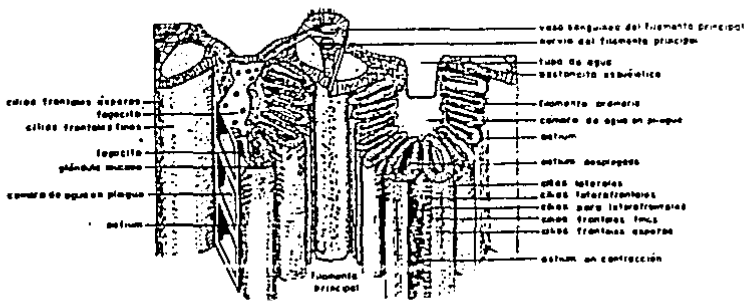


Figura 2.2. Diagrama de una parte de la branquia plegada (*Crossostrea*) (según Neilson, de Jørgensen, C.B., 1966 en Barnes, 1977)

llevadas hacia arriba o hacia abajo del margen del filamento a un surco alimenticio (Barnes, 1977).

Los bivalvos, habitantes fijos de la superficie han colonizado sustratos firmes como la turba, madera, conchas, coral, piedras o muros marítimos; la fijación se logra mediante filamentos bisales o por la fusión de una valva al sustrato (Barnes, 1977).

Para la elaboración del presente trabajo se eligieron tres especies de moluscos bivalvos de clima tropical que a continuación se describen:

(a) Particularidades de la familia Ostreacea.

La clasificación taxonómica descrita por Keen (1971), por Stuardo y Martínez (1975) y por Keen y Conn (1979) corresponde a:

Phylum:	Molusca
Clase	Pelecypoda
Orden	Pteroides
Superfamilia:	Ostreacea
Familia:	Ostreidae
Genero:	Crasostrea
Especie:	corbiannia (Hertlein, 1901)
Genero:	Saccostrea
Especie:	iridescens (Hanley, 1854)

La mayoría de estas especies tienen una distribución geográfica que se extiende desde el Golfo de California hasta el norte del Perú, siguiendo los límites de la fauna marina tropical o subtropical del Pacífico oriental. Se fijan al sustrato por la fusión de una de sus valvas.

La distribución de estas especies no es continua ni homogénea, distinguiéndose principalmente dos tipos de hábitat (Stuardo y Martínaz, 1975):

(1) Especies de manglar y aguas salobres (*S. corteziana*)

(2) Especies de mar abierto (*S. iridescens*)

(b) Particularidades del género *Mytella*

La clasificación taxonómica corresponde a (Keen, 1971):

Phylum:	Molusca
Clase:	Pelecypoda
Orden:	Mytiloidea
Familia:	Mytilidae
Genero:	<i>Mytella</i>
Especie:	<i>atrigata</i> (Haugley, 1843)

En el Pacífico, la distribución de esta especie comprende desde Guaymas, Son. hasta el sur de El Salvador y las Islas Galápagos y de Venezuela hasta Argentina en el Atlántico. Habitan fondos lodosos de lagunas someras (Keen, 1971). Se fijan al sustrato mediante la formación de filamentos bisales.

### 3 Area de estudio

#### 3.1 Aspectos generales

Para la realización del presente estudio se eligieron dos zonas aledañas al Puerto de Mazatlán, Sin.; una corresponde a la región comprendida entre Playa Carritos y el Estero El Verde y la otra al Estero de Urías (fig. 3.1)

El clima de la región es de tipo cálido subhúmedo (García, 1973). La temporada de lluvias se presenta durante el verano con una precipitación media anual de 850 mm; la temperatura del aire es, en promedio, de 28° C; en invierno prevalecen vientos del NW y en verano del SW (Secretaría de Marina, 1974).

El régimen de mareas de la zona es de tipo mixto semidiurno con una amplitud media de 0.9 m Secretaría de Marina; Instituto de Geofísica, UNAM, 1984).

#### 3.2 Área comprendida entre Playa Carritos y el Estero El Verde.

La zona de muestreo entre Playa Carritos y el Estero El Verde está ubicada entre los paralelos 23° 20' y 23°25' de latitud norte y los meridianos 106° 20' y 106°30' de longitud oeste (fig 3.1); el litoral de la zona está formado por playas arenosas; en la posplaya, después de la rompiente, los fondos son rocosos y vienen a constituir el

Localización de las áreas de muestreo

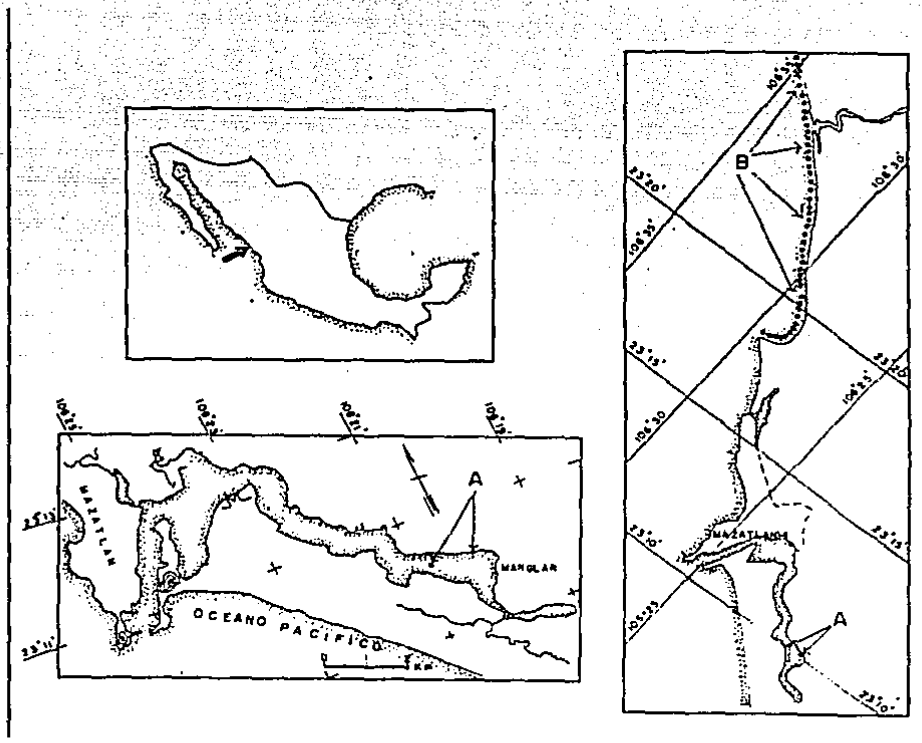


Figura 3.1 Zona de muestreo de las especies de bivalvos lagunares *C. cortezicensis* y *M. atrixata*, agua, sólidos suspendidos y sólidos sedimentados en el Estero de Urias (A), y región de colecta de los ostiones de piedra *S. iridescens* (B).



hábitat de diversos organismos, entre los cuales se encuentra el ostión Saccostrea tridacnana.

La temperatura del agua registrada en la Bahía de Mazatlán oscila entre los 23 y 25°C durante el periodo de noviembre a mayo y entre 28 y 34°C el resto del año (Mee et al., 1984); la salinidad es de alrededor de 35 ‰ de noviembre a junio y de entre 33 y 35 ‰ durante la temporada de lluvias (Mee et al., 1985).

### 3.3 El Estero de Uriás

El Estero de Uriás es un cuerpo de agua que mantiene comunicación libre con el mar mediante una boca permanente, los aportes de agua dulce son muy reducidos, motivo por el cual se trata de un ambiente altamente influenciado por el régimen de mareas. Lankford. (1977) lo ha clasificado como una laguna costera de plataforma interna tipo IIIB (IIIA). Esta localizado entre los paralelos 23°10' y 23°13' de latitud norte y los meridianos 106°20' y 106°25' de longitud oeste (fig. 3.1); cubre un área aproximada de 16 Km<sup>2</sup> con una longitud de 17 Km, dentro de los primeros kilómetros adyacentes a la boca se localiza el Puerto de Mazatlán, entre los siguientes 3 a 7 kilómetros se encuentran la mayor cantidad de descargas urbanas, así como la flota camaronera y una planta termoeléctrica, los kilómetros restantes están cubiertos por bosques de manglar.

El intervalo de velocidades de la corriente de marea, registradas durante un muestreo de 24 h el 4 de abril de 1984 en la boca del Estero, fue de 0.1 a 0.3 m/s; se estimó que durante dos ciclos de

marea, el flujo y reflujo de agua fue de  $17.5 \times 10^6 \text{ m}^3$  y que durante ese muestreo se exportaron 140 Ton. de material suspendido; es importante destacar que durante el muestreo se realizaban obras de dragado (Marmolejo, 1985).

#### 4 METODOLOGIA

Se colectaron tres especies de moluscos bivalvos entre agosto de 1985 y junio de 1986 con frecuencia, dentro de lo posible, mensual; las especies lagunares *C. cortezensis* y *M. utrigata* se obtuvieron en el Estero de Urias; la especie marina, *S. iridescens* provino de la región comprendida entre la Playa Cerritos y El Estero El Verde. En El Estero de Urias se muestrearon, de manera simultanea, agua y material sedimentado en trampas.

##### 4.1 Muestras

###### 4.1.1 Colección de organismos.

Tanto el mejillón *M. utrigata* como el ostión *C. cortezensis* fueron desprendidos de las raíces del mangle (*Rhizophora mangle*) durante la bajamar con un cuchillo de acero inoxidable, depositados en charolas de plástico y transportados inmediatamente al laboratorio.

El ostión de piedra *S. iridescens* fue extraído por buceo haciendo uso de una barra metálica a profundidades de entre 2 y 12 metros y transportados al laboratorio en arpillera de plástico.

#### 4.1.2 Colección de agua y sedimentos.

La colecta de agua y la recuperación del material acumulado en las trampas de sedimento se realizó siempre durante la bajamar; las muestras se depositaron en bidones de plástico con capacidad de 10 l. ambientados previamente al agua del Estero de Urina durante varias semanas. La selección del punto de muestreo (fig. 3.1) se hizo considerando la profundidad (mayor a 1 m.) durante la pleamar; la cercanía al ostión del manglar, la accesibilidad y la vigilancia del lugar.

En cada muestreo se colectó el agua superficial (0 - 0.5 m.) y el material depositado en las trampas de sedimento durante los días transcurridos entre muestreo y muestreo; las trampas fueron contruidas conforme al diseño de Gardner (1980), constan de 3 tubos de PVC de 10.8 cm de diámetro y 27.0 cm de altura, se fijaron a una estructura de madera y se colocaron a 1/2 metro del fondo del estero en el punto de muestreo.

#### 4.2 Análisis de muestras.

##### 4.2.1 Análisis de organismos.

Los organismos colectados se trataron, en el laboratorio como sigue (Goldberg et al., 1983; PHUMA, 1982.)

- (1) Se lavaron las conchas con agua corriente para eliminar sedimento y epifauna.
- (2) Se eligieron entre 20 y 26 individuos por muestreo, para cada especie (Wright y Mihursky, 1985).
- (3) En los casos de E. cortazziensis y de M. atrigata se midió longitud, ancho, espesor y peso total, mientras que en los ostiones S. iridescens sólo se midió longitud y ancho por tratarse de organismos morfológicamente irregulares.
- (4) Se separó el tejido de la concha, registrando el peso fresco de manera individual.
- (5) El tejido fue sometido a una temperatura de 110°C durante 3 días; se obtuvo el peso seco del total de individuos.
- (6) El tejido seco fue homogenizado en un mortero de teflón y tamizado con una malla de 240  $\mu$ m de abertura.
- (7) A aproximadamente 1.0 g de tejido homogenizado seco se le añadieron 10 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado y destilado en cuarzo (HNO<sub>3</sub>-Q) dejando reposar la mezcla 12 h.. Posteriormente cada muestra se instaló en un baño sónico durante 30 min. después de lo cual se evaporó la mezcla a sequedad.

- (8) Finalmente, los metales fueron disueltos en  $\text{HNO}_3\text{-Q}$  2M; las muestras fueron centrifugadas con el fin de eliminar la fase sólida.
- (9) La concentración de cada metal analizado se obtuvo por espectrometría de absorción atómica con un aparato Shimadzu modelo AA-630 conforme a lo especificado en la tabla que se presenta a continuación. A menos que se indique otra cosa, todo el material utilizado fue previamente lavado con  $\text{HNO}_3$  y  $\text{HCl}$ , de acuerdo a lo especificado por Moody y Lindstrom (1977).

METAL	LONG. DE ONDA (nm)	ANCHO DE LA BANDA	MEZCLA COMBUSTIBLE	FLUJO DE GASES (l/min)
Cd	228.8	1.9	aire- $\text{C}_2\text{H}_2$	10
Co	240.7	1.9	"	10
Cr	357.9	1.9	"	10
Cu	324.7	1.9	"	10
Fe	248.3	1.9	"	10
Mn	279.5	1.9	"	10
Ni	232.0	1.9	"	10
Pb	217.0	1.9	"	10
Zn	213.9	1.9	"	10

#### 4.2.2 Análisis de agua y de material suspendido.

Cada muestra de agua del Estero fue filtrada a través de membranas Millipore tipo HA de 0.45  $\mu\text{m}$  previamente enjuagadas con  $\text{HCl}$  0.5M, transferida a bidones de polietileno, acidulada con  $\text{HNO}_3\text{-Q}$  hasta pH 1.5-2 e irradiada con luz U.V. durante 6 h. Antes de someter el agua a tratamiento para la extracción de

los metales disueltos, se ajustó el pH, nuevamente a entre 5 y 5.5 unidades con  $\text{NH}_4\text{OH}$  concentrado y libre de metales, con el fin de amortiguar el pH se añadieron, aproximadamente 1.2 ml de acetato de amonio 8M por litro de agua. Posteriormente se pasó el agua a través de una resina de intercambio iónico chelex 100 (malla 80-100), haciendo uso de una bomba peristáltica, a una velocidad de 0.8 ml/min. Los metales fueron eluidos de la columna con una disolución 2M de  $\text{HNO}_3$ -Q, el eluato llevando a sequedad y el residuo disuelto con  $\text{HNO}_3$  2.5M (Kingston et al., 1978; Bruland y Franks, 1979).

La concentración de metales en la fracción suspendida se obtuvo después de atacar el material retenido por cada filtro con agua regia invertida en bombas de digestión (Stoeppler, 1977; Broder, 1982).

El contenido de los diferentes metales en las fracciones disuelta y suspendida se cuantificó por espectrometría de absorción atómica de flama utilizando disoluciones patrón y con las condiciones instrumentales previamente indicadas.

La salinidad del agua superficial fue medida con un salinómetro de inducción Plesson Environmental Systems modelo 6230N. La transformación de unidades de conductividad a salinidad se hizo con la ecuación aceptada por la UNESCO.

La cantidad de sólidos suspendidos (SS) se evaluó gravimétricamente después de atacar los filtros a  $60^\circ\text{C}$  durante 24 horas.

El contenido de materia orgánica en la fracción suspendida fue medido por la diferencia entre el peso total del material suspendido y el peso del residuo resultante de la calcinación del mismo material (Manheim, et al., 1970).

#### 4.2.3 Análisis del material sedimentado en trampas.

Para el análisis de la cantidad total de los distintos metales presentes en los sólidos colectados en las trampas de sedimento se procedió a la digestión de aproximadamente 0.3 g. del material seco, en bombas de digestión con agua regia invertida (Stoeppler, 1979; Breder, 1981).

Por otra parte se evaluaron los niveles de los metales asociados a las siguientes fases geoquímicas operacionalmente definidas.

- (a) Metales adsorbidos por arcillas y/o en posición de intercambio.
- (b) Metales asociados a sulfuros y material orgánico.
- (c) Metales asociados a carbonatos.
- (d) Metales asociados a óxidos de Fe y Mn.

Los análisis se hicieron de acuerdo con la técnica dada por Tessier et al. (1979), modificada por Meguelli et al. (1983) que se presenta en el diagrama 4.1.



EXTRACCION SELECTIVA DE METALES PESADOS

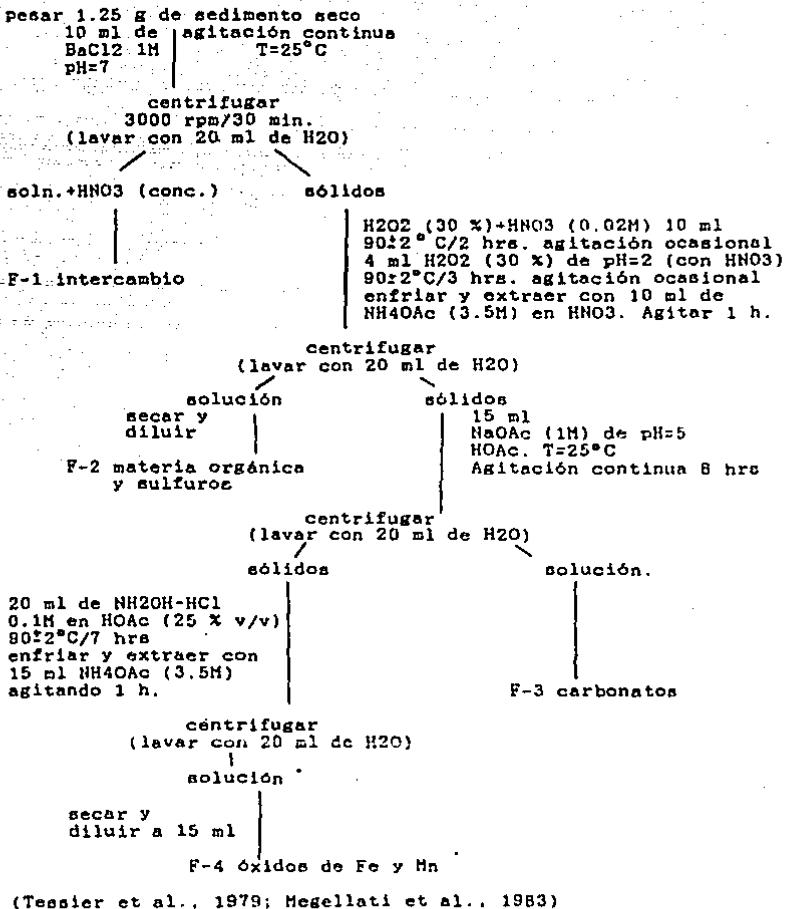


Figura 4.1 Diagrama de la técnica utilizada para la extracción de los metales asociados a las distintas fases de los sólidos sedimentados.

El porcentaje de carbono orgánico fue medido por oxidación con  $K_2Cr_2O_7$ , titulando el exceso de reactivo con sulfato ferroso asoniacal, calibrando con una disolución de concentración conocida de glucosa (Loring y Rantala, 1977).

#### 4.3 Métodos analíticos para trabajar el tejido blando.

##### 4.3.1 Comparación entre los resultados de las técnicas por lectura directa y por adición de estándares.

Se realizó la digestión de una muestra de ostión *S. iridescens* con  $HNO_3$ , se midieron las concentraciones de Cd, Co, Cr, Cu, Ni y Pb utilizando la ecuación de la recta obtenida mediante el ajuste de una curva de calibración.

Metal	[M] lectura directa (ppm)	ug de M añadidos/ml				[M] adición estándares (ppm)
		1	2	3	4	
Cd	1.93	0	0.14	0.24	0.37	1.96
Co	1.19	0	0.14	0.24	0.37	1.13
Cr	0.58	0	0.14	0.24	0.37	0.45
Cu	20.39	0	0.35	0.61	0.91	21.02
Ni	2.10	0	0.14	0.24	0.37	1.56
Pb	4.26	0	0.14	0.24	0.37	1.76

Tabla 4.A Resultados de las concentraciones de los metales en el tejido de *S. iridescens* en ppm obtenidas por lectura directa y por adición de estándares.

Por otro lado a 4 alícuotas de tejido se les añadieron concentraciones conocidas de Cd, Co, Cr, Cu, Ni y Pb procediendo a realizar la digestión de las muestras, las concentraciones se obtuvieron por extrapolación de la curva de calibración. Los resultados se presentan en la tabla 4.A.

A partir de los datos de la tabla 4.A, se evidencia que excepto para Ni y Pb las dos técnicas ofrecen resultados comparables; dada la carencia de material para el análisis, se eligió trabajar con la técnica de lectura directa interpolando a una curva de calibración.

#### 4.3.2 Evaluación de la técnica analítica.

Con objeto de evaluar la técnica analítica de extracción de los metales del tejido de los moluscos empleada en el presente estudio y descrita en el capítulo 4, se realizó la digestión y evaluación espectroscópica del contenido de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn de la muestra de mejillón MA-M-2/TM proporcionada por la International Atomic Energy Agency (IAEA), en seis réplicas.

La tabla 4.B muestra, tanto los resultados obtenidos en esta evaluación, como lo certificado por la IAEA (1985) mediante un ejercicio de intercalibración. La calidad de los datos ha sido dividida por la IAEA (1985) en 2 categorías:

- (1) Clase A - datos cuyo grado de confianza es satisfactoria
- (2) Clase B - datos cuyo grado de confianza es aceptable

Las concentraciones de los metales cuyo grado de confianza no es específica, requieren de la acumulación de un mayor número de datos.

Metal	[M] encontrada (ug/g)	[M] certificada IAEA (ug/g)	Rango IAEA	Calidad IAEA	
Cd	1.73	0.04	1.32	1.16 - 1.64	A
Co	2.37	0.10	0.88	0.75 - 1.07	B
Cr	1.23	0.04	1.25	0.85 - 1.82	B
Cu	9.32	3.11	7.96	7.35 - 8.44	A
Ni	2.13	0.03	1.47	0.89 - 2.04	-
Pb	3.73	0.65	1.92	1.53 - 2.50	-
Zn	140.5	8.2	156.5	152.8 - 160.7	H

Tabla 4.B Resultados de los análisis del contenido metálico en una muestra de tejido de mollusco certificada por la IAEA.

En la tabla 4.B se observa que las concentraciones obtenidas para Cd, Cr, Cu, Ni y Zn son comparables a las consideradas aceptables para la IAEA, mientras que las de Co y Pb son superiores a las esperadas, posiblemente por el efecto de la matriz, ya que las concentraciones de las muestras fueron obtenidas por interpolación a una curva de calibración; o bien por la contaminación de las muestras durante el tratamiento analítico. Otra posibilidad, aunque remota, es que la eficiencia de la extracción de estos metales en este estudio fuese mayor a la promedio del ejercicio de calibración.

## 5 Resultados y Discusión

Se efectuó el análisis de las concentraciones de Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn en el tejido de dos especies de ostión (*O. corteziensis* y *S. iridescens*), en el tejido de una especie de mejillón (*M. striata*) y en los sólidos suspendidos y sedimentados en trampa y la concentración de Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn disueltos. Las muestras fueron colectadas entre agosto de 1985 y julio de 1986. Con excepción de los ostiones *S. iridescens*, todas las muestras fueron colectadas en El Estero de Urias. Los resultados de los análisis se muestran en el apéndice AI.

### 5.1 Concentración de los metales en sólidos suspendidos y en agua

#### 5.1.1 Concentración de los sólidos suspendidos en agua

Los resultados de la determinación gravimétrica de los sólidos suspendidos en las muestras de agua del Estero se ilustran en la figura AII.1 del apéndice; en ella se aprecia que la mayor concentración de los sólidos suspendidos en el agua se presentó en los meses de noviembre y diciembre (65 y 76 mg/l respectivamente) oscilando el resto de los meses entre los 30 mg/l (enero) y los 55 mg/l (mayo). Desafortunadamente no se colectaron muestras de agua durante los meses de agosto y septiembre y por lo tanto no pudo evaluarse la concentración de sólidos suspendidos durante toda la época de lluvias.

### 5.1.2 Concentración de metales en sólidos suspendidos

La concentración máxima de Cd, Co, Cu y Pb en el material suspendido se presentó durante el mes de diciembre (figuras AII.2 a AII.10), asimismo Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Pb presentaron un incremento en la concentración en el mes de mayo, mientras que el Cr osciló entre 8.77 (febrero) y 17.9 ug/g (octubre) y el Zn entre 20.4 (abril) y 126 ug/g (marzo).

La concentración de Fe en sólidos suspendidos fue: para los meses de octubre y mayo de alrededor de 27 mg/g y para diciembre de 17 mg/g, mientras que la de Mn osciló entre los 325 (enero) y los 1100 ug/g (julio). Cabe destacar que la concentración máxima de metales en los sólidos suspendidos coincidió con la máxima concentración de material particulado en el agua.

El orden creciente de la concentración promedio para los metales analizados en los sólidos suspendidos fue:



Las gráficas de las figuras 5.1 a 5.4 muestran que para un aumento en la concentración de los sólidos suspendidos se observó una tendencia al incremento en la concentración de Co, Cu, Ni y Zn asociados al material particulado debido quizá, a la tendencia que presentan las formas oxidadas de estos metales a formar complejos estables con ligantes cuyo átomo donador de

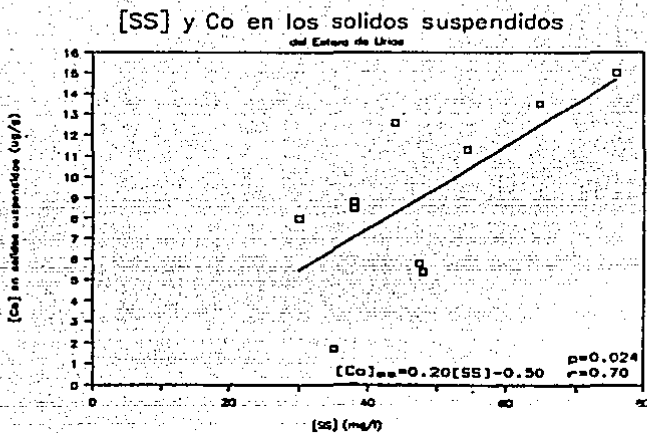


Figura 3.1 Variación de la concentración de Co en los sólidos suspendidos (SS) respecto de la concentración de los sólidos suspendidos en el agua del Estero de Urias ([SS]).

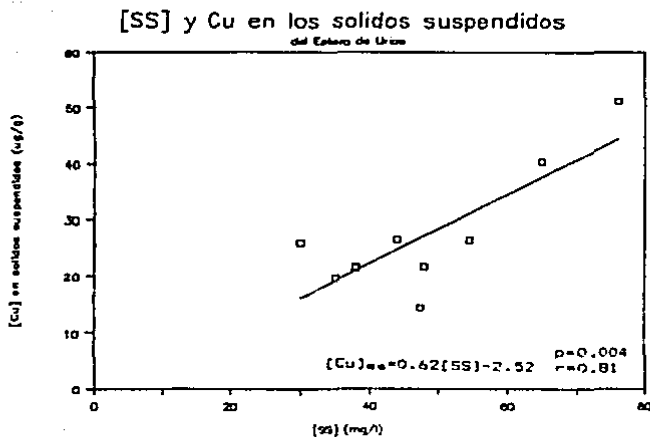


Figura 3.2 Variación de la concentración de Cu en los sólidos suspendidos (SS) respecto de la concentración de los sólidos suspendidos en el agua del Estero de Urias ([SS]).

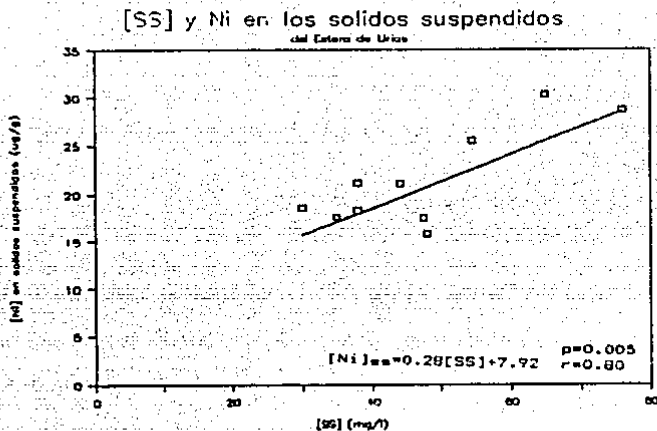


Figura 5.3. Variación de la concentración de Ni en los sólidos suspendidos (SS) respecto de la concentración de los sólidos suspendidos en el agua del Estero de Urias ([SS]).

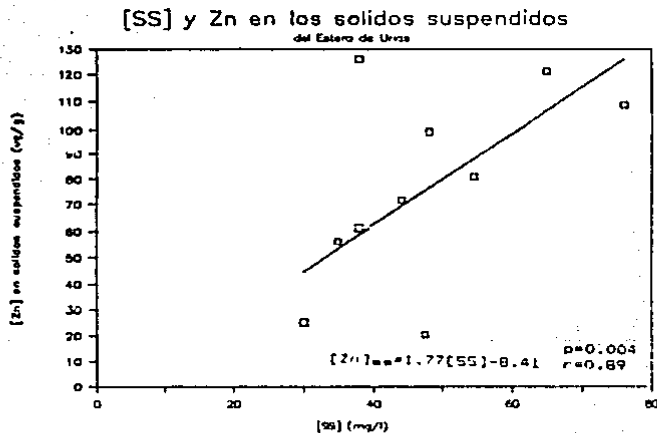


Figura 5.4. Variación de la concentración de Zn en los sólidos suspendidos (SS) respecto de la concentración de los sólidos suspendidos en el agua del Estero de Urias ([SS]). Para la obtención de la curva se eliminaron los puntos de marzo, abril.



electrones sea N, O, S o halógenos ya sea del material orgánico o inorgánico en suspensión.

### 5.1.3 Concentración de metales disueltos

En el agua del estero se evaluaron las concentraciones de Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn; en las figuras AII.11 a AII.17 se observa que: aun cuando no se aprecian patrones de comportamiento claros en la variación de la concentración de los 7 metales analizados, destaca la tendencia al incremento en la concentración en las muestras de octubre, marzo y en algunos casos, junio; para estos meses se aprecia un decremento en la concentración de material particulado (Fig. AII.1), sin embargo no fue posible establecer una relación entre el comportamiento de los diferentes metales disueltos y la concentración de sólidos en suspensión o la cantidad de metales asociados a estos. Para ello posiblemente se requiera de un mayor número de datos. Desafortunadamente no fue posible evaluar el contenido de estos metales en la muestra del mes de diciembre por haber perdido la muestra.

La concentración promedio de cada metal en disolución tuvo el siguiente orden creciente:



Considerando que estos moluscos obtienen el alimento del material suspendido en el agua, podría ser interesante

considerar la cantidad de metales en el material suspendido por unidad de volumen y compararla con la concentración de metales en el tejido blando de los bivalvos, ya que se puede suponer que esta, junto con los metales disueltos son las dos fuentes principales de metales para estos organismos (ver sección 5.5.3). De los siete metales, sólo en los casos del Fe, Mn y Pb la concentración de metal disuelta fue siempre menor a la encontrada en el material suspendido (en unidades de  $\mu\text{g}/\text{l}$ ), siendo las concentraciones de Fe y Mn disueltas muy pequeñas frente a la suspendida.

El Co y el Cu disueltos se encontraron en concentraciones menores respecto a la de ambos en el particulado en los meses de octubre a febrero y mayores para las muestras de marzo abril y junio para el Co y marzo, abril, mayo y junio para el Cu, mientras que el Ni y el Zn presentaron concentraciones en disolución superiores a las del material particulado.

Con respecto a las concentraciones de Fe y Mn, de acuerdo con Stumm y Morgan (1970), en la superficie del agua es común encontrar fracciones importantes de Fe y Mn en forma suspendida; ya que en las capas superficiales de la mayoría de los sistemas, las condiciones de pH y la concentración de oxígeno disuelto son tales que al introducir  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$  a estas capas son oxidados a  $\text{Fe(III)}$  y  $\text{MnO}_x(\text{s})$ . Estos sólidos sedimentan por gravedad y en el proceso pueden formar complejos con bases orgánicas e inorgánicas y dar lugar a coloides estables. La concentración de Mn disuelto es, generalmente muy pequeña.

debido a que además de los óxidos de Fe y Mn, compuestos como el  $MnCO_3$  y  $MnS$  son poco solubles. Si las condiciones de pH o el contenido de oxígeno cambian, la concentración de  $MnO_x$  cambiara también aumentando o disminuyendo la solubilidad del Mn conforme es reducido a  $Mn^{2+}$  u oxidado a  $MnO_x$  respectivamente.

Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos; en la tabla 5.A se puede apreciar que las concentraciones de Fe y Mn en el agua de la superficie son muy pequeñas comparadas con las encontradas en el material suspendido.

#### 5.2 Metales en los sólidos sedimentados en trampas

Además de los análisis de la concentración total de los nueve metales en los sedimentos colectados en trampas, se efectuaron extracciones selectivas con el fin de evaluar la cantidad asociada a las siguientes fases geoquímicas de los sedimentos: metales en posición de intercambio (F-1); metales asociados a sulfuros y compuestos orgánicos (F-2); metales asociados a carbonatos (F-3) y metales asociados a óxidos de Fe y Mn (F-4). La cantidad de metal residual se obtuvo sustrayendo del total la suma de las concentraciones encontradas en cada fase (ver apéndice I).

En las figuras AIII.2 a AIII.10 en las que se presentan los histogramas que ilustran los resultados de las concentraciones de Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn en las distintas

Metal	Medio	SS ( $\mu\text{g/g}$ )	SS ( $\mu\text{g/l}$ )	agua ( $\mu\text{g/l}$ )	Sed.sup. ( $\mu\text{g/g}$ )	S.ned. ( $\mu\text{g/g}$ )	M. s. ( $\mu\text{g/g}$ )	C. c. ( $\mu\text{g/g}$ )
Cd		1.80	--	--	1.15	1.25	0.52	1.10
Co		8.05	0.47	0.32	11.4	12.7	0.32	2.66
Cr		13.1	--	--	18.2	18.0	0.93	0.56
Cu		27.0	1.45	1.20	37.9	39.9	13.6	55.1
Mn		620	29.2	0.27	291	317	31.1	16.8
Ni		21.5	1.07	2.38	24.4	27.6	9.01	4.10
Pb		46.3	2.29	0.67	49.0	55.6	7.35	3.30
Zn		77.1	3.99	42.0	140	71.8	76.7	( $\text{mg/R}$ ) 1.33
Fe		( $\text{mg/g}$ ) 22.0	( $\text{mg/l}$ ) 1.03		( $\text{mg/g}$ ) 34.4	( $\text{mg/g}$ ) 30.0		( $\text{mg/R}$ ) 181

Fig. 5.A Concentraciones promedio de Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn en los sólidos suspendidos (SS), agua, sedimento superficial de la zona de manglar (Sed.sup.), sólidos sedimentados en trampas (S.ned.), tejido de *M. strigata* (M.s.) y tejido de *C. corteziensis* (C.c.) del Estero de Urias.

fracciones analizadas en cada muestra de material colectado en trampas de sedimento a lo largo de un mes en el canal de mareas entre octubre de 1985 y mayo de 1986, así como en las muestras de sedimento superficial de la zona de manglar en junio y julio de 1986 (denotado como 6(\*) y 7(\*) en las figuras) ya que en estos meses no se contó con las trampas de sedimento. Se observó lo siguiente:

(a) Metales "totales"

Al igual que en el caso de los metales disueltos, los metales asociados a sólidos colectados en trampas no presentaron evidencias claras de un comportamiento patrón. Sin embargo, las gráficas de las figuras 5.5 y 5.6 muestran que las concentraciones de Cr, Co, Cu, Fe, Ni y Pb en los sólidos sedimentados disminuyeron conforme la cantidad de sólidos suspendidos en el agua aumentaba.

Excepto en los casos de Fe y Mn, se observaron concentraciones mínimas en las muestras de noviembre y diciembre. Para los sólidos sedimentados en el canal de mareas, la concentración total de Mn permanece alrededor de 430 ug/g de octubre a enero y alrededor de 200 ug/g de enero a mayo; el Fe presentó dos máximos, uno durante diciembre y enero y el otro en febrero y marzo.

El orden creciente del promedio de la concentración total de cada metal asociado a los sólidos colectados en trampas

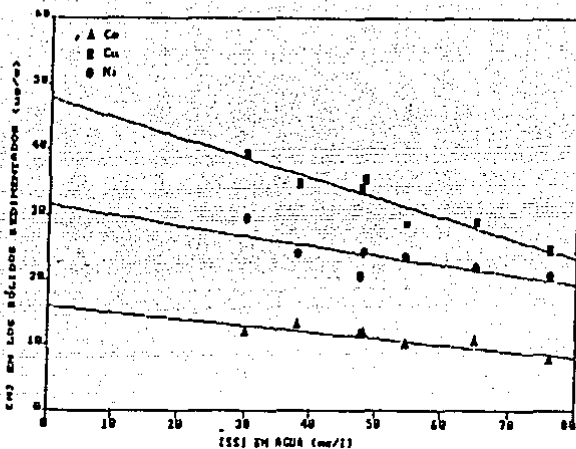


Figura 5.5 Variación de la concentración de Co ( $r=0.88$ ), Cu ( $r=0.85$ ) y Ni ( $r=0.77$ ) de los sólidos sedimentados en las trampas del canal de mareas en función de la cantidad de material suspendido.

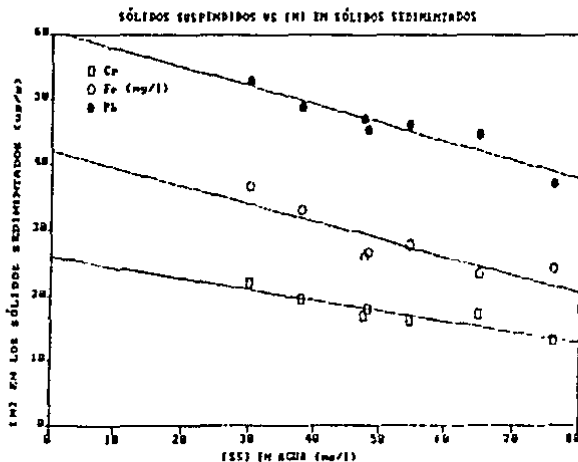


Figura 5.6 Variación de la concentración de Cr ( $r=0.92$ ), Fe ( $r=0.87$ ) y Pb ( $r=0.94$ ) de los sólidos sedimentados en las trampas del canal de mareas en función de la cantidad de material suspendido.

fue:

$Cd < Co < Cr < Ni < Cu < Pb < Zn < Mn < Fe$ .

**(b) Metales asociados a las diferentes fases geoquímicas**

En las figuras AIII.2 a AIII.10 se presentan las concentraciones de los nueve metales encontradas en las distintas fases geoquímicas de las muestras del material particulado colectado en trampas.

Puede observarse que, con excepción del Cd y el Pb, la mayor cantidad de los metales se encontró asociada a la materia orgánica y a los sulfuros. En cuanto al Cd sólo pudieron evaluarse los metales en posición de intercambio y en el caso del Pb la fase más importante correspondió a los óxidos de Fe y Mn, misma que contuvo cantidades apreciables de Zn y en algunas muestras de Cr.

La cantidad de todos los metales asociados a carbonatos fue muy pequeña.

**5.3 Contenido de materia orgánica y metales en los materiales suspendidos y sedimentado**

La cantidad de materia orgánica determinada por gravedad en los sólidos suspendidos del estero (Fig. AIII.1) mostró variaciones de 15 a 28 % con concentraciones máximas en octubre, diciembre,

marzo y julio; la línea continua en la gráfica de la figura representa valores promedio entre cada dos meses, habiendo obtenido la mayor pérdida de peso por ignición en los promedios de los meses diciembre-enero y marzo-mayo. El porcentaje de carbono de los sólidos sedimentados en trampas medido por oxidación con dicromato permanece prácticamente constante a través de los meses muestreados.

Al comparar los valores promedio obtenidos para la concentración de los metales en los materiales particulado suspendido y sedimentado, (Tabla 5.A) se observa lo siguiente:

Con excepción del Mn, la magnitud de la concentración de cada metal en los sólidos sedimentados, es similar a la encontrada en los sólidos suspendidos, por lo que puede decirse que una fracción importante de los sólidos suspendidos proviene de la resuspensión de los sedimentos del fondo.

La concentración promedio anual de los metales en los sólidos sedimentados, es del orden de la concentración de los metales en el sedimento superficial colectado en la zona de manglar (primer cm de la capa sedimentaria), por lo que puede pensarse que una fuente de sedimentos en la zona, son los lodos del área del manglar y que en el área de muestreo la distribución del sedimento es homogénea.

En esta porción del sistema lagunar el aporte de sedimentos



por ríos u otras fuentes no es significativo, este sistema sólo recibe descargas de sólidos por desechos urbanos, en las zonas intermedia y portuaria del Estero (ver área de estudio Fig. 3.1), por lo que la influencia sedimentaria de estas descargas será despreciable sobre el área de muestreo.

En el caso de los sólidos en la columna de agua y los colectados en las trampas de sedimento se observó que: a través de los meses muestreados la concentración de Mn en los sólidos suspendidos (325 a 1102 ug/g) fue siempre de 2 a 3 veces mas grande que el Mn asociado al material sedimentado en trampas (173-481 ug/g), mientras que la cantidad de Mn disuelto en el agua de la superficie (0.12-0.92 ug/l) nunca exedió del ug/l (desgraciadamente no se analizó el agua del fondo), por lo tanto la fracción mayoritaria de Mn se encontró en forma particulada suspendida; de lo anterior puede inferirse que en la zona de muestreo se presentó una diferencia en las condiciones redox, ya que en ambientes reductores se favorece la solubilización del  $Mn^{2+}$  (en el fondo del estero), mientras que en la superficie, en donde prevalece un ambiente oxidante, ocurre la precipitación de las especies  $MnO_x$ .

La concentración total de metales asociados a los sólidos suspendidos, probablemente depende del tamaño de las partículas que se resuspenden. Dado que a mayor energía

cinética, tanto la cantidad de sólidos en suspensión como el tamaño de las partículas que se resuspenden aumenta, la asociación de metales a este material es menos eficiente, de tal forma que cuando estos sólidos sedimentan la cantidad de metales asociados al material sedimentado por unidad de masa es menor. Dado que la reducción y difusión de los metales del fondo es un proceso lento comparado con la precipitación y sedimentación de los metales suspendidos, la concentración de los metales aumenta, por unidad de masa al precipitar el material fino y disminuye al depositarse el material de mayor tamaño (Figs. 5.5 y 5.6).

Dado que la cantidad de carbón orgánico en los materiales sedimentados, fue prácticamente constante, es posible pensar que las variaciones de concentración de los metales en esta fase puedan atribuirse al enriquecimiento de los sólidos suspendidos, la posterior sedimentación y solubilización de los metales al, por un lado degradarse la materia orgánica y por otro reducir los óxidos de Fe y Mn.

La concentración de metales asociados a carbonatos fue muy baja, ello puede deberse a que durante el proceso de extracciones sucesivas, el material fue tratado con HNO<sub>3</sub> ya que este se utilizó para ajustar el pH del reactivo a 2 para la extracción de los metales asociados al material orgánico y los sulfuros previo al ataque de los carbonatos (fig 4.2), y por lo tanto cabe la posibilidad de que una fracción importante de carbonatos haya sido atacada en esta fase del análisis.

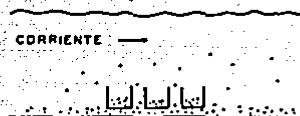
De las secciones 5.1.1, 5.1.2 y 5.1.3 y de la discusión anterior, se desprende que las variaciones en la concentración de los metales en el agua y material sedimentado dependen de la cantidad de sólidos suspendidos, se puede proponer el siguiente ciclo (Fig. 5.7):

- (1) Cuando la energía cinética del agua es pequeña, se depositan los sólidos en suspensión, se reducen los óxidos de Fe y Mn asociados a estos y forman compuestos solubles que se difunden a través de la columna de agua.
- (2) Al aumentar la corriente de marea, las formas metálicas solubles ascienden a la superficie con mayor rapidez y aumenta la concentración de los sólidos en suspensión.
- (3) Al haber una mayor cantidad de  $O_2$  disuelto en la superficie del agua, precipitan los óxidos de Fe y Mn, aumenta la superficie de adsorción y absorción del material particulado suspendido al cual se asocian los metales disueltos.
- (4) Los sólidos suspendidos aumentan su contenido metálico, sedimentan y al disminuir la concentración de  $O_2$  se disuelven los óxidos de Fe y Mn y consolubilizan a otros metales.

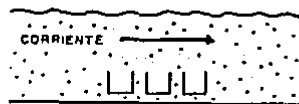
#### 5.4 Concentración de los metales en el Estero de Urcúu

Las Tablas 5.B y 5.C enlistan los intervalos de concentración de los diferentes metales analizados en muestras de agua y sólidos

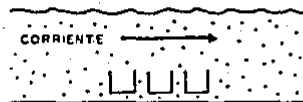
- (1) -[SS] disminuye  
 -Reducción de óxidos de Fe y Mn  
 -M(s)  $\rightarrow$  M(ac)



- (2) -[SS] aumenta  
 -mezcla de metales acuosos



- (3) -[O<sub>2</sub>] aumenta  
 -Oxidación de Fe y Mn  
 -M(ac)  $\rightarrow$  M(s)



- (4) -Enriquecimiento de SS por M  
 -[SS] disminuye

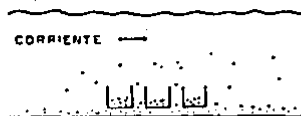


Figura 5.7 Ilustración de la secuencia propuesta para la movilización de metales en el Estero de Urias.

suspendidos colectadas entre agosto de 1985 y julio de 1986 en El Estero de Urías, así como los reportados por otros autores.

Se observa que las concentraciones encontradas de Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Pb son del orden o menores a las de otras áreas; en general, con excepción del Cu, es notable la semejanza entre los ordenes de magnitud de las concentraciones de los metales en los sólidos suspendidos y en el agua del Estero y los de la Laguna de Términos, un sistema lagunar tropical (Páez-Osuna et al., 1987). Las concentraciones de Cd en los sólidos suspendidos y las de Zn en el agua fueron superiores con respecto a los demás valores presentados en las Tablas 5.B y 5.C; ello no necesariamente implica aportes no naturales de estos elementos al sistema, en el caso del Zn puede deberse a la facilidad con la que se presentan problemas de contaminación de las muestras por este metal durante el manejo y el análisis.

En la Tabla 5.D se presentan los datos del contenido metálico del sedimento colectado en la zona del manglar (primer cm de la capa sedimentaria), del área de muestreo, así como el intervalo de concentraciones encontradas en las muestras mensuales, del material particulado colectado en trampas en el canal de mareas del área de muestreo, y los datos recopilados de la literatura para concentraciones de metales en sedimento.

Al comparar las concentraciones de Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn encontradas en este estudio y las obtenidas por Osuna-López et al. (1986) en la misma zona en 1983, se observa

Localidad	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Referencia
Estero de Uriás México	0.13-0.6	0.6-1.4	0.6-14	0.1-0.9	1.1-3.3	0.3-1.3	8-70	Este trabajo
Harbour Bay Poohay	---	2.6-7.3	5-17.7	0.8-4.5	---	---	2.7-22	Katkar et al. (1981)
Hestonquet Creek Inglaterra	2-6	9-26	9-60	14-122	5-18	(2-3)	31-300	Boyden et al. (1979)
Estuario Holford Inglaterra	(1-2)	3-5	4-27	5-11	3-8	(2-4)	13-26	Boyden et al. (1979)
Pudget sound	---	0.01-1.6	---	---	0.01-1.4	0.01-1.6	0.01-27	Paulson y Feeley (1985)
Laguna de Términos México	0.03	1.0	4.1	(0.1)	---	---	---	Pérez-Osuna et al. (1987)

Tabla 5.B Concentración de metales disueltos en el agua del Estero de Uriás y de otras áreas (ug/l).

Localidad	Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Referencia
Estero de Uriás México	(0.2-4.4)	1.7-18	21-51	17-27 (mg/g)	325-1102	15-30	29-72	20-121	Este trabajo
Harbour Bay Poohay	---	---	212-276	7 (mg/g)	1314-1932	---	---	154-224	Katkar et al. (1981)
Hestonquet Creek Inglaterra	0.9-1.2	---	1300-2600	22-35 (mg/g)	164-417	---	229-776	1550-2100	Boyden et al. (1979)
Estuario Holford Inglaterra	0.2-0.4	---	116-250	9.9-23 (mg/g)	197-251	---	258-435	244-1890	Boyden et al. (1979)
Laguna de Términos México	0.26	23	7.9	26 (mg/g)	737	---	---	---	Pérez-Osuna et al. (1987)

Tabla 5.C Concentración de metales en los sólidos suspendidos del Estero de Uriás y de otras áreas (ug/g).

Localidad	Cd (mg/g)	Cr (mg/g)	Co (mg/g)	Cu (mg/g)	Fe (mg/g)	Mn (mg/g)	Ni (mg/g)	Pb (mg/g)	Zn (mg/g)	Ref.
Estero de Uriás (Sed. sup.)	1	18	11	38	3.4	280	24	48	140	este trabajo
(S. sed.)	1.3	18	13	40	3.0	317	28	56	72	este trabajo
Estero de Uriás, México	0.3	24	16	12	1.9	--	17	26	62	Osuna- López et al. 1986
Restouquet Creek/G.B.	2	--	23	1830	5.2	420	39	310	1880	Boyden et al. 1979
Haldfor estuary, G.B.	1	--	15	160	2.7	210	40	85	225	Boyden et al. 1979
Sedimentos anáxicos costeros, Mar Báltico	--	90	22	78	--	4930	43	25	110	Hanheim 1961
Saanich Inlet Sed. anáxicos, BOA	--	35	8	45	--	400	26	traza	80	Gross 1967
Laguna Mitla, México	--	120	26	59	3.7	--	89	12	134	Páez- Osuna y Osuna- López, en prensa
Laguna Chautengo, México	--	90	25	35	5.2	--	42	51	108	Páez- Osuna et al., 1984
Laguna del Ostión, México	--	101	40	25	3.4	--	44	<7	68	Páez- Osuna et al., 1986
Estuario del Río Coatzacoal- cos, México	1.6	71	22	21	3.7	--	35	39	117	Páez- Osuna et al., 1986

Fig 5.D Composición de los metales traza en los sólidos sedimentados en trampas y en los sedimentos superficiales de la zona del manglar del Estero de Uriás y de otras áreas.

un aparente enriquecimiento de Cu, Fe, Pb y Zn. Esto se debe probablemente a diferencias en la técnica de muestreo y por lo tanto a diferencias en el tipo de muestras colectadas entre ambos estudios. En el presente trabajo se analizó el contenido metálico del cm superior, mientras que en el estudio realizado por Osuna-López et al. (1986), las muestras fueron colectadas con una draga de tipo Van Veen y por lo tanto, la profundidad del sedimento analizado fue de 10 cm o más.

Con respecto a otras áreas con sedimentos de carácter textural equivalente (limos y arcillas), la cantidad tanto de Co como de Cr, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn presentes en el sedimento colectado en las trampas, fueron del mismo orden o menores a las registradas por otros autores. La concentración de Pb obtenida para los sedimentos del Estero, fue relativamente alta, comparable a la del Estuario del Río Coatzacoalcos.

#### 5.5 Niveles de concentración de los metales en los moluscos.

##### (a) Saccostrea iridescens:

A partir de los resultados de los análisis del contenido metálico en el tejido de esta especie de ostión marino, a lo largo de 10 meses de muestreo se construyeron las figuras AIV.1 a AIV.3 en las que se observa lo siguiente:

- (1) La concentración de Cr fue inferior al  $\mu\text{g/g}$ , mientras que las de Ni y Co no rebasaron los  $2 \mu\text{g/g}$ .



- (2) El Cd osciló entre los 2 y los 5 ug/g sin mostrar un patrón definido.
- (3) El Pb presentó un máximo en diciembre de 9 ug/g, oscilando el resto de los meses entre los 4 y 5 ug/g y aumentando nuevamente en mayo a casi 7 ug/g.
- (4) El nivel de concentración de Mn varió entre 7 y 15 ug/g con tendencia a aumentar de agosto a mayo.
- (5) El Cu presentó un máximo de 42 ug/g en octubre, el cual fue alrededor de 7 veces mayor que la concentración registrada para el mes de abril.
- (6) La concentración de Fe, por su parte, presentó un notable incremento en el mes de septiembre, oscilando entre los 50 y los 225 ug/g.
- (7) El Zn, al igual que el cobre, presentó un máximo en octubre de 745 ug/g y un mínimo en abril de 226 ug/g.

(b) Craspedotera cortezlonni:

Los ejemplares de esta especie fueron obtenidos de las raíces del manglar del estero a lo largo de 12 muestros consecutivos, los resultados de las concentraciones de las muestras se ilustran en las figuras AIV.4 a AIV.6, observando que:

- (1) Las concentraciones de Cd y Cr fueron inferiores a los 2  $\mu\text{g/g}$ ; la concentración de Cr presentó su valor máximo en diciembre, mientras que el Cd fue prácticamente constante a través de los meses muestreados.
- (2) Tanto el Co como el Ni y el Pb presentaron un enriquecimiento en las muestras de tejido del ostión de manera simultánea durante los meses de noviembre a enero (otoño-invierno).
- (3) El Cu y el Zn se comportaron de formas semejantes, con valores de concentración máximos en octubre, noviembre y enero y mínimos en diciembre y abril.
- (4) Los patrones de concentración de Fe y Mn fueron, también, similares, aunque no se perciben tendencias estacionales.
- (5) Las concentraciones de Co, Cu, Ni y Pb encontradas en las muestras de tejido de los ostiones Ca. cortalicornis, presentaron una tendencia a incrementarse linealmente, conforme la concentración de estos metales aumentaba en el material particulado suspendido por unidad de volumen, al aparcar los datos mensuales obtenidos para los sólidos suspendidos con los de las muestras de tejido del siguiente mes (octubre con noviembre, noviembre con diciembre, etc.) (Figs. 5.8 a 5.11). Al parecer la acumulación de estos metales por el ostión de la laguna depende de la cantidad de Co, Cr, Ni y Pb

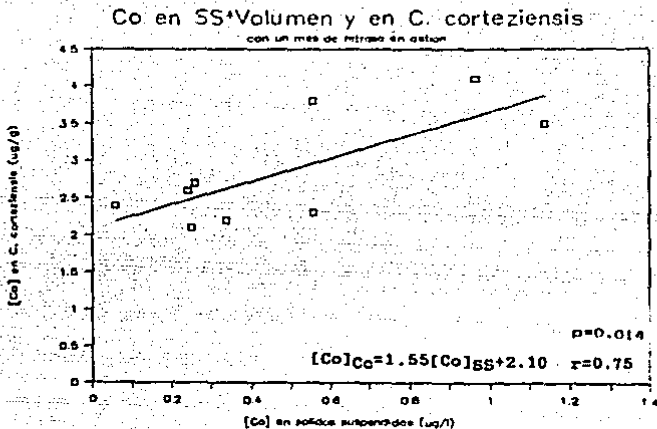


Figura 5.8 Variación de la concentración de Co en el tejido de *C. corteziensis* con respecto a la concentración de Co en los sólidos suspendidos por unidad de volumen del agua anterior.

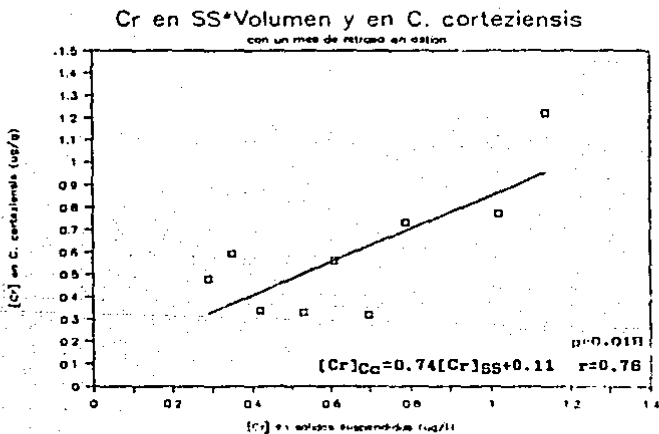


Figura 5.9 Variación de la concentración de Cr en el tejido de *C. corteziensis* con respecto a la concentración de Cr en los sólidos suspendidos por unidad de volumen del agua anterior.

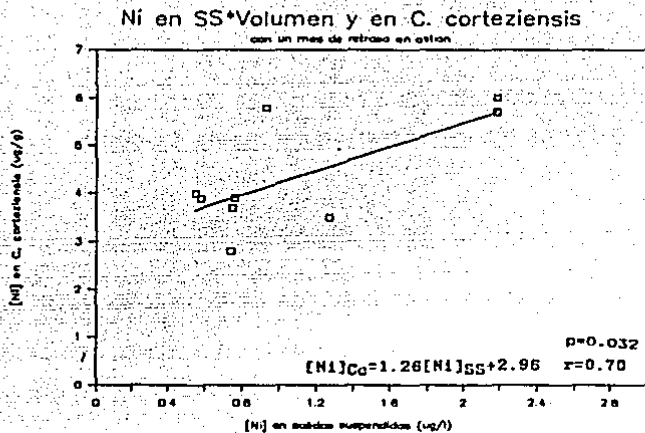


Figura 5.10 Variación de la concentración de Ni en el tejido de *C. corteziensis* con respecto a la concentración de Ni en los sólidos suspendidos por unidad de volumen del mes anterior.

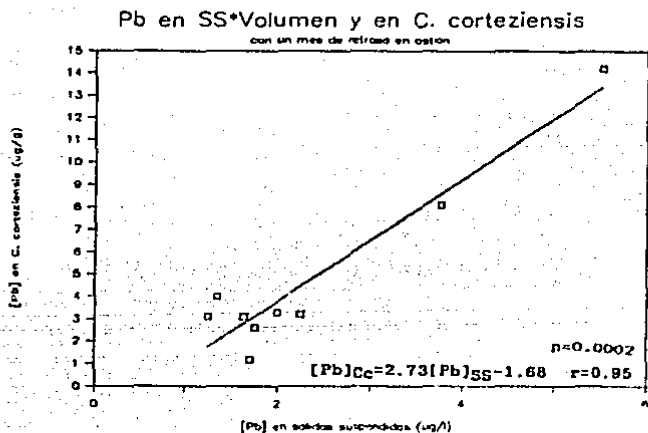


Figura 5.11 Variación de la concentración de Pb en el tejido de *C. corteziensis* con respecto a la concentración de Pb en los sólidos suspendidos por unidad de volumen del mes anterior.

del material particulado por unidad de volumen. Dado que la asimilación de estos metales por los moluscos no es inmediata, podrían quizá, obtenerse mejores coeficientes de correlación si se optimiza la distancia temporal entre la colecta de las muestras de material suspendido y la de los moluscos.

(c) Mytella strigata:

Los organismos de esta especie de mejillón provinieron, al igual que el ostión G. corteziensis, del Estero de Urías; las figuras AIV.7 a AIV.10 muestran la variación en la concentración de los 9 metales analizados en el tejido de las muestras de esta especie a lo largo de 9 meses de colecta; observándose lo siguiente:

- (1) La concentración de Cd fue relativamente constante (0.5-0.6 ug/g) durante los meses de muestreo
- (2) El Cr osciló entre 0.5 y 1.5 ug/g presentando un máximo en el mes de diciembre.
- (3) La concentración de Cu osciló entre los 11 (agosto) y los 16.5 ug/g (diciembre).
- (4) Las concentraciones de Pb y de Ni en el tejido del mejillón son comparables (5.5-13 ug/g), no así sus perfiles de variación. Mientran que el perfil

presentado por el Ni a lo largo del muestreo es similar al del Co con valores máximos en diciembre, marzo y junio y mínimos en noviembre, enero y abril; la concentración del Pb es similar a la del Fe con valores máximos en diciembre y abril. La concentración de Fe fluctuó entre los 270 y los 1000 ug/g.

(5) La concentración de Mn fue variable con tendencia a disminuir en los meses de marzo, abril y mayo.

(6) El patrón de concentración del Zn (32-115 ug/g) fue irregular con valores mínimos en noviembre y máximos en junio.

(7) Las concentraciones de Cr, Cu, y Fe encontradas en el tejido de las muestras de mejillón *M. nigra* tendieron a aumentar conforme la concentración de estos metales en el material suspendido por unidad de volumen del mes anterior se incrementaba (Figs 5.12 a 5.14); mientras que la concentración de Zn en las muestras de tejido de mejillón, tendió a disminuir de manera asintótica a los 58 ug/g conforme la concentración de este metal aumentaba en las muestras de material suspendido por unidad de volumen del mes anterior (Fig 5.15). Sólo el Zn presentó una tendencia logarítmica. Tanto en el caso del Fe como en el de Zn, fue excluido un punto para obtener las curvas que se presentan en las figuras. En el caso del Fe se excluyó el punto correspondiente a la muestra de marzo para sólidos

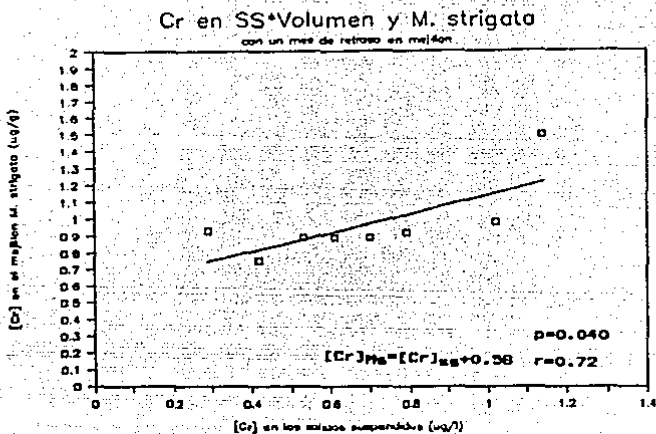


Figura 5.12 Variación de la concentración de Cr en el tejido de *M. strigata* con respecto a la concentración de Cr en los sólidos suspendidos por unidad de volumen del mes anterior.

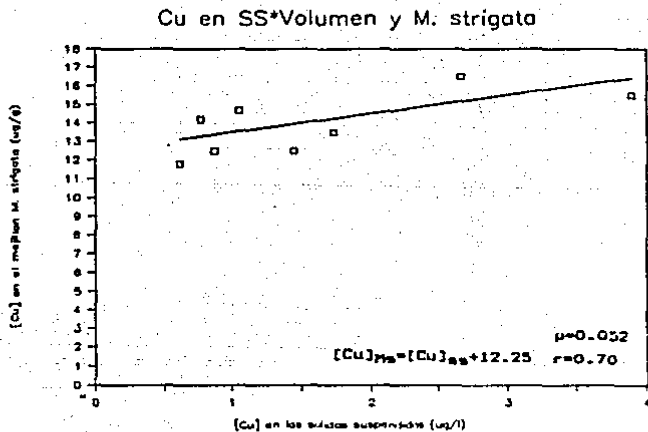


Figura 5.13 Variación de la concentración de Cu en el tejido de *M. strigata* con respecto a la concentración de Cu en los sólidos suspendidos por unidad de volumen del mes anterior.

Fe en SS\*Volumen y *M. strigata*

con un mes de retraso en mejidor

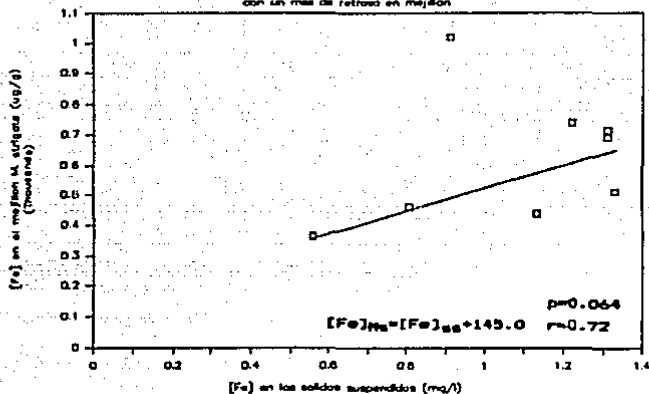


Figura 5.14 Variación de la concentración de Fe en el tejido de *M. strigata* con respecto a la concentración de Fe en los solidos suspendidos por unidad de volumen del agua anterior.

Zn en solidos suspendidos y *M. strigata*

con un mes de retraso en mejidor

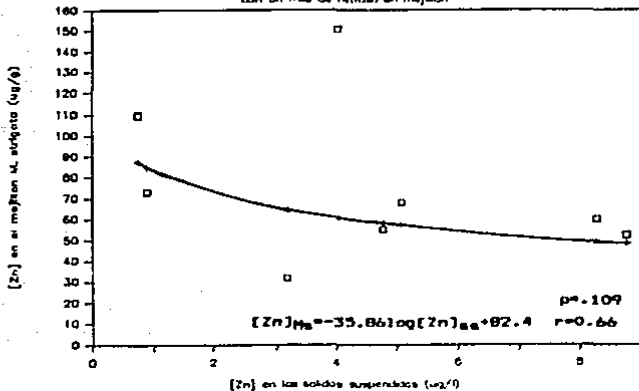


Figura 5.15 Variación de la concentración de Zn en el tejido de *M. strigata* con respecto a la concentración de Zn en los solidos suspendidos por unidad de volumen del agua anterior.



suspendidos y la de abril para el mejillón de la laguna y para el Zn las de junio-julio. Al igual que en el caso del ostión, se sugiere optimizar la distancia entre los muestreos del material suspendido y los mejillones con el fin de averiguar si este comportamiento puede demostrarse claramente.

En ningún caso se obtuvieron coeficientes de correlación estadísticamente significativos entre la cantidad de metal presente en el tejido blando de los moluscos y los índices de condición. (Imai y Sakai, 1961; Ansell et al., 1964 y Ansell et al., 1980), que no son mas que relaciones entre el tamaño de la concha y el peso seco o húmedo del tejido, o bien entre el peso total y el peso del tejido. Estos parámetros están relacionados con el estado de salud de los organismos, en donde puede atribuirse la pérdida del peso o la disminución del tamaño del molusco a la variación de alguna especie química o de algún factor ambiental. El que en este caso no se haya encontrado una dependencia entre las concentraciones de los metales en el tejido de los moluscos y los índices de condición posiblemente se deba a que, para este caso en particular, las concentraciones de metales disponibles no afectan el estado de salud de los bivalvos, o bien porque la estrategia de muestreo utilizada en este trabajo no fue la adecuada para hacer comparaciones de este tipo.

De la descripción del comportamiento de los metales en las dos especies de ostión durante la misma época del año, se observa que:

- (1) Las concentraciones de Cr en las dos tipos de ostión fueron comparables, menores o iguales al  $\mu\text{g/g}$ .
- (2) Mientras que la concentración de Cd en E. cortezensis fue menor a los  $2 \mu\text{g/g}$ ; en S. iridescens los niveles de concentración oscilaron entre  $1.75$  y  $4.75 \mu\text{g/g}$ ; el patrón de comportamiento del Cd entre ambas especies fue distinto.
- (3) Los perfiles de concentración de Co y Ni fueron distintos entre las especies de ostión, y las magnitudes de concentración fueron siempre mayores en el ostión del Estero que en el ostión de piedra.
- (4) Tanto en E. Cortezensis como en S. iridescens, los patrones de comportamiento de Cu y de Zn en cada uno de ellos fue semejante (Figs AIV.2, AIV.3, AIV.5 y AIV.6). Las concentraciones de estos metales fueron, en general, mayores en el tejido de E. cortezensis. En las gráficas de las figuras 5.17 y 5.18 se muestra la magnitud mensual de la razón Zn/Cu y Fe/Mn para los ostiones E. cortezensis y S. iridescens respectivamente; en el primer caso se observa una relación mas o menos constante entre octubre y julio para la razón de Zn/Cu y anual para Fe/Mn, mientras que en el segundo caso, la razón Zn/Cu en el ostión S. iridescens se aleja del valor promedio en agosto, marzo y abril, la razón Fe/Mn sólo lo hace significativamente en el mes de septiembre.

### RELACION Zn:Cu y Fe:Mn

en *C. cortensis*

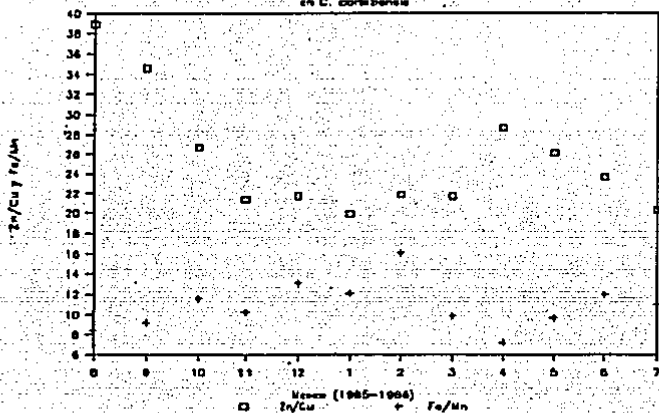


Figura 5.17 Variación mensual de las razones Zn/Cu y Fe/Mn en *C. cortensis*.

### RELACION Zn:Cu y Fe:Mn

en *S. iridocera*

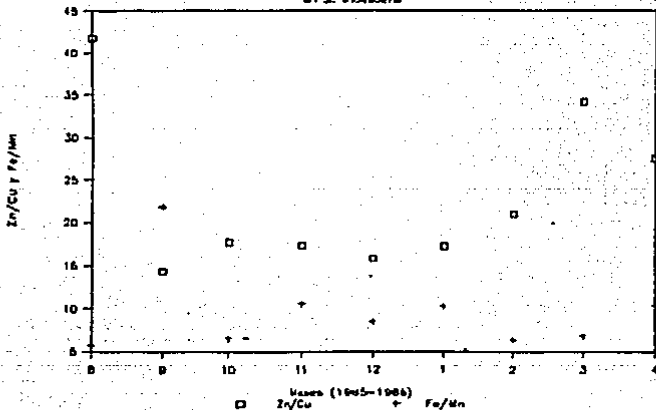


Figura 5.18 Variación mensual de las razones Zn/Cu y Fe/Mn en *S. iridocera*.

- (6) En el caso de Pb, ambas especies presentaron un máximo en la concentración de Pb en el mes de diciembre, siendo de 8 ug/g en G. cortezianus y de 9 ug/g en S. tridacna.

Del análisis de la variación de metales en el tejido del ostión G. cortezianus y del mejillón M. striata provenientes del Estero de Urias, se observa que:

- (1) Los niveles de concentración del Cr fueron menores a 1.6 ug/g en ambas especies; la concentración de Cr fue siempre ligeramente mayor en el tejido del mejillón; en los dos tipos de moluscos, la concentración de Cr presentó valores máximos en el mes de diciembre
- (2) Los perfiles de concentración de Cd fueron distintos entre las dos especies de bivalvos; los valores de concentración encontrados en el tejido de G. cortezianus (1.9-3.8 ug/g) fueron superiores a los obtenidos en los casos de M. striata (0.5 a 0.6 ug/g).
- (3) Los patrones de comportamiento de Co y Ni en el tejido del ostión de la laguna, presentaron clara tendencia a incrementarse durante los meses de noviembre, diciembre y enero, mientras que los perfiles de concentración en el de M. striata no mostraron una tendencia regular durante los meses de muestreo.
- (4) En el caso del Mn, se obtuvieron perfiles de concentración distintos para ambas especies, en los dos casos la

concentración fue variable, aunque en el tejido de mejillón, los niveles fueron siempre mas grandes que los observados para el tejido de ostión.

(5) Mientras que las concentraciones de Cu y Zn, en el tejido del ostión mostraron un aumento evidente en los meses de diciembre, enero y febrero, en el tejido de *M. strigata* se mantuvieron relativamente constantes; los ostiones presentaron niveles de concentración superiores a los de los mejillones

(6) En el tejido de ostión, el hierro presentó oscilaciones a lo largo de los meses muestreados y el patrón de comportamiento fue semejante al obtenido para el Mn en esta misma especie; por su parte, el patrón de comportamiento de Pb coincide con el del mejillón en que los dos presentaron un valor mínimo en el mes de marzo. Las concentraciones de Fe y de Pb fueron menores en el ostión que en el mejillón.

(7) Los mecanismos de asimilación-secreción de los metales difieren en ambas especies de moluscos, sin embargo parece haber alguna relación entre la cantidad de Co, Cr, Ni y Pb encontrado en el tejido de ostión de la laguna; Cr, Cu, Fe, y Zn encontrado en el tejido de mejillón y la cantidad de estos metales en suspensión por unidad de volumen.

Resumiendo se puede decir que de los nueve metales analizados en las muestras de tejido de *G. corteziensis* y *S. iridescens*, colectadas a través de 12 y 9 meses respectivamente, sólo el Cd

presentó niveles superiores en la especie marina; el Pb y el Cr, por su parte presentaron valores similares, mientras que las concentraciones de Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn fueron siempre mayores en el tejido de la especie de ostión lagunar.

Entre las posibles causas de estas diferencias, se pueden mencionar una variedad de factores, como la diferencia de ambientes y tipos de hábitat o la naturaleza propia de los dos bivalvos, factores que vienen a determinar la bio-disponibilidad de cada uno de los metales para cada especie de ostión junto con las necesidades metabólicas de cada tipo de organismo.

A pesar de que no se efectuaron análisis del contenido metálico en el agua de mar de la región costera comprendida entre Playa Cerritos y El Estero El verde, misma que circunda el nicho de los ostiones de piedra, puede suponerse que al estar localizada lejos de actividades urbanas e industriales (Fig. 3.1), los niveles de concentración de los metales disueltos en el agua de esta zona, sean comparables a los de otras regiones costeras.

Con los niveles de cada uno de los metales disueltos, medidos para el agua del Estero de Urua es posible efectuar una comparación con los datos por Förstner y Wittman (1979) para aguas de zonas costeras (Tabla 5.E)

En la Tabla 5.E se observa que con excepción del Mn, cuya concentración fue prácticamente igual en el agua de mar comparada con la del agua del Estero, los demás metales se

encuentran en concentraciones mas altas en el agua del Estero de Urias; respecto del contenido metálico en el tejido de las especies de ostión estudiadas, se obtuvieron concentraciones similares, excepto en el caso del Pb que presentó concentraciones superiores a las encontradas en el ostión de piedra.

Co	Cu	Fe	Metal Mn	Ni	Pb	Zn
[M] en Agua de mar (ug/l) (Förstner y Wittman)						
0.04	0.04-0.1	1.3	0.2	0.2-0.7	0.005-0.015	0.01-0.62
[M] en el agua del Estero (ug/l)						
0.32	1.2	4.2	0.27	2.38	0.67	42
[M] promedio en el tejido de ostión <i>C. corteziensis</i>						
2.66	55.1	181	31.1	9.01	7.35	77
[M] promedio en el tejido de ostión <i>S. iridescens</i>						
1.5	20	93	9.8	1.7	5.6	403

Tabla 5.E Concentraciones de metales disueltos en aguas de zonas costeras, en el agua del Estero de Urias y en el tejido blando de las dos especies de ostión estudiadas.

La tabla 5.F muestra las razones de concentración promedio de las muestras de tejido de las dos especies de ostiones con respecto a las del agua (en el caso del ostión de piedra se tomaron para el cálculo los datos dados por Förstner y Wittman, 1979 y presentados en la Tabla 5.R). Esta relación se usa como una medida de la capacidad de un organismo de concentrar determinado metal (Hiyama y Shimizu, 1984; Preston et al., 1972; Martin, 1974). Si los requerimientos metabólicos del organismo para un metal determinado son altos, entonces el factor de concentración lo será también (White y Rainbow,

1985). Las concentraciones de Co, Cu, Fe, Ni, Pb y Zn resultaron ser menores en el agua de mar comparado con el sistema lagunar y se obtuvieron concentraciones de Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn menores en el tejido del ostión marino; se observa que los ostiones de piedra presentaron razones de concentración apreciablemente mayores en los casos del Co, Cu, Fe, Pb y Zn respecto de las encontradas para el ostión lagunar.

Metal	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
$[M]_{Co}/[M]_{ac}$	8.3	46	43	62	1.7	4.9	32
$[M]_{Ni}/[M]_{ac}$	38	200	72	49	1	373	672

Tabla 5.F Razón de concentración de metales en el tejido de ostiones respecto del agua.

Finalmente debe mencionarse, que la semejanza en los perfiles de concentración de los pares metálicos de Cu y Zn en S. iridescens y Cu y Zn, y Fe y Mn en C. corteziana puede deberse a que las tasas de asimilación y excreción de cada par de metales sea análoga en la misma especie.

Las concentraciones de los 9 metales analizadas en el tejido de las dos especies lagunares (de los ostiones C. corteziana y de los mejillones M. arivalae) muestran que las concentraciones de Cd, Cu y Zn fueron mas altas en el tejido de ostión y las de Cr, Mn, Fe y Pb fueron superiores en el tejido de mejillón; los niveles de concentración de Co y Ni fueron similares para las dos especies.



ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

De los resultados obtenidos a partir de las muestras de agua  
sólidos suspendidos para la concentración de los metales por  
unidad de volumen (sección 5.1.3 y tablas del apéndice I), se  
observa que las concentraciones de Zn en solución fueron  
siempre mayores a las del material suspendido, mientras que la  
concentración de Cu fue, durante los meses de finales de  
otoño-principio de invierno, mayor en los sólidos suspendidos  
y el resto de los meses mas alta en el agua de la laguna. El  
Co presentó concentraciones en solución mayores en los meses  
de marzo, abril y junio y menores en los demás meses  
muestreados. A pesar de que la concentración de Cd disuelto no  
se cuantificó, la concentración en el agua de mar es del orden  
de 0.1  $\mu\text{g/g}$ , siendo comparable a la encontrada en los sólidos  
suspendidos del Estero de Uñas en este trabajo. Los demás  
metales se encontraron en concentraciones mayores en el  
material suspendido.

De la descripción anterior, se observa que aquellos metales  
que presentan concentraciones mas altas en el tejido del  
ostión o similares para las dos especies lagunares  
corresponden a aquellos para los que se obtuvieron niveles de  
concentración mas altos en el agua en todos o algunos de los  
meses muestreados, sin embargo no fue posible establecer una  
relación entre ambos parametros debido quizá, a que no se han  
considerado los aspectos metabólicos que controlan la  
asimilación de los metales.

Lo anterior puede atribuirse a que a pesar de que los  
mejillones habitan por debajo del nivel de fijación de los

ostiones y por lo tanto permanecen mas tiempo sumergidos, sus hábitos de fijación (filamentos bisales) favorecen la acumulación de partículas alrededor de las valvas, como consecuencia de ello, es probable que la concentración de material particulado sea mayor para los mejillones que para los ostiones.

#### 5.6 Comparación entre las concentraciones obtenidas en este estudio y las encontradas en la literatura.

En la tabla 5.G se presentan los valores promedio de las concentraciones de Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn encontrados en este estudio para las dos especies de ostión y la especie de mejillón, ademas de los intervalos de concentración o las concentraciones promedio registradas en otras areas, observando lo siguiente:

##### (a) Especies lagunares

Las concentraciones promedio de Cu, Fe, Ni y Pb en el tejido de mejillón M. strigata fueron superiores a las encontradas por otros autores en especies de la misma familia (Tabla 5.G). En cuanto al tejido del ostión O. portuensis, sólo en el caso del Pb se encontraron valores elevados, comparados a los dados por Goldberg et al. (1978) en el Lago Sabana de la Costa del Golfo de México en R.E.U., sin embargo en dicho trabajo no se considera que haya problemas de contaminación por Pb en esa región.

Especie/Lugar	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Referencia
<i>M. edulis</i>										
San Francisco, EUA (a)	10.3	--	--	6.7	290	24	2.1	1.9	120	Goldberg et al., 1978
Gdansk, Polonia	4.6	1.3	--	3.3	810	67	7.2	6.9	300	Szefer y Szefer, 1983
Cape May, EUA (b)	0.9	--	--	7.1	--	--	1.9	1.3	99	Goldberg et al., 1978
<i>M. galoprovincialis</i>										
Sicilia (c)	0.78	--	1.35	7.49	180	--	1.6	3.5	132	Cistagna et al., 1985
Brazil	1.0	--	3.0	10.2	--	17.9	--	5.1	100	Lacerda et al., 1983
<i>M. strigata</i>										
Urías, México	0.3	2.6	0.9	13.6	379	31	9.0	7.5	77	este trabajo
<i>M. virginica</i>										
Charleston, E-EUA (a)	2.7	--	--	220	--	--	--	60.1	4060	este trabajo
Lago Sabina, G-EUA (a)	8.6	--	--	410	690	41.9	3.1	3.3	7080	Goldberg et al., 1978
<i>M. gigas</i>										
coltiso EUA (a)	17-40	2.7-3.5	--	1760-6480	214-422	16-46	3.5-6.5	15-17	9860-33120	Boydén y Aonercil, 1974
<i>M. comacina</i>										
Golfo de Tailandia (b)	3.24	--	0.48	100	124	--	0.76	0.52	571	Phillips, 1985
<i>M. corallensis</i>										
Urías, México	1.1	2.7	0.6	55	181	17	4.1	3.3	1330	este trabajo
<i>M. iridescens</i>										
P. Carrizos-E. El Verde	3.6	1.3	0.3	20	93	98	1.7	3.6	401	este trabajo

Tabla 3-E Niveles de concentración de metales, en ppm, para diferentes especies de moluscos bivalvos de diversos lugares.

(a) contaminación por algunos metales

(b) niveles naturales de metales

(c) presencia de una refinería de petróleo y aporte de desechos urbanos

Debido a lo anterior puede pensarse que los altos niveles de Cu, Fe y Ni en los mejillones puedan deberse a diferencias metabólicas y tipo de hábitat (laguna costera tropical). En cuanto al Pb, debe recordarse que por alguna razón se obtuvieron niveles superiores al promedio en el análisis de las muestras de tejido certificadas por la IAEA (1985) (Sección 4.3.2) y por lo tanto niveles de Pb elevados no necesariamente implican aportes antropogénicos de este metal.

(b) Especie marina

De la Tabla 5.G se observa que los niveles de Cd, Cr, Cu, Fe, Ni y Zn obtenidos para el ostión *S. iridescens* son del orden o inferiores a los registrados por Phillips (1985), mientras que los de Co y Mn corresponden a los mas bajos registrados en la tabla 5.G para los ostiones; el de Pb es el valor mas alto de este grupo de datos, sin contar el encontrado por Boyden y Romeril (1974), debido quizá a la misma razón del inciso anterior.

## 6 Conclusiones y recomendaciones.

- (1) La cantidad de Co, Cu, Ni y Zn asociados al material particulado esta relacionada con la cantidad de sólidos en suspensión.
- (2) En el contexto de este estudio se encontró que: al aumentar la concentración de sólidos suspendidos en agua, la cantidad de metales asociados al material sedimentado en traspas fue menor. El mecanismo propuesto es que con el aumento en el tamaño de partícula que se suspende al aumentar la corriente de marea disminuye la cantidad de metales adsorbidos o absorbidos por unidad de peso del material sedimentado.
- (3) Al disminuir la intensidad de la corriente del agua del estero, el material suspendido sedimenta, se degrada la materia orgánica asociada y disminuye la concentración de oxígeno, se reducen el Fe y el Mn y cosolubilizan a otros metales, se supone que debido a ello las concentraciones de Cd, Cr, Cu y Ni tienden a disminuir en los sólidos sedimentados entre febrero y junio.
- (4) En cuanto a los organismos, se encontró que las concentraciones de Co, Cr, Ni y Pb en el tejido de los ostiones *O. portoricensis*, para el rango de concentraciones registradas en el trabajo, tienden a aumentar conforme la cantidad de estos metales aumenta en el material particulado por unidad de volumen de la muestra del mes anterior. De manera similar se encontró que las concentraciones de Cr, Cu, Fe y Zn en el tejido del mejillón *M. striatula* está relacionada con la cantidad de estos metales en el material suspendido por unidad de volumen de la muestra del mes anterior.

- (5) En las especies de ostión provenientes de distintos ambientes, ostión lagunar y ostión de marino. Las concentraciones de metal encontradas en el tejido blando fueron similares para siete de los nueve metales analizados; mientras que el Cd y el Pb fueron superiores en el ostión marino.
- (6) Las tasas de asimilación-secreción de los pares metálicos Cu-Zn y Fe-Mn en S. iridescens, y en C. cortezensis fueron análogas.
- (7) Entre las especies lagunares, los ostiones C. cortezensis reflejan mas claramente las variaciones de concentración de Co, Cr, Ni y Pb en el material particulado por unidad de volumen, mientras que los mejillones M. strigata reflejan las variaciones de Cr, Cu, Fe y Zn en el material suspendido por unidad de volumen, por lo que se recomienda una u otra especie dependiendo de los metales que se deseen evaluar.
- (8) Los niveles de concentración encontrados en las muestras del Estero de Uruas, así como su comparación con otras áreas, sin olvidar las limitaciones que ello representa, indican que las regiones muestreadas no están contaminadas por metales.
- (9) Para un estudio mas detallado del contenido metálico en moluscos bivalvos y su relación con el medio se recomienda: optimizar los tiempos de muestreo para las muestras de moluscos y material suspendido, ya que la asimilación no es inmediata; en cada muestra coleccionar organismos de la misma altura con respecto al nivel medio del mar y efectuar mediciones de la cantidad de oxígeno disuelto en la superficie y el fondo el canal de mareas.

**APENDICE I**

**TABLAS DE LOS DATOS OBTENIDOS PARA CADA MUESTRA.**

Mes		largo (cm)	ancho (cm)	humedad (%)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Ag	x	9	7										
n=20	r	8-12	6-9	84	4.8	1.6	0.45	10.1	56	9.6	1.7	5.6	421
	CV%	11	14										
Sp	x	9	8										
n=20	r	7-11	6-11	80	3.5	1.1	0.69	20.5	229	10.5	1.5	4.3	293
	CV%	13	19										
Oc	x	12	8										
n=20	r	8-14	5-11	80	3.9	1.6	0.41	41.8	50	7.6	1.4	4.4	745
	CV%	17	24										
Nv	x	11	9										
n=19	r	4-15	5-13	80	3.8	1.5	0.41	26.6	76	7.2	1.7	4.9	464
	CV%	29	26										
Dc	x	10	7										
n=20	r	7-13	4-10	--	3.4	1.4	0.56	26.1	62	7.3	1.6	8.9	416
	CV%	16	21										
En	x	8	5										
n=22	r	3-12	3-8	98	3.9	1.4	0.85	23.0	121	11.7	2.0	6.3	398
	CV%	26	28										
HZ	x	9	6										
n=19	r	7-12	4-8	90	1.9	1.2	0.58	20.4	63	9.8	2.1	4.3	430
	CV%	13	20										
Ab	x	9	20										
n=20	r	7-11	4-8	82	3.8	1.6	0.57	6.6	66	9.6	1.6	4.0	226
	CV%	14	27										
My	x	8	5										
n=20	r	4-11	2-9	76	3.4	1.8	0.83	8.3	114	11.0	1.6	6.8	229
	CV%	19	25		2.3	4.3	3.0	2.6		2.1			4.4

Fig. A1.1 Características morfológicas y concentraciones de Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn en el tejido seco de los ostiones *S. purpuraceus*.



Mes	largo	ancho	espesor	humedad	salinidad	SS	PPI	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
	cm	cm	cm	%	‰	mg/l	15	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Ag	4	3	1													
n=25	3-6	2-5	1-2	82	25.088	--	--	0.73	2.1	0.48	26.4	186	19.8	2.5	2.3	1027
CV%	15	18	21													
Sp	3	3	1													
n=25	3-6	2-4	1-2	89	6.019	--	--	0.96	2.1	0.44	38.5	187	20.4	3.1	3.1	1333
CV%	16	12	15													
OC	4	3	1													
n=26	3-6	2-5	1-2	90	25.756	43-45	21-27	1.1	3.1	0.47	52.4	246	21.2	4.1	3.1	1398
CV%	15	20	22			6	9									
NV	4	3	1													
n=24	3-6	2-4	0.0-1.5	90	35.016	62-69	18-19	1.5	3.6	0.73	64.3	129	12.5	3.8	3.3	1374
CV%	19	18	21			6	12									
DC	4	3	1													
n=23	3-5	2-4	0.0-2	--	32.226	78-81	23-28	1.0	4.1	1.22	34.9	263	20.1	5.7	8.1	756
CV%	12	18	20			7	23									
En	4	3	1													
n=25	3-5	2-4	1-2	90	37.942	30	27	1.4	3.5	0.77	83.8	183	15.1	6.0	14.2	1665
CV%	14	14	25			29-31	26-30									
Fb	4	3	1													
n=23	3-6	2-4	1-3	89	36.426	43-53	18-23	1.1	2.6	0.48	71.6	193	12.0	4.0	4.0	1569
CV%	17	18	28			10	15									
Mi	4	3.5	1													
n=24	3-6	2-5	0.0-2	86	--	38	28	1.1	2.7	0.34	65.9	131	13.3	3.9	1.2	1432
CV%	15	12	28			7	15									
Ab	4	3	1													
n=25	3-6	2-5	1	84	37.140	47-53	18-23	0.94	2.2	0.33	37.9	128	17.7	2.8	2.6	1087
CV%	17	20	25			46-50	16-22									
NV	3	3	1													
n=24	3-6.5	2-4	1-1.5	85	37.395	54-55	11-19	0.87	2.1	0.56	55.8	136	14.1	3.7	3.1	1462
CV%	15	16	17			10	26									
Jn	4.5	3.5	1													
n=25	4-6	3-5	0.5-2	85	37.869	33-37	13-24	1.2	2.3	0.22	58.5	218	18.1	3.5	3.2	1386
CV%	15	18	26			10	30									
Jl	4	3	1													
n=25	3-6	2-4	1-2	86	36.449	33-43	24-37	1.3	2.4	0.59	71.2	194	17.6	3.9	3.1	1445
CV%	19	15	26			15	26									

Fig. A1.2 Características morfológicas y concentraciones de Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn encontradas en el tejido seco de los ostiones *C. corrugatus*.

Mes	largo (µm)	ancho (µm)	espesor (µm)	huesada (%)	salinidad (%)	SS (µg/l)	PP1 (%)	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
AG	3.8	1.8	1.5		3											
n=25	3.0-4.3	1.3-2.1	1.1-1.7	90	25.088	--	--	0.29	1.9	0.58	11.1	245	40.1	10.1	4.8	90.0
CVS	9	10	10													
Mv	3.5	1.7	1.2													
n=25	2.8-4.4	1.3-2.0	0.7-1.9	74	6.019	--	--	0.46	2.5	0.92	13.5	739	44.1	5.3	6.6	31.9
CVS	14	20	19													
DC	2.9	1.6	1.1													
n=26	2.2-4.9	1.3-2.7	0.8-1.8	--	25.756	44	25	0.60	2.8	1.50	16.5	715	28.1	11.2	0.2	52.2
CVS	29	20	27			6	9									
En	3.0	1.5	1.0													
n=24	2.4-3.6	1.3-1.9	0.8-1.3	83	35.016	62-69	15-19	0.49	2.3	0.88	15.5	691	30.7	5.4	7.5	80.0
CVS	11	11	22			6	12									
Fb	3.4	1.7	1.3													
n=23	2.7-4.0	1.1-2.1	0.9-1.8	94	32.226	78-81	23-33	0.62	2.5	0.93	14.2	364	36.0	7.43	6.0	109.4
CVS	9	19	16			9	25									
WE	4.3	2.0	1.6													
n=25	3.0-5.6	1.6-2.4	1.1-2.0	86	37.942	29-31	26-30	0.60	3.0	0.75	14.7	440	24.6	11.0	5.9	55.1
CVS	18	19	16			3	9									
Ab	3.3	1.8	1.2													
n=23	2.5-4.5	1.4-2.6	0.9-1.8	84	26.426	43-53	10-23	0.60	2.4	0.89	12.5	1020	19.1	7.0	12.2	67.9
CVS	15	18	16			10	14									
Hy	3.1	1.7	1.1													
n=24	1.4-4.6	1.2-2.6	0.9-1.7	B2	--	35-41	25-32	0.60	2.8	0.89	11.6	461	25.2	11.1	9.6	72.8
CVS	23	21	20			7	14									
Jn	3.3	1.8	1.2													
n=25	2.5-4.3	1.4-2.7	0.9-1.6	85	37.140	46-50	16-22	0.45	3.3	0.89	12.5	513	31.0	12.7	6.7	150.7
CVS	19	22	16			5	10									

Fig. A1.3 Características morfológicas y concentraciones de Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn encontradas en el tejido seco de las mejillones *D. siliicula*.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Met	Co (ppb)	Cu (ppb)	Fe (ppb)	Mn (ppb)	Ni (ppb)	Pb (ppb)	Zn (ppb)
Oc	0.35	1.39	4.81	0.92	3.36	0.92	36.1
Nv	0.42	0.75	3.08	0.21	2.78	0.57	54.0
En	0.16	0.63	0.63	0.14	2.06	0.42	8.4
Fb	0.20	0.80	1.81	0.08	1.63	0.34	56.9
Mz	0.65	1.40	3.84	0.19	3.53	1.26	19.0
Ab	0.32	1.24	2.72	0.12	2.03	0.54	70.8
My	0.25	1.63	5.19	0.15	2.61	0.46	51.2
Ju	0.36	2.04	14.64	0.42	2.50	1.07	39.7
Jl	0.15	0.84	1.58	0.15	1.09	0.45	--

Tabla AI.4 Concentracion de metales disueltos en el agua del Estero de Urias.

Mea	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
	(ug/l)	(ug/l)	(ug/l)	(ug/l)	(ug/l)	(ug/l)	(ug/l)	(ug/l)	(ug/l)
Oc	0.06	0.58	0.79	1.73	1.22	35.0	0.93	2.00	3.17
Nv	0.15	0.87	1.14	2.66	1.31	50.5	2.18	3.77	8.75
Dc	0.30	1.14	1.02	3.89	1.31	50.5	2.18	5.51	8.27
En	0.13	0.24	0.29	0.77	0.56	8.6	0.55	1.35	0.74
Fb	0.05	0.26	0.42	1.05	1.13	25.6	0.76	1.71	4.77
Mz	0.06	0.34	0.53	0.87	0.91	17.6	0.74	1.76	5.08
Ab	<0.01	0.25	0.61	0.62	0.81	19.4	0.75	1.25	0.88
My	0.05	0.56	0.70	1.44	1.33	32.7	1.27	2.25	4.03
Jn	0.02	0.06	0.35	0.70	0.71	25.6	0.58	1.64	1.87
Jl	0.04	0.33	0.51	0.82	0.89	41.6	0.80	1.66	2.31

Tabla AI.5 Concentracion de metales en los solidos suspendidos por unidad de volumen.

Mes	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
	(ug/g)	(ug/g)	(ug/g)	(ug/g)	(ug/g)	(ug/g)	(ug/g)	(ug/g)	(ug/g)
Oc	1.34	12.6	17.9	26.5	27.5	791	21.1	45.3	71.8
Nv	2.11	13.5	15.8	40.6	19.2	473	30.3	52.4	121.6
Dc	9.80	15.0	13.4	51.2	17.2	664	28.7	72.4	108.7
En	4.44	8.0	9.7	26.0	18.9	325	18.6	45.4	25.1
Fb	0.99	5.41	8.77	21.7	20.8	530	15.8	35.5	98.8
Mz	1.46	8.51	13.1	21.5	22.5	436	18.3	43.6	126.0
Ab	<0.20	5.82	14.2	14.4	18.8	450	17.5	29.1	20.4
My	0.93	11.3	14.1	26.4	26.8	657	25.5	45.3	81.0
Jn	0.73	1.71	10.4	19.8	21.5	770	17.6	49.6	56.4
Jl	1.19	8.82	13.5	21.7	23.6	1102	21.2	43.9	61.2
cv %	12.9	8.2	6.3	5.9	14.3		7.1	11.5	20.2

Tabla AI.6 Concentracion de metales en los solidos suspendidos por gramo de material suspendido.

Mes	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
oc-nv	1.13	10.6	17.3	28.7	23.5	461	22.0	44.7	44.6
nv-dc	0.92	7.7	13.2	24.9	24.4	421	20.8	37.0	39.4
dc-en	1.20	12.0	22.1	39.3	36.7	431	29.7	52.7	71.6
en-fb	0.60	11.9	18.1	35.4	26.8	220	24.5	45.4	43.3
fb-mz	0.83	13.0	19.8	35.0	33.0	173	24.4	40.7	52.8
mz-ab	0.76	11.7	17.1	34.1	28.2	200	20.8	47.0	85.5
ab-my	1.11	10.1	16.2	28.5	27.8	176	23.8	46.0	78.6
jn	1.23	10.8	18.5	36.2	32.1	343	25.7	49.3	89.8
jl	3.45	26.5	18.8	97.2	39.2	432	56.5	129	141

Tabla A1.7 Concentracion total de metales en los solidos colectados en trampas de sedimento.

Mes	Cd	Co	Cu	Mn	Ni
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
oc-nv	0.45	1.47	0.42	33.8	1.40
nv-dc	0.55	1.89	0.52	45.4	1.94
dc-en	0.25	0.48	0.51	13.6	0.32
en-fb	0.35	0.83	0.52	19.5	0.90
fb-mz	0.38	0.68	0.45	8.8	0.91
mz-ab	0.42	1.22	0.60	16.3	1.38
ab-my	0.35	0.90	0.82	8.9	1.27
jn	0.38	0.46	0.60	25.9	0.77
jl	0.31	0.46	2.94	23.2	0.62
cv%	35	23	6.6		

Tabla A1.8 Metales en posicion de intercambio en el material colectado en trampas de sedimento (F-1).

Mes	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm
oc-nv	3.86	7.25	6.62	1.24	108	10.1	5.7	22.2
nv-dc	3.34	5.87	6.00	1.31	132	8.2	5.7	23.4
dc-en	4.41	9.66	7.01	3.25	96	11.3	9.5	32.7
en-fb	4.48	9.57	8.56	3.83	108	11.3	12.2	34.4
fb-mz	4.20	7.70	6.27	1.66	68	11.1	7.3	29.0
mz-ab	3.42	7.64	6.66	1.84	50	9.9	7.0	27.7
ab-my	3.22	4.42	4.57	0.67	48	9.4	6.6	17.0
Jn	4.88	0.43	9.46	7.22	114	15.0	13.2	37.4
Jl	5.14	0.51	9.28	8.14	87	15.2	10.0	34.7
cv%	8.4	8.2	5.2	5.4	3.8	6.5	7.1	3.1

Tabla AI.9 Concentracion de metales asociados a la materia organica y los sulfuros del material sedimentado en trampas (F-2).

Mes	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Pb ppm	Zn ppm
oc-nv	0.78	0.23	4.27	4.47	1.98
nv-dc	0.36	0.09	4.56	3.35	1.49
dc-en	1.00	0.21	6.40	6.69	2.72
en-fb	0.54	0.16	4.84	4.85	2.14
fb-mz	0.78	0.18	2.74	3.90	2.29
mz-ab	0.60	0.16	2.90	6.17	2.18
ab-my	1.06	0.17	2.40	2.24	2.33
Jn	0.47	0.22	4.42	4.48	3.41
Jl	0.43	0.24	4.83	5.63	2.14
cv%	13	17	29		33

Tabla AI.10 Concentracion de metales asociados a los carbonatos del material sedimentado en trampas (F-3).

Hces	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
oc-nv	1.28	1.51	0.48	0.89	35.2	1.56	11.9	2.0
nv-dc	0.69	1.11	0.42	0.64	42.3	1.26	11.3	1.5
dc-en	0.75	1.24	0.62	0.54	17.8	0.63	13.3	20.3
en-fb	1.05	1.19	5.17	0.66	27.4	1.18	10.2	17.6
fb-mz	1.39	1.24	0.91	0.78	25.7	1.81	13.9	24.8
mz-ab	1.43	0.86	0.34	0.68	24.0	0.66	18.2	22.8
ab-ay	1.05	2.80	0.66	0.76	39.2	1.83	8.9	28.5
jn	0.70	0.78	3.41	0.43	22.0	1.43	11.7	16.0
jl	1.03	0.61	1.77	0.45	30.7	0.82	13.2	15.2
cv%				8.5	7.2	33		

Tabla AI.11 Concentración de metales asociados a los óxidos de hierro y manganeso del material sedimentado en trampas (F-4).

**APENDICK II**

**REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS NIVELES DE  
METALES OBTENIDOS EN LAS MUESTRAS  
DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS Y  
AGUA.**



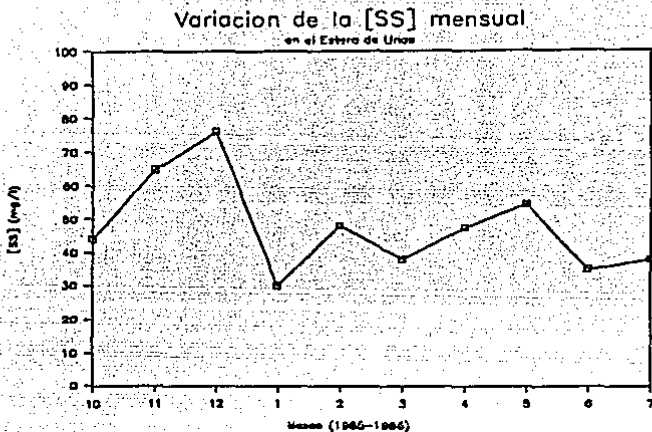


Figura AII.1 Cantidad de sólidos suspendidos (SS) en el agua del Estero de Urias en función del mes de muestreo.

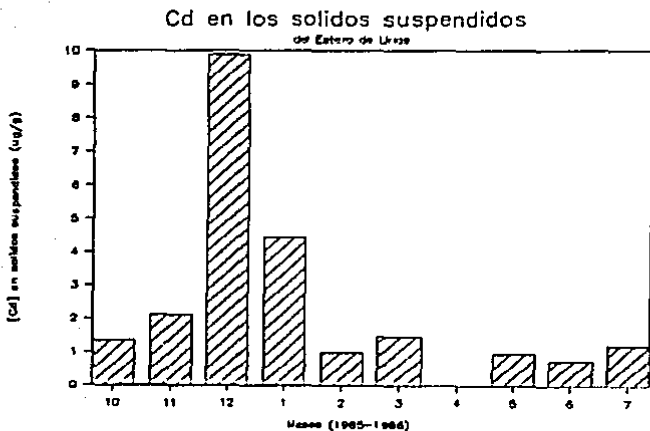


Figura AII.2 Concentración de Cd en los sólidos suspendidos del Estero de Urias en función del mes de muestreo.

Co en los sólidos suspendidos  
del Estero de Urias

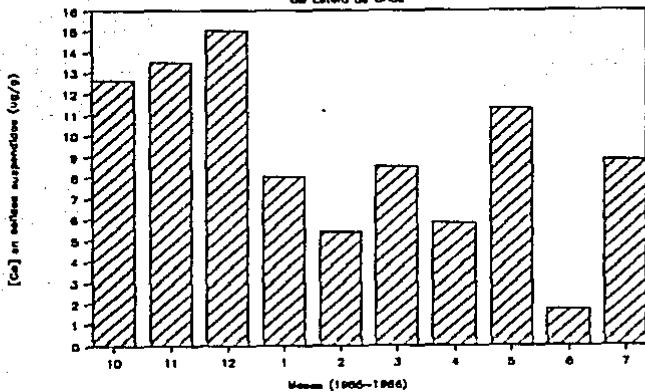


Figura AII.3 Concentración de Co en los sólidos suspendidos del Estero de Urias en función del mes de muestreo.

3

Cr en los sólidos suspendidos  
del Estero de Urias

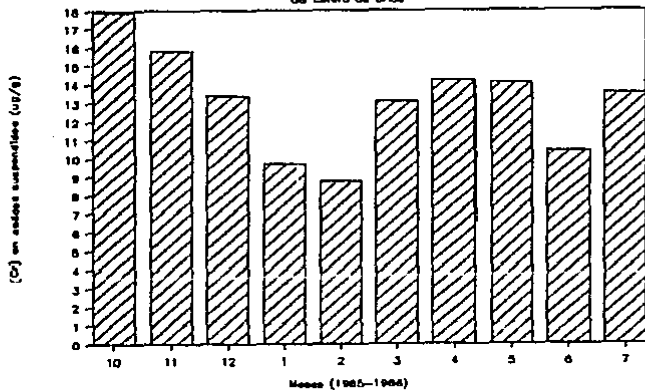


Figura AII.4 Concentración de Cr en los sólidos suspendidos del Estero de Urias en función del mes de muestreo.

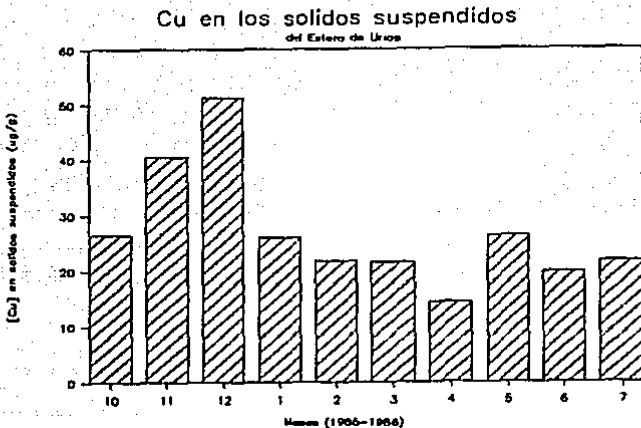


Figura AII.5 Concentración de Cu en los sólidos suspendidos del Estero de Urias en función del mes de muestreo.

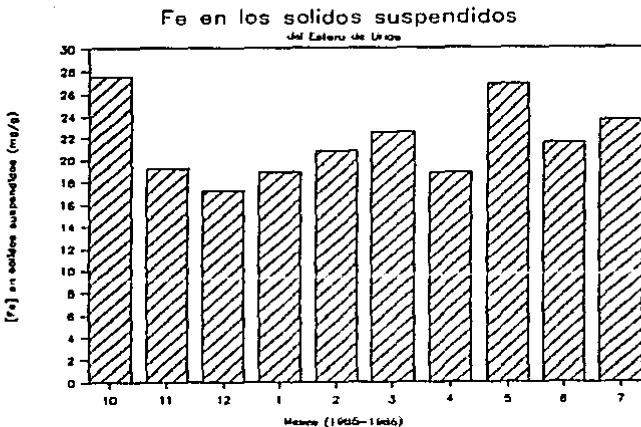


Figura AII.6 Concentración de Fe en los sólidos suspendidos del Estero de Urias en función del mes de muestreo.

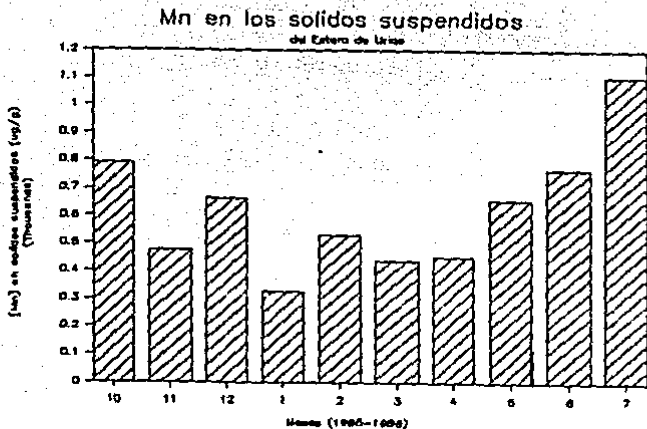


Figura AII.7 Concentración de Mn en los sólidos suspendidos del Estero de Urice en función del mes de muestreo.

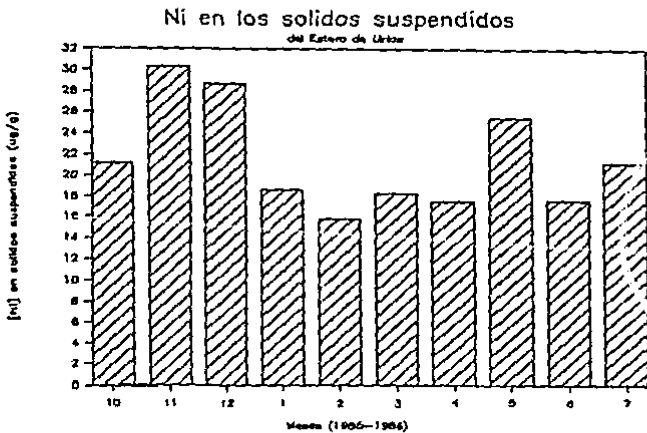


Figura AII.8 Concentración de Ni en los sólidos suspendidos del Estero de Urice en función del mes de muestreo.

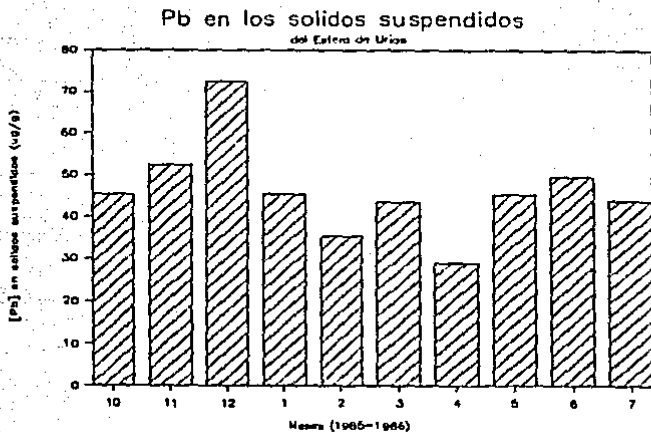


Figura A11.9 Concentración de Pb en los sólidos suspendidos del Estero de Urias en función del mes de muestreo.

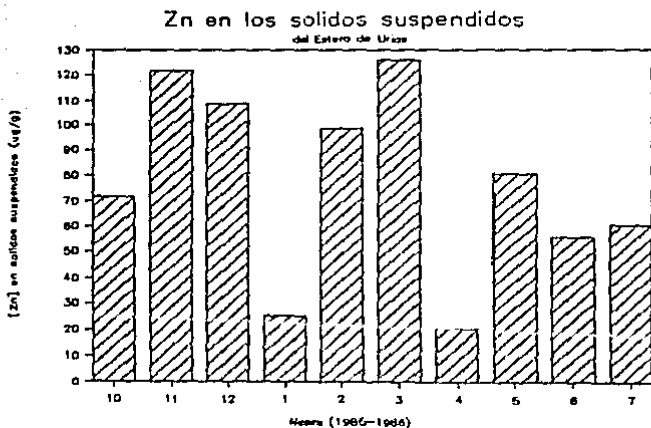


Figura A11.10 Concentración de Zn en los sólidos suspendidos del Estero de Urias en función del mes de muestreo.

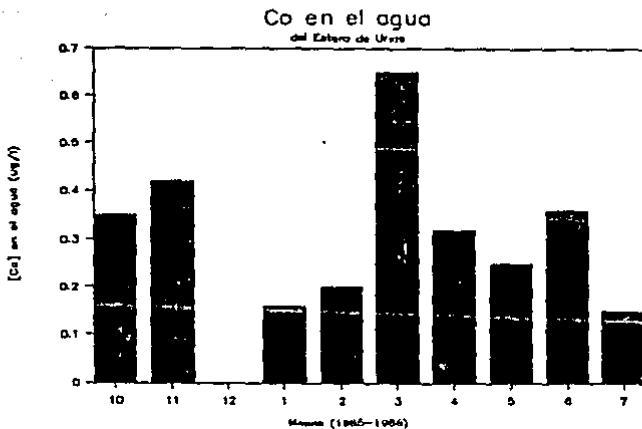


Figura AII.11 Concentración de Co en el agua del Estero de Urias en función del mes de muestreo.

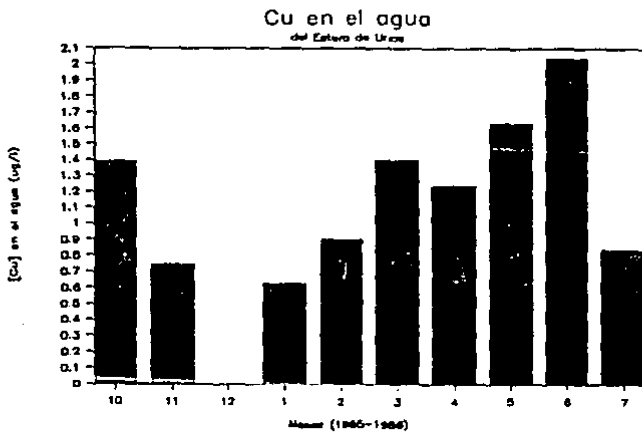


Figura AII.12 Concentración de Cu en el agua del Estero de Urias en función del mes de muestreo.

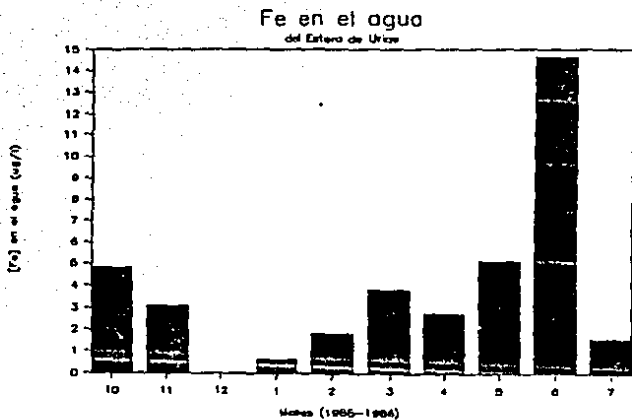


Figura AII.13 Concentración de Fe en el agua del Estero de Urias en función del mes de muestreo.

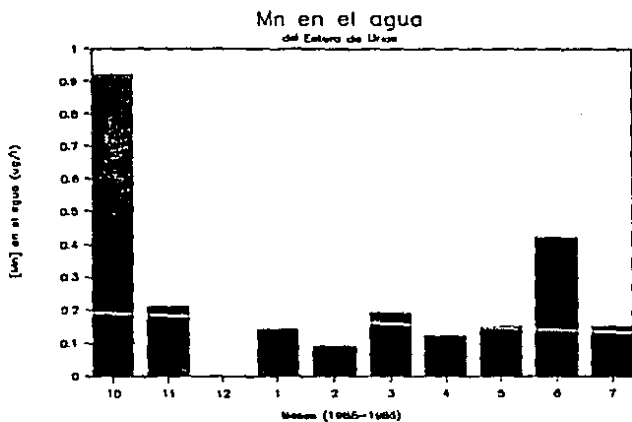


Figura AII.14 Concentración de Mn en el agua del Estero de Urias en función del mes de muestreo.

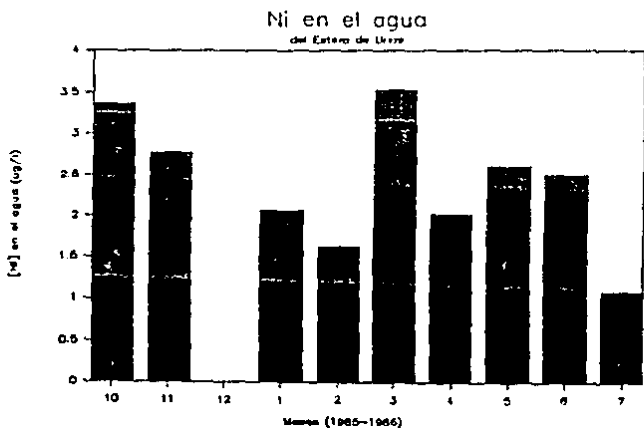


Figura AII.15 Concentración de Ni en el agua del Estero de Urias en función del mes de muestreo.

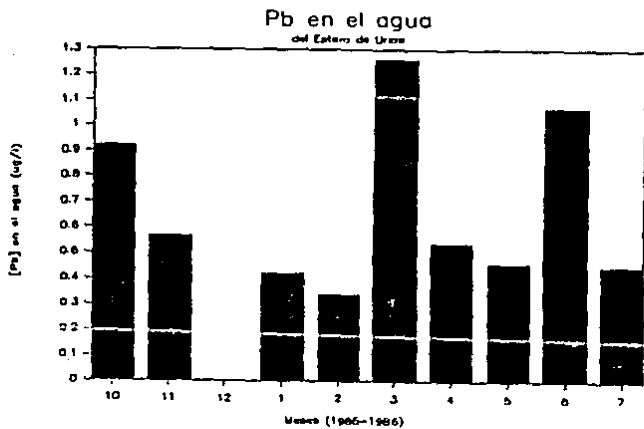


Figura AII.16 Concentración de Pb en el agua del Estero de Urias en función del mes de muestreo.



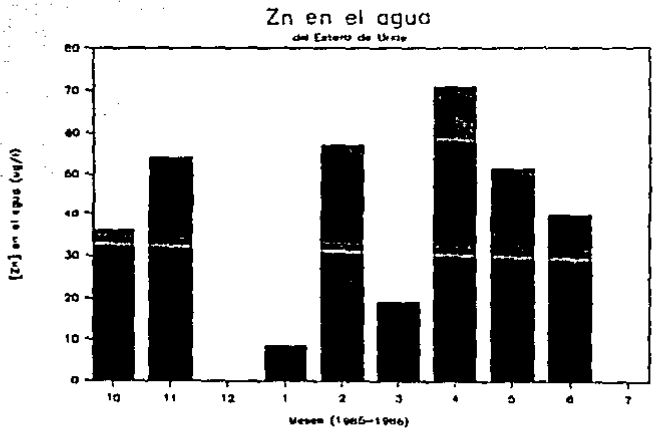


Figura AII.17 Concentración de Zn en el agua del Estero de Urías en función del mes de muestreo.

**APENDICE III**  
**REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS NIVELES DE METALES**  
**OBTENIDOS EN LOS SEDIMENTOS COLECTADOS**  
**EN TRAMPAS.**

### CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN LOS SOLIDOS DEL ESTERO DE URIAS

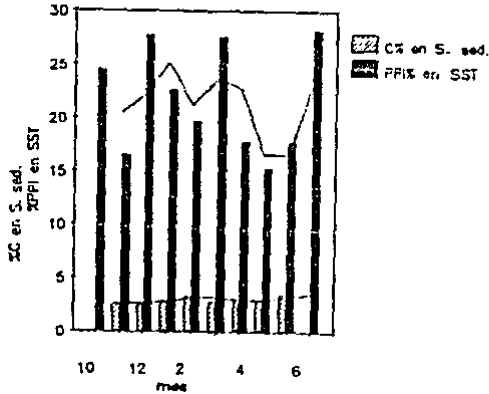


Figura AIII.1 Porcentaje de carbono en los sólidos sedimentados en las trampas del Estero de Urias durante un mes y porcentaje de materia orgánica, medida como pérdida de peso por ignición en los sólidos suspendidos en el agua del Estero.

### Cd en los sólidos sedimentados

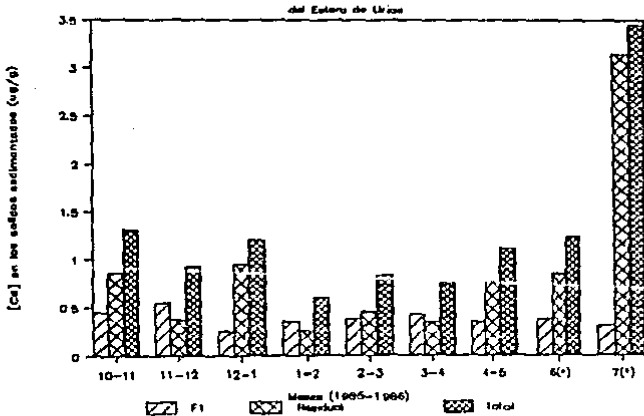


Figura AIII.2 Concentración de Cd en los sólidos sedimentados en las trampas del Estero de Urias durante los meses octubre-noviembre a abril-mayo y en las sueltas de sedimento superficial de los meses de Junio (6\*) y Julio (7\*) en las fases y en el total de la suelta.

### Co en los sólidos sedimentados

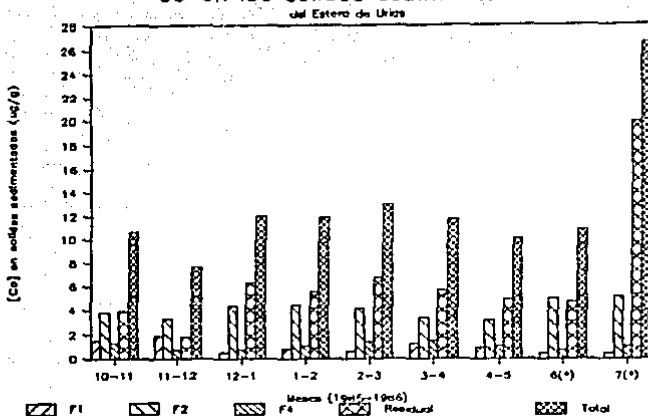


Figura AIII.3 Concentración de Co en los sólidos sedimentados en las trampas del Estero de Urias durante los meses octubre-noviembre a abril-mayo y en las muestras de sedimento superficial de los meses de junio (6(\*)) y julio (7(\*)) en las fases y en el total de la muestra.

### Cr en los sólidos sedimentados

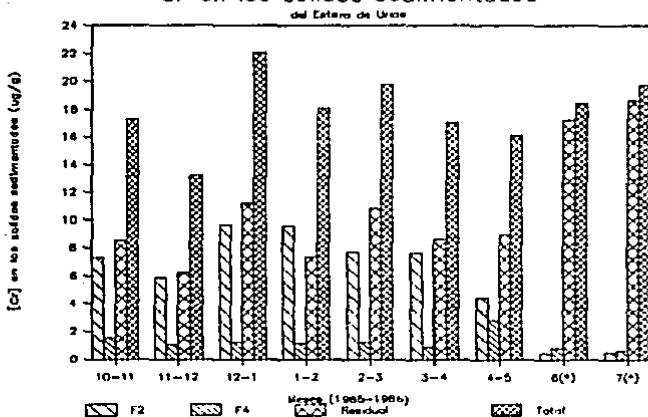


Figura AIII.4 Concentración de Cr en los sólidos sedimentados en las trampas del Estero de Urias durante los meses octubre-noviembre a abril-mayo y en las muestras de sedimento superficial de los meses de junio (6(\*)) y julio (7(\*)) en las fases y en el total de la muestra.

### Cu en los solidos sedimentados

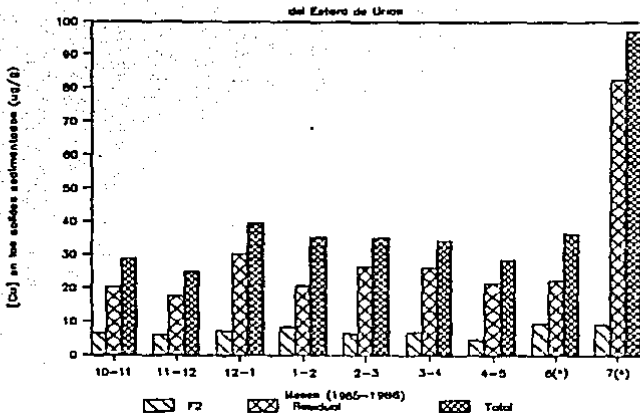


Figura AIII.5 Concentración de Cu en los sólidos sedimentados en las trapanas del Estero de Uribe durante los meses octubre-noviembre a abril-mayo y en las muestras de sedimento superficial de los meses de junio (6\*) y julio (7\*) en las fases y en el total de la muestra.

### Fe en los solidos sedimentados

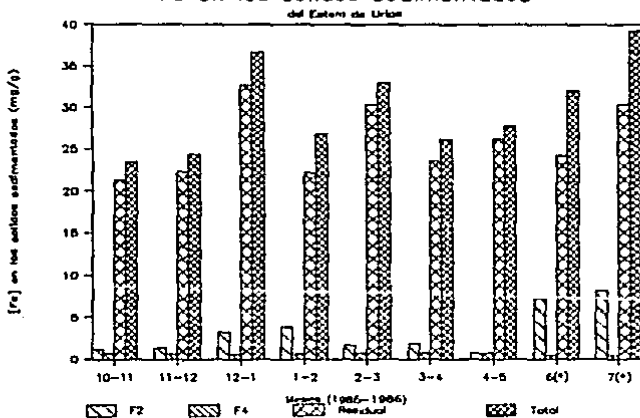


Figura AIII.6 Concentración de Fe en los sólidos sedimentados en las trapanas del Estero de Uribe durante los meses octubre-noviembre a abril-mayo y en las muestras de sedimento superficial de los meses de junio (6\*) y julio (7\*) en las fases y en el total de la muestra.

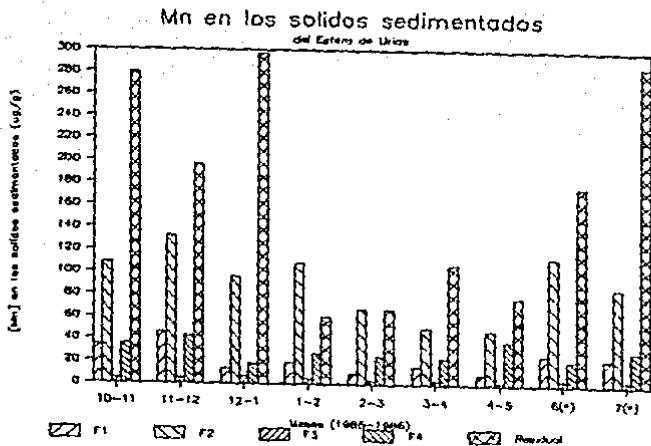


Figura AIII.7 Concentración de Mn en los sólidos sedimentados en las trampas del Estero de Urías durante los meses octubre-noviembre a abril-mayo y en las muestras de sedimento superficial de los meses de Junio (6(\*)) y Julio (7(\*)) en las faunas.

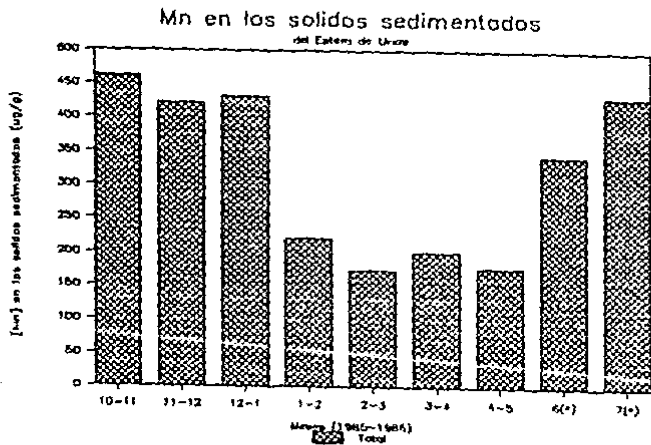
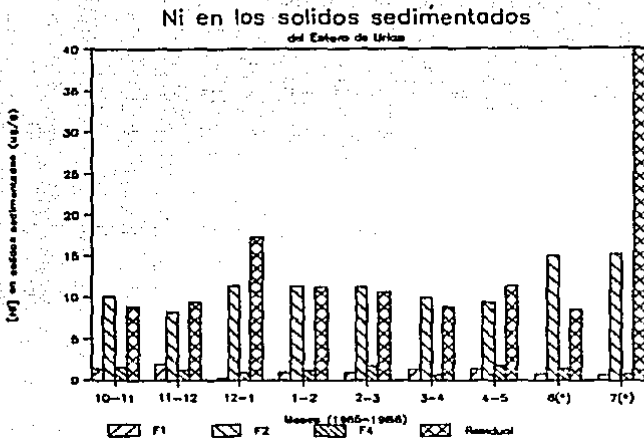
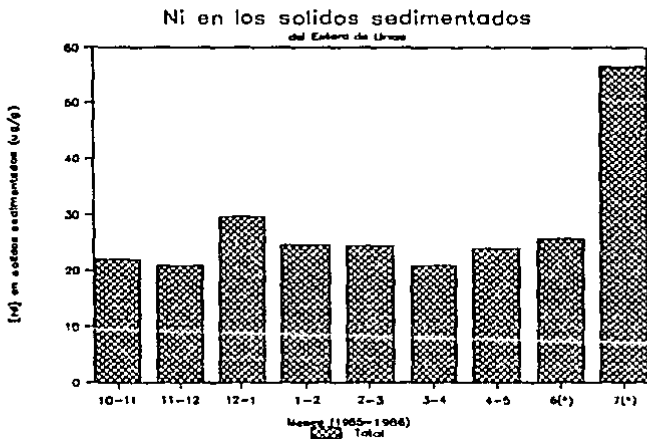


Figura AIII.7a Concentración de Mn en los sólidos sedimentados en las trampas del Estero de Urías durante los meses octubre-noviembre a abril-mayo y en las muestras de sedimento superficial de los meses de Junio (6(\*)) y Julio (7(\*)) en el total de la muestra.



**Figura AIII.8** Concentración de Ni en los sólidos sedimentados en las trampas del Estero de Urias durante los meses octubre-noviembre a abril-mayo y en las muestras de sedimento superficial de los meses de junio (6(\*)) y julio (7(\*)) en las fases.



**Figura AIII.8a** Concentración de Ni en los sólidos sedimentados en las trampas del Estero de Urias durante los meses octubre-noviembre a abril-mayo y en las muestras de sedimento superficial de los meses de junio (6(\*)) y julio (7(\*)) en el total de la muestra.

### Pb en los sólidos sedimentados

del Estero de Uriás

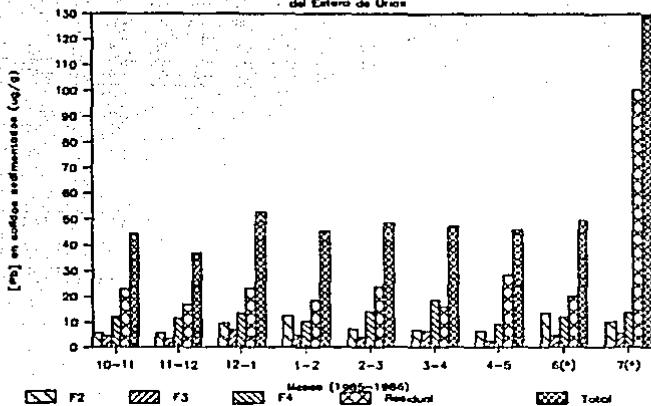


Figura AIII.9 Concentración de Pb en los sólidos sedimentados en las trampas del Estero de Uriás durante los meses octubre-noviembre a abril-mayo y en las muestras de sedimento superficial de los meses de junio (6\*) y julio (7\*) en las fases y en el total de la muestra.

### Zn en los sólidos sedimentados

del Estero de Uriás

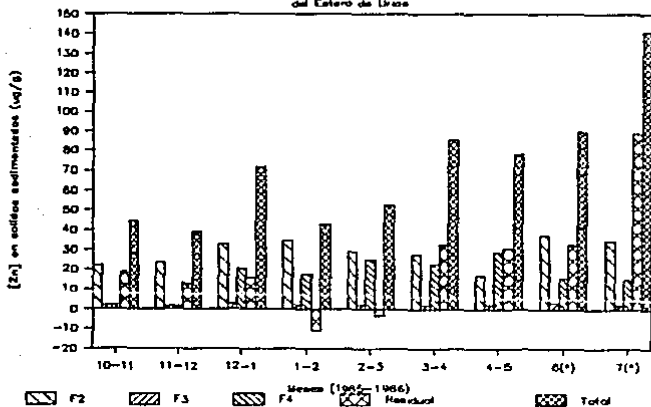


Figura AIII.10 Concentración de Zn en los sólidos sedimentados en las trampas del Estero de Uriás durante los meses octubre-noviembre a abril-mayo y en las muestras de sedimento superficial de los meses de junio (6\*) y julio (7\*) en las fases y en el total de la muestra.



APENDICE IV

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS NIVELES DE METALES  
OBTENIDOS EN EL TEJIDO BLANDO DE LAS  
MUESTRAS DE MOLUSCOS BIVALVOS  
COLECTADAS.

CONCENTRACION DE Cd, Co, Cr Y Ni  
EN EL TEJIDO DE *S. iridescens*

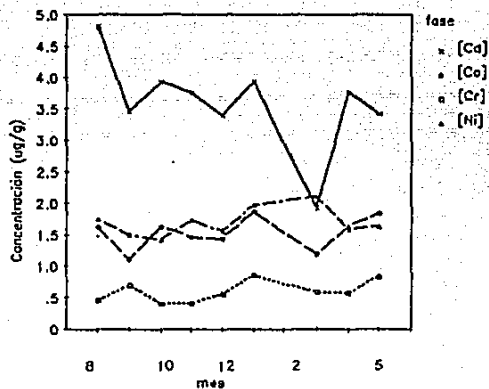


Figura AIV.1 Variación mensual de las concentraciones de Cd, Co, Cr y Ni en el tejido de ostión *S. iridescens*.

CONCENTRACION DE Cu, Mn, Y Pb  
EN EL TEJIDO DE *S. iridescens*

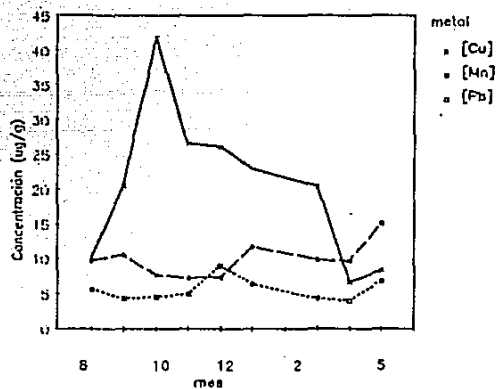


Figura AIV.2 Variación mensual de las concentraciones de Cu, Mn y Pb en el tejido de ostión *S. iridescens*.

CONCENTRACION DE Fe Y Zn  
EN EL TEJIDO DE *S. iridescens*

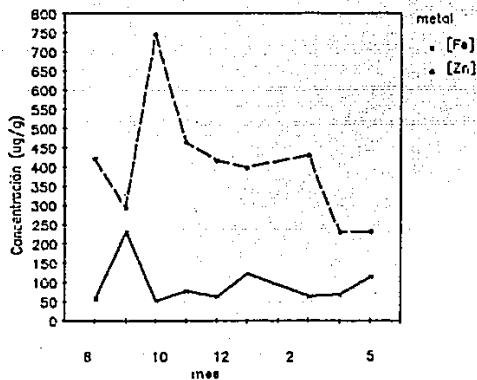


Figura AIV.3 Variación mensual de las concentraciones de Fe y Zn en el tejido de ostra *S. iridescens*.

CONCENTRACION DE Cd, Co, Cr, Ni Y Pb  
EN EL TEJIDO DE *C. corteziensis*

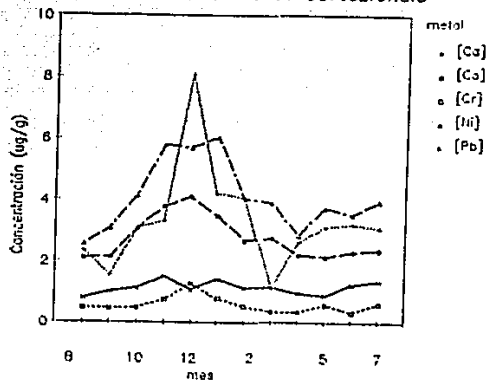


Figura AIV.4 Variación mensual de las concentraciones de Cd, Co, Cr, Ni y Pb en el tejido de ostra *C. corteziensis*.

CONCENTRACION DE Cu Y Mn  
EN EL TEJIDO DE *C. corteziensis*

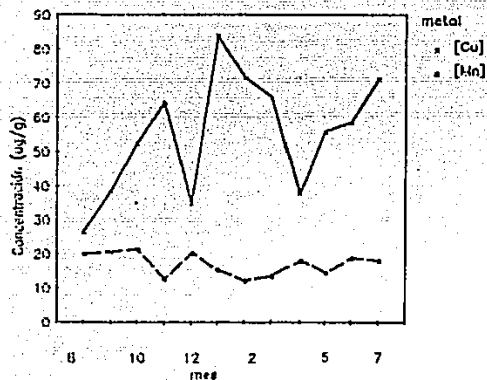


Figura AIV.5 Variación mensual de las concentraciones de Cu y Mn en el tejido de ostión *C. corteziensis*

CONCENTRACION DE Fe Y Zn  
EN EL TEJIDO DE *C. corteziensis*

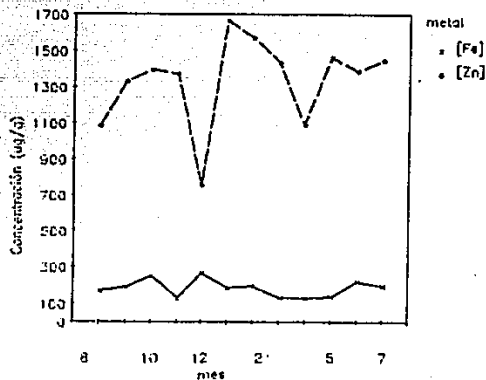


Figura AIV.6 Variación mensual de las concentraciones de Fe y Zn en el tejido de ostión *C. corteziensis*

CONCENTRACION DE Cd, Co Y Cr  
EN EL TEJIDO DE *M. strigata*

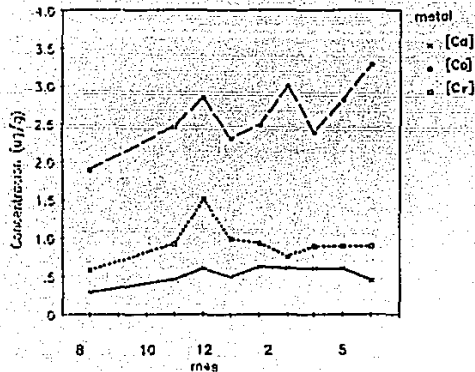


Figura AIV.7 Variación mensual de las concentraciones de Cd, Co y Cr en el tejido de ostión *M. strigata*

CONCENTRACION DE Cu, Ni Y Pb  
EN EL TEJIDO DE *M. strigata*

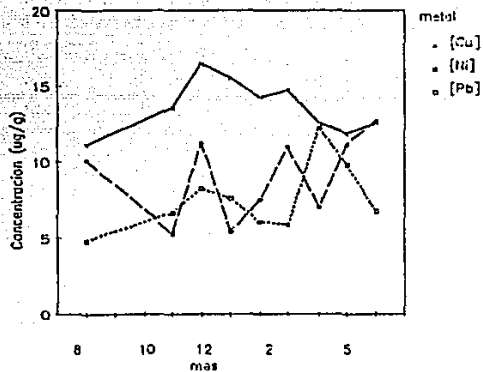


Figura AIV.8 Variación mensual de las concentraciones de Cu, Ni y Pb en el tejido de ostión *M. strigata*

CONCENTRACION DE Fe  
EN EL TEJIDO DE *M. strigata*

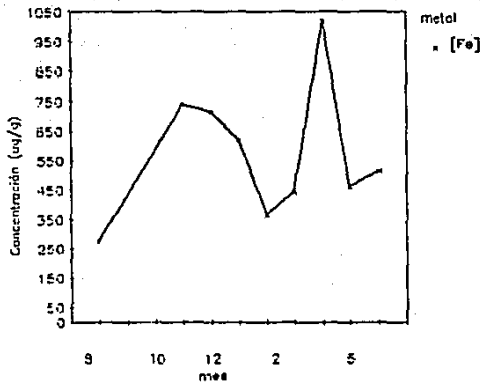


Figura AIV.9 Variación mensual de la concentración de Fe en el tejido de ostión *M. strigata*

CONCENTRACION DE Mn Y Zn  
EN EL TEJIDO DE *M. strigata*

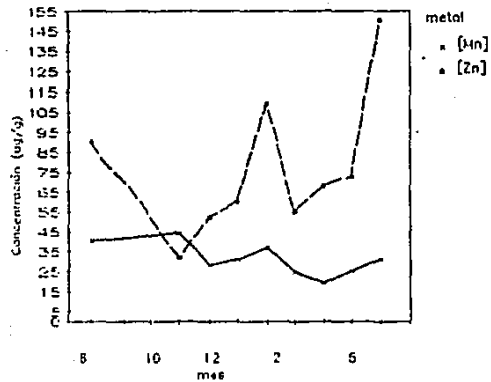


Figura AIV.10 Variación mensual de las concentraciones de Mn y Zn en el tejido de ostión *M. strigata*

## Bibliografía

- Abdullah, M.I.; El-Rayn, O.A.; Riley, J.P. "Re-assessment of Chelating Ion-Exchange Resins for Trace Metal Analysis of Sea Water". *An. Chim. Acta.* **84** (1976) 363-368.
- Ahrland, S.; Chatt, J.; Davies, N.R.. *Quart. Rev. Chem. Soc.*, **12** (1958) 256
- Ansell, A.D.; Loonmore, S.A.; Lander, K.F.. "Studies on the Hard Shell Class, *Yema saxicaria* in British Waters, II Seasonal Cycle in Condition and Biochemical Composition". *J. of Appl. Ecol.* **1** (1964) 83-85
- Ansell, A.D.; Frenkiel, L.; Mowca, M.. "Seasonal Changes in Tissue Weight and Biochemical Composition for the Bivalve *Donax trunculus* L. on the Argelian Coast". *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **45** (1980) 105-106.
- Bachmann, R.. "Zinc-65 in Studies of the Fresh Water Cycle" en "Radioecology". New York (1963) 485-496.
- Bargagli, R.; Baldi, F.; Lorenzio, C.. "Trace Metal Assessment in Sediment, Molluscs and Reed Leaves in the Bay of Follonica (Italy)". *Mar. Env. Res.* **10** (1985) 281-300.
- Barnes, R.D.. "Zoología de los invertebrados". Interamericana, 3 ed., Mexico, 1977.
- Bertine, K.K.; Goldberg, E.D.. "Trace Elements in Clams, Mussels and Shrimps". *Limn and Ocean.* **17** [6] (1972) 877-884.
- Black, J.A.. Ph.D Thesis, Michigan University, Ann Arbor (1974).
- Borchardt, T.. "Relationship Between Carbon and Cadmium Uptake in *Mytilus edulis*". *Mar. Biol.* **85** (1985) 55-62.
- Boyden, C.R.; Auton, S.R.; Thornton, I.. "Tidal and Seasonal Variations of Trace Elements in Two Cornish Estuaries". *Estuarine and Coast. Mar. Sci.* **9** (1979) 303-317.
- Boyden, C.R.; Romeril, M.G.. "A Trace Metal Problem in Pound Oyster Culture". *Mar. Poll. Bull.* **5** (1974) 74-78.
- Breder, R.. "Optimization Studies for Reliable Trace Metal Analysis in Sediments by Atomic Absorption Spectrometric Methods". *Fresenius Z. An. Chem.* **313** (1982) 395-402.
- Brooks, R.R.; Rumbay, M.G.. "The Biogeochemistry of Trace Elements Uptake by Some New Zealand Bivalves". *Limn. and Ocean.* **10** (1965) 521-527.
- Bruland, K.W.; Franks, R.P.; Knauer, G.A.; Martin, J.H.. "Sampling and Analytical Methods for Determination of Copper, Cadmium, Zinc and Nickel at the Nanogram per Liter in Sea Water". *An. Chim. Acta* **105** (1979) 233-245.

Bryan, G.W.. Proc. Roy. Soc. London, B 177 (1971).

Castagna, A.; Sinatra, F.; Castagna, G.; Stoll, A.; Zafarana, S.. "Trace Elements Evaluation in Marine Organisms". Mar. Poll. 16 [10] (1985) 416-419.

Chao, L.L.. "Selective Dissolution of Manganese Oxides from Soils and Sediments with Acidified Hydroxylamine hydrochloride". Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38 (1972) 764-768.

Coombs, T.L.. "The Distribution of Zinc in the Oyster Crassostrea edulis and its Relation to Enzymatic Activity and to Other Metals". Mar. Biol. 12 (1972) 170-178.

Coombs, T.L.. "The Nature of Zinc and Copper Complexes in the Oyster Crassostrea edulis". Mar. Biol. 28 (1974) 1-10

de Lacerda, L.D.; Lima, N.R.W.; Pfeiffer, W.C.; Fingman, M.. "Size and Metal Concentration in the Mangrove Mussel Mytilus guyanensis (Molina: Bivalva) From Baía de Sepetiba, Brazil". Rev. Biol. Trop. 31 [2] (1983) 333-335.

del Castillo, P.; Gerritse, R.G.; Marquenie, J.M.; Salomons, W.. Metal Speciation and the in Situ Accumulation by the Mussel Dorsidina polymorpha. Conference on Heavy Metals in the Environment. Heidelberg Cep-Consultants. Edinburg 1 (1983) 471-474.

Egami, F.. J. Biochem. 77 (1975) 1165.

Engel, D.W.; Sunda, W.G.; Fowler, B.A.. "Factors Affecting Trace Metal Uptake and Toxicity to Estuarine Organisms. I. Environmental Parameters". in "Biological Monitoring of Marine Pollutants" Ed. Vernberg, J.; Calabrese, A.; Thurberg, F.P.; Vernberg, W.B.. Academic Press, New York, 1981.

Environmental Studies Board Commission on Natural Resources, National Research Council. "The International Mussel Watch". National Academy of Sciences, Washington, D.C. (1980).

Farrington, J.W.; Goldberg, E.D.; Rinebrough, R.W.; Martin, J.H.; Bowen, V.T.. "U.S. 'Mussel Watch' 1976-1978: An Overview of the Trace-Metal, DRE, PCB, Hydrocarbon and Artificial Radionuclid Data". Env. Sci. Technol. 17 (8) (1983) 490-495.

Florence, T.M.; Batley, G.E.. "Determination of the Chemical Forms of Trace Metals in Natural Waters, with Special Reference to Copper, Lead, Cadmium and Zinc". Talanta. 24 (1977) 151-158

Förstner, U.. "Sources and Sediment Association of Heavy Metals in Polluted Coastal Regions". in "Origin and Distribution elem. Proceed". 2 Symp. Paris (1977), Oxford (1979) 849-866.

Förstner, U.. "Accumulative Phases for Heavy Metals in Limnic Sediments". Hydrobiologia 31 (1982) 269-284.

Förstner, U.; Wittman, T.W.. "Metal Pollution in the Aquatic Environment". Springer Verlag, Berlin (1979) 486pp.



- Fowler, S.W.; Oregioni, B. "Trace Metals on the Mussels from the N.W. Mediterranean". Mar. Poll. Bull. 7 (1976) 26-29.
- Frazier, J.M.. "The Dynamics of Metals in the American Oyster, *Crassostrea virginica*. II. Environmental Effects". Chesapeake Sci. 17 (3) (1976) 188-197.
- Gadde, R.R.; Laitnen, H.A.. "Studies of Heavy Metal Adsorption by Hydrated Iron and Manganese Oxides". Anal. Chem. 46 [13] (1974) 2022-2026.
- Garcia, D. "Modificaciones al Sistema de Clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)". UNAM, Mexico (1973) 246 pp.
- Gardiner, J.. "The Chemistry of Cadmium in Natural Water. II. The Adsorption of Cadmium on River Mud and Naturally Occurring Solids". Wat. Res. 8 [3] (1974) 157-164.
- Gardner, W.D.. "Field Assessment of Sediment Traps". J. of Mar. Res. 38 [1] (1980) 41-52.
- Gibbs, R.J.. "Mechanism of Trace Metal Transport in Rivers". Sci. 180 (1973) 71-73..
- Goldberg, E.D.; Bowen, V.T.; Farrington, J.W.; Harvey, G.; Martin, J.H.; Parker, P.L.; Rinebrough, R.W.; Robertson, W.; Schneider, E.; Gamble, E.. "The Mussel Watch". Environmental Conservation. 2 [2] (1978) 101-125.
- Goldberg, E.D.. "The Surveillance of Coastal Marine Waters with Bivalves. The Mussel Watch" en "Analytical Techniques in Environmental Chemistry" Ed. Albaiges, J.. Pergamon Press, Oxford (1980) 373-386.
- Goldberg, E.D.; Korde, M.; Hodge, V. "U.S. Mussel Watch: 1977-1978 Results on Trace Metals and Radionuclides". Estuar. Coast. and Shelf Sci.. 16 (1983) 69-93.
- Goldberg, E.D.; Martin, J.H.. "Metals in Sea Water as Recorded by Mussels" en "Trace Metals in Sea Water". Ed. Wong; Boyd; Bruland; Burdon and Goldberg. Plenum Pub. Co. (1983) 811-813.
- Hart, B.T.. "Uptake of Trace Metals by Sediments and Suspended Particles: a Review". Hydrobiologia 91 (1982) 299-313.
- Hiyama, Y.; Shimizu, M.. "On the Concentration Factors of Radioactive Ca, Sr, Cd, Zn, Ce in Marine Organisms". Rec. Oceanogr. Works. Jap. 7 [2] (1964) 43-77.
- Hew, J.D.. "Chemistry of Manganese in Natural Water". Geol. Surv. Water Supply Pap. # 1667A (1963) 1-64.
- Huhey, J.K.. "Química Inorgánica, Principios de Estructura y Reactividad". Harla, 2 ed.. Mexico (1981).

- Imai, T.; Sakai, S.. "Study on the Breeding of the Japanese Oyster, *Crassostrea gigas*. Tohoku J. Agric. Res. 12 (2) (1961) 125-171.
- International Atomic Energy Agency. "Intercalibration of Analytical Methods on Marine Environmental Samples. Trace Element Measurement on Mussel Homogenate (MA-M-2/TH)" Reporte No. 26 Monaco (1985).
- Irving, H.; Williams, R.J.P.. Nature 162 (1984) 746.
- Jenne, K.A.. "Controls of Mn, Fe, Co, Ni and Zn Concentrations in Soils and Water, the Significant Role of Hydrous Manganese and Iron Oxides". en "Trace Inorganic in Water". Adv. in Chem. Ser. Washington [73] (1968) 337-387.
- Jenne, K.A.; Luoma, S.M.. "Forms of Trace Elements in Soils, Sediments and Associated Waters: An Overview of their determination and Biological Availability". en "Biological Implications of Metals in the Environment". Willing, R.E.; Druker, H. Ed.. Conf.-750929, NTIS Springfield, VA (1977).
- Jones, L.H.P.. "A Note on The Reduction of Manganese in Neutral to Alkaline Soils". Int. Soc. Soil Sci. Trans Dublin. 2 (1952) 163-166.
- Kean, A.M.. "Sea Shells of Tropical West America". Univ. Press. Stanford (1971) 1064 pp.
- Kelly, W.P.; McGeorge, W.. "The Effect of Heat on Hawaiian Soils". Hawaii Agricultural Experiment Station Bulletin [30] (1913).
- Kingston, A.M.; Barnes, I.L.; Brady, T.S.; Rains, T.C.. "Separation of Eight Transition Elements From Alkali and Alkaline Earth Elements in Estuarine and Sea Water with Chelating Resin and their Determination by Graphite Furnance Atomic Absorption Spectrometry".
- Kocharian, A.G.. "Mobile Forms of Metals in Bottom Sediments of Water Bodies as a Source of Secondary Pollution". Tr VODGEO. fasc. 69 (1977) 142-148.
- Krauskopf, K.. "Factors Controlling the Concentrations of Thirteen Rare Metals in Sea Water". Geochim. et Cosmochim. Acta 2 [1] (1956) 1-32.
- Lankford, R.R.. "Coastal Lagoons of Mexico. Their Origin and Classification" en Estuarine Processes". Wiley, M. Ed.. Academic Press. Vol. II. ew York (1977) 182-215.
- Lawa, E.A.. "Aquatic Pollution". John Wiley and Sons Ed.. New York (1981).
- Lenz, J.. "Microbial Ecology of a Brackish Water Environment". Rheinheimer, G. Ed.. Springer-Verlag.. Berlin (1977) 293 pp.
- Loring, D.H.; Rantala, R.T.T.. "Geochemical Analyses of Marine Sediments and Suspended Particulate Matter". Fish. and Mar. Sci. Technical Report 700 (1977) 58 pp..

- Luoma, S.N.; Bryan, G.W.. "A Statistical Assessment of the Form of Trace Metals in Oxidized Estuarine Sediment Employing chemical Extractants". *Sci. Total Env.* 17 [2] (1981) 185-196.
- Manheira, F.T.; Meade, R.H.; Bond, G.C.. "Suspended Matter in Surface Waters Inn the Atlantic Continental Margin from Cape Code to the Florida Keys". *Science* 167 (1970) 371-376.
- Manley, A.R.. "The Effects of Copper on the Behaviour, Respiration, Filtration and Ventilation Activity of *Mytilus edulis*". *J. of the Mar. Biol. Assoc.* (198 ) COMPLETAR.
- Marmolejo, C. "Reporte de Creditos de Investigacion". No publicado.
- Martin, J.L.M.. Metals in the Caucar Irrigatoria (Crustacea:Decapoda). Concentrations, Concentration Factors, Discrimination Factors, Correlations. *Mar. Biol.* 28 (1974) 245-251.
- McC, L.D.; Cortes Altamirano, R.; Garcia de la Parra, L.H.. "Di-nitrogen Fixation in an Eutrophic Tropical Bay". *Est. Coastal and Shelf Sci.* 19 (1984) 80-167.
- McC, L.D.; Ramirez Flores, A.; Flores Verdugo, F.; Gonzalez Farias, F. "Coastal Upwelling and Fertility of the Southern Gulf of California: Impact of the 1982-83 ENSO Event". *Tropical Ocean-Atm. Newsletter.* [13] (1985) 9-10.
- Meguellati, M.; Hobbe, D.; Marchandine, P.; Antruc, M.. "A New Chemical Extraction Procedure in the Fractionation of Heavy Metals in Sediments-Interpretation". *Proceedings of the International Conference "Heavy Metals in the Environment". Heidelberg (1983).*
- Moody, J.R.; Lindstrom, R.M.. "Selection and Cleaning of Plastic Containers for Storage of Trace Element Samples". *Anal. Chem.* 49 [14] (1977) 2264-2267.
- Morgan, J.. "Chemical Equilibria and Kinetic Properties of Manganese in Natural Waters". en "Principle and Application of Water Chem". New York (1967) 561-624.
- Nakhshina, Ye.P.. "Heavy Metals in the Water Sediment Interface of the Water Bodies: A Survey". *Hidrobiological J.* [2] (1985) 92-101.
- Nelson, A.; Donkin, P.. "Processes of Bioaccumulation: The Importance of Chemical Speciation". *Mar. Poll. Bull.* 16 [4] (1985) 164-169.
- Nielsen, E.S.; Wiium-Anderson. *Mar. Biol.* 6 (1970) 93.
- Osuna-López, I.; Páez-Osuna, F.; Ortega Romero, P.. "Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb y Zn en los Sedimentos del Puerto y Antepuerto de Mazatlan". *Ciencias Mar.* 12 [2] (1986) 35-45.
- Páez-Osuna, F.; Fong-Lee, H.; Fernandez-Pérez, R.; Lozano Santa C.; Villanor, G.. "Heavy Metals and Mineralogy in Sediment Cores from a Tropical Coastal Lagoon, Mexico". *Indian J. Mar. Sci.* 13 (1984) 153-158.

- Páez-Osuna, F.; Botello, A.V.; Villanueva, S.. "Heavy Metals in Coatzacoalcas Estuary and Ostion Lagoon, Mexico". Mar. Poll. Bull. 11 [11] (1986) 516-519.
- Páez-Osuna, F.; Valdez-Lozano, D.; Alexander, H.M.; Fernandez-Perez, H.. "Trace Metals in the Fluvial Syatem off Terminos Lagoon, Mexico". Mar. Poll. Bull. 18 (1987).
- Pearson, R.G.. J. Am. Chem. Soc. 85 (1963) 3533.
- Pequegnat, J.E.; Fowler, S.W.; Small, L.F.. "Estimates of the Zinc Requirements of the Marine Organisms". J. Fish Res. Board of Canada. 26 (1969) 145-150.
- Phillips, D.H.J.; Muttarasin, K.. "Trace Metals in Bivalve Mollusca from Thailand". Mar. Envi. Res.. 16 (1985) 281-300.
- Premazzi, G.; Marengo, G.. "Sedimentation Rates in a Swiss-Italian Lake Measured with Sediment Traps". Hidrobiologia 22 (1982) 603-610.
- Prent, A.; Jefferies, D.F.; Duton, J.W.; Harvey, B.R.; Steel, A.K.. "British Isles Coastal Waters: The Concentration of Selected Heavy Metals in Sea Water, Suspended Matter and Biological Indicators: a Pilot Survey". Environ. Poll. 3 (1972) 69-82.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. "Determination of Total Cadmium, Zinc, Lead and Copper in Selected Marine Organisms by Atomic Absorption Spectrophotometry. Reference Methods for Marine Pollution Studies". [11] PNOMA (1982) pp.
- Ramamoorthy, S.; Runt, B.R.. "Heavy Metal Exchange Processes in Sediment Water Systems". Env. Geol. 2 [3] (1978) 165-172.
- Redpath, K.J.. "Growth, Inhibition and Recovery in Mussels (*Mytilus edulis*) Exposed to low Copper Concentrations". J. of the Mar. Biol. Assoc. 65 [2] (1985) 421-433.
- Reitz, K.. "Adsorptive Processes in Self-purification of Water". Munch. Beitr. Abwasser. Fisch und Flussbiol. 22 (1972) 30-37.
- Rendell, P.S.; Batley, G.E.; Cameron, A.J.. "Absorption as a Control of Metal Concentrations on Sediment Extracts". Env. Sci. and Technol. 14 [3] (1972) 195-197.
- Riesgard, H.U.; Klorboe, T.; Mohlenberg, F.; Draback, I.; Madsen, P.P.. "Accumulation, Elimination and Chemical Speciation of Mercury in the Bivalves *Mytilus edulis* and *Mancomma Baltica*". Mar. \billo. 86 (1985) 55-62.
- Riley, J.P.; Skirrow, G.. "Chemical Oceanography". Vol. III. Academic Press, New York, 1975.
- Salanki, J.; V.-Balogh, K.; Berta, E.. "Heavy Metals in Animals of Lake Balaton". Wat. Res. 16 (1982) 1147-1152.
- Salomons, W.; Forstner, U.. "Trace Metal Analyses of Polluted Sediments. Part II: Evaluation of Environmental Impact". Env. Technol. Lett. 1 (1980) 165-196.

- Secretaria de Marina. "Estudio Geografico de la Region de Mazatlan, Sin.; Direccion General de Oceanografia. Senal. Marit. (1974) 80-167.
- Secretaria de Marina; Instituto de Geofisica, UNAM. "Calendario Grafico de Mareas 1985". Direccion General de Oceanografia, Mexico 1984.
- Segar, D.A.; Pellenberg, R.E.. "Trace Metals in Carbonate and Organic Rich Sediments. Marine Pollution. Marine Animals. II. Mollusca". J. of Mar, Biol. Assoc. U.K. 51 (1971) 131-136.
- Shultz-Balden, M.. "Lead Uptake From Sea Water and Food, and Lead Load in the Common Mussel *Mytilus edulis*". Mar. Biol. 25 (1974) 177-193.
- Sims, R.R; Presley, B.. "Heavy Metal Concentration in the Mangrove Mussel *Mytilus guyanensis* (Mollusca:Bivalva) from Baia de Sepetiba, Brazil". Rev. Biol. Trop. 31 [2] (1983) 333-335.
- Stoeppler, H. "Present Potentialities and Limitations of Atomic Absorption Spectrometry". Anal. Chem. 50 [14] (1978) 2064-2070.
- Stuardo, J.; Martinez, A.. "Relaciones Entre Algunos Factores Ecologicos y la Biologia de Poblaciones de *CRASSOSTREA corteziensis* Hertlein 1951, de San Blas, Nayarit, Mexico". An. Centro de Ciencias del Mar y Limnologia. UNAM 2 [1] (1975) 89-130.
- Stumm, W.; Morgan, J.J.. "Aquatic Chemistry. An Introduction Emphasizing Chemical Equilibrium in Natural Waters". Wiley-Interscience. New York (1970).
- Sunila, I.; Lindstrom, R.. "Survival, Growth and Shell Deformities of Copper and Cadmium Exposed Mussels (*Mytilus edulis*) in Brackish Water". Estuarine, Coastal Shelf Sci. 21 (1985) 555-565.
- Szefer, P.; Szefer, K.. "Occurrence of ten Metals in *Mytilus edulis* L. and *Cardium glaucum* L. from the Gdanak Bay". Mar. Poll. Bull. 16 [11] (1985) 74-78.
- Talbot, V.. "Relationship Between Cadmium Concentrations in Seawater and Those in the Mussel *Mytilus edulis*". Mar. Biol. 82 (1985) 51-54.
- Tensier, A.; Campbell, P.G.C.; Binson, M.. "Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals". Am. Chem. Soc. 51 [7] (1979) 844-850.
- UNESCO. "Ninth Report of the Joint Panel of Oceanographic Tables and Standards". UNESCO Technical Papers in Science. [30] (1979).
- Viarengo, A.; Orunesu, M.. "Role of Metallothioneins in Cu and Cd Accumulation and Elimination in the Gill and Digestive Gland Cells of *Mytilus galloprovincialis* Lam". Mar. Env. Res. 16 (1985) 23-36.

- Viarango, A.. "Biochemical Effects of Trace Metals". Mar. Poll. Bull. 16 (4) (1985) 153-158.
- Walting, H.R.; Walting, R.J.. "Trace Metals in Oysters from Kynnsa Estuary". Mar. Poll. Bull. 7 (1976) 45-48.
- White, L.S.; Rainbow, P.S.. "On the Metabolic Requirments for Copper and Zinc in the Molluscs and Crustaceans". Mar. Knviromental Res. 16 (1985) 215-229.
- Wright, D.A.; Mihursky, A.. "Trace Metals in Chesapeake Bay Oysters: Intra Sample Variability and its Implications for Biomonitoring". Mar. Env. Res. 16 (1985) 181-197.
- Wood, J.M.; Goldberg, E.D.. "Impact of Metals on the Biosphere". in Trace Metals in Sea Water". Wong, Boyle, Bruland Burton y Goldberg Ed.. Plenum Pub. Co. (1983).
- Zasuda, C.D.; Wright, D.A.; Smucker, R.A.. "The Importance of Dissolved Organic Compounds in the Accumulation of Copper by the American Oyster, *Crassostrea virginica*". Mar. Env. Res. 16 (1985) 1-12.
- Zende, G.K.. "The Effect of Air-Drying on the Level of Extractable Manganese in Soil". J. Indian Soil Sci. Trans. Dublin. 2 (1954) 55-61.