

EVALUACION DE ALGUNOS METALES PESADOS EN ORGANISMOS DEL RIO COATZACOALCOS Y DE LA LAGUNA DEL OSTION, VER., MEXICO

SUSANA VILLANUEVA F. *, ALFONSO V. BOTELLO* y FEDERICO PAEZ-OZUNA**

* Laboratorio de Contaminación Marina del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Coyoacán 04510, D. F. México.

** Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Estación Mazatlán. Apdo. Postal 811, Mazatlán, Sinaloa, México.

(Recibido octubre 1986, aceptado marzo 1988)

RESUMEN

Se evaluaron las concentraciones de algunos metales pesados (Ni, Cu, Mn, Fe, Zn) en muestras de tejido muscular en moluscos, crustáceos y peces del Río Coatzacoalcos y de la Laguna del Ostión, Ver., México. Los resultados muestran que las concentraciones de esos metales son bajas en los organismos de las dos áreas de estudio, con excepción de Ni y Zn en los organismos de la Laguna del Ostión. Presentaron acumulación los elementos analizados en la siguiente secuencia: moluscos > crustáceos > peces.

ABSTRACT

The concentration levels of some heavy metals (Ni, Cu, Mn, Fe, Zn) were detected in tissue muscle from molluscs, crustaceans and fishes of Coatzacoalcos River and Ostion Lagoon, Ver., Mexico. The results show low levels of these metals from the organisms of the two areas studied, with exception of the Ni and Zn in the organisms of the Ostion Lagoon. Finally, the range of accumulation of the analyzed elements showed the following sequence: molluscs > crustaceans > fishes.

INTRODUCCION

La contaminación por metales pesados está asociada usualmente con las descargas municipales y con los procesos industriales que van directamente hacia los ríos, estuarios y al aire. Sin embargo, se relaciona también con la lixiviación de desechos, descargas sólidas y por el intemperismo de las rocas que aportan materiales al sistema fluvial (Forstner y Wittman 1979).

Debido a la capacidad que tienen los metales pesados para formar complejos con la materia orgánica, tienden a fijarse en los tejidos de los organismos expuestos. Este fenómeno es tal vez uno de los problemas más graves que los metales pesados presentan como contaminantes del medio acuático (Mandelli 1979).

Asimismo, el poder cuantificar de alguna manera los efectos subletales que los metales pesados producen sobre los sistemas vivos permite anticipar una serie de alteraciones fisiológicas, tales como desórdenes neurológicos (Lindhal y Schwanbom 1971), alteraciones de las actividades enzimáticas (Jackim *et al.* 1976), efectos teratogénicos, mutagénicos y carcinogénicos, desarrollo de parásitos y enfermedades y fallas en la reproducción (McIntyre 1973).

La evaluación del contenido de metales pesados en los organismos acuáticos se realiza especialmente entre los de hábitos bentónicos y filtradores, empleándose éstos frecuentemente como indicadores de contaminación (Goldberg 1984). Esta evaluación es posible, ya que las tasas de absorción y excreción les permite retener en su cuerpo concentraciones de contaminantes proporcionalmente mayores a las del medio que les rodea (Jernelov y Lann 1971, Bryan y Hummerstone 1978, Bryan y Uysal 1978, Flatau y Aubert 1979, Friant 1979, McGreer 1979, McGreer *et al.* 1980, VanHassel *et al.* 1980, Goldberg 1984).

En los peces en cambio, los contaminantes pueden llegar ocasionalmente a través de la cadena alimentaria y la mayoría de las veces no es posible determinar su origen. Igualmente gracias a su movilidad y variaciones en el régimen alimentario, tienden a amortiguar las diferencias temporales y espaciales de los contaminantes (Frazier 1976, Engler 1979, Forstner y Wittman 1979).

La disponibilidad que tienen los metales pesados para asociarse a la biota depende de la naturaleza física y química de los sedimentos así como de la calidad del agua. Pesch y Morgan (1978) consideraron que el tamaño de la partícula es sumamente importante para determinar la toxicidad de los metales pesados para la biota. En estudios de campo han considerado que la bioacumulación de los metales pesados varía dentro de un rango de parámetros incluyendo tipo de organismo, tiempo de exposición, concentración, salinidad y temperatura (Leland *et al.* 1978, Laube *et al.* 1979).

De esto se deriva el peligro que existe en las zonas costeras, dada la dinámica de las tasas de renovación o ciclaje de nutrientes, al permitir que los metales pesados queden atrapados en los sedimentos que actúan como reservorios naturales de los contaminantes (GEMSI 1983) y se hacen disponibles para los organismos que los acumulan en sus tejidos, sufriendo de esta manera sus efectos tóxicos.

Gran parte de la acumulación de metales pesados en los organismos acuáticos tiene lugar a través de los alimentos y materiales en suspensión donde se encuentran pre-concentrados (Ayling 1974, Hardsty *et al.* 1974, Patrick y Loutil 1975). De esta manera, el concepto de factores de concentración que describe la habilidad de los organismos para acumular los metales pesados que están disueltos en el agua debe utilizarse con cuidado.

De las principales corrientes fluviales que existen en el país, el Río Coatzacoalcos es una de las más importantes, ya que maneja el 50% de toda la carga de cabotaje que se mueve en las costas mexicanas, apoyando notablemente el movimiento portuario que genera el desarrollo petrolero y petroquímico nacional (Pérez-Zapata 1983).

Dicho río en su tramo comprendido entre las poblaciones de Minatitlán y Coatzacoalcos, presenta alteraciones provocadas por los abundantes drenes de industrias, así como las descargas de los complejos petroquímicos de Pajaritos, Cangrejera, Nanchital, además de otras 140 industrias como TEMSA y FERTIMEX; cuyo conjunto se considera el más grande de Latinoamérica (Fig. 1).

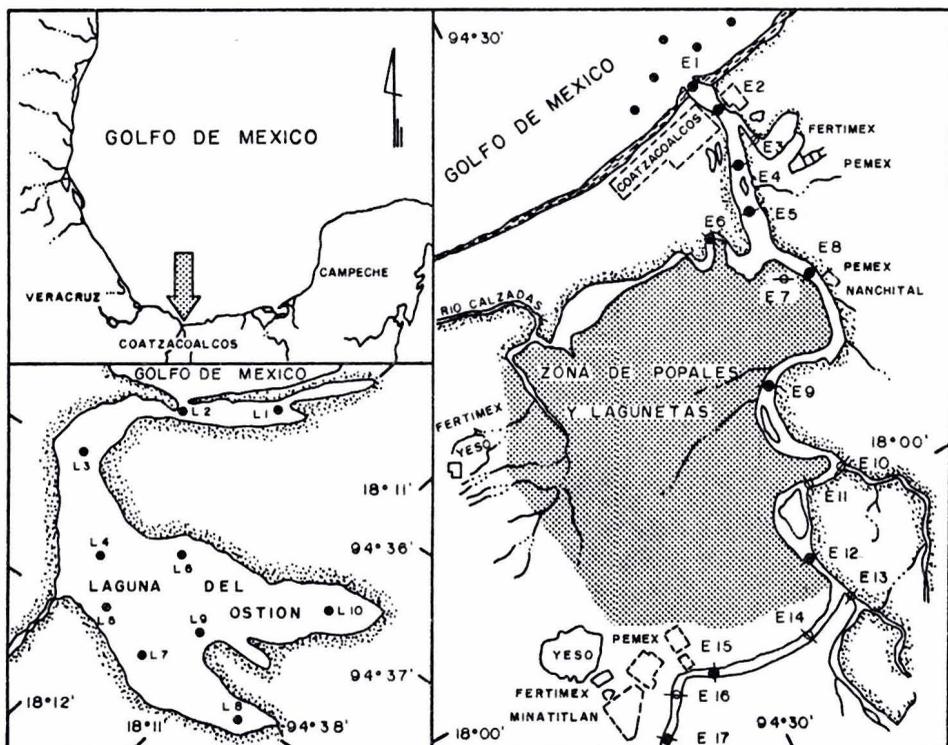


Fig. 1. Localización de los puntos de muestreo en el Río Coatzacoalcos y en la Laguna del Ostión, Veracruz, México

Sin embargo, el conocimiento sobre los volúmenes de los desechos descargados, su composición y distribución es muy limitado, contando en la actualidad sólo con los estudios realizados previamente por Ochoa *et al.* (1972) para el análisis de Hg y Pb en sedimentos y organismos como peces y crustáceos; Báez *et al.* (1975) analizaron agua, sedimento y organismos como peces e invertebrados y vegetación ribereña, así como pelo humano y productos alimenticios; Ibarra *et al.* (1973) y Halffter *et al.* (1973), continuaron con el trabajo de Ochoa *et al.* (1972) y Pérez-Zapata (1983) realizaron análisis de Hg y Pb en sangre y cabello de la población de la ciudad de Coatzacoalcos, así como Pb en peces del mismo río; sobre los volúmenes descargados, su composición y distribución están los trabajos realizados por Ochoa *et al.* (1972 a, b), Ibarra *et al.* (1973) y Pérez-Zapata (1983) y más recientemente los trabajos de Botello y Páez-Osuna (1986) y Páez-Osuna *et al.* (1986) sobre la evaluación geoquímica del río Coatzacoalcos y áreas adyacentes, entre los contaminantes que se analizaron fueron algunos metales pesados como Co, Cr, Cd, Cu, Pb, Ni, Zn y Fe en sedimentos superficiales.

El objetivo de este estudio fue estimar el grado de acumulación de Cu, Zn, Ni, Fe y Mn, en la biota del Río Coatzacoalcos y de la Laguna del Ostión, como resultado del incremento de las actividades humanas e industriales.

MATERIALES Y METODOS

En enero de 1983 se inició este trabajo en el que se analizaron 21 especies de tres grupos taxonómicos (moluscos, crustáceos y peces); los ejemplares se obtuvieron manualmente con la ayuda de los pescadores de estas regiones.

Los organismos fueron colocados en bolsas de plástico y transportados en hielo seco hasta su análisis en el laboratorio y lavados con agua desmineralizada y bidestilada para remover las arenas y el material fino adherido a su cuerpo; se registró su morfometría y se identificaron hasta especie.

Todo el material empleado para estos análisis se lavó previamente con HNO_3 3N y HCl 3N durante períodos de 5 días en cada uno de los ácidos de acuerdo con las recomendaciones dadas por Bertini *et al.* (1976) y Moody y Lindstrom (1977). Todas las soluciones obtenidas de las diferentes digestiones se guardaron en recipientes de plástico para su posterior lectura. Por cada seis muestras se analizó un blanco de referencia (Hamilton 1980) y por medio de estándares se elaboraron curvas patrón para cada uno de los elementos analizados, leyéndose en un espectrofotómetro de absorción atómica de flama, Varian Techtron Modelo 1200.

Se obtuvo un gramo de tejido de las diferentes especies de organismos, se liofilizó y se sometió a digestiones con HNO_3 concentrado grado reactivo, en cápsulas de porcelana de acuerdo al método descrito por Parker (1972).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos para este estudio se presentan en las tablas I y II y se discuten conforme con la ubicación taxonómica de los organismos.

Moluscos-bivalvos:

Las especies de moluscos analizadas (*Polymesoda caroliniana* y *Rangia flexuosa*) del Río Coatzacoalcos, presentaron concentraciones de Cu y Zn menores de 80 ppm y de Fe y Mn menores de 200 ppm, estos elementos se encuentran en íntima relación con las funciones metabólicas de las especies (Tabla I). Dichos metales pesados no se acumularon en los músculos de las especies antes citadas a pesar de que las concentraciones de los metales pesados en los sedimentos analizados por Páez-Osuna *et al.* (1986) y Botello y Páez-Osuna (1986) para la misma área fueron mayores (21 a 131 ppm de Zn, 4.9 a 44 ppm de Cu y 128 a 8470 ppm de Fe) que para las detectadas en el músculo de los organismos estudiados. En los moluscos-bivalvos de la Laguna del Ostión (*Crassostrea virginica*, *Crassostrea rhizophora* y *Mercenaria campechiensis*) se detectaron concentraciones altas de Zn y Ni, lo que hace suponer una fuerte acumulación en el músculo de los ostiones de tales elementos (Tabla II), ya que las concentraciones de Zn en el sedimento de la laguna varían de 23 a 91 ppm y las de Ni de 24 a 85 ppm según Botello y Páez-Osuna (1986) y Páez-Osuna *et al.* (1986).

TABLA I. CONCENTRACION DE ALGUNOS METALES PESADOS (ppm) EN ORGANISMOS DEL RIO COATZACOALCOS, VER.

Localidad	ORGANISMOS	Nombre común	Zn	Cu	Mn	Fe	Ni
Arroyo Teapa	<i>Cichlasoma mecki</i>	mojarra	17	ND	ND	150	ND
Río Colorado	<i>Cichlasoma mecki</i>	mojarra	14	ND	ND	25	ND
Boca San Francisco	<i>Cichlasoma fenestratum</i>	mojarra negra	16	ND	ND	134	ND
Río San Antonio	<i>Cichlasoma fenestratum</i>	mojarra negra	2	ND	19	ND	ND
Arroyo Teapa	<i>Eugerres plumieri</i>	mojarra rayada	66	5	ND	29	ND
Litoral	<i>Conodon nobilis</i>	ronco amarillo	2	ND	19	ND	ND
Puerto Comercial	<i>Conodon nobilis</i>	ronco amarillo	18	ND	ND	161	ND
Isla Pajaritos	<i>Bairdiella ronchus</i>	ronco blanco	13	ND	ND	7	ND
Río Calzadas	<i>Tarpon atlanticus</i>	sábalo	12	ND	ND	11	ND
Litoral	<i>Menticirrhus americanus</i>	pez ratón	19	ND	ND	157	ND
Isla Pajaritos	<i>Mugil curema</i>	lebrancha	14	ND	ND	214	ND
Isla Pajaritos	<i>Polymesoda caroliniana</i>	almeja chica	56	6	172	102	ND
Río Coatzacoalcos	<i>Rangia flexuosa</i>	alemaja grande	31	17	148	195	ND
Santa Alejandrina	<i>Macrobachium acanthurus</i>	mayacaste	55	53	148	195	ND
Santa Alejandrina	<i>Macrobachium carcinus</i>	mayacaste	75	80	ND	44	ND
Río Coatzacoalcos	<i>Callinectes bocourti</i>	jaiba	66	39	7	112	ND
Límite de detección			0.3	1.8	0.3	0.9	1.8

ND, Por debajo del límite de detección

El Zn es el metal que más rápidamente se distribuye entre los organismos bentónicos, principalmente en los ostiones, interviniendo en sus reacciones bioquímicas, sobre todo en los mecanismos enzimáticos (Vallee 1963). Schelske (1964) demostró que los ostiones tienden a acumular el Zn cuyo balance geoquímico es de importancia para el ecosistema estuarino.

Los moluscos por tener hábitos filtradores, ingieren material del agua y sedimento, haciendo que se acumulen elevadas concentraciones de contaminantes en sus tejidos (Goldberg 1984). Estas altas concentraciones fueron corroboradas por Vinogradov (1953), Segar *et al.* (1971) e IDOE (1972). Cuando aumentan las concentraciones de

TABLA II. CONCENTRACION DE ALGUNOS METALES PESADOS (ppm) EN ORGANISMOS DE LA LAGUNA DEL OSTION, VER.

ORGANISMOS	Nombre común	Zn	Fe	Mn	Cu	Ni
<i>Crassostrea virginica</i>	ostión	144	100	ND	38	84
<i>Crassostrea rhizophora</i>	ostión	138	110	ND	59	147
<i>Mercenaria campechiensis</i>	almeja	44	105	93	ND	110
<i>Callinectes bocourti</i>	jaiba	38	94	59	4	70
<i>Gerres cinereus</i>	trompeta	64	119	ND	ND	45
<i>Centropomus undecimalis</i>	robalito	ND	ND	ND	ND	6
<i>Diapterus olisthostomus</i>	mojarra blanca	36	47	ND	ND	78
<i>Eugerres plumieri</i>	mojarra rayada	ND	50	ND	ND	26
Límite de detección		0.3	0.9	0.3	1.8	1.8

ND, Por debajo del límite de detección

Ni en los moluscos parece que no tienen efectos tóxicos lo que puede ser debido a la inadecuada excreción del Ni o también a que fue el metal que en mayor porcentaje se presentó en el sedimento de la laguna (Botello y Páez-Osuna 1986, Páez-Osuna *et al.* 1986), quedando así a disposición de la biota.

Crustáceos:

Para este grupo de organismos se detectaron concentraciones altas de Cu, a excepción de *Callinectes bocourti* de las dos áreas de estudio. En los tejidos musculares sobrepasa los 50 ppm y en el sedimento del río varió de 4.9 a 44 ppm (Botello y Páez-Osuna 1986, Páez-Osuna *et al.* 1986). Ya que el Cu tiene el papel de activador enzimático (Mahler 1956), formando parte de la hemoglobina y la hemocianina (Morton 1958), ésta puede ser la causa por la que se presenta en elevadas concentraciones, pero sin llegar a ser tóxico, como sucede con el Ni en la Laguna del Ostión.

Peces:

Es el grupo de organismos más diverso y móvil de los analizados, encontrándose una gama de valores muy extensa de una especie a otra. La posible razón de esto, pudiera ser el tipo de metabolismo de cada una de las especies analizadas.

Como puede observarse en la Tabla I y II no en todos los peces se detectaron metales pesados, tanto en la Laguna del Ostión como en el Río Coatzacoalcos, lo que puede deberse a que la absorción de los metales pesados por los organismos es un proceso pasivo, principalmente para el Cu, en el que se presenta sinergismo con el Zn (Korringa 1952), confirmándose así que la biodisponibilidad de los metales pesados en los organismos es muy variable, aún en organismos del mismo nivel trófico.

Los altos niveles de Ni que se detectaron en la Laguna del Ostión (Tabla III), reflejan la existencia de algún efluente que lleve consigo este metal de algún sitio de descarga hacia la laguna (Bozada L. comunicación personal), o bien, que en un tiempo lo descargaron directamente. A la laguna se le ha considerado como una posible albergadora de petróleo (Bozada y Chávez 1986), que al depositarse en los sedimentos queda a disposición de los organismos bentónicos, principalmente (Botello y Páez-Osuna 1986).

Las concentraciones promedio de los metales pesados en los diversos organismos se observan más claramente en las Figs. 2, 3 y 4 correspondientes a cada grupo taxonómico.

TABLA III. CONCENTRACION PROMEDIO Y DESVIACION ESTANDAR DE ALGUNOS METALES PESADOS (ppm) EN LOS ORGANISMOS DE LAS AREAS ESTUDIADAS

Organismos	Localidad	Cu	Zn	Ni	Mn	Fe
Moluscos bivalvos	A	12.0± 5.5	44.0±12.5	ND	160.0±12	148.5±46.5
	B	49.0±10.5	109.0±45.8	114.0±25.9	93.0	105.0± 4.1
Crustáceos	A	57.0±17.0	65.0± 8.2	ND	77.5±70	117.0±61.7
	B	4.0	38.0	70.0	59.0	94.0
Peces	A	5.0	18.0±16.3	ND	19.0	99.0 ±75.2
	B	ND	50.0±13.5	39.0±26.5	ND	72.0±33.2

A, Río Coatzacoalcos B, Laguna del Ostión ND, No detectable

Los niveles de toxicidad de los metales pesados detectados en los organismos presentaron el siguiente orden:

Río Coatzacoalcos

Ni > Zn > Fe > Mn > Cu

Fe > Ni > Mn > Zn > Cu

Fe > Ni > Zn

Bivalvos:

Crustáceos:

Peces:

Laguna del Ostión:

Mn > Fe > Zn > Cu

Zn > Fe > Cu > Mn

Fe > Mn > Zn > Cu

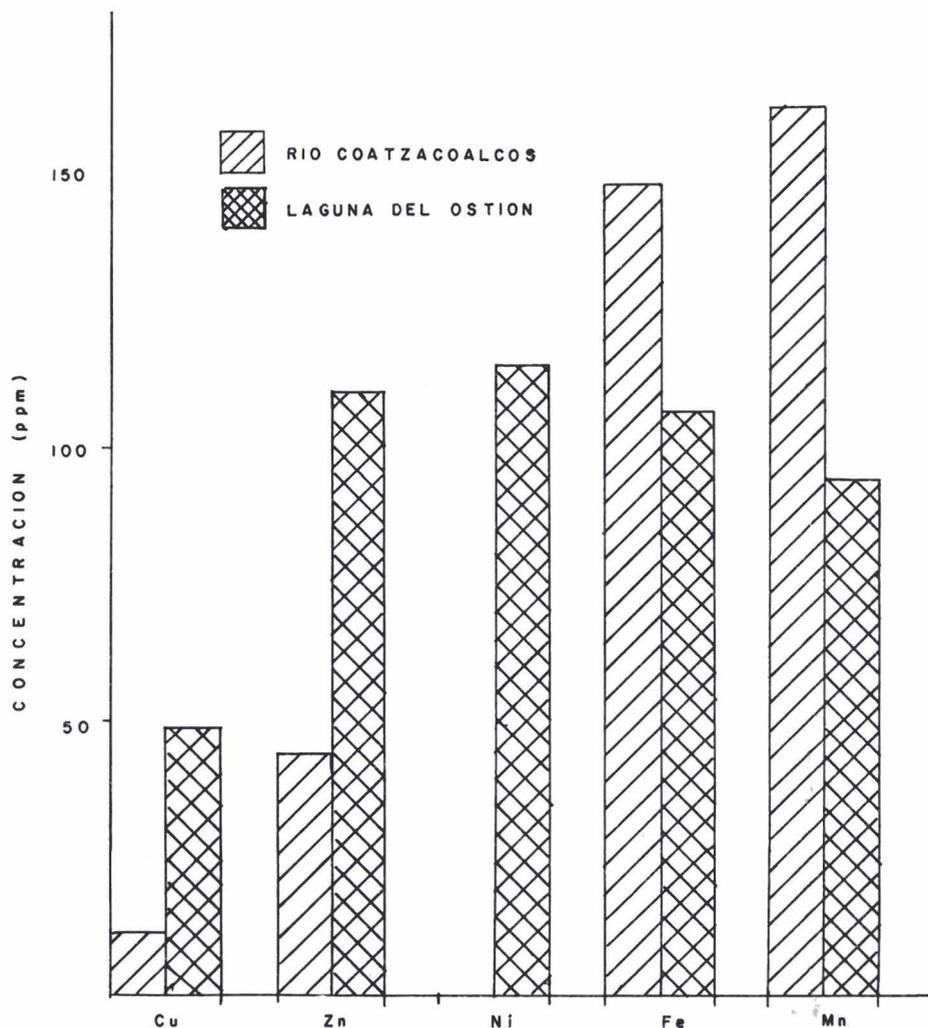


Fig. 2. Comparación de las concentraciones promedio de metales pesados en moluscos bivalvos del Río Coatzacoalcos y de la Laguna del Ostión, Veracruz, México

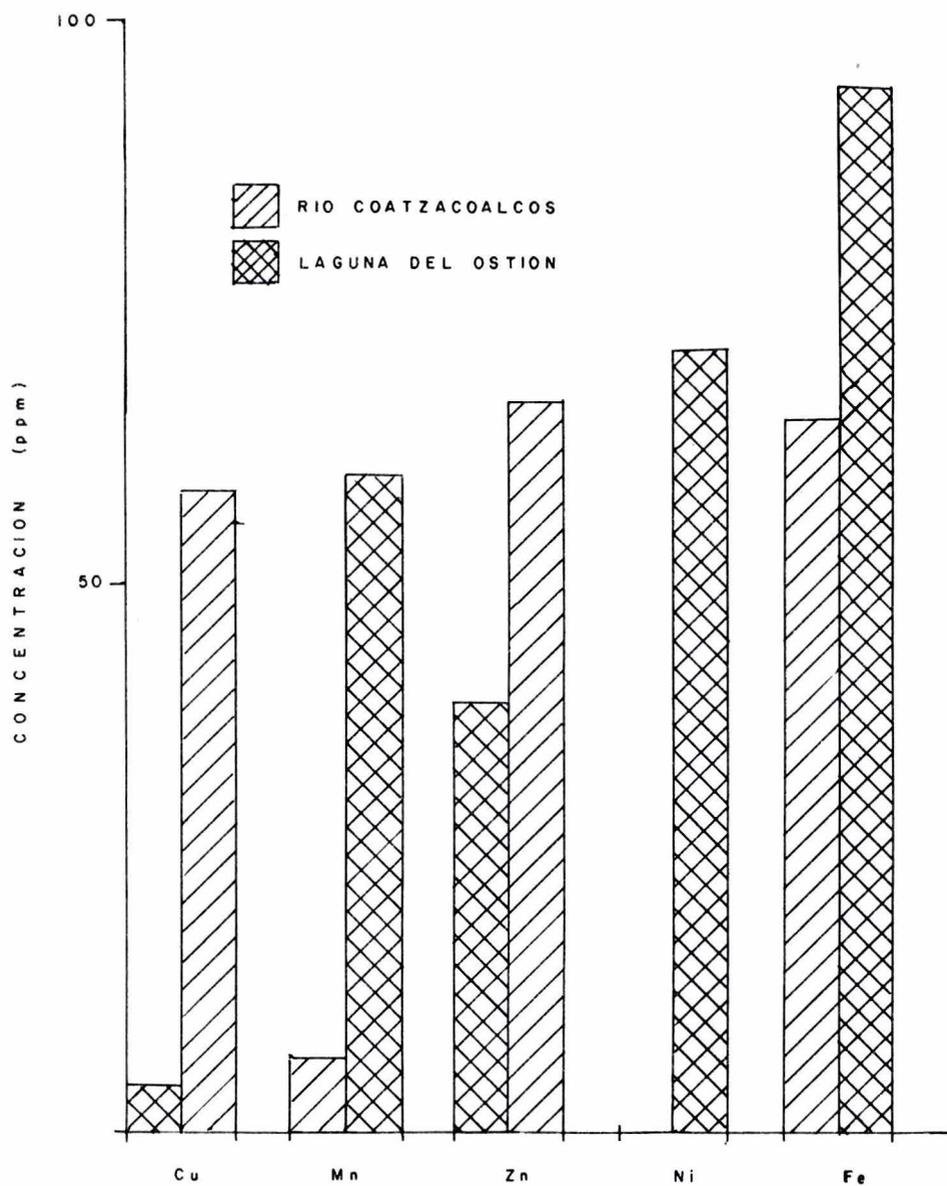


Fig. 3. Comparación de las concentraciones promedio de metales pesados en crustáceos del Río Coatzacoalcos y de la Laguna del Ostión, Veracruz, México

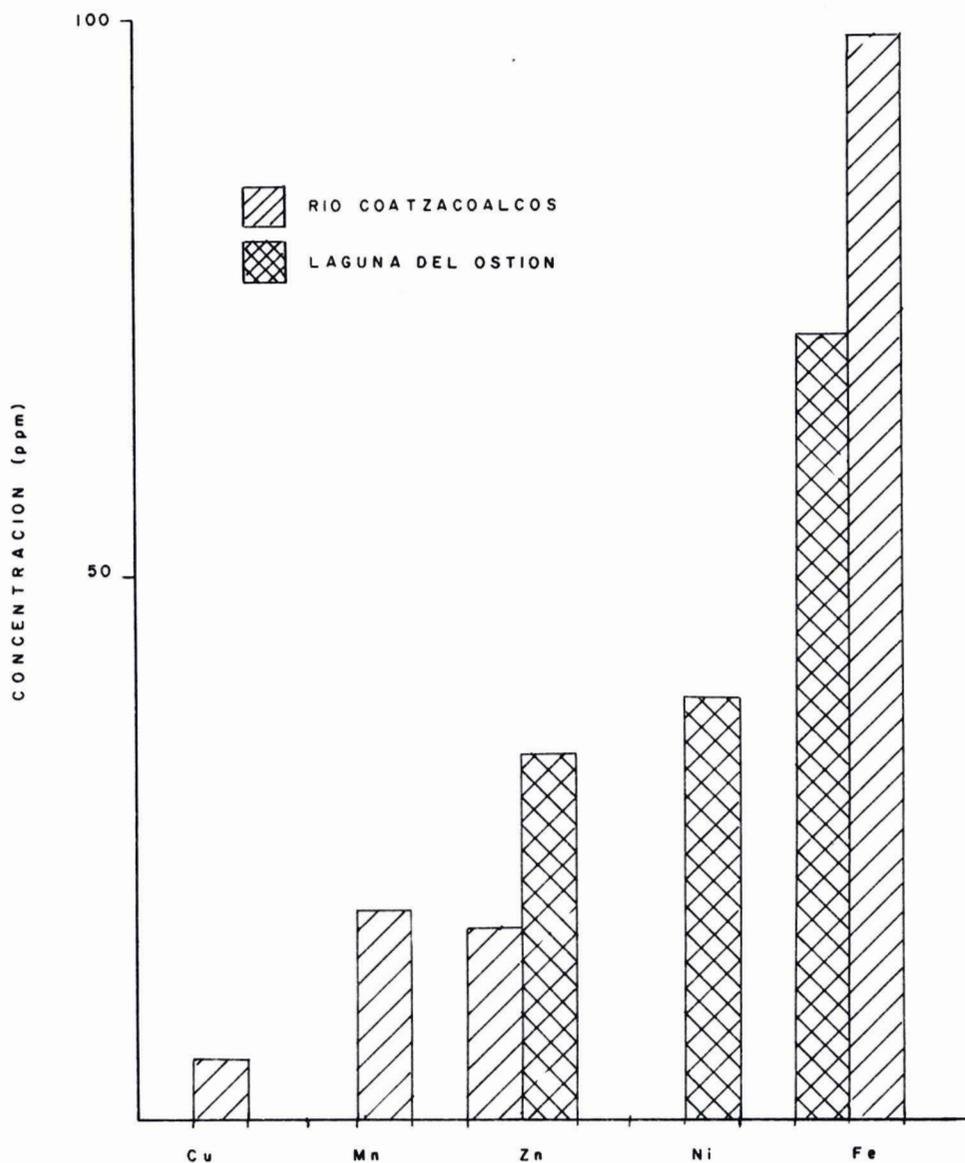


Fig. 4. Comparación de las concentraciones promedio de metales pesados en peces del Río Coatzacoalcos y de la Laguna del Ostión, Veracruz, México

TABLA IV. COMPARACION DE LA CONCENTRACION DE METALES PESADOS (ppm) EN CIERTOS ORGANISMOS DEL RIO COATZACOALCOS Y DE LA LAGUNA DEL OSTION CON LOS DE OTRAS REGIONES

ORGANISMOS	Zn	Fe	Cu	Ni	Area	Referencia
<i>Crassostrea virginica</i>	144.0	100.0	38.0	84.0	Laguna del Ostión (Méx.)	Este estudio
<i>Crassostrea virginica</i>	4060.0		220.0	4.2	Costa del Atlántico (EUA)	Goldberg <i>et al.</i> (1978)
<i>Crassostrea virginica</i>	643.0		172.0	7.0	Laguna de Términos (Méx.)	Botello <i>et al.</i> (1976)
<i>Crassostrea virginica</i>	322.0		161.0		Bahía de San Antonio (EUA)	Sims <i>et al.</i> (1976)
<i>Mercenaria campechiensis</i>	44.0	105.0	ND	109.0	Laguna del Ostión (Méx.)	Este estudio
<i>Mercenaria mercenaria</i>	21.0	30.0	2.6	0.2	Costa del Atlántico (EUA)	Pringle <i>et al.</i> (1968)
<i>Rangia flexuosa</i>	31.0	192.0	17.0	ND	Río Coatzacoalcos (Méx.)	Este estudio
<i>Rangia cuneata</i>	85.0		15.5		Pongo River (EUA)	Pringle <i>et al.</i> (1968)
<i>Carcinus maenas</i>	24.0		11.0	1.5	Costa Northumberland (GB)	Wright (1976)
<i>Callinectes bocourti</i>	38.0	94.0	4.0	70.0	Laguna del Ostión (Méx.)	Este estudio
<i>Mugil cephalus</i>	17.0		1.9		Costa Sureste (EUA)	Windom <i>et al.</i> (1973)
<i>Mugil curema</i>	14.0	214.0			Río Coatzacoalcos (Méx.)	Este estudio

ND, Por debajo del límite de detección

Comparando los niveles de metales pesados presentes en los organismos analizados con los de otras regiones (Tabla IV), se observa que Cu, Fe y Zn son comparables y aun más bajos que los descritos para la Laguna de Términos, México (Botello *et al.* 1976) y Pongo River, EUA (Pringle *et al.* 1968); en tanto el Ni detectado en *Mercenaria campechiensis* y *Crassostrea virginica* de la Laguna del Ostión, presenta concentraciones más altas con relación a los de la costa del Atlántico, EUA (Pringle *et al.* 1968).

CONCLUSIONES

Los organismos analizados del Río Coatzacoalcos y de la Laguna del Ostión presentaron concentraciones de metales pesados similares a los organismos de áreas no contaminadas. Esto probablemente es el resultado de que los organismos no lleguen a acumular en sus tejidos los metales en altas concentraciones, a pesar de la contaminación existente debida a la introducción de una alta densidad de industrias y centros de población; además los procesos de dragado en el río no han tenido obvios incrementos en las concentraciones de los metales de los organismos analizados.

En general, los organismos del río y de la laguna presentaron bajas concentraciones de casi todos los metales pesados en comparación con los organismos de otras áreas contaminadas.

En moluscos, se observan concentraciones de metales más altas que en crustáceos y peces, a excepción de los organismos de la Laguna del Ostión con concentraciones elevadas de Ni y Zn; pero los niveles observados no son tan altos para que lleguen a ser tóxicos o letales (Bowen 1966).

REFERENCIAS

- Ayling G. M. (1974). Uptake of cadmium, zinc, copper, lead and chromium in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*, grown in the Tamar River, Tasmania. *Water Res.* 8, 243.
- Báez A. P., Rosas I., Nulman R. y Gálvez L. (1975). Movimiento de mercurio residual en el estuario del Río Coatzacoalcos. *An. Inst. Geofis. UNAM 18-19*, 131-147.

- Bertini K., Martin J. y Teal J. (1976). Aids to analysis of seawater. In: *Strategies for marine pollution monitoring* (E. D. Goldberg, Ed.) Wiley, Nueva York, pp. 217-253.
- Botello A. V. y Páez-Osuna F. (1986). El problema crucial: la contaminación. En: *Serie medio ambiente en Coatzacoalcos*. Vol. 1 (Editado por el Centro de Ecodesarrollo). México D. F., pp. 62-85.
- , Hicks E. y Mandelli E. F. (1976). Estudios preliminares sobre los niveles de algunos contaminantes en la Laguna de Términos, Campeche, México. Simposio sobre adelantos en las investigaciones marinas en el Caribe y regiones adyacentes. Caracas, julio 12-16 FAO.
- Bowen H. J. M. (1966). Trace metals in biochemistry, the biochemistry of the elements. Cap. 12. Academic Press, Londres, Nueva York, pp. 173-210.
- Bozada L. y Chávez Z. (1986). La fauna acuática de la Laguna del Ostión. En: *Serie medio ambiente en Coatzacoalcos*. Vol. 9 (Editado por el Centro de Ecodesarrollo). México D. F., p. 21.
- Bryan G. W. y Hummerstone L. G. (1978). Heavy metals in the burrowing bivalve *Scrobicularia plana* from contaminated and uncontaminated estuaries. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.* 58, 401-419.
- y Uysal H. (1978). Heavy metals in the burrowing bivalve *Scrobicularia plana* from the Tamar estuary in relation to environmental levels. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.* 58, 89-108.
- Engler R. M. (1979). Bioaccumulation of toxic substances from contaminated sediments by fish and benthic organism. In: *Bottom sediments containing toxic substance* (S. A. Peterson y K. K. Randolph, Eds.). Proc. 4th U. S. Japan Experts Meet., Tokio USEPA, Corvallis, Oreg. EPA 600-3-79-102, pp. 325-354.
- Flatau G. y Aubert M. (1979). Etude de la toxicite et induite du cadmium milieu marin. *Rev. Int. Oceanogr. Med.* 53, 51-59.
- Forstner V. y Wittman G. T. W. (1979). Metal pollution in the aquatic environment. Springer-Verlag, Nueva York.
- Frazier J. M. (1976). The dynamics of metal in the American oyster *Crassostrea virginica*. II. Environmental effects. *Chesapeake Sci.* 17, 188-197.
- Friant S. L. (1979). Trace metal concentrations in selected biological, sediment, and water column samples in a Northern New England River. *Water, Air, Soil Pollut.* 11, 455-465.
- GEMSI, AD HOC GROUP (Group of Experts on Methods, Standards and Intercalibration) (1983). The use of marine sediments for pollution monitoring. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Mazatlán, México, abril 11-15.
- Goldberg E. D. (1984). The mussel watch concept. La sirena. In: *Noticias del programa de Naciones Unidas para el medio ambiente para los mares regionales*. No. 23, Marzo.
- , Hodge V., Koide M. y Griffin J. J. (1978). A pollution history of Chesapeake Bay. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 42, 1413-1425.
- Halffter G. R., Ibarra A. y Ochoa A. (1973). Estudio de la contaminación en el Bajo Río Coatzacoalcos. Informe final correspondiente a la segunda etapa de trabajo. Presentado a la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, México.
- Hamilton E. I. (1980). The chemical laboratory and trace element analyses. In: *Element analyses of biological material: current problems and techniques with special reference to trace elements*. Cap. 14. Technical Report Series. No. 197. International Atomic Energy Agency, Viena, pp. 303-315.
- Hardsty M. W., Kartar S. y Sainsbury M. (1974). Dietary habits and heavy metals concentration in fish from The Severn Estuary and Bristol Channel. *Mar. Pollut. Bull.* 5, 61-63.
- Ibarra R., Halffter G., Bustamante Y., De la Chica F. y Ochoa S. A. (1973). Contaminación por metales pesados en el Río Coatzacoalcos (primeros resultados). *Acta Politec. Méx.* 14, 129-140.
- IDOE (1972). Baseline studies of pollutants in the marine environment. Background papers of a meeting at Brookhaven National Laboratory, Nueva York, EUA.
- Jackim E., Morrison G. y Steele R. (1976). Effects of environmental factors on radiocadmium uptake by four species of marine bivalves. *Mar. Biol.* 40, 303.
- Jernelov A. y Lann H. (1971). Mercury accumulation in food chain. *Oikos* 22, 403-406.

- Korringa P. (1952). Recent advances in oyster biology. *Quart. Rev. Biol.* 27, 266-308.
- Laube V., Rammamoorthy P.R. y Kushner D. J. (1979). Mobilization and accumulation of sediment bound heavy metals by algae. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 21, 763-770.
- Leland H. V., Luoma S. N., Elder J. F. y Wilkes D. J. (1978). Heavy metals and related trace elements. *J. Water Pollut. Control Fed.* 50, 1469-1514.
- Lindhal P.E. y Schwanbom E. (1971). A method for the detection and quantitative estimation of sublethal poisoning in fish. *Oikos* 22, 210.
- Malher H. R. (1956). Nature and function of metalloproteins. *Adv. Enzymol.* 17, 233-291.
- Mandelli E. F. (1979). Contaminación por metales pesados. *Rev. Com. Perm. Pacífico Sur* 10, 209-228.
- McGreer E. R. (1979). Sublethal effects of heavy metal contaminated sediments on the bivalve *Macoma balthica* (L.). *Mar. Pollut. Bull.* 10, 259-262.
- , Reid B. J. y Nelson H. (1980). Mobilization, bioaccumulation, and sublethal effects of contaminants from marine sediments. In: *Proc. 7th annual aquatic toxicity workshop* (C. Bermingham, P. Blaise, B. Couture, G. Hummel, A. Joubert y M. Speyer, Eds.). Nov. 5-7, 1980. Montreal, Quebec, Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. No. 990, pp. 130-151.
- McIntyre J. D. (1973). Toxicity of methyl-mercury for steelhead trout sperm. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 9, 96.
- Moody J. y Lindstrom R. (1977). Selection and cleaning of plastic containers for storage of trace elements sample. *Analit. Chem.* 49, 2264-2267.
- Morton J. F. (1958). *Mollusca*. Hutchinson Univ. Library, Londres, p. 118.
- Ochoa S. A., Halfiter G. e Ibarra R. (1972a). Desarrollo industrial y equilibrio ecológico: un ejemplo, el Bajo Río Coatzacoalcos. CONACyT-Instituto Italo-Latinoamericano. Simposio Internacional sobre la protección del medio ambiente y los recursos naturales. Roma, abril 24-28, pp. 225-274.
- , ——— e ——— (1972b). Estudio de la contaminación en el Bajo Río Coatzacoalcos. Primeros trabajos. Primer Seminario sobre la Evaluación de la Contaminación Ambiental (Ed. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables). México, D. F. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, pp. 115-162.
- Páez-Osuna F., Botello A. V. y Villanueva S. (1986). Heavy metals in Coatzacoalcos Estuary and Ostion Logoon, México. *Mar. Pollut. Bull.* 11, 516-519.
- Parker C. R. (1972). Water analyses by atomic absorption spectroscopy. Varian Techtron, Pty Tld, Australia.
- Patrick F. M. y Loutil M. (1975). Passage of metals in effluents, through bacteria to higher organisms. *Water Res.* 10, 333.
- Pérez-Zapata A. (1983). La contaminación por plomo en Coatzacoalcos. *Ciencia y Desarrollo, CONACyT No. 52 año IX*, pp. 80-86.
- Pesch C. E. y Morgan D. (1978). Influence of sediment in copper toxicity tests with the polychaete, *Neanthes arenaceoventata*. *Water Res.* 12, 747-751.
- Pringle B. H., Hissong D. E., Katz E. L. y Mulwaka S. T. (1968). Trace metal accumulation by stuarine molluscs in marine animals. *J. Sanit. Eng. Div. Am. Soc. Civ. Engs.* 94, 455-475.
- Schelske C. L. (1964). Ecological implications of radioactivity accumulated by mollusc. *Ecology* 45, 149-150.
- Segar D. A., Collins J. D. Y Riley J. P. (1971). The distribution of the major and some minor elements in marine animals. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.* 15, 131.
- Sims R. R. Jr. y Presley B. J. (1976). Heavy metal concentrations in organisms from an actively dredged Texas Bay. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 16, 520-527.
- Vallee B. L. (1963). Molecular basis of enzyme action and inhibition. *Proc. Intern. Congr. Biochem.* 5th, Moscú 1961, 4, 162-171.
- VanHassel J. H., Ney J. J. y Garling D. L. Jr. (1980). Heavy metals in a stream ecosystem at sites near highways. *Trans. Am. Fish. Soc.* 109, 636-643.
- Vinogradov A. P. (1953). The elementary chemical compositions of marine organisms. In: *Sears Found. For. Mar. Res. Mem. II*, Yale.

- Windom H., Strickney R., Smith R., White D. y Taylor F. (1973). Arsenic, cadmium, copper, mercury and zinc in some species of North Atlantic finfish. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 30, 275-279.
- Wright D. A. (1976). Heavy metals in animals from the north east coast. *Mar. Pollut. Bull.* 7, 36-38.