

## METALES PESADOS EN LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MEXICO Y CARIBE MEXICANO: UNA REVISION

Susana VILLANUEVA F. y Alfonso V. BOTELLO

Laboratorio de Contaminación Marina, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Apartado Postal 70 305. Coyoacán 04510 D.F., México

(Recibido enero 1991, Aceptado febrero 1992)

Palabras clave: revisión, contaminación, mercurio, plomo, cadmio, cromo, zona costera, Golfo de México

### RESUMEN

En este trabajo se hace una recopilación de datos sobre concentraciones de algunos metales pesados no esenciales (Hg, Pb, Cd y Cr) en agua, sedimento y organismos (*Crassostrea virginica*) de las zonas costeras del Golfo y Caribe Mexicanos de 1972 a la fecha, en el cual están incluidas lagunas costeras y ríos de los estados del Golfo de México (Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y Campeche) y del Caribe Mexicano (Quintana Roo). Es notable que las actividades humanas e industriales en la zona costera del Golfo de México han incrementado significativamente los niveles de metales pesados de los sitios considerados en esta revisión. Así, los resultados de los trabajos que se consultaron, aunque puntuales, revelan que los estados que han presentado mayor impacto por Hg y Pb son Veracruz (Laguna de Pueblo Viejo y Río Coatzacoalcos), Tabasco (Laguna de las Ilusiones) y en menor magnitud Campeche (Laguna de Términos); mientras que en Quintana Roo (Laguna de Nichupté), de acuerdo al único dato hasta ahora obtenido, el impacto de la contaminación por metales pesados en el Caribe Mexicano es todavía nulo, lo que es congruente con la ausencia de actividad industrial en la zona.

### ABSTRACT

The present paper is a compilation of data published since 1972 up to date, on the presence and levels of toxic heavy metals (Hg, Pb, Cd and Cr) in sediments, water column and benthic organisms (*Crassostrea virginica*) from coastal areas in the Gulf of Mexico (specially in the States of Tamaulipas, Veracruz, Tabasco and Campeche) and Mexican Caribbean (Quintana Roo). It is noticeable that the concentrations of metals analyzed had been increasing continuously; thus, the results of papers reviewed shown that Pueblo Viejo Lagoon and Coatzacoalcos River (Veracruz), the Ilusiones Lagoon (Tabasco) as well as Terminos Lagoon (Campeche) are the areas where Hg and Pb have been detected in high levels. In contrast and based on the scarce publications reported, the Mexican Caribbean shows that the heavy metals are at trace levels; therefore, considered as a free pollution area, mainly due to the absence of industrial activities in its nearby.

---

### INTRODUCCION

Para México, con sus 9,903 kilómetros de litorales, la zona costera reviste una singular importancia, ya que además de los recursos energéticos y minerales que posee, representa también una fuente significativa de alimentos y fármacos. Sin embargo, en la actualidad las bahías, estuarios y lagunas costeras del país encaran

serios problemas de contaminación, los cuales producen daños considerables a los organismos que los habitan (Botello y Páez-Osuna 1986). Los ecosistemas costeros y estuarinos son sumamente frágiles y a lo largo del litoral del país han ido sufriendo transformaciones muy relevantes, ocasionadas por la represa de los ríos, el cierre de las comunicaciones entre las lagunas y el mar y por los vertimientos de los desechos municipales

e industriales de las poblaciones colindantes; los cuales contienen diversos contaminantes entre los que destacan algunos metales pesados como Hg, Cd, Pb y Cr, entre otros.

Actualmente, la estimación de las concentraciones naturales y de los aportes antropogénicos de los metales pesados permite evaluar el nivel en que se encuentra afectada una zona. Para tal propósito es indispensable analizar tanto la columna de agua, como los sedimentos y los organismos, especialmente aquellos de hábitos bentónicos y filtradores los cuales han sido extensamente empleados como indicadores de contaminación (Rosas *et al.* 1983, Goldberg 1984, Páez-Osuna *et al.* 1986, 1987, Vázquez *et al.* 1990).

Por lo tanto, los estudios orientados a determinar los niveles de contaminación por metales pesados en los sistemas costeros de México son de suma importancia; como por ejemplo, los efectuados para cuantificar las descargas de efluentes contaminantes en el río Coatzacoalcos (Ochoa *et al.* 1972, 1973, Halffer *et al.* 1973, Ibarra *et al.* 1973) o bien para valorar el impacto ambiental y los efectos producidos en los organismos acuáticos (Botello *et al.* 1976, Pérez-Zapata 1981, Rosas *et al.* 1983, Pérez-Zapata *et al.* 1984, Alvarez *et al.* 1986, Botello y Páez-Osuna 1986, Rosales *et al.* 1986a,b, Valencia 1989, Vázquez *et al.* 1990, entre otros). De esta manera, se consideró relevante recopilar y evaluar el problema basándose en la revisión temporal y espacial de los trabajos que hasta la fecha han sido publicados sobre los aspectos de la contaminación por metales pesados en los ríos y las lagunas costeras del Golfo de México y Caribe Mexicano.

## ASPECTOS METODOLOGICOS

Todos los trabajos consultados utilizaron la técnica de espectrofotometría de absorción atómica para determinar cuantitativamente los metales pesados.

La gran mayoría de los autores utilizaron, aunque con variantes, la digestión ácida de las muestras mediante diferentes concentraciones de ácido nítrico, clorhídrico y/o perclórico (Loring y Rantala 1977).

En cuanto a los datos sobre la cantidad de material usado (agua, sedimentos o tejidos de organismos) también cambia considerablemente de un estudio a otro. Con relación a la calidad de la información emanada debe hacerse notar que la mayoría de los autores consultados no citan el límite de detección de sus análisis,

ni el empleo de materiales de referencia certificados por agencias internacionales, o bien la participación de sus laboratorios en ejercicios de intercomparación o intercalibración, a excepción de los estudios llevados a cabo por Báez *et al.* (1975, 1976) con muestras de referencia de agua para análisis de Hg proporcionado por USEPA y muestras de referencia de pescado seco proporcionado por la IAEA. Por otro lado, en los estudios llevados a cabo por Hicks (1976) y Rosas *et al.* (1983), se utilizaron tanto el horno de grafito, como el corrector automático de deuterio, también analizaron mercurio por medio de la activación neutrónica; por estas razones la variabilidad de técnicas hace compleja la comparación de dichos datos.

## DISCUSION

### Mercurio

Es un metal no esencial y muy tóxico para los seres vivos ya que aún en bajas concentraciones la forma elemental y los compuestos orgánicos e inorgánicos son altamente nocivos. Como otros metales en condiciones naturales sólo una pequeña parte del mercurio se encuentra disuelto en el agua de mar y estuarios. La mayoría del mercurio orgánico e inorgánico está asociado a partículas, coloides y material orgánico constituyendo ligandos sulfurosos (Mantoura 1981, Wallace *et al.* 1982).

El  $(\text{HgCl}_4)^{-2}$  es el radical dominante en el medio marino seguido por el  $\text{HgCl}_2$  y el  $\text{Hg}(\text{OH})^{-2}$ . Los niveles en el agua de mar son variables y van del orden de 0.5 a 20 ng/l (Aston y Fowler 1985, Fitzgerald y Grill 1985, Suzuki y Sugimura 1985). En cambio, las concentraciones de mercurio en las aguas costeras son mayores, aumentando notablemente en aquellas áreas directamente afectadas por actividades antropogénicas. Los sedimentos son el principal sitio para la acumulación del mercurio en el ambiente marino y sus concentraciones basales se encuentran en un intervalo de 0.004 a 0.08  $\mu\text{g/g}$  (Campbell y Loring 1980, Hornung 1985).

Los metales que se encuentran disponibles en el agua de mar son bioacumulados a través de la cadena alimenticia, por eso es necesario establecer sistemas de vigilancia y monitoreo sobre todo en las lagunas costeras y zonas estuarinas, ya que son el receptáculo más importante de los desechos líquidos antropogénicos (INGGO 1980). Los primeros análisis de mercurio llevados a cabo en el agua de las zonas costeras del Golfo

de México fueron realizados por Ochoa y colaboradores en 1972 y 1973 y por Halfiter y colaboradores en 1973 para el estuario del río Coatzacoalcos (Veracruz), los cuales muestran un intervalo de valores de 0.003 a 0.063 mg/l; mientras que los estudios conducidos por Báez y colaboradores en 1975 y 1976, para el mismo sistema aumentaron en aproximadamente 7 órdenes de magnitud con respecto a los anteriores (Tabla I). Estas variaciones están asociadas directamente con el comportamiento de la descarga industrial, los fenómenos de circulación, difusión, mezcla, sedimentación y dilución, influido este último por la precipitación pluvial. Por otro lado, todos los valores enlistados en la tabla I se encuentran por arriba del valor máximo permisible para la calidad del agua de áreas costeras que es de 0.02  $\mu\text{g/l}$  (SEDUE 1990), es difícil decidir lo que ocurre en las lagunas de Tampamachoco y Mandinga (Veracruz), la del Carmen (Tabasco) y Atasta (Campeche) ya que se encontraron valores por debajo del límite de detección que fue de 0.2  $\mu\text{g/l}$ , lo que sugiere que no existe contaminación por este metal en la columna de agua de dichas áreas (INGGO 1980, Rosas *et al.* 1983). Sin embargo, esta aseveración no debe tomarse como un dato absoluto, ya que el mercurio tiene tendencia a acumularse en los sedimentos notándose su incremento sólo a través del tiempo. En la laguna del Carmen (Tabasco) la concentración decreció en un período de dos años de 0.4  $\mu\text{g/l}$  en 1981 a < 0.2  $\mu\text{g/l}$  para 1983 (INGGO 1980, Pérez-Zapata 1981, Rosas *et al.* 1983), debido probablemente a que las descargas de mercurio en la citada laguna disminuyeron, además de que las condiciones ambientales de la misma han variado desde la apertura de una boca artificial en 1984 (Fig. 1).

En los sedimentos de las lagunas y ríos estudiados, las variaciones en cuanto a la concentración de mercurio se deben principalmente a la diferente composición edáfica (Syers *et al.* 1973). Los datos presentados en la tabla II son relativamente uniformes para las cuatro lagunas; en tanto que los niveles del río Coatzacoalcos varían de un año a otro, dándose los valores más altos para 1984 con 51.27  $\mu\text{g/g}$  (Pérez-Zapata *et al.* 1984), esta concentración disminuye en 1986 a 0.125  $\mu\text{g/g}$ , incluso para los primeros estudios que se realizaron en el área en 1972 con un intervalo de 0.585 a 1.41  $\mu\text{g/g}$  (Fig. 2). Este decremento puede atribuirse a que la fuente de entrada del metal al río se controló o bien a que las técnicas analíticas son cada vez más precisas y muestran los valores reales de los metales en los ecosistemas costeros. También las variaciones de las concentraciones en los sedimentos dependen del comportamiento de la descarga industrial, de la tendencia del mercurio a sedimentarse y de las características del sedimento, el cual

puede sostener poblaciones de organismos, principalmente bacterias, cuya actividad metabólica permite la incorporación del mercurio en forma orgánica, por su capacidad metiladora, así como por la afinidad que tiene el mercurio a la materia orgánica (Landner 1970, Hartung 1972).

Las concentraciones de mercurio en los tejidos del ostión americano *Crassostrea virginica* de las lagunas enlistadas en la tabla III están analizadas en tejido húmedo, a excepción de los estudios realizados por Hicks (1976), INGGO (1980) y Rosas *et al.* (1983), quienes lo determinaron tanto en tejido húmedo como en seco. Estos resultados son bajos y están dentro de los límites permisibles recomendados para el consumo humano que es de 1.0  $\mu\text{g/g}$  peso húmedo (Fig. 3) (Food and Drug Administration 1978). Sin embargo, se puede considerar que el valor del mercurio en la laguna de Mandinga es relativamente alto, lo que refleja que a ésta se vierten descargas de dicho metal, las cuales se pueden originar en las áreas industriales de Córdoba y Orizaba, siendo transportadas a la zona costera por medio de los ríos Blanco y Jamapa (Botello *et al.* 1976, Hicks 1976, Pérez-Zapata 1981, Rosas *et al.* 1983). Por otro lado, existen estudios en el río Coatzacoalcos para los moluscos *Rangia cuneatus* y *Rangia flexuosus*, los cuales presentaron concentraciones muy altas que van de 0.43 a 2.13  $\mu\text{g/g}$ ; así como para los crustáceos *Callinectes rathbunae* y *Macrobrachium acanthurus* con un intervalo de 0.17 a 2.02  $\mu\text{g/g}$  y para el pez *Bairdiella ronchus* con un valor excepcionalmente alto de 8.11  $\mu\text{g/g}$ . Esto puede estar relacionado con los hábitos de alimentación de dichas especies, ya que al ser detritívoros, con un tipo de vida bentónico y sésil, permite que la ingestión y la bioacumulación del metal en sus tejidos sea mayor (Báez *et al.* 1975, 1976).

### Plomo

Este metal no es esencial para los seres vivos, sin embargo, existe en todos los tejidos y órganos de los mamíferos. Se presenta en dos estados de oxidación  $\text{Pb}^{+2}$  y  $\text{Pb}^{+4}$ , siendo el primero el que predomina en el ambiente acuático. En el agua de mar se encuentra como  $\text{PbCl}_2$  (43%),  $\text{PbCO}_3$  (42%) y  $\text{Pb(OH)}_2$  (9%) (Whitfield *et al.* 1981), asimismo algunos compuestos sulfurados se forman con este metal en condiciones anaeróbicas en los sedimentos marinos.

En el agua de los ríos hay especies químicas muy poco solubles junto con algunos complejos como ácidos orgánicos, aminoácidos y partículas coloidales com-

TABLA I. CONCENTRACION MEDIA Y DESVIACION ESTANDAR DE METALES PESADOS (mg/l)  
EN AGUA DE AREAS COSTERAS DEL GOLFO DE MEXICO

<i>Localidad</i>	<i>Hg</i>	<i>Pb</i>	<i>Cd</i>	<i>Cr</i>	<i>Referencia</i>
Laguna Madre Tamaulipas	---	---	0.60 ±0.20	---	Pulich 1980
Laguna de Pueblo Viejo Veracruz	---	0.214	---	0.051	Robledo 1987
Laguna de Pueblo Viejo Veracruz	---	1.963 ±1.382	2.497 ±1.600	---	Cárdenas <i>et al.</i> 1990
Laguna de Tampamachoco Veracruz	<0.0002	0.046 ±0.029	0.001 ±0.005	0.001 ±0.005	Rosas <i>et al.</i> 1983
Laguna de Mandinga Veracruz	<0.0002	0.125 ±0.356	0.002 ±0.001	0.004 ±0.001	Rosas <i>et al.</i> 1983
Río Coatzacoalcos Veracruz	0.030 ±0.010	0.017 ±0.007	---	---	Halffter <i>et al.</i> 1973
Río Coatzacoalcos Veracruz	6.96 ±14.79	---	---	---	Báez <i>et al.</i> 1975
Río Coatzacoalcos Veracruz	---	29.40	---	---	Méndez <i>et al.</i> 1982
Río Coatzacoalcos Veracruz	---	11.67 ±2.94	---	---	Pérez-Zapata <i>et al.</i> 1984
Laguna del Carmen Tabasco	0.004 ±0.001	0.43 ±0.45	---	---	Pérez-Zapata 1981
Laguna del Carmen Tabasco	<0.0002	0.040 ±0.078	0.013 ±0.004	0.009 ±0.003	Rosas <i>et al.</i> 1983
Laguna Machona Tabasco	0.004 ±0.003	0.997 ±1.036	---	---	Pérez-Zapata 1981
Laguna de Mecoacan Tabasco	0.003 ±0.002	0.910 ±0.914	---	---	Pérez-Zapata 1981
Laguna de Atasta Campeche	<0.0002	0.038 ±0.020	0.003 ±0.010	0.007 ±0.008	Rosas <i>et al.</i> 1983
Laguna de Términos Campeche	---	0.001 ±0.000	0.150 ±0.069	---	Páez-Osuna <i>et al.</i> 1987a, b
Límite máximo permisible para agua costera:	0.00002	0.006	0.0009	0.05	SEDUE 1990

--- No analizado

± Desviación estándar

binadas con péptidos, proteínas y otras macromoléculas. Su valor en los sedimentos de los ríos está en un intervalo de  $10 \mu\text{g/g}$  a  $500 \mu\text{g/g}$  para aquellos ríos que atraviesan áreas industrializadas y densamente pobladas (Nriagu y Coker 1980). De igual manera, su cantidad aumenta en sitios donde hay descargas de lodos de plantas de tratamiento, dragado de puertos y canales de navegación o por el derrame de desechos industriales a ríos, estuarios y lagunas costeras (Nelmes *et al.* 1974, Stanford *et al.* 1981).

Para las áreas costeras del Golfo de México, los valores más altos de plomo en agua fueron para el río Coatzacoalcos en los años de 1982 y 1984 con concentraciones de 29.4 y 11.6 mg/l, respectivamente (Méndez *et al.* 1982, Pérez-Zapata *et al.* 1984) (Tabla I). Es notable el aumento en una década en 29 y 11 órdenes de magnitud al comparar estos resultados con los estudios llevados a cabo por Ochoa y colaboradores (1973). De igual manera, para las lagunas de Pueblo Viejo (Veracruz), la Machona y Mecoacán (Tabasco), los resultados son

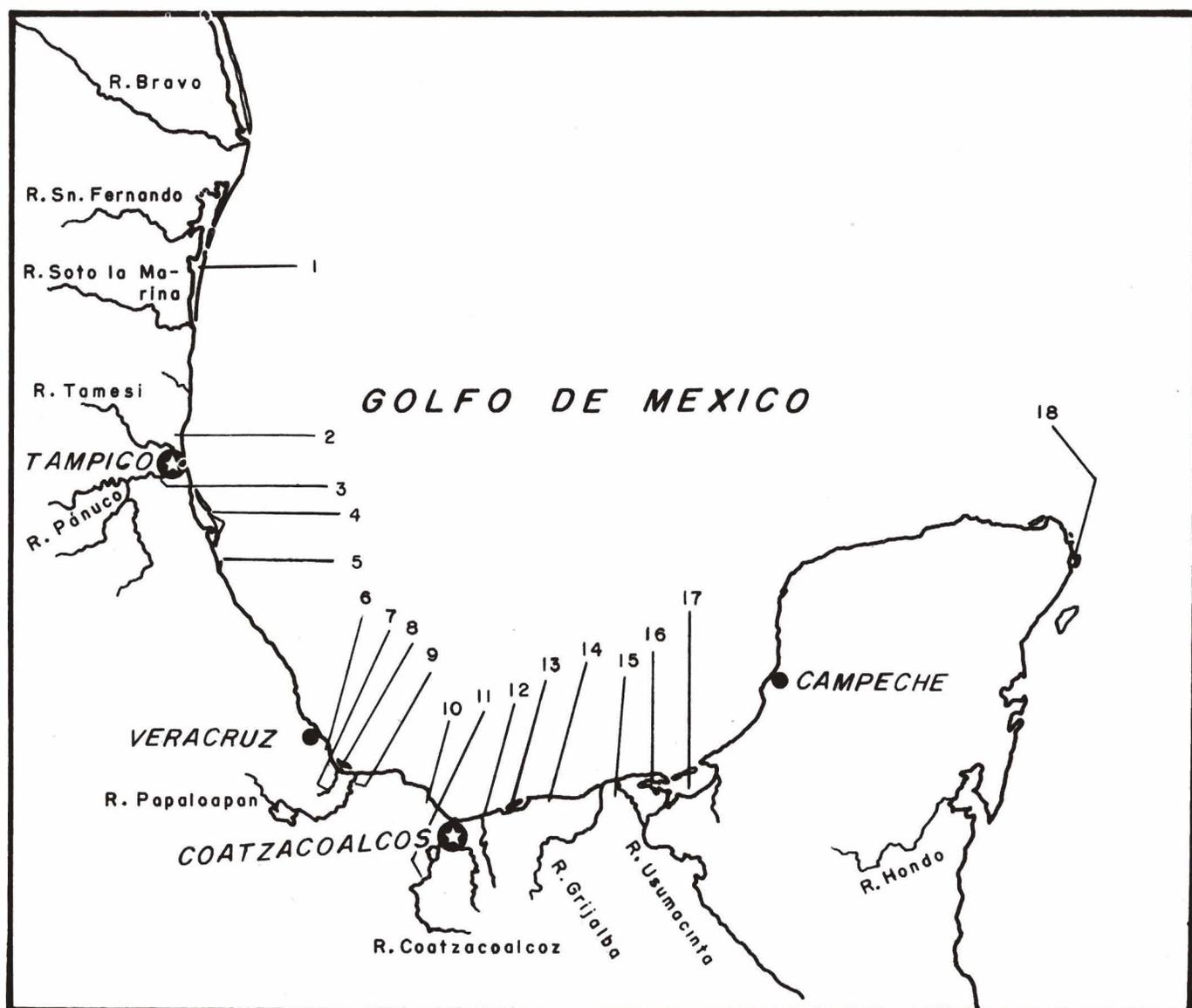


Fig. 1. Localización de las áreas de estudio en el golfo y caribe mexicanos: 1. Laguna Madre, 2. Laguna San Andrés (Tamps.), 3. Laguna de Tamiahua, 4. Laguna Pueblo Viejo, 5. Laguna de Tampamachoco, 6. Laguna de Mandinga, 7. Río Blanco, 8. Laguna de Alvarado, 9. Río Papaloapan, 10. Laguna del Ostión, 11. Río Coatzacoalcos (Ver.), 12. Río Tonalá, 13. Laguna del Carmen-Machona, 14. Laguna de Mecoacán, 15. Laguna de las Ilusiones (Tab.), 16. Laguna de Atasta, 17. Laguna de Términos (Camp.), 18. Laguna de Nichupté (Q. Roo)

TABLA II. CONCENTRACION MEDIA Y DESVIACION ESTANDAR DE METALES PESADOS ( $\mu\text{g/g}$ ) EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE AREAS COSTERAS DEL GOLFO DE MEXICO

<i>Localidad</i>	<i>Hg</i>	<i>Pb</i>	<i>Cd</i>	<i>Cr</i>	<i>Referencia</i>
Laguna Madre Tamaulipas	---	---	0.04 $\pm 0.01$	---	Pulich 1980
Laguna de Tampamachoco Veracruz	0.011 $\pm 0.005$	3.94 $\pm 3.01$	0.10 $\pm 0.09$	9.55 $\pm 4.20$	Rosas <i>et al.</i> 1983
Río Papaloapan Veracruz	---	17.36 $\pm 30.19$	---	66.18 $\pm 15.64$	Rosales <i>et al.</i> 1986b
Laguna de Mandinga Veracruz	0.028 $\pm 0.012$	3.34 $\pm 3.25$	0.02 $\pm 0.03$	7.43 $\pm 8.32$	Rosas <i>et al.</i> 1983
Laguna de Alvarado Veracruz	---	20.15 $\pm 14.77$	---	109.83 $\pm 124.60$	Rosales <i>et al.</i> 1986a
Río Blanco Veracruz	---	32.50 $\pm 8.11$	1.64 $\pm 0.26$	76.05 $\pm 18.25$	Alvarez <i>et al.</i> 1986
Río Blanco Veracruz	---	90.15 $\pm 50.53$	---	---	Badillo 1986
Laguna del Ostión Veracruz	---	N.D.	N.D.	140.70 $\pm 76.10$	Páez-Osuna <i>et al.</i> 1986
Río Coatzacoalcos Veracruz	0.585-1.407	0.94-15.4	---	---	Halfiter <i>et al.</i> 1973
Río Coatzacoalcos Veracruz	8.31 $\pm 14.64$	---	---	---	Báez <i>et al.</i> 1975
Río Coatzacoalcos Veracruz	51.27 $\pm 6.70$	---	---	---	Pérez-Zapata <i>et al.</i> 1984
Río Coatzacoalcos Veracruz	0.125 $\pm 0.070$	43.53 $\pm 5.11$	1.64 $\pm 0.54$	71.80 $\pm 27.90$	Botello y Páez-Osuna 1986
Río Tonalá Tabasco	---	N.D.	N.D.	N.D.	Villanueva 1987
Laguna del Carmen Tabasco	0.009 $\pm 0.003$	6.49 $\pm 5.18$	0.28 $\pm 0.21$	30.50 $\pm 28.60$	Rosas <i>et al.</i> 1983
Laguna de las Ilusiones Tabasco	---	158.68 $\pm 93.01$	N.D.	---	Valencia 1989
Laguna de Atasta Campeche	$< 0.007$	0.29 $\pm 0.25$	0.02 $\pm 0.01$	1.02 $\pm 1.25$	Rosas <i>et al.</i> 1983

TABLA II. (Cont.) CONCENTRACION MEDIA Y DESVIACION ESTANDAR DE METALES PESADOS ( $\mu\text{g/g}$ ) EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE AREAS COSTERAS DEL GOLFO DE MEXICO

Localidad	Hg	Pb	Cd	Cr	Referencia
Laguna de Términos Campeche	—	N.D.	N.D.	N.D.	Botello 1983
Laguna de Términos Campeche	—	33.96 $\pm 18.28$	1.39 $\pm 0.35$	47.20 $\pm 29.20$	Ponce 1988
Laguna de Nichupté Quintana Roo	—	N.D.	N.D.	N.D.	De León y Peña 1987

— No analizado

N.D. No detectado

$\pm$  Desviación estándar

muy altos y pueden ser atribuidos al uso de tetraetilo de plomo en las gasolinas y lubricantes, así como a los residuos industriales que se desechan en estas áreas. Por otro lado, en las lagunas de Tampamachoco y Mandinga (Veracruz), del Carmen (Tabasco), Atasta (Campeche) y en el río Coatzacoalcos (Veracruz), en 1973 las concentraciones fueron relativamente más altas con respecto al límite máximo permisible para aguas costeras que es de  $6.0 \mu\text{g/l}$  (SEDUE, 1990).

Sin embargo, se observó una gran variabilidad en los niveles detectados en dichas zonas y las cantidades elevadas de las descargas industriales hacia las mismas. No obstante, éstas diferencias pueden atribuirse, entre otras causas, a fuentes potenciales de error, tales como procedimientos de muestreo, preparación de la muestra y su cuantificación, las cuales varían significativamente de un autor a otro (Báez *et al.* 1975, INGGO 1980, Méndez *et al.* 1982, Rosas *et al.* 1983, Pérez-Zapata *et al.* 1984, Robledo 1987, Cárdenas *et al.* 1990).

En los sedimentos, los valores de plomo oscilan de un sitio a otro, con un amplio intervalo de concentración que va desde los no detectables como en la laguna del Ostión (Veracruz), el río Tonalá (Tabasco) y la laguna de Nichupté (Quintana Roo), hasta concentraciones de 43.50, 90.15 y  $158.68 \mu\text{g/g}$  para el estuario del río Coatzacoalcos, río Blanco (Veracruz) y la laguna de las Ilusiones (Tabasco), respectivamente, siendo este último el valor más alto descrito para zonas costeras de México. La elevada concentración de Pb en esta laguna, sin duda está relacionada con derrames y con la introducción continua y masiva de aguas residuales y sin dejar de considerar, aunque en menor pro-

porción, las emisiones atmosféricas provenientes de las regiones urbanas e industriales de la ciudad de Villahermosa. Lo mismo sucede en el río Coatzacoalcos en donde la cantidad de plomo se ha incrementado en un lapso de 10 años hasta en 1000% (Halfpter *et al.* 1973, Badillo 1986, Botello y Páez-Osuna 1986, De León y Peña 1987, Villanueva *et al.* 1988, Valencia 1989). Por lo tanto, los altos valores de plomo citados en la tabla II pueden atribuirse entre otras causas a la asociación del metal con la materia orgánica, la periodicidad y la magnitud de la descarga, el gasto del río, la influencia de las mareas y sobre todo a los compuestos orgánicos de plomo contenidos en las gasolinas (Fig. 2).

Para los organismos, los valores de plomo encontrados en peces del río Coatzacoalcos varían de 0 a  $53.6 \mu\text{g/g}$ , siendo este valor excepcionalmente alto, mientras que en estudios más recientes se ha observado que los niveles han disminuido a lo largo de 10 años, debido quizá a que el plomo puede precipitar como carbonato tornándose inerte geoquímicamente y por lo tanto, muy difícil de incorporarse a los tejidos de los organismos acuáticos (Halfpter *et al.* 1973, Báez *et al.* 1975, 1976, Pérez-Zapata 1983, Villanueva 1987). El plomo en *Crassostrea virginica* de las lagunas enlistadas en la tabla III no presenta un patrón de distribución uniforme a lo largo de la costa del Golfo de México; en donde recientemente Vázquez *et al.* (1990) dan un valor de plomo de  $5.85 \mu\text{g/g}$  en dicho molusco para la laguna San Andrés (Tamaulipas), siendo este el valor más alto en la actualidad para los ostiones provenientes de las lagunas costeras mexicanas. Los autores no señalan alteraciones visibles en estos organismos, ni tampoco la forma química del metal que está en el molus-

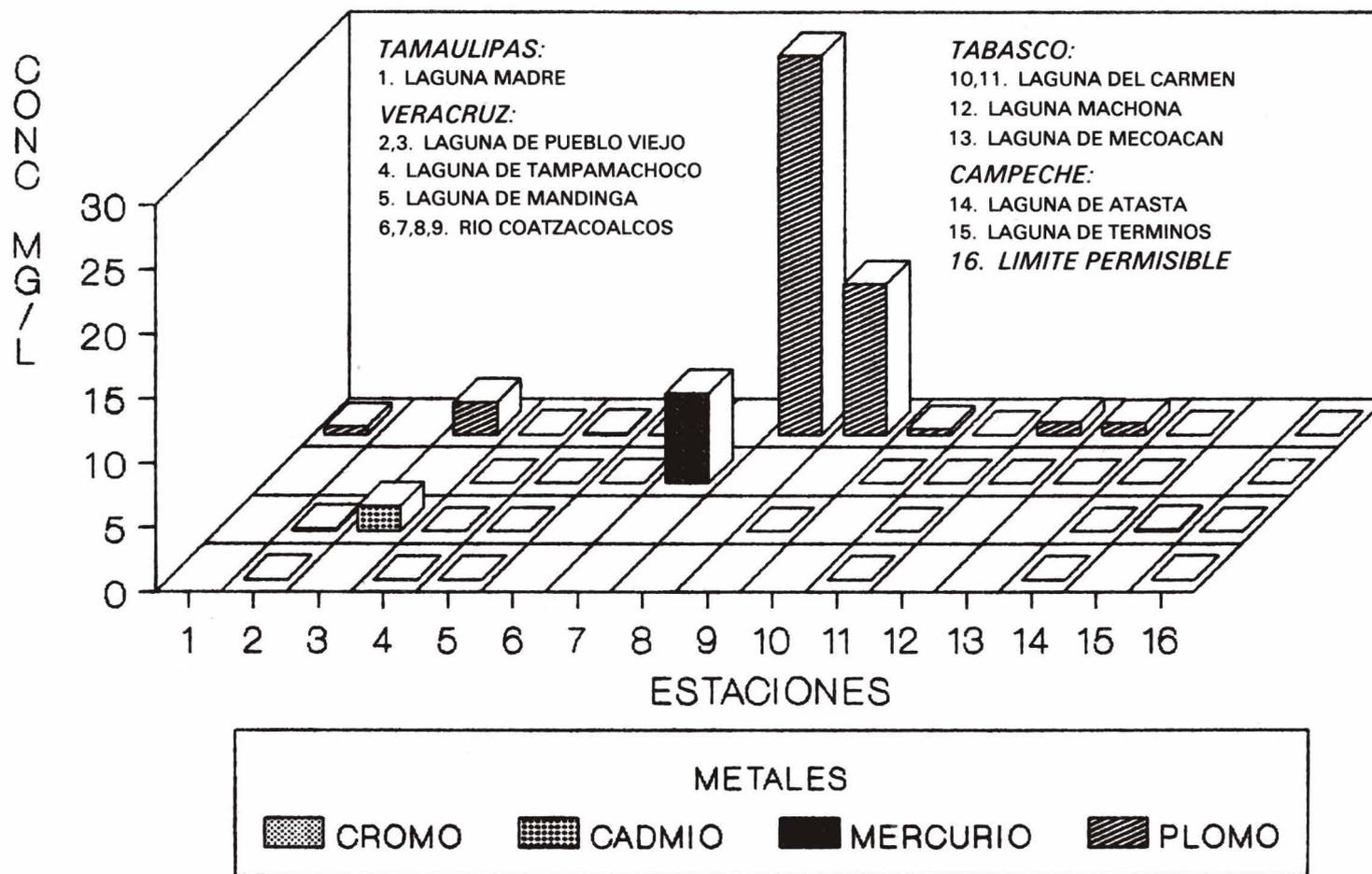


Fig. 2. Concentraciones promedio de metales pesados en agua de las áreas costeras del Golfo de México

TABLA III. CONCENTRACION MEDIA Y DESVIACION ESTANDAR DE METALES PESADOS ( $\mu\text{g/g}$ )  
EN *Crassostrea virginica* DE AREAS COSTERAS DEL GOLFO DE MEXICO

Localidad	Hg	Pb	Cd	Cr	Referencia
Laguna de San Andrés Tamaulipas	—	5.85 $\pm 1.51$	2.76 $\pm 2.42$	—	Vázquez <i>et al.</i> 1990
Laguna de Tamiahua Veracruz	0.02 $\pm 0.01$	—	—	—	Reimer y Reimer 1975
Laguna de Tampamachoco Veracruz	0.02 $\pm 0.09$	1.86 $\pm 0.95$	2.06 $\pm 1.20$	0.89 $\pm 0.59$	Rosas <i>et al.</i> 1983
Laguna de Mandinga Veracruz	0.74 $\pm 1.03$	3.03 $\pm 3.47$	1.54 $\pm 0.98$	2.24 $\pm 2.28$	Rosas <i>et al.</i> 1983
Laguna del Ostión Veracruz	—	N.D.	N.D.	N.D.	Villanueva <i>et al.</i> 1988
Laguna del Carmen Tabasco	0.14 $\pm 0.10$	0.27 $\pm 0.13$	—	—	Pérez-Zapata 1981
Laguna del Carmen Tabasco	0.06 $\pm 0.08$	3.04 $\pm 3.01$	7.09 $\pm 1.03$	4.60 $\pm 2.17$	Rosas <i>et al.</i> 1983
Laguna Machona Tabasco	0.13 $\pm 0.12$	0.23 $\pm 0.14$	—	—	Pérez-Zapata 1981
Laguna Mecoacan Tabasco	0.12 $\pm 0.09$	0.24 $\pm 0.14$	—	—	Pérez-Zapata 1981
Laguna de Atasta Campeche	0.03 $\pm 0.02$	—	—	—	Reimer y Reimer 1975
Laguna de Atasta Campeche	<0.02	1.52 $\pm 0.98$	1.08 $\pm 2.18$	3.77 $\pm 2.18$	Rosas <i>et al.</i> 1983
Laguna de Términos Campeche	0.004 $\pm 0.009$	0.25 $\pm 0.01$	0.85 $\pm 0.15$	—	Botello <i>et al.</i> 1976
Laguna de Términos Campeche	0.051 $\pm 0.009$	1.81 $\pm 1.09$	5.33 $\pm 1.24$	4.02 $\pm 1.17$	Hicks 1976
Laguna de Términos Campeche	—	5.80 $\pm 3.11$	3.70 $\pm 1.32$	6.70 $\pm 4.57$	Ponce 1988
Límite máximo permisible:	1.0	0.20	0.135		Food and Drug Administration 1978

— No analizado

N.D. No detectado

$\pm$  Desviación estándar

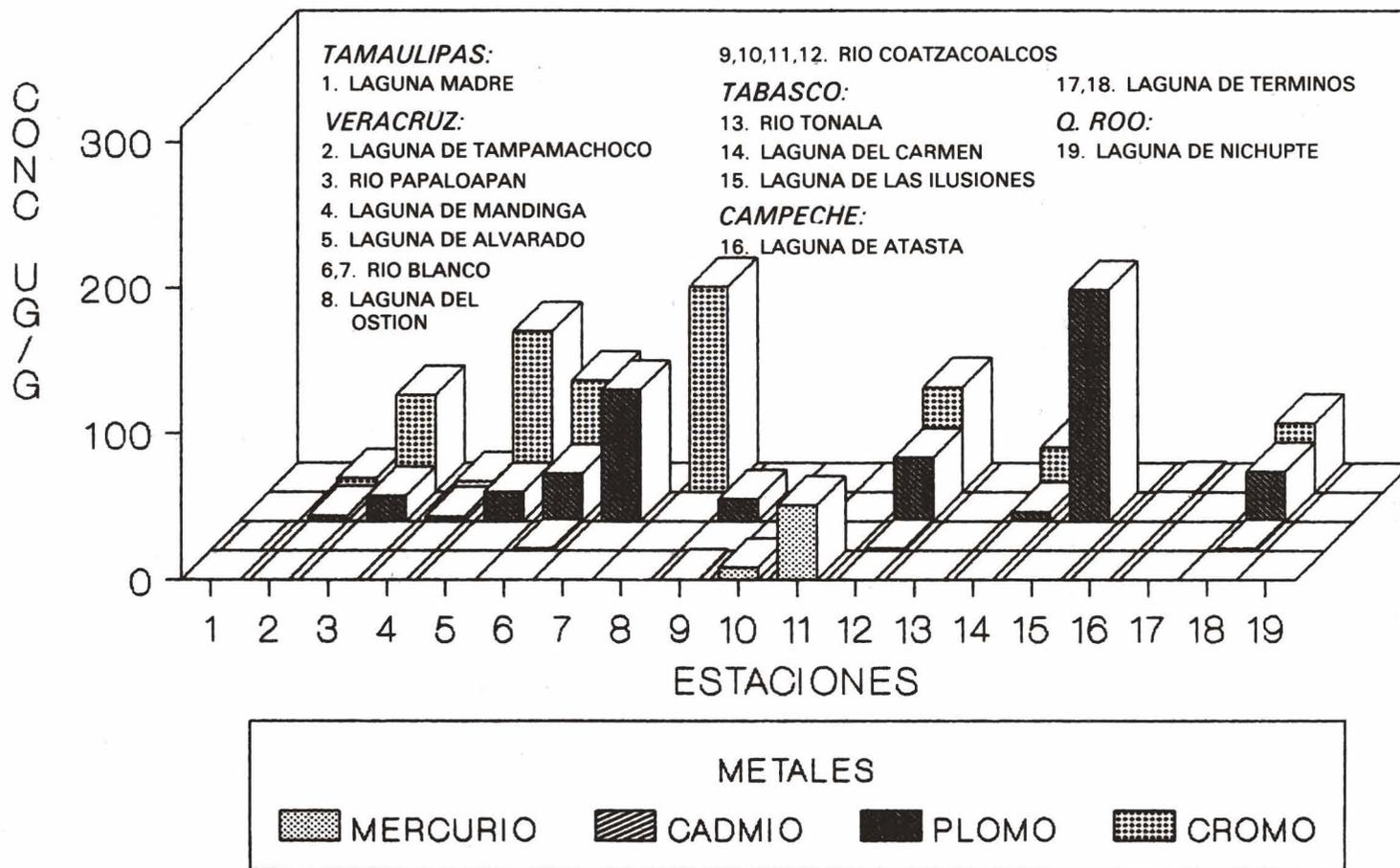


Fig. 3. Concentraciones promedio de metales pesados en sedimentos de las áreas costeras del Golfo de México

co; por otro lado, es importante también investigar los posibles mecanismos de desintoxicación, similares a los que se presentan en los mejillones del género *Mytilus* sp. (Clark 1986). Asimismo, en las lagunas del Carmen (Tabasco) y de Términos (Campeche) la concentración de plomo en el ostión *Crassostrea virginica* se ha incrementado notablemente, en la primera en el lapso de un año y en la segunda en 12 años en 2000% estando sus valores por arriba del límite máximo permisible que es de 0.2  $\mu\text{g/g}$  (Food and Drug Administration 1978) (Fig. 3). Esto sin duda, es reflejo del aumento de las actividades industriales cercanas a estas zonas, así como al transporte de este metal por la acción de los vientos y las corrientes costeras superficiales (Bertini y Goldberg 1971, Botello *et al.* 1976, Hicks 1976, INGGO 1980, Pérez-Zapata 1981, Rosas *et al.* 1983). La elevación de la cantidad de plomo en las lagunas antes mencionadas aparentemente no afectó al ostión, pero podría llegar a ser una fuente de contaminación importante para el hombre, sobre todo si las descargas no se controlan, provocando la bioacumulación de este metal lo cual es un riesgo potencial de intoxicación crónica (Baker *et al.* 1979).

### Cadmio

El cadmio es un elemento no esencial cuyas propiedades químicas son intermedias entre el zinc y el mercurio. En ambientes dulceacuícolas, está íntimamente asociado con la materia coloidal como  $\text{CdCl}_2$  y  $\text{CdSO}_4$ . En el mar el 66% está presente como ion  $\text{Cd}^{+2}$  junto con  $\text{CdCO}_3$  (26%),  $\text{Cd(OH)}_2$  (5%),  $\text{CdCl}_2$  (1%) y  $\text{CdSO}_4$  (1%) (Whitfield *et al.* 1981). En aguas costeras y estuarinas una alta proporción de este metal se encuentra asociado a partículas formando complejos (MacKay 1983). Las principales fuentes de cadmio en ambientes acuáticos son debidas al lavado de los suelos agrícolas y a las descargas de la minería y la industria. Otro origen importante son los desechos municipales y los lodos de las plantas de tratamiento (UNEP 1985). Su presencia en ambientes marinos disminuye la capacidad de sobrevivencia de larvas y estadios juveniles de peces, moluscos y crustáceos (Forstner y Wittman 1979).

En la tabla I se puede observar que en todas las lagunas se encuentran altas concentraciones de cadmio en agua, sobrepasando el límite máximo permisible de calidad de agua para áreas costeras que es de 0.9  $\mu\text{g/l}$  (SEDUE, 1990). Sin embargo, el dato más elevado fue para la laguna de Pueblo Viejo (Veracruz) con 2.5  $\text{mg/l}$ , y sin duda podría estar relacionado con la deposición de las descargas del río Pánuco y con los aportes de las

industrias aledañas a esta laguna (Fig. 1) (Cárdenas *et al.* 1990).

Las concentraciones de cadmio en los sedimentos de las lagunas de Atasta y Mandinga son bajas, mientras que en los ríos Blanco y Coatzacoalcos fueron las más altas con un promedio de 1.64  $\mu\text{g/g}$  para ambos (Tabla II, Fig. 2). La presencia de cadmio en los sedimentos de las zonas litorales es considerada como un componente normal de los sedimentos marinos y como un aporte de las rocas fosfóricas (Largerwerff 1972), en tanto, que los valores altos en los ríos Blanco y Coatzacoalcos están directamente asociados con las características sedimentológicas y el contenido de materia orgánica del sedimento, el cual forma complejos orgánicos con el cadmio, así como también de los desechos industriales de esas áreas (INGGO 1980, Rosas *et al.* 1983, Alvarez *et al.* 1986, Botello y Páez-Osuna 1986).

Los valores de cadmio descritos en el ostión americano (*Crassostrea virginica*) son elevados en todas las lagunas y los ríos del Golfo de México (Tabla III, Fig. 3), mientras que el valor más bajo fue para la laguna de Términos (Campeche) con 0.85  $\mu\text{g/g}$  en 1976. Sin embargo, este se ha visto incrementado en 400% en un lapso de 12 años (Hicks 1976, INGGO 1980, Rosas *et al.* 1983, Ponce 1988). Las altas concentraciones de cadmio de las lagunas San Andrés (Tamaulipas) Carmen (Tabasco) y Términos (Campeche), se deben sin duda a que hay una deposición de los desechos tanto del río Pánuco (Tamaulipas), de los ríos que atraviesan la laguna de Términos, así como de los aportes de las industrias aledañas, los cuales sobrepasan el límite máximo permisible para consumo humano que es de 0.13  $\mu\text{g/g}$  (Food and Drug Administration 1978).

### Cromo

El cromo se considera un metal esencial en organismos cuando se encuentra a bajas concentraciones, al aumentar éstas, el cromo VI es muy tóxico por su solubilidad y fácil penetración al interior de las células, mientras que el cromo III es insoluble y de difícil ingreso (National Academy of Sciences 1974, Villalobos-Pietrini 1979, Rosas *et al.* 1989). En los ríos y océanos, está constituyendo complejos, principalmente hidróxidos en concentraciones que van de 1 a 1.5  $\mu\text{g/l}$ . En aguas marinas existe el ion  $\text{CrO}^{-2}$  formando parte de los nódulos de manganeso (Riley y Chester 1971). En los sedimentos costeros las concentraciones decrecen en zonas oceánicas profundas, siendo de 80  $\mu\text{g/g}$  para el Atlántico y de 77  $\mu\text{g/g}$  para el Pacífico (Riley y Chester

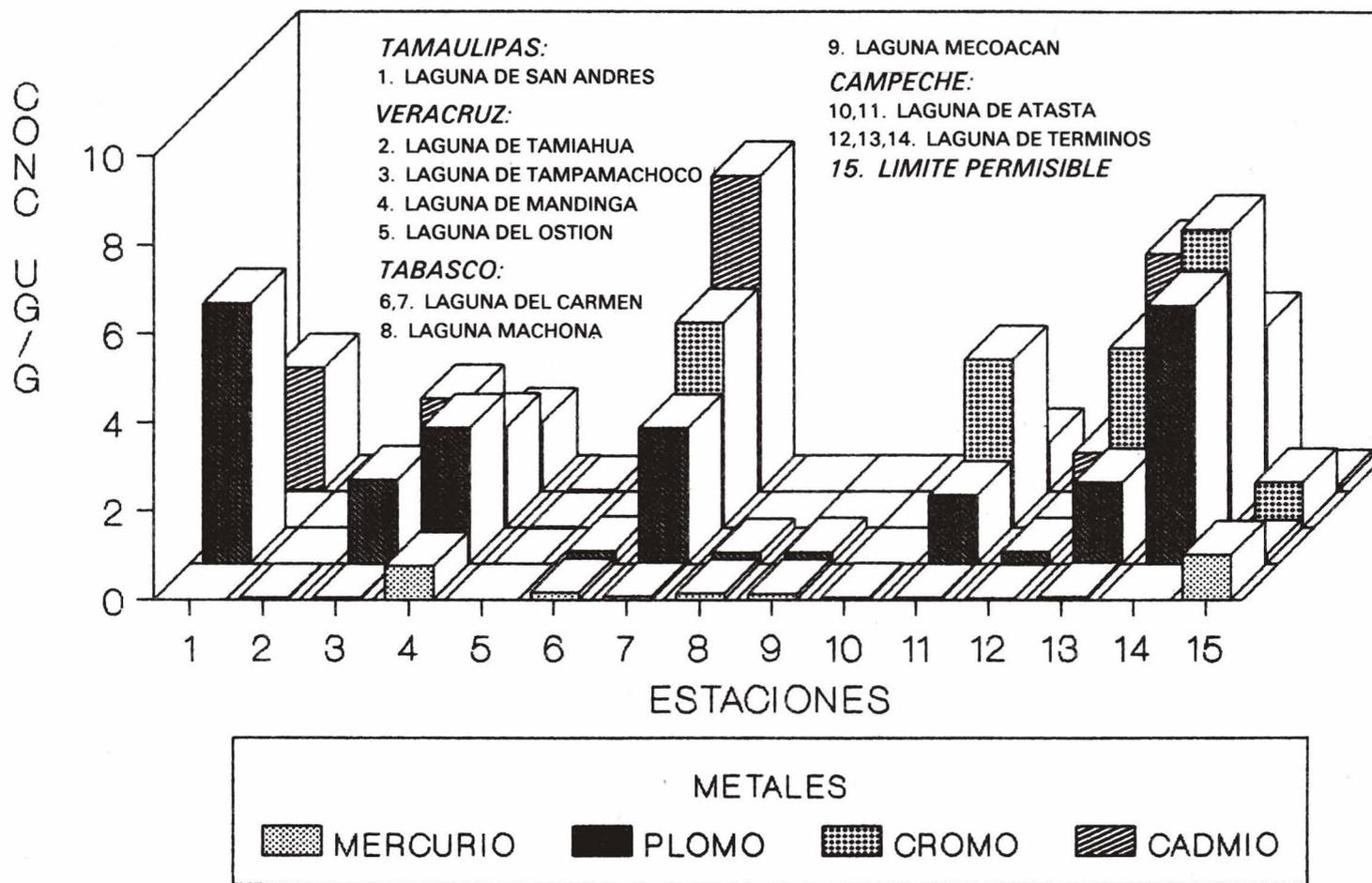


Fig. 4. Concentraciones promedio de metales pesados en *Crassostrea virginica* de las áreas costeras del Golfo de México

1971). En ambientes costeros están íntimamente asociadas a desechos industriales, de minería, tenería y galvanoplastía, así como a la industria de fertilizantes.

El cromo es el metal del que menos datos existen para las costas del Golfo de México; sin embargo, es notable que las lagunas enlistadas en la tabla I presenten concentraciones de cromo inferiores al límite permisible en aguas costeras de 50.0  $\mu\text{g}/\text{l}$  (Rosas *et al.* 1983, SEDUE 1990).

En los sedimentos costeros, los mayores niveles para cromo se obtuvieron en las lagunas del Ostión y Alvarado y para los ríos Blanco, Papaloapan y Coatzacoalcos (Veracruz) (Fig. 2). Los valores sugieren la existencia de descargas de las industrias aledañas a estos sitios, principalmente aquellas relacionadas con la tenería y la producción de fertilizantes, eliminando sus desechos al ambiente costero en forma de cromatos; además este metal tiende a acumularse en el sedimento lo que contribuye de manera significativa al incremento de su concentración en dichas zonas (Alvarez *et al.* 1986, Botello y Páez-Osuna 1986, Rosales *et al.* 1986a,b).

Debido a que no existe en México ni en EUA una legislación para los límites máximos permisibles del consumo humano de cromo y con el objeto de establecer un límite de referencia para comparar las concentraciones, se consideró el valor que da la Oficina de Gobierno Central de Hong Kong que es de 1.0  $\mu\text{g}/\text{g}$  (Nauen 1983). De acuerdo con este valor, todos los datos que se presentan en la tabla III para el ostión *Crassostrea virginica*, se encuentran por arriba de este límite permisible; sin embargo, se nota que estos organismos llegan a acumular concentraciones de 100 a 300  $\mu\text{g}/\text{g}$  sin que muestren efectos adversos en su metabolismo (Hicks 1976, Rosas *et al.* 1983, Ponce 1988). En las lagunas de Tampamachoco y del Ostión (Veracruz), los valores son menores a este límite permisible (INGGO 1980, Rosas *et al.* 1983, Villanueva *et al.* 1988).

## CONCLUSIONES

La ausencia de programas efectivos de vigilancia y control de contaminantes del ambiente costero mexicano, la creciente industrialización y urbanización de la zona costera mexicana y sobre todo la falta de una verdadera aplicación de normas ambientales han ocasionado que el 30% de los ríos y las lagunas del Golfo de México estén contaminados por mercurio y plomo, principalmente en el área del río Coatzacoalcos en Veracruz y de la laguna de las Ilusiones en Tabasco.

Los datos que se incluyeron en esta revisión, demuestran que la tendencia de los niveles de metales pesados va en aumento, principalmente el plomo, como es el caso de la laguna de Pueblo Viejo, del río Coatzacoalcos y de la laguna de Términos, hasta en 20 órdenes de magnitud con respecto a las concentraciones detectadas inicialmente.

Debido a la gran variedad de equipos utilizados, así como de métodos para los muestreos, los análisis y el uso de estándares, los datos incluidos en esta revisión muestran una gran dispersión, sin embargo, son la base con la que se cuenta para futuros estudios. Por eso es necesario que los diversos laboratorios que generan información sobre este tipo de contaminantes participen activamente en ejercicios de intercomparación nacionales, regionales o mundiales; los cuales operen con metodologías estandarizadas afines que eliminen de esta manera los errores sistemáticos y aleatorios que podrían afectar los resultados, asegurando así una buena calidad de la información obtenida. Una acción en tal sentido, permitiría ubicar el problema y conocer su magnitud real tanto en el tiempo como en el espacio.

## REFERENCIAS

- Alvarez R.U., Rosales H.L. y Carranza E.A. (1986). Heavy metals in Blanco river sediments, Veracruz, México. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México 13, 1-10.
- Aston S.R. y Fowler G.W. (1985). Mercury in the open Mediterranean: evidence of Contamination? Sci. Total Environ. 43, 13-26.
- Badillo G.F.J. (1986). Evaluación preliminar de la contaminación por metales pesados en el río Blanco, Veracruz. Tesis Profesional ENEP Iztacala, UNAM. México, 64 p.
- Báez A.P., Rosas I., Nulman R. y Gálvez L. (1975). Movimiento de mercurio residual en el estuario del río Coatzacoalcos. An. Inst. Geof. 18-19, 131-147.
- Báez A.P., Nulman R., Rosas I. y Gálvez L. (1976). Aquatic organism contamination by mercury residues in the Coatzacoalcos River Estuary, México. International Atomic Energy Agency. Viena, pp. 73-78.
- Baker E.L., Landrigan P.J., Barbour A.G., Cox D.H., Folland D.S., Liger R.N. y Throckmorton J. (1979). Occupational lead poisoning states: clinical and biochemical findings related to blood lead levels. Br. J. Ind. Med. 36, 314-322.
- Bertini K.K. y Goldberg E.D. (1971). Fossil fuel combustion and the major sedimentary cycle. Science 178, 233-235.
- Botello A.V., Hicks E. y Mandelli E.F. (1976). Estudios preliminares sobre los niveles de algunos contaminantes en la laguna de Términos, Camp., México. Simposio sobre adelfantos en las investigaciones marinas en el Caribe y regiones adyacentes. Caracas 12-16 de julio, 1976. FAO, pp. 267-280.

- Botello A.V. y Páez-Osuna F. (1986). El problema crucial: la contaminación. En: *Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos*. Centro de Ecodesarrollo, México, Vol. 1, pp. 62-85.
- Cárdenas L.S.P., Méndez B.L. y Ramírez C.I. (1990). Estudio preliminar de algunos aspectos biológicos y de contaminación para las especies *Mugil curema* (Valenciennes), *Cathorops melanopus* (Gunther) y *Brevoortia patronus* (Goode) (Pisces teleoste) en la Laguna de Pueblo Viejo, Veracruz. Tesis Profesional. ENEP Zaragoza, UNAM. México, 112 p.
- Campbell J.A. y Loring D.H. (1980). Baseline levels of heavy metals in waters and sediments of Baffin Bay. *Mar. Pollut. Bull.* 11, 257-261.
- Clark R.B. (1986). *Marine pollution*, Clarendon Press, Oxford.
- De León y Peña N.O. (1987). Evaluación de metales pesados en sedimentos recientes de dos sistemas costeros del Caribe Mexicano. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM, México, 68 p.
- Fitzgerald W.F. y Gill G.A. (1985). Mercury sampling of open ocean waters at the picomolar level. *Deep Sea Res.* 32, 287-297.
- Food and Drug Administration. (1978). Fed. Reg. Ref. CPG 7108.07.
- Forstner U. y Wittman G.T.W. (1979). *Metal pollution in the aquatic environment*. Springer-Verlag, Berlín. Capítulo G., pp. 324-359.
- Goldberg E.D. (1984). The Mussel Watch Concept. La Sirena. En: *Noticias del Programa del PNUMA para los Mares Regionales*. No. 23, marzo 1984, pp. 22-28.
- 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.
- Hartung R. (1972). En: *Environmental mercury contamination*. (U. Hartung y B. D. Sinmav, Eds.), Ann Arbor Sci., 172 p.
- Hicks E.A. (1976). Variación estacional en la concentración de elementos metálicos en ostiones de la laguna de Términos, Campeche, México. Tesis Profesional. Facultad de Química, UNAM, México, 50 p.
- Hornung M. (1985). Assessment of mercury pollution in coastal marine sediments and benthic organisms. En: *Meeting on the biogeochemical cycle of mercury in the Mediterranean*. Roma, FAO/UNEP.
- 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. Mex.* 14, 12-140.
- INGGO (1980). Bioacumulación de metales pesados y plaguicidas en especies acuáticas de importancia económica. SARH, Direc. Gral. de Protección y Ordenamiento Ecológico. México, 138 p.
- Landner L. (1970). Restoration of mercury contaminated lakes and rivers. Swedish Water and Air Pollution Research Laboratory, Ref. B, 76 p.
- Largerwerff J.V. (1972). En: *Micronutrients in agriculture* (J.J. Morvedt, Ed.) Soil Sci. Soc. of America. Madison, Wisconsin, 677 p.
- Loring D.H. y Rantala T.T. (1977). Evaluation of extraction techniques for the determination of metals in aquatic sediments. *Analyst* 101, 761-767.
- Mackay J. (1983). Metal organic complexes in sea water. An investigation of naturally-occurring complexes of Cu, Zn, Fe, Mn, Ni, Mg and Cd using high performance liquid chromatography with atomic fluorescence detection. *Mar. Chem.* 13, 169-180.
- Mantoura R.F.C. (1981). Organo-metallic interactions in natural waters. En: *Marine organic chemistry* (E.K. Duursma y R. Dawson, Eds.) Elsevier, Amsterdam, pp. 179-223.
- Méndez S.B.L., Bozada-Robles L.M. y Chávez-Alarcón Z. (1982). Edad y crecimiento en *Arius melanopus* (Guther 1864) del estero Casitas, Municipio de Tecolutla, Ver., Univ. Autón. Sin. y Soc. Mex. Zool. Resúmenes VI Congr. Nal. Zool. Mazatlán, Sin., México, diciembre 6-10, 1982, p. 4.
- National Academy of Sciences (1974). Research needs in water quality criteria. Chromium. U.S. Government Printing Office. Washington D.C. pp. 86-89.
- Nauen C.E. (1983). Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Fisheries Circular No. 764, FIRI/C764. Roma, octubre, 1983, 42 p.
- Nelmes A.J., Buxton R., Fairweather S.J. y Martin A.E. (1974). The implication of the transfer of trace metals from sewage sludge to man. Proceedings of the 7th annual conference on trace substances and environmental health (D.D. Hemphill, Ed.) Columbia, Missouri, University of Missouri, pp. 145-153.
- Nriagu J.O. y Coker R.D. (1980). Trace metals in humic and fulvic acids from Lake Ontario sediments. *Environ. Sci. Technol.* 14, 443-446.
- Ochoa S.A., Halffter G. e Ibarra R. (1972a). Desarrollo industrial y equilibrio ecológico: un ejemplo, el Bajo Río Coatzacoalcos. Simposio internacional sobre la protección del medio ambiente y los recursos naturales, Roma, abril 24-28, CONACyT-Instituto Italo-Latinoamericano, pp. 225-274.
- Ochoa S.A., Halffter G. e Ibarra R. (1972b). Estudio de la contaminación en el Bajo Río Coatzacoalcos. Primeros trabajos. Primer seminario sobre la evaluación de la contaminación ambiental. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, México, pp. 115-162.
- Páez-Osuna F., Botello A.V. y Villanueva S.F. (1986). Heavy metals in Coatzacoalcos Estuary and Ostion Lagoon, México. *Mar. Pollut. Bull.* 11, 516-519.
- Páez-Osuna F., Valdez L.D., Alexander M.H. y Fernández P.H. (1987a). Trace metals in the fluvial system of Terminos Lagoon, Mexico. *Mar. Pollut. Bull.* 18, 294-297.
- Páez-Osuna F., Valdez L.D., Alexander H.M., Fernández P.H. y Osuna L.J. (1987b). Níquel y plomo en las fracciones disuelta y particulada del sistema flúvico-laguna de Laguna de Términos, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México* 14, 79-86.
- Pérez-Zapata A.J. (1981). Plomo y mercurio. En: *Lagunas costeras de Tabasco. Un ecosistema en peligro*. Centro de Ecodesarrollo, México, pp. 58-61.
- Pérez-Zapata A.J. (1983). La contaminación por plomo en

- Coatzacoalcos. Ciencia y Desarrollo, CONACyT No. 52 año IX, pp. 80-86.
- Pérez-Zapata A.J., Deleón R.I. y Gil R.A.M. (1984). Determinación cuantitativa de plomo en peces del estuario del río Coatzacoalcos. An. Esc. Nal. Cienc. Biol. Méx. 28, 193-197.
- Ponce V.M.G. (1988). Evaluación de metales pesados en sedimentos recientes y tejidos de ostión *Crassostrea virginica* (Omelin 1791) de la laguna de Términos, Campeche, México. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM, México, 70 p.
- Pulich M.W. (1980). Heavy metals accumulation by selected *Halodule wrightii* ASH populations in the Corpus Christi Bay Areas. Mar. Sci. 23, 89-100.
- Reimer A. y Reimer R.D. (1975). Total mercury in some fish and shellfish along the mexican coast. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 14, 105-111.
- Riley J.P. y Chester R. (1971). *Introduction to marine chemistry*. Academic Press. Londres, 465 p.
- Robledo M.F. (1987). Evaluación de la calidad del agua y calidad sanitaria del ostión (*Crassostrea virginica*) en la laguna de Pueblo Viejo, Ver., México. Esc. Ciencias Biológicas, Univ. Tampico, Tamps., 58 p.
- Rosales H.L., Carranza E.A. y Alvarez R.U. (1986a). Sedimentological and chemical studies in sediments from Alvarado lagoon system, Veracruz, México. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México. 13, 19-28.
- Rosales H.L., Carranza E.A. y Alvarez R.U. (1986b). Sedimentological and chemical studies in sediments from Papaloapan River, México. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México 13, 263-272.
- Rosas P.I., Báez A. y Belmont R. (1983). Oyster (*Crassostrea virginica*) as indicator of heavy metals pollution in some lagoons of the Gulf of Mexico. Water, Air and Soil Pollut. 20, 127-135.
- Rosas P.I., Belmont R., Báez A. y Villalobos-Pietrini R. (1989). Some aspects of the environmental exposure to chromium residues in Mexico. Water, Air and Soil Pollut. 48, 463-475.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (1986). Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas. Serie: Normatividad Ecológica No. 4. Colección Los Básicos, 40 p.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (1990). Gaceta Ecológica. Vol. II, No. 6, Enero de 1990, 64 p.
- Stanford H.M., O'Connor J.S. y Swanson R.L. (1981). The effects of ocean dumping on the New York Bight ecosystem. En: *Ocean dumping of waster* (B.H. Ketchum, D.R. Kester y P. Kilho Park, Eds.), Plenum Press, Nueva York, pp. 53-86.
- Suzuki Y. y Sugimura Y. (1985). Total and organic mercury in sea water in the Western North Pacific. Proc. Intern. Chem. Congr. Pacific Basin Soc. (Honolulu, Dec. 16-21, 1985).
- Syers J.K., Iskandar I.K. y Keeney D.R. (1973). Distribution and background levels of mercury in sediments cores from selected Wisconsin lakes. Water, Air and Soil Pollut. 2, 105-118.
- United Nations and United Nations Environment Programme. Regional Seas. (1985). GESAMP: Cadmium, lead and tin in the marine environment. UNEP Regional Seas Report and Studies No. 56. GESAMP Report and Studies No. 22, pp. 1-62.
- Valencia J.J.L. (1989). Registro sedimentario de metales pesados en la laguna de las Ilusiones, Villahermosa. Tabasco. Tesis Profesional. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Básicas-Biología. Unidad Sierra, 100 p.
- Vázquez F., Aguilera G., Delgado D. y Márquez A. (1990). Trace and heavy metals in the oyster *Crassostrea virginica*, San Andrés Lagoon, Tamaulipas, Mexico. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 45, 907-914.
- Villalobos-Pietrini R. (1977). Efectos biológicos del cromo. An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. México 48, 115-162.
- Villanueva F.S. (1987). Evaluación de metales pesados en sedimentos y organismos del río Coatzacoalcos y áreas adyacentes, Veracruz, México. Tesis Profesional. ENEP Zaragoza. UNAM. México, 82 p.
- Villanueva F.S., Botello A.V. y Páez-Osuna F. (1988). Evaluación de algunos metales pesados en organismos del Río Coatzacoalcos y de la Laguna del Ostión, Veracruz, México. Contam. Ambient. 4, 19-31.
- Wallace Jr. G.T., Seibert D.L. Holzknech S.M. y Thomas W.H. (1982). The biogeochemical fate and toxicity of mercury in controlled experimental ecosystems. Estuar. Coastal and Shelf Sci. 15, 151-182.
- Whitfield M., Turner D.R. y Dickison A.G. (1981). Speciation of dissolved constituents in estuaries. En: *River inputs to ocean systems*. Proceedings of UNESCO/IOC/UNEP Review Workshop, 16-19 March, 1979. Nueva York, United Nations, pp. 132-188.