

ASPECTOS GEOQUIMICOS Y DE CONTAMINACION POR METALES PESADOS EN LA LAGUNA DE TERMINOS, CAMPECHE.

Ponce-Velez, G. y Botello, A. V.

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

RESUMEN

En el presente trabajo se exponen los resultados sobre la evaluación y el comportamiento de los niveles de metales pesados (Cu, Ni, Co, Cr, Pb, Cd y Zn) en sedimentos y organismos bivalvos (*Crassostrea virginica*, Gmelin, 1791) de la Laguna de Términos en el período 1985-1986.

El contenido de metales en sedimentos se realizó en las siguientes fracciones: I. Intercambiable, II. Unidos a carbonatos, III. Unidos a materia orgánica y sulfuros y IV. Unidos a óxidos de Fe y Mn.

Los resultados muestran que la concentración total de metales (Cu, Ni, Co, Cr y Zn) fue mayor en el lado oeste de la Laguna con excepción del Cd y Pb los cuales fueron más altos en concentración en la porción este del sistema. Para el ostión *C. virginica* los niveles de metales se incrementan notablemente en la época de lluvias, exceptuando al Pb el cual presenta sus valores máximos durante la presencia de la época de "nortes".

De igual manera, comparando los resultados obtenidos con los de otros estudios previamente realizados en el área de estudio, se nota una clara tendencia en el incremento de Cr y Pb el cual podría relacionarse con el aumento de las actividades humanas e industriales en las cercanías de la Laguna.

ABSTRACT

Levels of heavy metals (Cu, Ni, Co, Cr, Pb, Cd and Zn) present in surficial sediments and bivalves (*Crassostrea virginica*, Gmelin, 1791) from Laguna de Terminos, Campeche, Mexico; were determined from 1985-1986. In sediments the analysis were conducted in four fractions: I. Non-detritic, II. Coupled to carbonates, III. Binding to organic matter and sulfides as well as IV. Coupled to Fe and Mn oxides.

The results shown high concentrations of metals (Cu, Ni, Co, Cr and Zn) in the west side of the lagoon with the exception of Pb and Cd whose concentrations are higher in the east portion of the system. For the oyster *C. virginica* the levels of metals were increased during rainy season with the exception of Pb which presents its maximum values during north winds period.

The comparison of the results with other studies previously reported in the study area indicate an increase trend for Cr and Pb probably related with the industrial and human development in the nearby of the lagoon.

PALABRAS CLAVE/KEY WORDS: CONTAMINACION, METALES PESADOS, GEOQUIMICA COSTERA / MARINE POLLUTION, HEAVY METAL COASTAL GEOCHEMISTRY.

INTRODUCCION

Las lagunas costeras y estuarios de México están sometidos desde hace varios años a la presión que el hombre ejerce sobre ellos al depositar directa o indirectamente sus desechos tanto urbanos como industriales y con ésto contribuye al detrimento de sus valores ecológicos. En este sentido, el análisis de los sedimentos y de aquellos organismos considerados como indicadores de contaminación, se realiza para evaluar la calidad de los ambientes costeros de manera no sólo necesaria sino indispensable. Los metales pesa-

dos son uno de los grupos de contaminantes que con gran facilidad alcanzan la zona costera y perturban el equilibrio ahí existente poniendo en riesgo hasta la salud del propio ser humano (Botello y Páez, 1986; Páez-Osuna *et al.*, 1987).

La mayoría de los metales pesados se presentan en concentraciones en el mar del orden de $\mu\text{g/l}$ o menores. El aporte continental probablemente es la ruta principal de entrada a la zona costera de estas sustancias y las actividades humanas han contribuido al incremento de los niveles de algunos metales pesados con potencialidades tóxicas

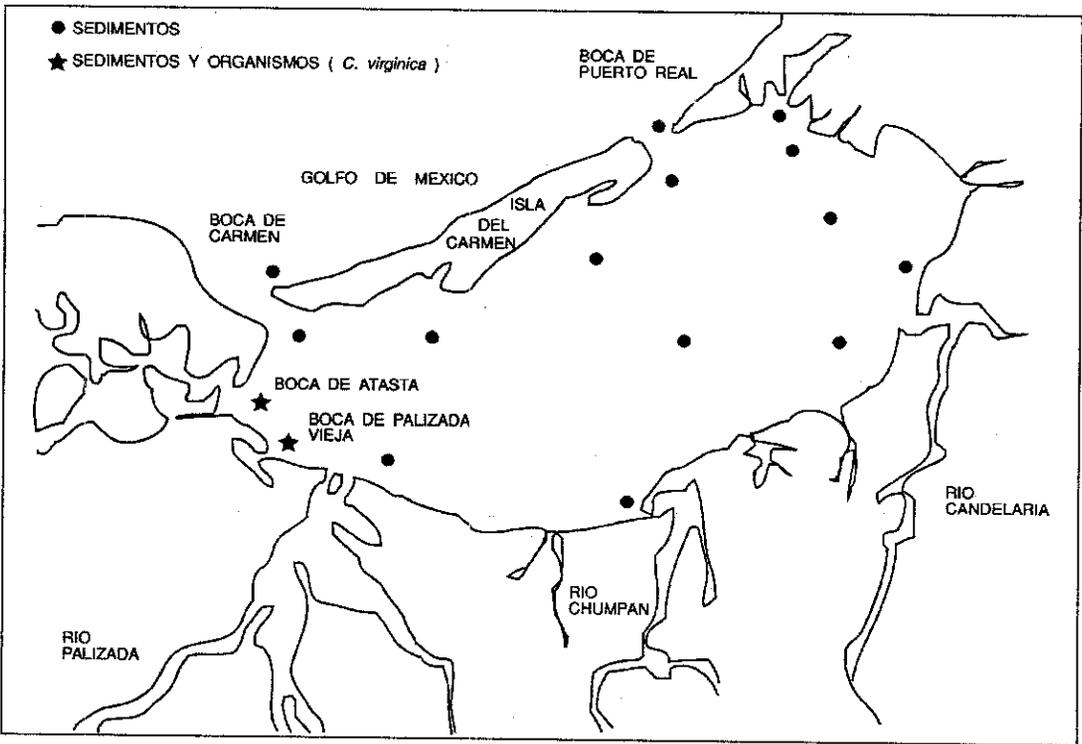


FIGURA 1. Localización de los sitios de colecta de sedimentos y organismos (*C. virginica*) de la Laguna de Términos, Campeche.

importantes como son el mercurio, el plomo y el cadmio, ya que por ejemplo se ha estimado que la tasa de ingreso de plomo al ambiente marino se ha incrementado alrededor de 27 veces desde el pleistoceno y el aumento más severo se ha dado en los últimos 50 años debido sobre todo al uso del tetraetilo de plomo como aditivo de combustibles (Riley y Chester, 1971).

Este grupo de elementos puede provenir de fuentes tan diversas como son las actividades petroleras, agrícolas, industriales (metalúrgicas, metal-mecánicas, papeleras, azucareras, de pinturas) e incluso urbanas y sanitarias (fungicidas, herbicidas e insecticidas). El peligro de aquellos elementos metálicos potencialmente tóxicos es su combinación con compuestos orgánicos presentes en los sedimentos costeros y su ingreso a las cadenas alimentarias diversas donde pueden ocurrir procesos de bioconcentración, bioacumulación y biomagnificación hacia los consumidores finales, como el hombre, lo cual puede provocar catástrofes ambientales como las de Minamata en Japón, la costa Atlántica de Canadá, el es-

tuario del Río Rhin en Alemania por mencionar algunas (Förstner y Wittman, 1979; Mance, 1987). Así, el establecimiento de "líneas basales" de las concentraciones de metales pesados en sedimentos, se requiere para poder detectar procesos de alteración, fuentes de aporte, rutas de entrada y distribución de los mismos.

El objetivo de este trabajo fue determinar los niveles de Cu, Ni, Co, Cr, Pb, Cd y Zn y su distribución en los sedimentos, así como en el ostión *C. virginica* de la Laguna de Términos, el cual representa un recurso pesquero litoral de gran importancia en la región del Golfo de México y comparar con evaluaciones previas el impacto de las actividades petroleras sobre este valioso ecosistema costero. Su elección como área de estudio radica en que es una de las lagunas costeras más grandes e importantes del país (2,500 Km² de superficie) y en ella se efectúan de manera total o parcial los ciclos de vida de numerosas especies de peces, crustáceos y moluscos de importancia económica y comercial (García-Cubas, 1981; Day y Yáñez-Arancibia, 1982; Yáñez-Arancibia

TABLA 1. Valores promedio de los parámetros hidrológicos registrados en la Laguna de Términos, Campeche. Durante agosto de 1985.

PORCION DEL SISTEMA LAGUNAR	PROFUNDIDAD (m)	TEMPERATURA (°C)	O.D. (mg/l)	SALINIDAD
PORCION ESTE	2.0	28.8	3.9	34.3
PORCION OESTE	1.1	28.0	4.0	24.3
SISTEMA TOTAL	1.5	28.4	3.9	27.6

O.D. = Oxígeno disuelto

y Sánchez-Gil, 1986); además representa la conjunción de dos provincias sedimentológicas: la terrígena en la porción Oeste y la carbonatada en el Este, lo cual favorece que este sistema costero sea considerado como exportador de materiales hacia la Sonda de Campeche con la cual mantiene un intercambio continuo (Páez-Osuna, *et al.*, 1987).

MATERIALES Y METODOS

La Laguna de Términos se localiza en la porción sur de la Sonda de Campeche en el litoral del Golfo de México, entre los meridianos 91°15' y 92°00' de longitud oeste y los paralelos 18°25' y 19°00' de latitud norte en el Estado de Campeche (Fig. 1). Cuenta con una superficie aproximada de 2,500 Km. Los parámetros hidrológicos que se registraron *in situ* durante la época de lluvias (agosto de 1985) fueron: temperatura (°C), salinidad (o/oo) y oxígeno disuelto (mg/l), se midieron utilizando un termómetro de campo (-10+200 °C), un conductímetro portátil de inducción marca Beckman modelo RS-7B y por el método de Winkler modificado con azida, respectivamente. Se colectaron 16 muestras de sedimentos superficiales (10 cm superiores) con una draga Van veen durante agosto de 1985 (época de lluvias); los organismos bivalvos fueron colectados manualmente en dos bancos ostrícolas importantes: Boca de Atasta y Palizada Vieja en mayo y agosto de 1985 y enero de 1986 (secas, lluvias y nortes respectivamente).

Los sedimentos se secaron a 70° C durante 36 h; se maceraron y homogeneizaron para su análisis posterior. Se utilizaron 2 g de sedimento y se siguió la metodología propuesta por Loring y Rantala (1977) modificada por Páez-Osuna y Osuna (1990) la cual consiste en una digestión

ácida con HNO₃ 2M a 90 ° C y posteriormente con HNO₃ concentrado en sistemas cerrados de descomposición múltiple (bombas de PTFE) a 100 °C durante 18 h.

Se realizó una centrifugación y filtración teniendo un volumen final de 30 ml. Las fracciones disponibles de los elementos traza se obtuvieron siguiendo la técnica de Meguellati *et al.* (1983) modificada por Páez-Osuna y Osuna (1990) que consiste en obtener 4 fases variando el tipo de sustancia digestora: BaCl₂, acetato de sodio, H₂O₂+HNO₃ y acetato de clorhidroxilamina.

Los organismos fueron analizados siguiendo la técnica propuesta por Goldberg *et al.* (1983) modificada por Páez-Osuna *et al.* (1988) secando el tejido a 100 °C durante 24 h y digiriéndolo con HNO₃ concentrado a temperatura ambiente, e incinerándolo en mufla a 350 °C durante 2 h. Posteriormente se procedió a centrifugar y filtrar hasta tener un volumen final de 18 ml en HNO₃ 2M. Las lecturas de los elementos se realizaron con un espectrofotómetro de absorción atómica/emisión de flama marca Shimadzu modelo AA-630-12 empleando una curva de calibración de estándares para los sedimentos y el método de adición de estándares para los organismos.

Se utilizaron los valores promedio para comparar los niveles de metales pesados en el sedimento de la porción Este con los encontrados en la zona Oeste del sistema. También se hicieron pruebas de correlación lineal entre los metales y entre éstos y el contenido de materia orgánica, carbonatos y contenido de arcilla los que fueron evaluados a través del método de Gaudette *et al.* (1974), la técnica de Alvarez (1983) y el método de tamices y pipetas de Folk (1974) respectivamente.

TABLA 2. Concentración total promedio de metales pesados en sedimentos superficiales de la Laguna de Términos, Campeche (agosto, 1985). (ppm/peso seco).

PORCION DEL SISTEMA LAGUNAR	Cu	Ni	Co	Cr	Zn	Cd	Pb
SISTEMA COMPLETO	7.4	50.9	12.3	47.2	20.4	1.4	33.9
PORCION ESTE	7.0	33.0	11.0	43.5	13.9	1.5	42.5
PORCION OESTE	7.9	73.9	13.5	54.8	28.8	1.2	23.1

RESULTADOS Y DISCUSION

Los parámetros hidrológicos registrados durante agosto de 1985 se presentan en la Tabla 1. Puede observarse que los niveles evidencian un contraste entre la porción Este y la Oeste de la laguna, ya que la primera es más profunda, tiene valores de oxígeno disuelto menores y de salinidad mayores ($X=34.3$ o/oo) con respecto al Oeste donde es más somera, los niveles de oxígeno disuelto son más altos y l. salinidad es menor ($X=24.3$ o/oo). Esta regionalización del sistema se debe a diversos factores entre los que resaltan el aporte marino a través de la Boca de Puerto de Real (Fig. 1), la entrada de agua dulce en la porción Oeste que es de gran magnitud por la descarga del Río Palizada, la distribución de los sedimentos, y el sistema de corrientes propias de la laguna.

En la Tabla 2 se presentan los valores promedio de la concentración total de los metales pesados analizados en el sedimentos del sistema lagunar. El níquel, el cromo y el plomo fueron los elementos con niveles totales mayores. La presencia de metales en ambientes costeros se asocian a las actividades industriales y/o a los combustibles utilizados por motores de combustión interna (autos, lanchas, entre otros). De estos resultados se puede apreciar que la porción Este manifiesta un contenido mayor de plomo y cadmio mientras que la zona Oeste es rica en los metales cobre, níquel, cobalto, cromo y zinc (Fig. 2). Este hecho está ligado estrechamente con las condiciones ambientales que prevalecen en cada región de la laguna; en el Este existe una influencia marina-carbonatada y en el Oeste es fluvial-terrágena; también deben considerarse las actividades humanas predominantes como son el tráfico intenso de lanchas, la pesca, las descargas urbanas y agrícolas, y las maniobras petroleras.

Las fracciones de metales pesados "biodisponibles" en los sedimentos son aquellas que representan un alto riesgo para los organismos debido a que son formas lábiles o fácilmente intercambiables con la columna de agua y quedan a disposición de los mismos, pudiendo ser bioconcentrados o bioacumulados. En la Tabla 3 se observa que solamente el níquel biodisponible (Fracción I) registró niveles detectables aunque en concentraciones bajas; de las fases restantes, la II que contiene a los metales unidos con los carbonatos, obtuvo las concentraciones mayores para cobalto, cromo, cadmio y plomo mientras que la fase IV presentó una proporción mayor de cobre, níquel y zinc (Fig. 3). Este patrón manifestado por las diferentes fracciones analizadas, concuerda con el comportamiento de las concentraciones totales que dependen a su vez del tipo de sedimento de la zona, el contenido de la materia orgánica y las condiciones ambientales de la laguna.

Las relaciones lineales (Tabla 4) evidencian y confirman el comportamiento de los metales pesados en el sedimento. Existe afinidad entre los elementos cobre, níquel, cobalto, cromo y zinc así como entre plomo y cadmio. También se comprobó la dependencia del cobre, cobalto, cromo, zinc y níquel con la materia orgánica y entre el plomo y el cadmio con los niveles de carbonatos del sedimento. El contenido de arcilla, la cual es dominante en la zona Oeste del sistema, mostró también una relación directa con los cinco metales esenciales (Cu, Co, Ni, Zn y Cr) los cuales a su vez mostraron un comportamiento inverso con el gradiente de salinidad, lo que nos indica que aquellos lugares de descargas fluviales importantes como la zona de influencia del Río Palizada pueden ser fuentes de aporte de metales pesados a la cuenca central de la laguna (Páez-Osuna *et al.*, 1987). Esto se confirma porque en trabajos previos se ha estimado el aporte de material sus-

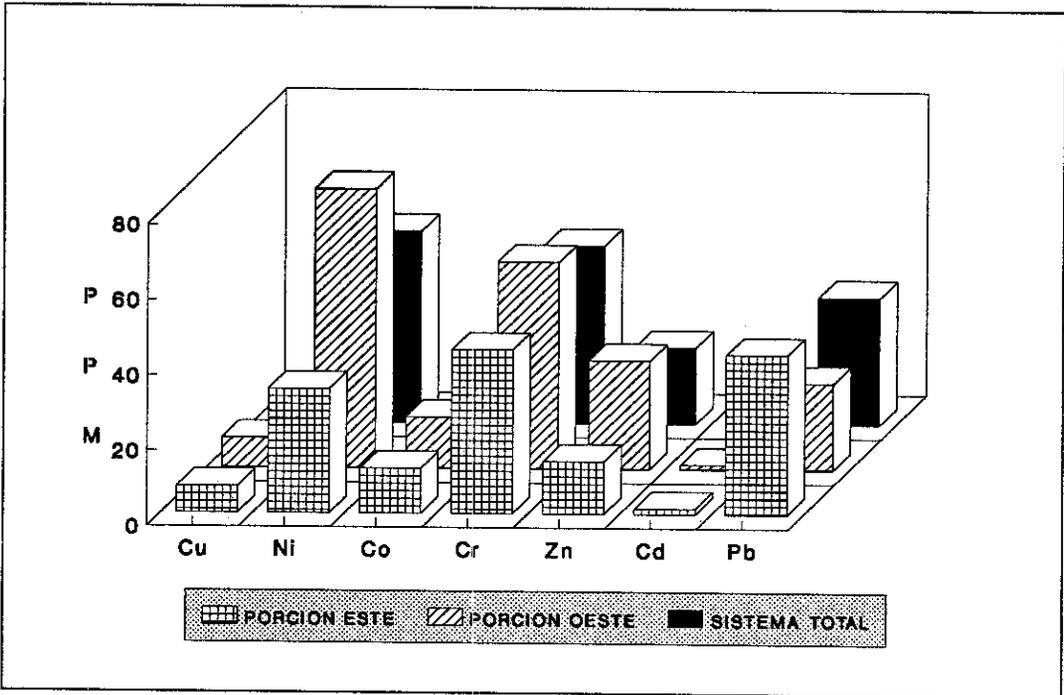


FIGURA 2. Niveles de metales pesados totales en sedimentos superficiales de la Laguna de Términos, Campeche (agosto, 1985) (valores promedio).

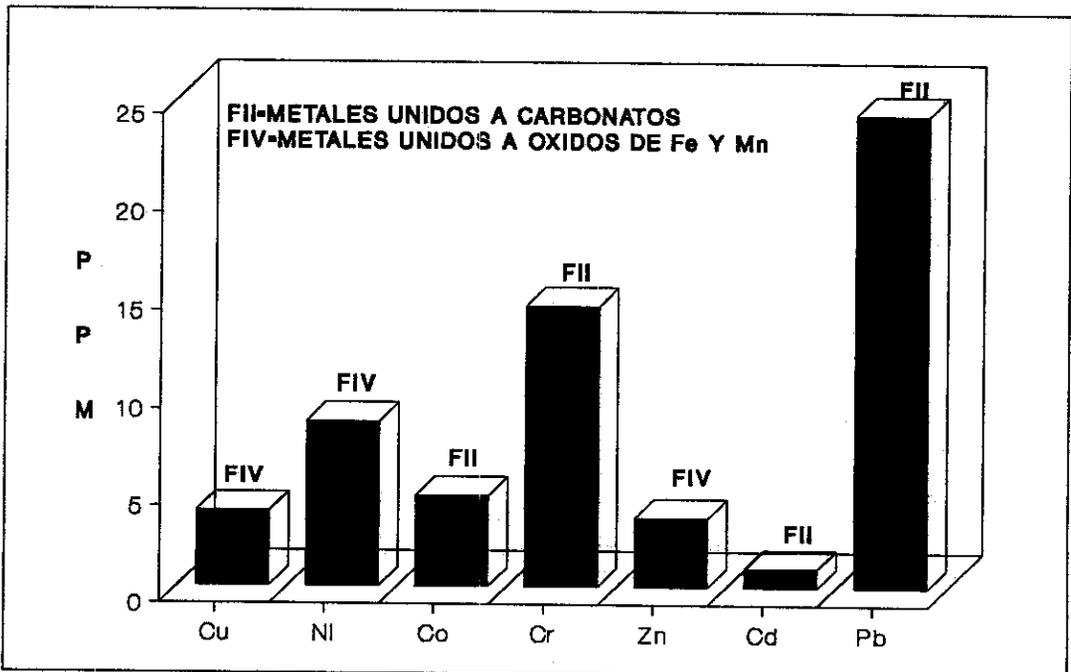


FIGURA 3. Niveles de metales biodisponibles en sedimentos superficiales de la Laguna de Términos, Campeche (agosto, 1985) (valores promedio).

TABLE 3. Valores promedio de metales pesados biodisponibles en sedimentos de la Laguna de Términos, Campeche. (agosto, 1985) (ppm/peso seco).

FRACCION SEDIMENTARIA DISPONIBLE	Cu	Ni	Co	Cr	Zn	Cd	Pb
I..FORMA INTERCAMBIABLE	N.D.	1.8	N.D.	N.D	N.D	N.D	N.D
II..METALES UNIDOS A CARBONATOS	1.6	6.8	4.7	14.4	2.0	1.0	24.2
III.METALES UNIDOS A MATERIA ORGANICA Y SULFURO	2.3	3.8	2.1	4.8	1.0	0.4	9.0
IV.METALES UNIDOS A OXIDOS DE Fe Y Mn	3.9	8.5	1.9	3.2	3.6	N.D	2.0

N.D.= No detectado.

pendido del Río Palizada hacia la laguna y es del 98.6% con respecto a los demás ríos que drenan en ella como son el Candelaria, las Cruces, las Piñas (Páez-Osuna *et al.*, 1987).

De los bivalvos analizados en las tres épocas climáticas de la región, se puede observar en la Tabla 5 que todos los elementos, excepto el plomo, registraron sus niveles máximos durante el periodo de lluvias ya que los ríos incrementan sus descargas y los bancos ostrícolas están ubicados justamente en su desembocadura (Fig. 1, 4 y 5). La concentración mayor de plomo se detectó en la época de "nortes" y probablemente en este hecho estén involucrados los mecanismos de circulación y transporte atmosférico así como la circulación costera de la zona y la de la propia laguna que es muy particular de esta época del año (Graham *et al.*, 1981).

También pueden contribuir a los niveles altos de metales pesados registrados durante las lluvias en los ostiones, características fisiológicas propias de la especie como es el estado de madurez ya que la época de desove se presenta en el mes de septiembre y este proceso requiere de un aumento previo en la tasa metabólica, lo cual da como resultado un incremento en la filtración del agua circundante y una captación mayor del material particulado suspendido para redundar en un aumento de peso y contenido lipídico y por tanto una mayor ingestión y acumulación de metales pesados en los tejidos (Cunningham, 1979).

Al comparar los datos del presente estudio con los reportados por diversos autores para localidades litorales del Golfo de México, puede apreciarse en el Cuadro 1 que los niveles de metales pesados en los sedimentos de Laguna de Términos son bajos, excepto para el cadmio y el plomo ocupando este último el primer lugar de todas las regiones que se comparan; es importante recordar que aproximadamente el 75% del plomo presente en el sedimento lagunar se encuentra unido a los carbonatos del mismo y existen reportes acerca de que en este estado químico, el plomo disminuye su potencialidad tóxica, así como el riesgo que pudiera representar para la biota costera. El contenido de cadmio es similar con zonas fuertemente alteradas como el Río Coatzacoalcos, Veracruz. Este incremento se comenzó a detectar desde 1983 donde, si bien no era muy clara la influencia antropogénica en la acumulación de metales pesados, ya se ponía de manifiesto la alteración de los niveles naturales de estos elementos debido principalmente al incremento notable de las actividades desarrolladas en las áreas de influencia de la Laguna (Botello y Villanueva, 1988).

Respecto a los organismos bivalvos se registraron los niveles de metales más altos para zinc, cromo y plomo, siendo el primero de ellos esencial para el metabolismo y los dos restantes se consideran potencialmente tóxicos representando un riesgo tanto para los organismos como para la salud humana. Es claramente notable

TABLA 4. Coeficientes de correlación lineal entre los metales pesados del sedimento lagunar y parametros sedimentológicos e hidrológicos.

	Cu	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Zn
Ni	0.78	1.00					
Co	0.89	0.88	1.00				
Cr	0.87	0.92	0.92	1.00			
Cd	-	-	-	-	0.74	1.00	
Zn	0.81	0.98	0.90	0.92	-	-	1.00
F II	-	-	-	-	0.62	0.72	-
FIII	-0.53	-	-	-	0.57	-	-
FIV	-0.49	0.87	0.71	0.79	-	-	0.80
M.O.	0.83	0.68	0.83	0.82	-	-	0.73
CO ₃	-	-0.45	-	-	0.72	0.81	-
%ARC	0.86	0.72	0.73	0.74	-	-	0.73
0/00	-0.77	-0.76	-0.70	-0.70	-	-	-0.85

el incremento de metales pesados que se ha registrado en organismos del sistema lagunar destinados al consumo humano ya que los "niveles base" registrados hace 10 años han sido rebasados aproximadamente en un 50% para aquellos metales potencialmente tóxicos como Pb y Cr (Botello y Villanueva, 1988) (Fig. 6).

Sin duda, la Laguna de Términos está recibiendo el impacto de las actividades humanas predominantes de la región y acumulando en sus sedimentos diversos contaminantes, entre ellos, metales pesados tóxicos como Pb y Cr, lo cual afecta directamente al recurso pesquero litoral más importante del sistema lagunar que es *Crassostrea virginica* haciendo de él un vehículo para trans-

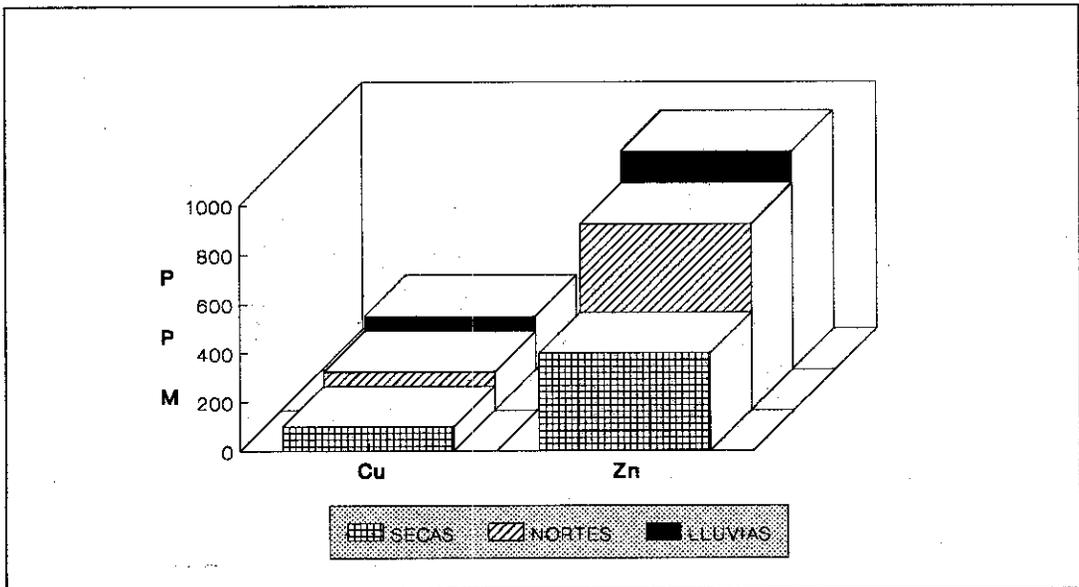


FIGURA 4. Contenido de metales pesados esenciales en el ostión *Crassostrea virginica* de la Laguna de Términos, Campeche (mayo, agosto, 1985, enero, 1986) (valores promedio).

TABLA 5. Presencia de metales pesados en *C. virginica* de la Laguna de Términos, Campeche (mayo, agosto, 1985, enero, 1986)(ppm/peso seco).

EPOCA DE COLECTA	Cu	Ni	Co	Cr	Zn	Cd	Pb
SECAS	98.8	11.6	3.8	1.2	399.0	2.7	2.4
LLUVIAS	217.6	14.2	6.1	9.6	883.4	5.5	4.3
NORTES	156.5	8.9	2.5	9.2	756.0	4.0	9.5

portar sustancias tóxicas hacia el hombre. Por tanto, el sistema lagunar debe permanecer bajo vigilancia constante de la presencia de contaminantes, a fin de evitar perturbaciones en su equilibrio ecológico lo que conllevaría a la alteración de los ciclos de vida de diversas especies de alto valor comercial, con las consecuentes pérdidas económicas para la población y sus riesgos asociados a la salud humana.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al Dr. Federico Páez Osuna investigador responsable del área de Geoquímica de la Estación Mazatlán del Instituto de Ciencias del Mar y Limno-

logía de la UNAM, por la valiosa asesoría técnica para la aplicación de las metodologías utilizadas en este trabajo.

REFERENCIAS

ALVAREZ, R.U. 1983. *Distribución de metales pesados en sedimentos del Río Blanco, Veracruz*. Tesis de Maestría. U-ACPyP-CCH. Maestría en Ciencias del Mar. UNAM. México. 68p.

BOTELLO, A.V. 1983. Variación estacional de compuestos organoclorados, desechos industriales y coliformes en los sistemas lagunares costeros del estado de Tabasco. *Informe Técnico. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. UNAM.

BOTELLO, A.V., y F. PAEZ-OSUNA. 1986. *El problema crucial: La Contaminación. Centro de Ecodesarrollo, Vol. I. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos*. 177pp.

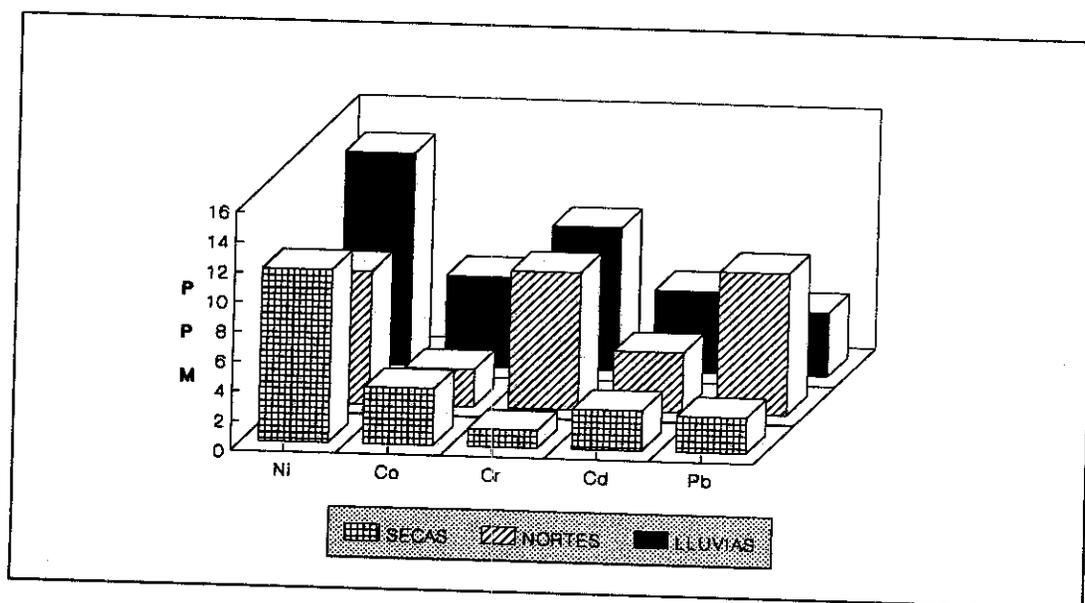


FIGURA 5. Contenido de metales pesados potencialmente tóxicos en el ostion *Crassostrea virginica* de la Laguna de Términos, Campeche (mayo, agosto, 1985, enero, 1986) (valores promedio).

CUADRO 1. Comparación de los niveles de metales pesados presentes en diferentes sistemas costeros del Golfo de México (valores promedio)(ppm/peso seco).

LOCALIDAD	Cu		Ni		Co		Cr		Zn		Cd		Pb	
	Sed.	Org.	Sed.	Org.	Sed.	Org.	Sed.	Org.	Sed.	Org.	Sed.	Org.	Sed.	Org.
L.Tampamachoco, Ver.(a)	-	-	-	-	-	-	9.6	0.9	-	-	0.1	2.1	3.9	1.9
L. Mandinga, Ver.(a)	-	-	-	-	-	-	7.4	2.2	-	-	0.02	1.5	3.3	3.0
R. Tonalá, Ver.(b)	22.2	-	98.4	-	25.4	-	-	-	66.5	-	-	-	-	-
R. Coatzacoalcos, Ver.(b)	24.7	-	34.7	-	21.6	-	67.0	-	85.5	-	1.6	-	43.0	-
L. Ostión, Ver.(b)	50.3	38.0	68.8	84.0	42.8	-	-	-	112.4	144.0	-	-	-	-
L. Del Carmen, Tab. (a)	-	-	-	-	-	-	30.5	4.6	-	-	0.3	7.1	6.5	3.0
L. Atasta, Camp.(a)	-	-	-	-	-	-	1.0	3.8	-	-	0.02	1.1	0.3	1.5
L. Términos, Camp.(c,d)	N.D.	172.0	45.5	7.0	-	6.0	-	4.0	40.0	643.1	-	5.7	-	1.8
L. Bojórquez, QR.(e)	36.3	-	87.3	-	N.D.	-	N.D.	-	57.2	-	N.D.	-	N.D.	-
L. Términos, Camp.(f)	7.4	157.7	50.9	11.5	12.3	4.2	47.2	6.7	20.4	679.4	1.4	3.7	33.9	5.8

a) Rosas et.ál., 1983; b)Villanueva, 1987; c)Botello, 1983; d) Hicks, 1976; e)De León y Peña, 1987; f) Este estudio. N.D.= No Detectado.

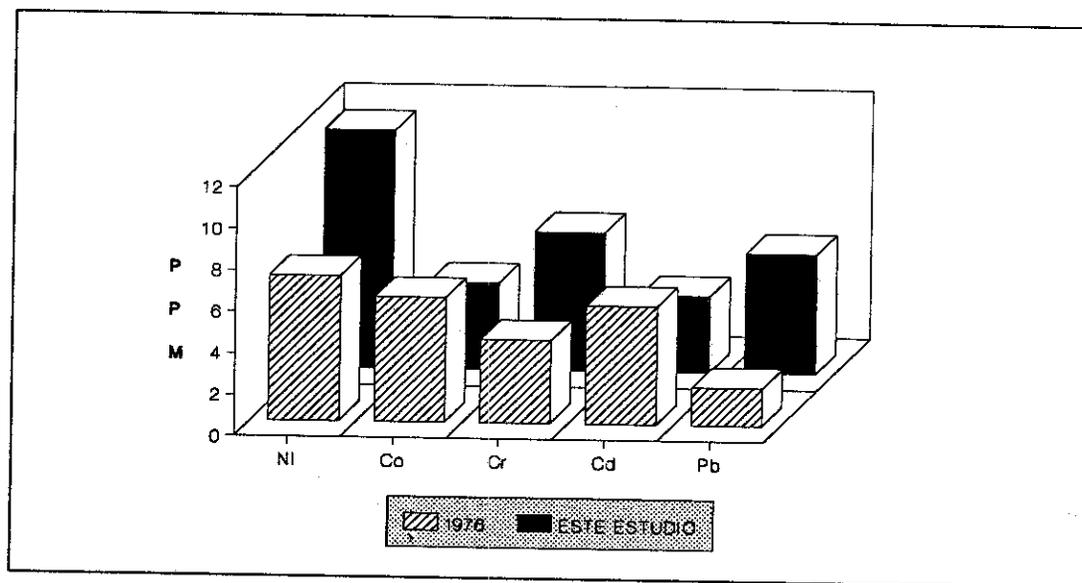


FIGURA 6. Comparación de los niveles de metales pesados en *Crassostrea virginica* de la Laguna de Términos, Campeche registrados en 1976 y en este estudio (valores promedio).

- BOTELLO, A.V., y S. VILLANUEVA. 1988. La contaminación y procesos geoquímicos en la Laguna de Términos, Campeche, México. (*Memoria Ecología de los ríos Usumacinta y Grijalva*). Instituto Nacional de Investigación sobre Recursos Bióticos-División Regional Tabasco 770pp.
- CUNNINGHAM, P.A. 1979. The use of bivalve molluscs in heavy metal pollution research. *Advances in Marine Biology*.
- DAY, J.W., y A. YAÑEZ-ARANCIBIA. 1982. Coastal lagoons and estuaries ecosystems approach. *Ciencia Interamericana* 22(1-2): 11-26.
- DE LEON 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 68p.
- FOLK, R.L. 1974. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Pub. Co. Austin 182p.
- FORSNER, U. y G.T., WITTMAN. 1979. *Metal pollution in the aquatic environment*. Springer Verlag Germany.
- GARCIA-CUBAS, A. 1981. Moluscos de un sistema lagunar tropical en el sur del Golfo de México (Laguna de Términos, Campeche). *Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nat. Autón. México Publ. Esp.* 5: 1-182.
- GAUDETTE, H.E., FLIGHT, W.R., TONER, L. y D.W., FOLGER. 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *J. Sediment. Petrol.* 44(1): 249-253.
- GOLDBERG, D.E., KOIDE, M., HODGE, V., RUSSEL, F.A., y J.H. MARTIN. 1983. U.S. Mussel Watch: 1977-1978. Results on trace metals and radionuclides. *Est. Coast. and shelf Sci.* 16: 69-93.
- GRAHAM, S.D., DANIELS, J.P., HILL, J.M., y J.W. DAY Jr. 1981. A preliminary model of the circulation of Laguna de Términos, Campeche, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nat. Autón. México.* 8(1): 51-62.
- HICKS, E.A. 1976. Variación estacional en la concentración de elementos metálicos en ostiones de la Laguna de Términos, Camp., México. *Tesis Profesional. Facultad de Química. UNAM. México.*
- MANCE, G. 1987. Pollution threat of heavy metals in aquatic environments. *Elsevier Applied Science Publishers LTD. New York.* 372pp.
- MEGUELLATI, N., ROBBE D., MARCHANDISE, P. y M. ASTRUC. 1983. A new chemical extraction procedure in the fraction of heavy metals in sediments interpretation. *International Conference "Heavy Metals in the Environment" the Heidelberg.*
- PAEZ-OSUNA, F., VALDEZ-LOZANO, D., ALEXANDER, H.M. y H. FERNANDEZ-PEREZ. 1987. Trace metals in the fluvial system of Terminos Lagoon, Mexico. *Mar. Poll. Bull.* 18(6): 294-297.
- PAEZ-OSUNA, F., IZAGUIRRE-FIERRO, G., GODOY-MEZA, R.I., GONZALEZ-FARIAS, F., y J.I. OSUNA-LOPEZ. 1988. Metales pesados en cuatro especies de organismos filtradores de la región costera de Mazatlán: Técnicas de extracción y niveles de concentración. *Contam. Ambient* 4: 33-41.
- PAEZ-OSUNA, F. y J.I. OSUNA-LOPEZ. 1990. Heavy metals distribution in geochemical fractions of surface sediments from the lower Gulf of California. *Anal. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nat. Autón. México* 17(2): 287-298.
- RILEY, J.P. y R. CHESTER. 1971. Introduction to Marine Chemistry. *Academic Press. London* 88-95.
- ROSAS, I., BAEZ, A. y R. BELMONT. 1983. Oyster (*Crassostrea virginica*) as indicator of heavy metal pollution in some lagoons of the Gulf of Mexico. *Wat. Air and Soil Poll.* 20:127-135.
- VILLANUEVA, F.S. 1987. Evaluación de metales pesados en los sedimentos y organismos del río Coatzacoalcos y áreas adyacentes, Ver., México. *Tesis Profesional. ENEP-ZÁRAGOZA, UNAM. México.* 82p.
- YAÑEZ-ARANCIBIA, A. y P. SANCHEZ-GIL. 1986. Los peces demersales de la plataforma continental del sur del Golfo de México. I. Caracterización ambiental, ecología y evaluación de las especies, poblaciones y comunidades. *Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nat. Autón. México. Publ. Esp.* 9: 1-230.

Recibido: Octubre, 1991

Aceptado: Noviembre, 1991