



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ZARAGOZA"

EVALUACION DE LAS CONCENTRACIONES DE
METALES PESADOS EN SEDIMENTOS DE LA
PLATAFORMA CONTINENTAL DE LOS ESTADOS
DE VERACRUZ Y TABASCO, MEXICO

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
B I O L O G O
P R E S E N T A :
L E T I C I A R I O S Q U I R O Z

MEXICO, D. F.

1993

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

1.	RESUMEN	1
2.	INTRODUCCION.....	2
3.	GENERALIDADES.....	5
	3.1 METALES ESENCIALES Y NO ESENCIALES.....	5
	3.2 FUENTES NATURALES.....	5
	3.3 COMPORTAMIENTO DE LOS METALES EN EL MAR	8
	3.4 PROCESOS QUE AFECTAN LA OCURRENCIA DE METALES.....	9
	3.5 COMPONENTES DE LOS SEDIMENTOS.....	11
4.	ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION.....	13
5.	OBJETIVOS.....	15
6.	DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	16
	6.1 UBICACION GEOGRAFICA.....	16
	6.2 TIPO DE SEDIMENTO.....	18
	6.3 HIDROLOGIA.....	19
	6.4 PARAMETROS OCEANOGRAFICOS DE LA REGION.....	22
7.	METODOLOGIA.....	23
8.	RESULTADOS Y DISCUSION	
8.	OGMEX-1.....	25
	8.1 MATERIA ORGANICA.....	25
	8.2 CARBONATOS.....	27
	8.3 METALES TOTALES	27
	8.4 METALES BIODISPONIBLES.....	32
9.	OGMEX-2.....	35
	9.1 MATERIA ORGANICA.....	35
	9.2 CARBONATOS.....	37
	9.3 METALES TOTALES.....	38
	9.4 METALES BIODISPONIBLES.....	41
10.	OGMEX-3.....	43
	10.1 MATERIA ORGANICA.....	45
	10.2 CARBONATOS.....	45
	10.3 METALES TOTALES.....	46
	10.4 METALES BIODISPONIBLES.....	52

11. OGMEX-4.....	56
11.1 MATERIA ORGANICA.....	56
11.2 CARBONATOS.....	56
11.3 METALES TOTALES.....	58
11.4 METALES BIODISPONIBLES.....	63
12. ANALISIS DE CORRELACION LINEAL.....	66
13. CONCENTRACIONES PROMEDIO.....	70
13.1 MATERIA ORGANICA.....	70
13.2 CARBONATOS.....	73
13.3 METALES TOTALES.....	73
13.4 METALES BIODISPONIBLES.....	79
13.5 COMPARACION CON OTROS ESTUDIOS.....	79
14. CONCLUSIONES.....	85
15. RECOMENDACIONES.....	87
16. REFERENCIAS.....	88

1. RESUMEN

El presente trabajo expone los resultados de la evaluación de las concentraciones de metales pesados (Ni, Co, Cr, Cu, Pb, Zn y Cd) totales y biodisponibles en los sedimentos de la plataforma continental de los estados de Veracruz y Tabasco, México. La colecta de sedimento se efectuó en 61 estaciones durante el transcurso de 4 cruceros oceanográficos: OGMEX-1 está integrado por 5 estaciones realizadas en marzo de 1987 (época de secas); OGMEX-2 este crucero colectó las muestras en 10 sitios en agosto de 1987 (época de lluvias); OGMEX-3 en diciembre de 1987 (temporada de nortes) recorrió 30 estaciones; y el OGMEX-4 cubrió 16 sitios de muestreo en la temporada de primavera (abril de 1988).

Para conocer las concentraciones de metales totales, los sedimentos fueron tratados siguiendo la técnica de Paez-Osuna (1990) por medio de una extracción ácida (HNO_3 conc.) en digestores cerrados de teflón. El método de Loring (1979) se utilizó para extraer la fracción biodisponible de los metales a través de una digestión abierta con CH_3COOH en recipientes de vidrio.

De acuerdo a las concentraciones detectadas por el espectrofotómetro de absorción atómica se encontró que la estación 119 registró los niveles más altos de los siete metales analizados siendo éstas: Zn (223.5 ppm), Cr (217 ppm), Pb (181.9 ppm), Ni (127.6 ppm), Cu (61.4 ppm), Co (45.4 ppm) y Cd (3.0 ppm). Mientras que la estación 05 (OGMEX-4) presentó la concentración biodisponibles de Pb mayor (17.8 ppm). En cuanto a las concentraciones promedio el OGMEX-1 registró los niveles más altos de los siete metales totales; y el OGMEX-4 los mayores de biodisponibles.

Las elevadas concentraciones de metales pesados presentes en la zona de estudio son causadas por los Ríos Coatzacoalcos y Tonalá que desembocan en el Golfo de México; que sin duda está relacionada con derrames y con la introducción continua de aguas residuales del Complejo Petroquímico establecido en la zona.

Los coeficientes de correlación obtenidos demuestran que existe una relación estrecha entre los metales totales; no así con la materia orgánica, sin embargo, para la interacción de carbonatos con metales biodisponibles solo se presenta la relación Cr- CO_3 con $r = 0.543$.

2. INTRODUCCION

El Golfo de México es una de las cuencas más grandes de los litorales del Océano Atlántico y está aislado del mar Caribe por un umbral con profundidad aproximada de 2,500 metros. Se extiende en una área total de 1,768,000 Km² con regiones muy profundas mayores a 3,400 metros. Junto con el mar Caribe, conforma una área dominada por procesos tropicales y subtropicales y constituye una región definida como el Mediterráneo Americano (Yáñez-Arancibia y Sánchez-Gil, 1986). Dentro de las principales características de la zona costera del Golfo de México, se destaca la presencia de ríos, lagunas costeras, ambientes estuarinos y zonas con vegetación costera.

Yáñez-Arancibia et al. (1986) han estimado una superficie total de estuarios y lagunas de 3,710 Km² para el litoral mexicano del Golfo, 4,510 Km² de vegetación de la zona costera en áreas predominantemente pantanosas, y la descarga de ríos en total de 146 x 10 m³/año.

Nuestro país cuenta con 10,000 Km de litorales y una plataforma continental de 500,000 Km en donde existe un potencial ictiológico extraordinario; siendo Veracruz uno de los estados que contienen mayores especies comerciales (almeja, camarón, robalo, tiburón, trucha, entre otros) (Secretaría de Marina, 1985).

Con una exportación del 80 al 90% de su producción, México forma parte de los diez principales países productores de camarón en el mundo, destinado el producto a los mercados nacionales, de E.U. y Japón principalmente (Acuacultura, 8 (1987)).

El estado de Veracruz cuenta con excelentes condiciones naturales para el desarrollo de la actividad pesquera, tanto en alta mar, como en aguas salobres y dulces (Secretaría de Marina, 1982). Sin embargo, esta zona rica en recursos pesqueros está siendo fuertemente afectada por la contaminación industrial.

Aunque la influencia del hombre sobre la biosfera data del período neolítico, el problema del deterioro de los ecosistemas por la contaminación ha aumentado a un ritmo acelerado durante los dos últimos decenios (McIntyre, 1980).

La contaminación ambiental, especialmente la debida a productos químicos, es uno de los factores más potentes de destrucción de los componentes de la biosfera. De todos los contami-

nantes químicos. se considera que el dióxido de azufre (SO_2), los complejos oxidantes (O_3 , NO_2 y peroxiacetilnitratos - PAN), los hidrocarburos y los metales traza son los más importantes desde el punto de vista ecológico, biológico y sanitario.

En los últimos tiempos se reconoce la importancia de los oligoelementos inorgánicos; en la materia viva existen varios de estos elementos en concentraciones inferiores al 0.1%; algunos de ellos, sobre todo (aluminio, boro, cobre, cobalto, cromo, yodo, manganeso, molibdeno, níquel, vanadio, zinc) son esenciales para el crecimiento, el desarrollo y la salud de los organismos vegetales y animales (Kabata-Pendias y Pendias, 1982).

Los metales son constituyentes naturales de las rocas, suelos, sedimentos y agua. Sin embargo, han ocurrido cambios enormes en la valoración global de sustancias químicas críticas después de la revolución industrial (aproximadamente desde hace 200 años), desafiando a aquéllos sistemas reguladores, los cuales tomarán millones de años para evolucionar (Wood & Wang, 1983).

Existen tres tipos de fuentes de emisión antropogénica de metales al medio ambiente. El más evidente es el proceso de extracción y purificación: minería, fundición y refinación. El segundo menos conocido, es la emisión de metales al quemarse combustibles fósiles como el carbón y el petróleo. Tales combustibles contienen cadmio, plomo, mercurio, níquel, vanadio, cromo y cobre; y grandes cantidades de estos metales se incorporan al aire o se depositan en cenizas. La tercera fuente, la más diversa, es la producción y la utilización de productos industriales que contienen metales, que aumentan al descubrirse constantemente nuevas aplicaciones. Por ejemplo, en la industria química moderna así como en la producción de plásticos se utilizan metales o compuestos metálicos como catalizadores. También se añaden metales a los lubricantes, y a partir de ellos pasan al ambiente (Vega, 1981).

Hay conexiones típicas de acumulación de metales pesados en sedimentos para fuentes locales específicas tales como descargas de fundidoras de Cu, Pb y Ni; industrias basadas en metales (p.ej., Zn, Cr, Cd de galvanoplastia); así como también plantas manufactureras químicas (Baudo, 1990).

El análisis de metales pesados en el sedimento de un sistema acuático junto con la materia orgánica, los carbonatos, las arcillas, las estructuras minerales, etc., permiten evaluar el potencial tóxico que existe en un ambiente determinado ya que, una parte del contenido total de los metales pesados reside en la estructura mineral del sedimento siendo considera-

da de difícil acceso para los organismos (Alvarez, 1983); y la otra forma es la biodisponible que se incorpora a los sedimentos ya sea por medio de la precipitación, la floculación o la adsorción (Loring, 1979). Además, el sedimento puede comportarse como un almacén de la mayor parte del material que se encuentra en la columna de agua teniendo en el un registro espacio-temporal de lo que sucede en el sistema (Ponce, 1988).

3. GENERALIDADES

La característica que distingue a los metales pesados es el valor de su densidad, el cual es mayor de 5.0 g/cm^3 (Forstner, 1979).

3.1 METALES ESENCIALES Y NO ESENCIALES

Por lo menos 11 metales son esenciales para la vida de los organismos como Fe, Cu, Zn, Co, Mn, Cr, Mo, V, Se, Ni y Sn (Johnston, 1976; Lehninger, 1983; Clark, 1986) los cuales participan en actividades metabólicas como por ejemplo:

- (a) El pigmento respiratorio hemoglobina que se encuentra en vertebrados y en muchos invertebrados contiene Fe;
- (b) El pigmento respiratorio hemocianina de muchos moluscos y grandes crustáceos, contiene Cu;
- (c) El pigmento respiratorio de tunicados contiene V;
- (d) Muchas enzimas contienen Zn;
- (e) Las enzimas de la vitamina B_{12} contiene Co.

Si bien en las concentraciones apropiadas algunos metales pesados son esenciales para actividades enzimáticas, ellos también forman un grupo importante de enzimas inhibidoras cuando las concentraciones naturales son excedidas. Metales como Ag, Hg, Cu, Cd y Pb son particularmente tóxicos y usualmente inhiben enzimas por formación de mercaptanos con los grupos sulfhídrico los cuales son responsables de la actividad catalítica. Consecuentemente, la mayoría de los metales pesados, esenciales o no, son potencialmente tóxicos para la vida de los organismos (Johnston, 1976; Baudo, 1990).

3.2 FUENTES NATURALES

Los procesos por los cuales los metales son suministrados al agua de mar bajo condiciones naturales han sido renovadas por Turekian (1971) y pueden ser colocadas en tres categorías:

- (a) Suministro costero, el cual incluye la entrada desde ríos y la erosión producida por acción del oleaje y glaciares;

(b) Suministro en mar profundo, al cual incluye metales liberados por vulcanismo en mar profundo y aquellos liberados de partículas ó sedimentos por procesos químicos;

(c) Suministro que pasa cerca del ambiente de las riberas, e incluye metales transportados en la atmósfera como restos de partículas (cenizas) ó como vapor en el caso del Hg; y también material que es producido por erosión glaciaria en regiones polares y es transportado por los hielos flotantes (Jhonston, 1976).

3.2.a APORTE POR RIOS

Bajo condiciones naturales, los ríos parecen ser las fuentes más importantes de metales pesados hacia el mar. La composición del agua de río incluye los productos del desgaste mecánico y químico de las rocas, ya sea en solución o particuladas, y componentes los cuales son lavados desde la atmósfera en lluvias y pueden originalmente haber estado contenidos en partículas saladas y de origen marino o cenizas de la tierra (Jhonston, 1976; Sims y Presley, 1976).

3.2.b APORTE EN MAR PROFUNDO

La intensa sedimentación en estuarios atrapa una gran cantidad de metales los cuales llegan a ser adsorbidos por partículas del sedimento y acarreados al fondo. Los sedimentos en estuarios industrializados con mayor apertura contienen el legado de un siglo o más de desperdicios descargados. El dragado regular de canales en tales áreas produce grandes cantidades de sedimento residual el cual está altamente contaminado con metales pesados y usualmente es arrojado al mar - (Petr, 1977; Clark, 1986).

Por otro lado, la adición de sedimento resuspendido a la columna de agua tal vez sirve a organismos que se alimentan de desperdicios y concentran metales ya disueltos en el agua (Figura 1) (Sims y Presley, 1976).

3.2.c FUENTES ATMOSFERICAS

Una tercera entrada mayor de metales al mar es la aportada por la atmósfera. Hay grandes entradas naturales de algunos metales tales como el aluminio en cenizas derivadas de rocas y pizarras, el mercurio de actividades volcánicas y la neutralización del campo magnético de la corteza terrestre, pero para algunos metales, las entradas a la atmósfera como un resultado de las actividad humana son considerables, algunas

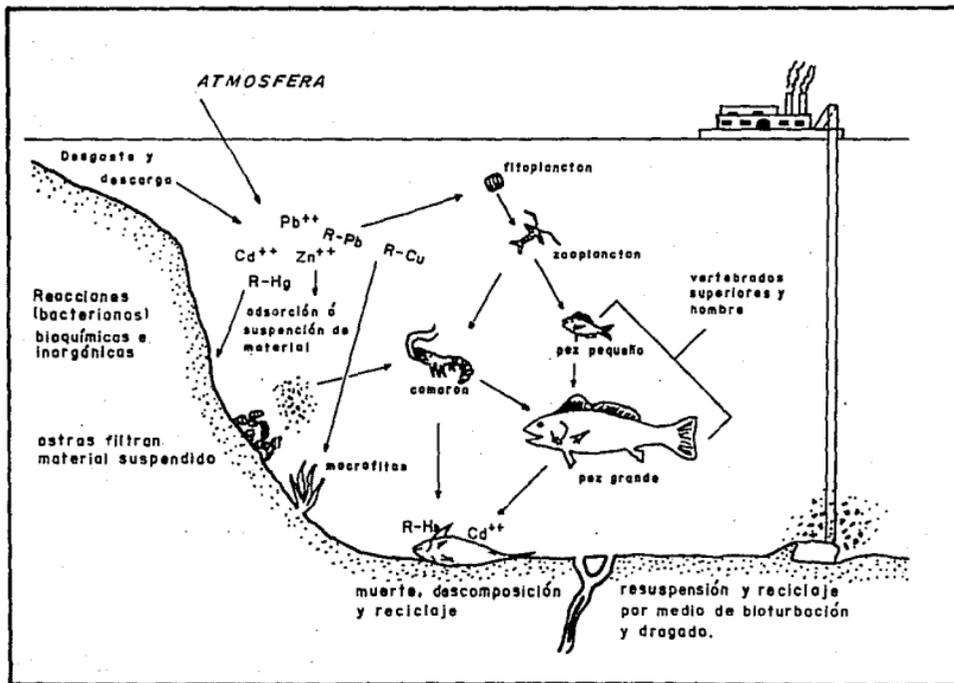


FIGURA 1. Posibles rutas e interacciones de los metales pesados en el océano.
Sims y Presley (1976).

veces mayores que los aportes naturales, como es el caso del plomo, globalmente entran 450,000 Tn/año como resultado de actividades humanas y para entradas naturales 25,000 Tn/año (Ross, 1984; López, 1985; Clark, 1986).

Las interacciones aire-mar no son procesos de un sólo camino: las burbujas estallan en la superficie del mar y liberan partículas saladas del mar, a la atmósfera y hay evidencia de que estas partículas llegan a ser enriquecidas con otros contaminantes durante su formación. Por esto, el mar puede considerarse como una fuente de contaminantes hacia la atmósfera así como también un vertedero para los contaminantes atmosféricos (Shepard, 1967; Forstner, 1979; Salomons and Forstner, 1984; Clark, 1986; Baudo, 1990).

3.3 COMPORTAMIENTO DE LOS METALES EN EL MAR

Lo que sucede cuando los metales son introducidos dentro del mar, ya sea naturalmente o como contaminantes, depende de los factores que controlan las concentraciones en el mar. Además de efectos de disolución y dispersión, por lo menos tres procesos pueden reducir la concentración de metales en el agua de mar (Gibbs, 1975; Bryan, 1976; Bonnatti, 1978; Skei and Paus, 1979) y estos son:

3.3.a Precipitación

Si la concentración de metales es más alta que la solubilidad del compuesto menos soluble que puede ser formado entre el metal y los aniones en el agua tales como carbonatos, hidróxidos o cloruros, entonces la precipitación ocurrirá. En la presencia de H_2S , los metales como Zn, Cu, Cd, Pb, Hg y Hg, teniendo sulfuros muy insolubles, tienden a ser precipitados quedando pequeñas cantidades en solución.

3.3.b. Adsorción.

Los metales pueden ser removidos del agua de mar por adsorción en las superficies de partículas tales como óxidos férricos hidratados, dióxido de manganeso hidratado, minerales arcillosos y organismos fitoplanctónicos. De los óxidos hidratados, el óxido férrico es usualmente el más importante en regiones costeras que el dióxido de manganeso ya que éste es más abundante y más fácilmente precipitable (Gardner, 1974).

3.3.c. Absorción y redistribución por organismos.

La remoción y depositación de metales del agua de mar son en ocasiones promovidos por procesos biológicos, (Bryan, 1976). Ha sido calculado por Lowman (1971) que la distribución vertical de los metales en el agua de mar puede ser afectada por acción biológica principalmente en áreas cercanas a la tierra donde los nutrientes de alta productividad biológica están disponibles desde el fluir del océano o desde que derraman a la tierra. Aunque muchas especies zooplanctónicas migran diurnamente y pueden transportar metales, Lowman et al. - (1971) concluyen que generalmente más del 90% del transporte vertical de metales pesados ocurre en la forma de gránulos fecales, mudas (caparazones, exoesqueletos) de crustáceos, de plantas y animales muertos.

3.4 PROCESOS QUE AFECTAN LA OCURRENCIA DE METALES

Los procesos que afectan a los metales traza en los océanos pueden ser esquematizados con modelos de casillas (Figura 2) (Broecker, 1974; Lerman, 1979):

1. Estrato superficial mezclado.

Este estrato recibe metales traza desde varias fuentes:

- la entrada de la ribera,
- la entrada atmosférica y
- la entrada de aguas que fluyen hacia arriba.

Los efluentes de arriba representan fuentes mayores ya que tienen concentraciones altas comparadas con las aguas profundas. En el estrato superficial toman lugar procesos biológicos de los cuales resulta la formación de materia particulada. Los metales traza son incorporados a la materia particulada y/o son adsorbidos sobre ella.

2. Estrato profundo

Este estrato está sujeto a cambios continuos a través de la materia particulada, causando adsorción de algunos metales traza en él. Por otro lado, parte de la materia particulada biogénica en descomposición libera metales traza.

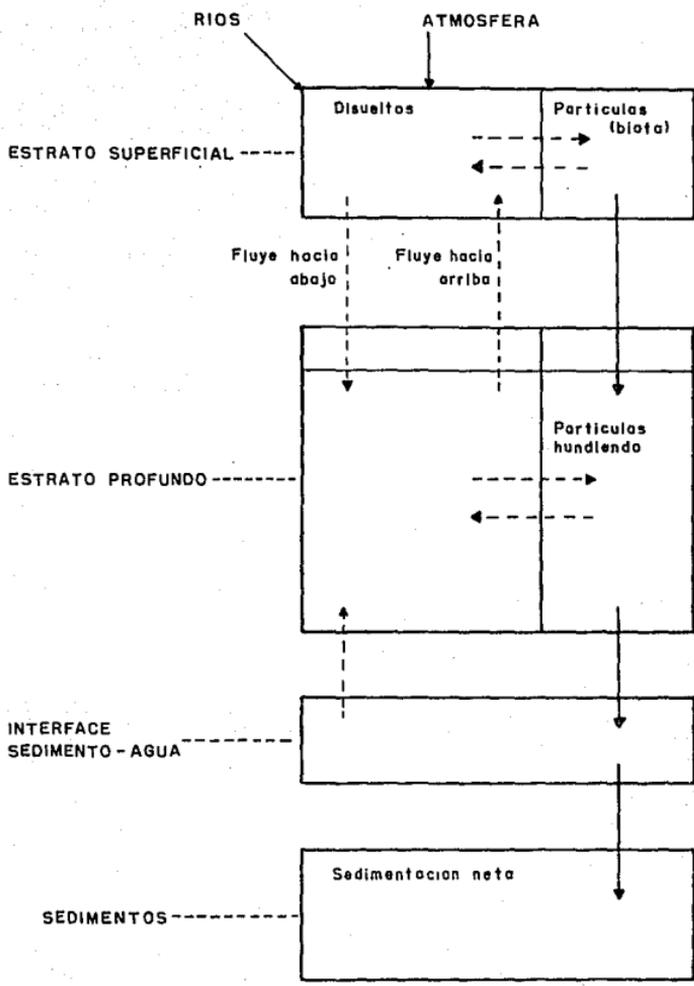


FIGURA 2. Modelo del Océano (Lerman, 1979).

3. La interfase sedimento-agua

En la interfase sedimento-agua los procesos de degradación toman lugar de lo cual posiblemente resulta la liberación de metales traza. En adición, la difusión de metales traza en el poro del sedimento de aguas del océano (aumentado por la bioturbación y consolidación) provee el cubrimiento de las aguas superficiales con algo de metales traza. Con la ocurrencia de estratos nefeloides, la región de la materia suspendida se incrementa cerca del suelo marino, y provee extensas áreas superficiales por adsorción y puede promover la remoción de metales traza.

4. El sedimento oceánico

Los sedimentos oceánicos son el último vertedero de los metales en el ciclo hidrológico. En los sedimentos se presentan transformaciones de la fase sólida lo cual afecta el modo de ocurrencia de los metales traza en ellos (Forstner, 1979).

3.5 COMPONENTES DE LOS SEDIMENTOS

Goldberg (1954); Tessier et al. (1980); Meguellatti et al. (1983); Pérez-Osuna (1990); entre otros, ordenaron los componentes de los sedimentos dentro de categorías dependiendo de la fuente original del material y de la vía en la cual el metal es distribuido; entre estos componentes característicos que influyen seguramente en su disponibilidad para organismos o para el medio ambiente están:

3.5.1 COMPONENTES HIDROGENADOS

Partículas tales como las Fe_2O_3 hidratado las cuales son formadas en el agua por procesos inorgánicos están incluidas en los componentes hidrogenados del sedimento e igualmente también son adsorbidos los metales. De esta fracción, los metales adsorbidos parecen destinados a ser disponibles, pero los metales precipitados pueden redisolverse del sedimento en el agua intersticial.

3.5.2 COMPONENTES BIOGENICOS

La tercera fracción importante es el componente biogénico el cual incluye partículas inorgánicas tales como carbonato de calcio de origen biológico y material orgánico. Este incluye

el complejo metal-orgánico y quelatos de organismos muertos y éstos pueden considerarse disponibles para la alimentación de animales en la materia orgánica en sedimentos suspendidos o depositados.

3.5.3 COMPONENTES LITOGÉNICOS

El componente litogénico resulta principalmente de la erosión de la tierra y es usualmente acarreado al agua por los ríos; éstas partículas, las cuales son tal vez de cuarzo o mineral arcilloso, permanecen largamente sin cambiar y los metales sostenidos en su estructura enrejada no son fácilmente removidos.

4. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION

Recientemente se ha estado manifestando que las fuentes energéticas y alimenticias del futuro se encuentran en los océanos (Secretaría de Marina, 1962).

Muchas de las zonas correspondientes a la plataforma continental revisten una especial importancia económica, porque en ellas se encuentran los mayores y mejores caladeros de pesca. Más del 80% de las capturas mundiales se obtienen en estas zonas y en la actualidad la plataforma continental está siendo explotada para obtener petróleo y gas natural (Tait, - 1987).

A pesar de lo anterior, la contaminación de éstos se ha ido incrementando con el avance tecnológico y la explosión demográfica. Debido al deterioro del que han sido objeto estos ambientes acuáticos, desde hace varios años se han realizado estimaciones de las concentraciones naturales y de los aportes antropogénicos de los metales pesados con el objeto de evaluar el nivel en que se encuentra afectada una zona, haciéndose necesario evaluar tanto la columna de agua, el sedimento, así como también los organismos. Entre estos se encuentran los trabajos de: -- Cauwet (1987) investigó la distribución de los metales traza en sedimentos marinos. -- Goldberg (1987) efectuó análisis de metales pesados en ambientes marinos tanto en agua como en sedimentos. -- Gil et al. (1989), evaluarón el contenido de metales en Seston del Golfo de San José, Patagonia, Argentina. -- Hellou, Warren, Payne y Lobel (1992), determinaron las concentraciones de metales pesados en tejido de bacalao, *Gadus morhua* del Atlántico Norte.

Al mismo tiempo se han realizado trabajos con el mismo objetivo en algunos ríos, lagunas costeras y estuarios del Golfo de México, como por ejemplo los efectuados para cuantificar las descargas de efluentes contaminantes en el río Coatzacoalcos (Ochoa et al. 1972; Ibarra et al. 1973) y para estimar el impacto ambiental y el efecto sobre organismos acuáticos (Botello et al. 1976; Alvarez et al. 1986; Botello y Páez-Osuna, 1986; Villanueva, 1987; Ponce, 1988; entre otros).

La plataforma continental de los estados de Veracruz y Tabasco ha sido una zona poco estudiada en el aspecto de contaminación; hasta el momento solo se cuenta con estudios a nivel costero, entre los que destaca el trabajo sobre la evaluación de los niveles de contaminación en los Ríos Coatzacoalcos y Tonalá (Villanueva, 1987), ya que estos ríos descargan en di-

cha plataforma, apoyando el movimiento portuario que genera el desarrollo petrolero y petroquímico nacional (Férez-Capata, 1963).

Considerando que los estados de Veracruz y Tabasco son primordiales por el comercio marítimo que se desarrollaba en ellos, así como por el Complejo Industrial presente en esa zona que al mismo tiempo provoca alteraciones en los ríos antes mencionados por los abundantes drenes de industrias, así como por las descargas de los Complejos Petroquímicos de Parícutos, Congrejera, Nanchital, además de 140 industrias más como TENSA y FERTIMEX; cuyo conjunto se considera el más grande de Latinoamérica y los escasos conocimientos que se tienen sobre la contaminación de la plataforma continental de estos estados, se hizo patente la necesidad de realizar una evaluación del grado de contaminación existente en dicha zona causada por las diversas industrias que descargan sus aguas residuales en esta localidad, provocando graves deterioros sobre la columna de agua y los sedimentos.

5. OBJETIVOS

- i. Determinar las concentraciones de metales pesados (Cd, Cr, Co, Cu, Ni, Pb y Zn) totales y biodisponibles en los sedimentos de la plataforma continental de Veracruz y Tabasco, para evaluar el impacto ambiental provocado por la contaminación industrial.
 - a) Analizar los efectos de los patrones de circulación en el Golfo de México sobre la distribución de los metales pesados en la zona de estudio.
 - b) Establecer las zonas de mayor impacto, provocadas por la presencia de niveles altos de metales pesados potencialmente tóxicos.
 - c) Evaluar el comportamiento seguido por los niveles de metales pesados en estudio como efecto de la distribución de los sedimentos en diferentes épocas del año.

6. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

6.1 UBICACION GEOGRAFICA

La zona de estudio corresponde a la plataforma continental de los estados de Veracruz y Tabasco, México. Entre los meridianos $94^{\circ}35'$ y $93^{\circ}55'$ de longitud oeste y los paralelos $18^{\circ}10'$ y $18^{\circ}40'$ latitud norte, (20 Km hacia el norte de Coatzacoalcos y 10 Km hacia el oeste de la laguna del Carmen en Tabasco) (Figura 3). Cuya plataforma continental está rodeada por el corredor industrial en el que están en operación varias redes o complejos como son: red de gasoductos, de poliductos, de ductos petroquímicos, de oleoductos, entre otros (PEMEX, 1991). Esta descripción contempla el área total de la zona de evaluación que consta de 61 sitios de colecta las cuales fueron realizadas en cuatro muestreos, siendo estos:

1). El primer muestreo fue efectuado a finales de invierno (marzo, 1987), correspondiendo a la época de estiaje; se establecieron 5 sitios de colecta de sedimento reciente las cuales se localizan entre el paralelo $18^{\circ}37.5'$ y $18^{\circ}42.3'$ y entre las longitudes $94^{\circ}05.3'$ y $94^{\circ}18.3'$, estos muestreos se realizaron durante el transcurso del crucero oceanográfico OGNEX-1.

2). Durante la época de lluvias (agosto de 1987) se efectuaron 10 estaciones que se ubican en la zona delimitada entre la latitud $18^{\circ}14.6'$ longitud $94^{\circ}29.0'$ y latitud $18^{\circ}44.1'$ longitud $93^{\circ}51.9'$, las cuales pertenecen al OGNEX-2.

3). Los muestreos de este crucero OGNEX-3 se realizaron en la temporada de nortes (diciembre de 1987); las 30 estaciones comprenden la porción centro y este de la zona de estudio, las más cercanas a la costa (con profundidades desde 24.8 m) están ubicadas desde la latitud $18^{\circ}19.1'$ longitud $93^{\circ}55.1'$, las del centro a una longitud de $94^{\circ}19.9'$ y hacia el este hasta la longitud de $93^{\circ}50.0'$.

4). Este crucero OGNEX-4 contempló 16 sitios de muestreo que se establecieron en abril de 1988, se localizan en la porción oeste del área de estudio frente a la desembocadura del Río Coatzacoalcos desde una longitud de $94^{\circ}24.7'$ hasta $94^{\circ}35.1'$.

El estado de Veracruz se encuentra situado en la parte media oriental de la República Mexicana; en general, abarca el pla-

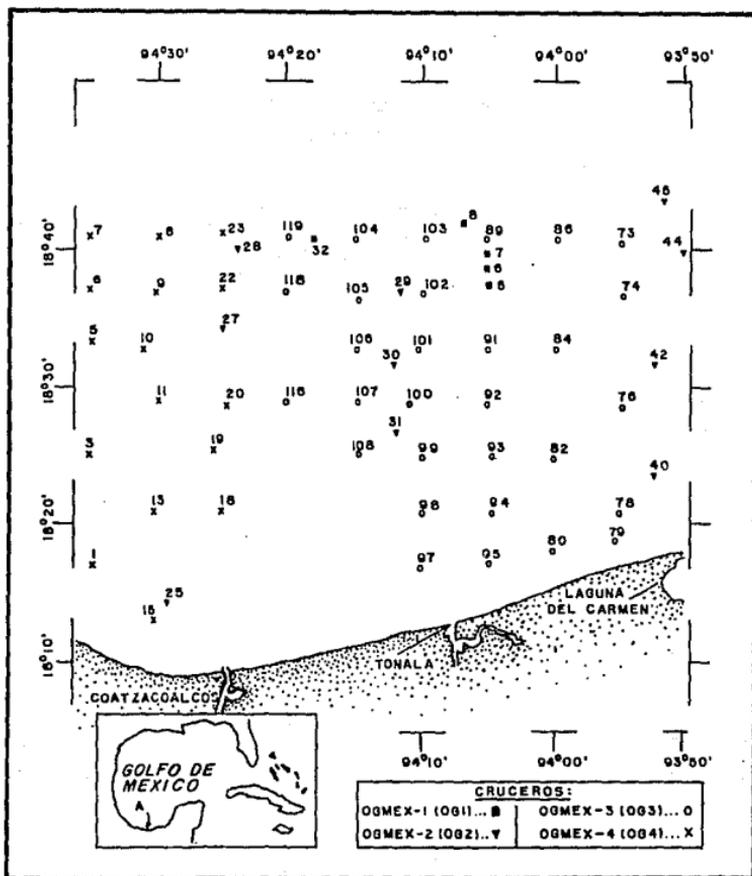


FIGURA 3. GOLFO DE MEXICO. PLATAFORMA CONTINENTAL DE LOS ESTADOS VERACRUZ Y TABASCO. UBICACION DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO PARA CUATRO CRUCEROS: OGMEX-1, MARZO 1987; OGMEX-2, AGOSTO 1987; OGMEX-3, DICIEMBRE 1987 Y OGMEX-4, ABRIL 1988.

no inclinado entre la Sierra Madre Oriental y el Golfo de México, aunque en algunas regiones se extiende hacia el Oeste de la Sierra Madre y ocupa parte de la altiplanicie. Está comprendido entre los paralelos 17°17' y 22°28' de latitud norte, y entre los meridianos 93°35' y 98°40' de longitud oeste, dentro de la zona intertropical.

Su extensión es de 71.954 Km², incluyendo las islas; y la superficie de la plataforma continental mide 21,055 Km², delimitada por la isobata de 200 metros. Su longitud media es de 780 Km y su anchura varía entre 212 (Isla de Lobos-Tlachichilco) y 36 (Nautla-Martínez de la Torre). Limita al norte con el estado de Tamaulipas (ríos Tantoán, Tamesí y Pánuco); al oeste con San Luis Potosí, Hidalgo y Puebla; al suroeste y sur con Oaxaca; al sureste con Chiapas y Tabasco (río Tonalá); y al oriente, noroeste con el Golfo de México, desde la Barra de Tampico hasta la de Tonalá. Su litoral mide 660 Km.

La Bahía de Campeche comprende desde Cabo Rojo al N del Puerto de Veracruz, hasta la punta NW de la Península de Yucatán, por lo que también baña las costas de Tabasco y Veracruz.

Es importante mencionar también la presencia de varios grupos de arrecifes que se encuentran en este estado como son: arrecife Santiaguillo, arrecife anegada de afuera, arrecife del cabeza, arrecife del rizo, arrecife Choapas, arrecife la blanca, bajo blake, bajo de Tuxpan, y arrecife del medio, entre otros (Secretaría de Marina, 1980).

Las costas de esta parte del Golfo se clasifican dentro de la Tercera Unidad (Carranza et al. 1975). Esta unidad se localiza entre Coatzacoalcos, Veracruz y la región oriental de la laguna de Términos, Campeche. Tectónicamente es una costa de mar marginal y genéticamente son costas primarias de deposición subaérea principalmente por la depositación de ríos y presencia de deltas.

6.2 TIPO DE SEDIMENTO

De acuerdo al tipo de sedimento, distribución y transporte que constituye el piso del Golfo de México, Bouma (1972); Lacuanda y Ramos (1985) dividieron la cuenca del Golfo en siete provincias. El área de estudio queda incluida dentro de la QUINTA PROVINCIA. Esta provincia es una de las más pequeñas, cerca de la costa se encuentran dos áreas, una a cada lado de la desembocadura del río Grijalva, formadas por arenas limosas terrígenas. Subsecuentes a éstas, sobre la plataforma

continental de Tabasco, se presenta una zona de sedimentos formada por arenas gruesas terrigenas. Junto a estos sedimentos gruesos y sobre el talud continental se extiende hacia mar profundo, una zona de sedimentos lodosos.

6.3 HIDROLOGIA

El área de estudio recibe la descarga de dos ríos importantes que son el Coatzacoalcos y el Tonalá, entre otros.

-- RIO COATZACOALCOS: Nace en el estado de Oaxaca, en la Sierra atravesada a más de 2,000 metros de altura, cruza el estado de Veracruz hasta desembocar en el Golfo de México, con un recorrido total de 228 Km; desagua una superficie de 21,091 Km² que incluye a todos sus afluentes (SARH, 1975). Casi en la desembocadura de este río, en la ribera derecha se localiza la Laguna de Pajaritos en cuyas márgenes se encuentra asentado el Complejo Petroquímico del mismo nombre (Figura 11.a).

El estuario del Río Coatzacoalcos nace en un área cubierta por selva de montaña, con alta precipitación media anual de alrededor de 2,700 m al año en temporal irregular con vientos dominantes del norte, con una temporada seca de febrero a mayo (SARH, 1974). El clima se considera tropical con lluvias todo el año, pero más intensa en verano. Los últimos kilómetros de su curso han sufrido una profunda modificación ecológica, provocadas por el gran desarrollo industrial y al mismo tiempo el incremento urbano.

-- RIO TONALA: Esta corriente nace en los límites de los estados de Veracruz, Tabasco y Chiapas, en la Sierra Madre de Chiapas a unos 100 metros de altitud. En el recorrido de su corriente principal rumbo a su desembocadura en el Golfo de México, atraviesa las más antigua e importante zona petrolera del sureste de México y sirve como división política natural entre los estados de Tabasco y Veracruz. El cauce principal sigue una dirección general NW de modo que hacia la margen izquierda el área drenada total (2344 Km²) pertenece al estado de Veracruz. Hacia la margen derecha el área es de 3335 Km² (Figura 11.b) (SARH, 1974).

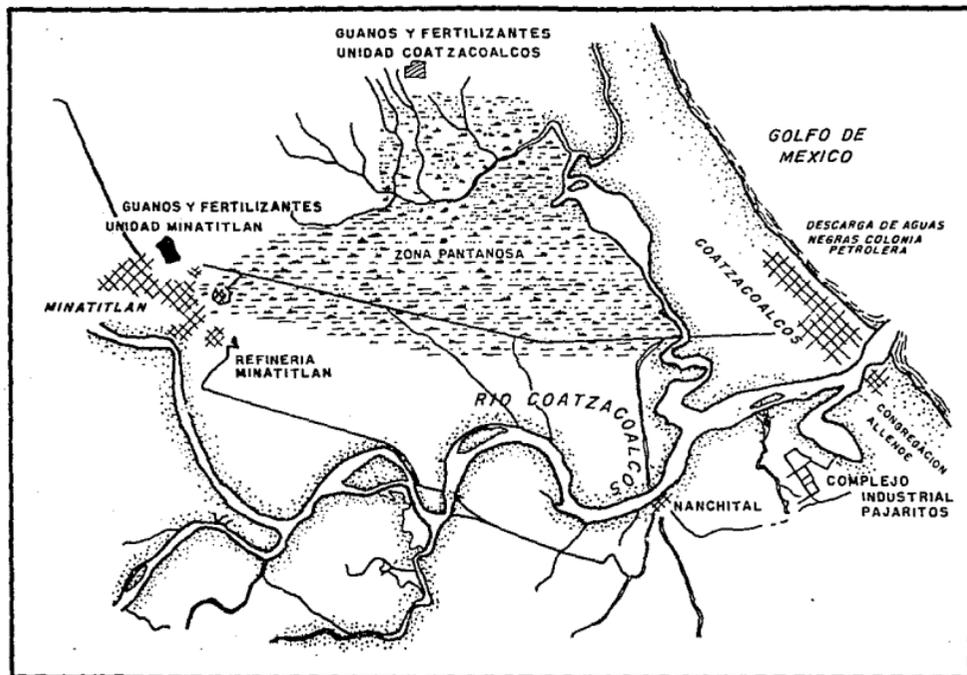


FIGURA II.a RIO COATZACOALCOS. UBICACION DE LA INDUSTRIA PETROQUIMICA.

6.4 PARAMETROS OCEANOGRAFICOS DE LA REGION

Dentro de este grupo de parámetros únicamente se describen los de interés para el presente estudio:

A). VIENTOS. El Golfo de México y el Mar Caribe presentan una circulación de vientos formados por masas de aire polar que se desplazan hacia el Sur a través de E.U., con vientos de dirección boreal, cuya intensidad alcanza frecuentemente rachas fuertes, violentas o huracanadas. Los vientos por lo general soplan de noviembre a marzo, época en la cual quedan incluidos los Cruceros 1 y 3, los de carácter severo ocurren de diciembre a febrero, pero ocasionalmente pueden presentarse después (Ponce, 1991).

B). MAREAS. La presencia de mareas mixtas y semidiurnas en algunas localidades del Golfo de México pueden deberse principalmente a la interacción entre la onda mareal y la topografía dominante de cada lugar. Los vientos y la presión atmosférica tienen una cierta influencia sobre el nivel del mar y pueden producir anomalías inesperadas en el comportamiento de las mareas. Las olas que se elevan en los temporales, generados por vientos fuertes que soplan hacia la costa, acumulan el aire frente a la orilla y pueden hacer que la marea alcance alturas anormalmente altas (Tait, 1987). Los niveles del mar más altos corresponden a Coatzacoalcos, Veracruz de 189 cm a 213 cm durante las cuatro épocas del año, siendo en el otoño donde se registró el valor máximo (Ponce, 1991).

C). CORRIENTE DE LAZO. La circulación del Golfo de México está relacionada con la influencia de las aguas cálidas y salinas que entran a través del Estrecho de Yucatán y salen por el de Florida. Parte del agua que penetra al Golfo por el Canal de Yucatán se devuelve por contracorrientes (Armstrong y Grady, 1967).

D). TURBULENCIAS (por corrientes). Los remolinos verticales se pueden originar cuando capas contiguas de agua se mueven a diferentes velocidades o cuando las corrientes discurren sobre un lecho marino irregular. En la plataforma continental, especialmente en lugares donde el fondo es desigual, las corrientes mareales intensas pueden causar grandes turbulencias y mantener toda la columna de agua bien mezclada (Tait, 1987).

7. METODOLOGIA

La zona de colecta fue cubierta durante la realización de cuatro cruceros oceanográficos: OGMEX-1 (marzo de 1987, invierno-primavera), OGMEX-2 (agosto de 1987, verano), OGMEX-3 (diciembre de 1987, otoño-invierno) y OGMEX-4 (abril 1988, primavera); a bordo del buque oceanográfico B/O "Justo Sierra" del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

La delimitación de los sitios de muestreo fue efectuada por transectos perpendiculares a la línea de costa mediante la elaboración de un derrotero de campaña oceanográfica.

Las técnicas para los análisis son las siguientes:

A). Colección de las muestras: las muestras de sedimentos recientes se colectaron con ayuda de una draga Van Veen tomando aproximadamente los primeros 10 cm, y solo el material de la parte central que no entro en contacto con las paredes de la draga.

B). Almacenamiento de las muestras: las muestras se depositaron en bolsas de plástico y fueron mantenidas a una temperatura de 4°C hasta su análisis posterior en el laboratorio.

C). Procesamiento de las muestras: las muestras de sedimento se secan a 50°C durante 48 horas, posteriormente macerar en un mortero de porcelana y separar una porción destinada para la determinación de materia orgánica.

D). Materia orgánica: Se evaluó por titulación del exceso de dicromato de potasio usado en la oxidación de la materia orgánica con una solución 0.5N de sulfato ferroso y se expreso como el porcentaje de carbono orgánico (Gaudette et al. 1974).

E). Carbonatos: La cantidad de carbonatos se calculo midiendo el volumen de CO₂ desplazado al reaccionar la muestra de sedimento con una solución de HCl al 50%. Para ello, fue utilizado una modificación del Calcfómetro de Bernard siguiendo la técnica usada por Alvarez (1983).

METALES PESADOS

D). El material utilizado para el análisis de metales pesados fue lavado de la siguiente manera: se colocó tres días en una solución de HCl 2N pasándose durante tres días más a una solución de HNO₃ 2N, finalmente se enjuagó con agua bidestilada y se almacenó en bolsas de plástico para su uso posterior.

E). Determinación de la concentración total: Se tomarón 0.25g de sedimento para digerirlo con 10 ml de agua regia invertida (HNO₃:HCl 3:1) en bombas de digestión PTFE, los digestores fueron mantenidos a 100°C con una variación de +/- 10°C por aproximadamente 15 horas. Posteriormente las muestras se centrifugarón a 2,500 rpm/30 min. lavando los residuos con agua destilada. Los sobrenadantes fueron colectados en frascos de plástico pesados y aforados a 20 ml (Paez-Osuna, 1990). Al mismo tiempo fue realizado un blanco testigo por grupo de 8 muestras, el cual fue sometido al mismo tratamiento, pero sin sedimento.

F). Determinación de la fracción biodisponible: Se pesarón 2g de sedimento tamizado, colocandolo en un matraz erlenmeyer de 50 ml, se adicionaron 25 ml de ácido acético al 25% v/v; agitando durante un minuto y dejando reposar por 24 horas. Posteriormente fueron centrifugadas a 2,500 rpm/30 min. lavando los residuos con agua bidestilada. Se realizó un blanco testigo en las mismas condiciones, pero sin sedimento. (Agemian y Chau, 1976; Luoma y Jenne, 1976; Loring 1979).

Finalmente, las determinaciones de los metales pesados Ni, Cr, Co, Cu, Pb, Zn y Pb se realizaron con ayuda de un espectrofotómetro de Absorción Atómica/Emisión de Flama marca Shimadzu modelo AA-630-12.

8. RESULTADOS Y DISCUSION

O G M E X - 1

En la Figura 8 se muestra la ubicación de estas estaciones: así como en el cuadro 8.a se registran las concentraciones totales de metales pesados, los porcentajes de carbono orgánico y de carbonatos.

8.1 MATERIA ORGANICA

La cuantificación de este parámetro resulta de gran importancia en la evaluación de metales pesados, dada la gran afinidad que estos muestran hacia los sustratos orgánicos (Lowman, 1971).

Los porcentajes de materia orgánica varían desde 0.02% registrado por la estación 07 hasta 0.516% de C-orgánico que corresponde a la estación 05.

El tipo de sedimento que muestran las cinco estaciones es de arenas gruesas (Lecuanda y Ramos, 1985), a ello se debe (generalizando) que los niveles de carbono orgánico sean bajos. Sin embargo, el sedimento es considerablemente influido por las descargas de los ríos Coatzacoalcos y Tonalá que drenan sus aguas en esta porción del Golfo, así, el flujo de corriente de estos efluentes provoca movimientos en las capas de agua ocasionando disturbios en los sedimentos depositados en el fondo del mar; y esto a su vez tiene cierta repercusión sobre la concentración de materia orgánica, por un lado éstos movimientos pueden promover el aumento de materia orgánica; a esto se debe que algunas de estas estaciones hayan registrado porcentajes un poco más altos como son las estaciones 05 y 32, además la estación 05 que concentró el mayor porcentaje de C-orgánico (0.52%) se localiza a menor profundidad (103 m) con respecto a las estaciones de este crucero y por tanto la menos alejada de la costa por lo que los sedimentos tardan menor tiempo en caer al fondo antes que la fracción orgánica pueda ser adsorbida por los organismos. Por otro lado, si la corriente que provocan las descargas de estos ríos reciben la acción de los vientos hacen que el material más fino sea transportado hacia la plataforma continental, quedando el más grueso en las orillas de la costa y junto con este material van algunos nutrientes, por lo que tal vez los sedimentos de las estaciones 06 y 08 pudieron acumular estas cantidades 0.102% y 0.101% de C-orgánico. En cuanto a la estación 07 que presentó 0.018% pudo ser afectada por algún tipo de movimiento que genera grandes cantidades de material suspendido como son las turbulencias.

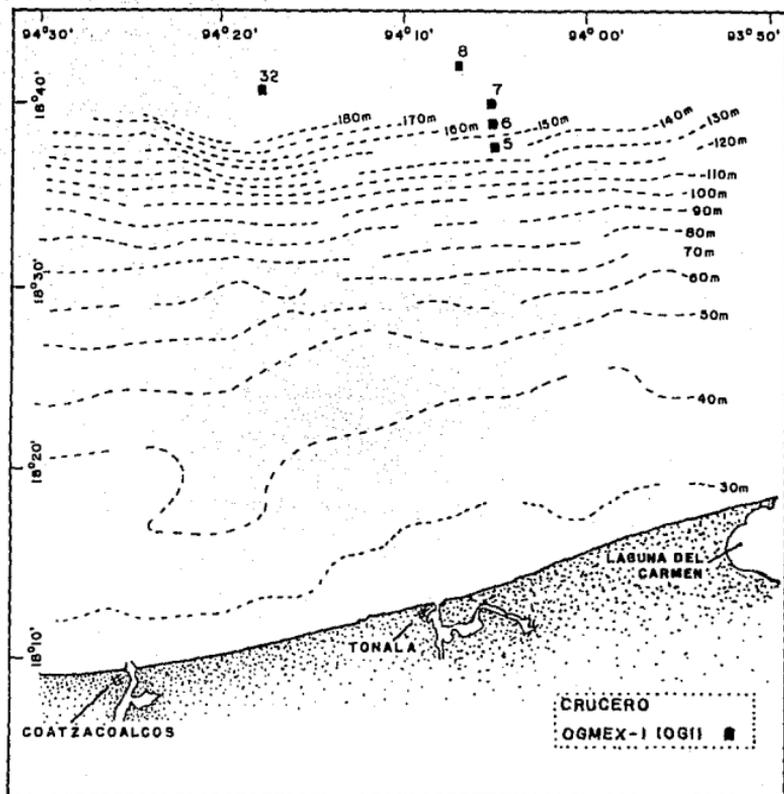


FIGURA 8. LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES DEL OGMEX-1
MARZO, 1987

3.2 CARBONATOS

Los carbonatos juegan un papel importante en la acumulación de metales pesados (Gupta y Chen, 1975; Forstner, 1962), ya que algunos metales pueden estar asociados a los carbonatos en concentraciones conconsiderables.

En esta ocasión, la estación 07 presentó el porcentaje mayor de carbonatos (17.02 % de CO_3) y los valores mínimos fueron registrados por las estaciones 08 y 32 (4.18 % CO_3) que son las estaciones que se localizan a mayor latitud y a mayor profundidad con respecto a este grupo de estaciones (Figura 8); y aunque se encuentran muy cerca unas de otras, estas últimas posiblemente fueron afectadas por procesos de bioturbación, los cuales aceleran el ciclo de elementos en los sedimentos marinos. (Green et al., 1992), la infauna marina que se alimenta de depósitos acelera la disolución de carbonatos, tal vez en estas estaciones hay gran actividad por parte de éstos organismos.

Las concentraciones de carbonatos que se registrarón son mayores que los porcentajes de materia orgánica, estas pueden ser causadas por la influencia que recibe la zona de estudio de los arrecifes coralinos adyacentes a la costa de Veracruz y por aportes de la plataforma continental de la Península de Yucatán (donde abundan las arenas carbonatadas) cuando sus aguas bañan las costas de Tabasco (Secretaría de Marina, 1980; Lecuanda y Ramos, 1985; Pica et al., 1991); también son incrementadas por los ríos Coatzacoalcos y Tonalá, así como por aportes de la Laguna del Carmen.

3.3 CONCENTRACIONES TOTALES DE METALES PESADOS

N I Q U E L

El níquel registró una distribución de concentraciones muy variada entre las estaciones de este grupo (a pesar de la distancia tan pequeña que guardan entre sí) varían desde 37.38 ppm hasta 8.36 ppm. La concentración mayor corresponde a la estación 07 que presentó el mayor porcentaje de carbonatos y el mínimo de materia orgánica, lo cual hace suponer que en esta estación el níquel podría encontrarse en la fracción carbonatada, dada la afinidad que éste muestra por los carbonatos; continúa la estación 05 con 33.95 ppm y cuyo porcentaje de carbonatos fue de 11.90 % y de materia orgánica fue el más alto. El valor mínimo de Ni fue registrado en la estación 32 (8.36 ppm) al igual que el porcentaje mínimo de carbonatos 4.18 % de CO_3 .

CUADRO 8.a CONCENTRACIONES TOTALES (ppm) DE METALES PESADOS EN SEDIMENTOS DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DE LOS ESTADOS DE VERACRUZ Y TABASCO, MEXICO.

O G M E X - 1 (MARZO, 1987)

ESTACION	M.D.	CO ₃	Ni	Cr	Co	Cu	Pb	Zn	Cd
OG1-05	0.52	11.90	33.95	25.73	22.06	11.90	50.17	45.19	2.32
OG1-06	0.10	5.14	9.44	1.00	14.85	1.00	7.24	8.16	1.32
OG1-07	0.02	17.02	37.38	13.55	29.46	26.47	54.12	64.05	1.87
OG1-08	0.10	4.18	29.88	N.D.	39.70	26.25	57.21	50.19	3.07
OG1-09	0.30	4.18	8.36	11.75	18.62	14.04	2.49	9.50	1.43
PROMEDIO	0.21	8.48	23.80	10.40	24.94	15.95	34.24	35.42	2.00

M.O. = % de C-o. (Carbono orgánico)

M.D. = Materia orgánica

CO₃ = % de Carbonatos

N.D. = no detectable

En sedimentos ricos en carbonatos la adsorción y formación de solución sólida son los procesos principales que causan el enriquecimiento de Ni en sedimentos (Rifaat et al., 1992).

C R O M O

Este metal presentó un nivel alto en la estación 05 con un valor de 25.73 ppm, esta misma estación presentó el valor más alto de materia orgánica de éste crucero (0.52% de C-orgánico) y el segundo lugar en cuanto a concentración de carbonatos (11.90% de CO_3). Las estaciones 07 y 32 registraron respectivamente una concentración de 13.55 ppm y 11.75 ppm de Cr consideradas como concentraciones medias; mientras que la estación 06 presentó el valor mínimo de Cr con 1.0 ppm y en la estación 08 la concentración no fue detectada (ND) (Cuadro 8.a). Estas estaciones se localizan lejos de la costa y no existe una relación directa entre la concentración del metal y los porcentajes de materia orgánica y carbonatos.

En el caso de la estación 05 el Cr puede estar ligado tanto a la materia orgánica como a los carbonatos ya que los valores de los dos parámetros son considerables (11.90% de CO_3 y 0.52% de C-orgánico) con respecto a las demás estaciones; en cambio, la estación 07 solo presenta el mayor porcentaje de CO_3 y el mínimo de C-orgánico, mientras que en las estaciones 06 y 08 tanto el porcentaje de materia orgánica como de carbonatos son pequeños.

C O B A L T O

La concentración de Co en las cinco estaciones es homogénea presentando la mayor concentración la estación 08 (39.70 ppm) es seguida por las estaciones 07, 05 y 32 cuyas concentraciones son respectivamente 29.46, 22.06 y 18.62 ppm; mientras que la estación 06 registró el valor más pequeño para este metal de 14.85 ppm (Cuadro 8.a). La concentración mayor en la estación 08 puede ser causada (en este caso) por el mecanismo de adsorción de metales como Cu, Ni, Zn y Co, sobre las fases minerales del MnO (Goldberg, 1954; Forstner, 1979).

C O B R E

Se registraron concentraciones de Cu muy variadas, desde 26.47 ppm (est. 07) hasta 1.0 ppm (est. 06), esta última estación ha presentado también los valores más bajos de Co, Cr y Ni; la estación 08 con 26.25 ppm de Cu, y las dos estaciones restantes 32 y 05 registraron valores intermedios. Como ya se ha mencionado, la estación 07 presentó el menor porcentaje de materia

orgánica y el mayor de carbonatos. Considerando que estos sedimentos son más ricos en carbonatos que en materia orgánica, sus altas concentraciones tal vez se deban a que el Cu es enriquecido en la fracción carbonatada (Rifaat et al., 1993). En sedimentos ricos en carbonatos la mayor parte del Cu es formado por precipitación directa del agua de mar como sales amorfas y cristalinas, y coprecipita con óxidos de manganeso.

P L O M O

Este metal presento altos niveles en las estaciones 08, 07 y 05 que fueron 57.21 ppm, 54.12 ppm y 50.17 ppm, respectivamente; las estaciones 06 y 32 registrarón nuevamente los valores mínimos de 7.24 ppm y 2.50 ppm.

La concentración promedio de este crucero es de 34.24 ppm, esta concentración resulta relativamente baja al ser comparada con las estaciones del Rio Gannel al norte de Cornwall donde hay una entrada natural de depósitos de Pb, los sedimentos estuariales contienen 2175 ppm de plomo y los bivalvos *Scrobicularia plana* que subsisten en ellos, contiene 991 ppm. Sin embargo, concentraciones altas de plomo pueden ser acumuladas por algunos organismos sin daños aparentes (Clark, 1986).

Z I N C

El Zn se presenta naturalmente como el sulfuro mineral esfalerita (ZnS), en menor cantidad como carbonato, y silicatos minerales.

El comportamiento de este metal en las estaciones es similar al del plomo, ya que los valores más altos registrados de Zn son de 64.05 ppm, 50.19 ppm y 45.19 ppm que corresponden a las estaciones 07, 08 y 05 respectivamente, y las concentraciones menores de 9.5 ppm y 8.16 ppm fueron registradas por las estaciones 32 y 06; mencionando nuevamente que esta última estación tiene los valores más bajos de los 7 metales de este estudio.

La adsorción y coprecipitación con minerales carbonatados y óxidos de manganeso amorfo son los principales procesos de enriquecimiento en áreas de sedimentos ricos en carbonatos.

En sedimentos con bajo contenido de carbonatos el flujo terrestre contribuye con cantidades significativas de Zn.

La utilización de combustibles fósiles se calcula que desprende 7,000 Tn/año de Zn a la atmosfera, parte de los cuales llega finalmente al mar (Secretaría de Marina, 1982).

C A D M I O

El Cd registró valores muy bajos con respecto a los demás metales analizados en este estudio; sin embargo, la concentración más alta la registró nuevamente la estación 08 (3.07 ppm), continuando con la estación 05 con 2.32 ppm y la estación 07 con 1.67 ppm. Igual que para los otros metales, las estaciones 06 y 32 presentaron los valores mínimos de este metal 32 ppm y 1.43 ppm. El Cd es solo enriquecido en la fracción carbonatada del sedimento principalmente como carbonato de cadmio. Su origen es principalmente antropogénico.

El cadmio no es un elemento esencial para los organismos, aunque por razones desconocidas el fitoplancton aumenta la fotosíntesis; por causa de su asociación con los fosfatos, el Cd puede ser tomado por el fitoplancton e incorporarse en la cadena alimenticia (Clark, 1986).

DISCUSION GENERAL

De los metales analizados, se presentan las siguientes jerarquías con respecto a las concentraciones mayores que registraron cada una de las estaciones de este grupo:

ESTACION	M E T A L E S
07	Zn > Pb > Ni > Co > Cu > Cr > Cd
08	Pb > Zn > Co > Ni > Cu > Cd > Cr (ND)
05	Pb > Zn > Ni > Cr > Co > Cu > Cd

Estas tres estaciones muestran comportamientos similares en cuanto a las concentraciones de estos metales analizados, con excepción de la estación 08 en la que el cromo no fue detectado.

Es posible que cinco de estos elementos traza Zn, Pb, Cu, Co, y Ni se encuentren en altas concentraciones porque los nódulos de manganeso pueden actuar como atrapadores de estos metales; estos nódulos son el resultado de condiciones de saturación en el agua de mar con Mn y Fe, el manganeso tiene ocurrencias grandes desde corrientes y erupciones volcánicas submarinas; el Mn y el Fe adicionales que son transportados hacia el mar, por lo tanto, tienden a precipitar. Forman partículas coloidales, las cuales mientras filtran a través del agua de mar hacia el fondo, barren con los metales traza de la columna de agua.

El principal origen de las concentraciones de estos metales se debe a las descargas de los ríos Coatzacoalcos y Tonalá que atraviesan por zonas urbanas e industriales (como es el Complejo de Pajaritos) las cuales vierten sus residuos en los ríos y éstos van recopilando los contaminantes (metales pesados) durante su recorrido. Y aunque en el muestreo fue época de estiaje, y el cauce de los ríos disminuye, aun así sus drenajes son considerables.

Las concentraciones menores de los siete metales Ni, Cr, Co, Cu, Pb, Zn y Cd son registrados en las estaciones 32 y 06. A continuación se describe la relación de estos metales en orden decreciente de concentración:

ESTACION	METALES
32	Co > Cu > Cr > Zn > Ni > Pb > Cd
06	Co > Ni > Zn > Pb > Cd > Cr = Cu

Puede notarse que las estaciones anteriores registrarán comportamientos semejantes; estas concentraciones tal vez se deban a los efectos de las corrientes que provocan movimientos en las capas de agua, removiendo así el sedimento.

En general, los sedimentos de estas estaciones que conforman al OGMEX-1 son más ricos en carbonatos que en C- orgánico; estos también pueden ser aportados tanto por los ríos junto con el material de aluvión como por los arrecifes coralinos y transportados hacia esta región por medio de las corrientes (Figura 8).

8.4 CONCENTRACIONES BIODISPONIBLES DE METALES PESADOS.

En el Cuadro 8.b se registran las concentraciones biodisponibles de los metales pesados analizados; a continuación se discute brevemente los resultados obtenidos para cada uno de los metales pesados.

N I Q U E L

Los niveles más altos de Ni biodisponible fueron para las estaciones 08 con un nivel de 4.77 ppm continuando en orden decreciente con 2.81, 2.38 y 2.04 ppm que corresponden a las es-

CUADRO 8.b CONCENTRACIONES BIODISPONIBLES de metales pesados en sedimentos de la plataforma continental de los estados de Veracruz y Tabasco, México.

O G M E X - 1 (MARZO, 1987)

ESTACION	Ni	Cr	Co	Cu	Pb	Zn	Cd
OG1-05	1.48	0.73	0.44	5.77	2.79	2.21	N.D.
OG1-06	2.04	0.17	0.72	0.47	3.41	2.04	N.D.
OG1-07	2.38	0.56	0.84	2.10	2.03	2.96	N.D.
OG1-08	4.77	N.D.	1.91	3.34	9.85	5.71	N.D.
OG1-32	2.81	1.60	1.54	1.26	2.03	5.07	N.D.
PROMEDIO	2.70	0.61	1.09	2.58	4.02	3.60	N.D.

metales = ppm

N.D. = no detectable

taciones 32, 07 y 06; la estación 05 registró un valor de 1.48 ppm cuyo valor fue el más bajo, aunque su valor de Ni total fue de 33.95 ppm. La biodisponibilidad de este metal para las cinco estaciones es muy baja, considerando que, aunque no es tan abundante en la corteza terrestre como el hierro, es un metal esencial para el metabolismo de los seres vivos y al parecer, no tiene efectos tóxicos en el ambiente acuático (Botello y Paes, 1986).

C R O M O

En cuanto a la disponibilidad del Cr, también es muy baja para las cinco estaciones, cuyas concentraciones son del orden de 1.60 ppm para la estación 32, posteriormente disminuye a 0.73 ppm para la estación 05 y 0.56 ppm para la estación 07; encontrándose las concentraciones más bajas en las estaciones 06 y 08 con valores de 0.17 ppm y ND, respectivamente. Cabe mencionar que las concentraciones de Cr total fueron también muy bajas con respecto a las registradas para los otros metales.

C O B A L T O

El Co presentó más alta biodisponibilidad que el metal anterior en las cinco estaciones, considerando que el valor más bajo de cobalto fue de 0.44 ppm para la estación 05, y el mayor fue de 1.91 ppm registrado para la estación 08, ésta última presentó el valor más alto de Ni, continúan las estaciones 32, 07 y 06 con concentraciones de 1.54 ppm, 0.84 ppm y 0.72 ppm, respectivamente. Es importante mencionar que este metal al igual que el Ni son elementos esenciales en el metabolismo de los seres vivos.

C O B R E

Las estaciones que presentan mayor nivel de Cu biodisponible son 05 y 08 con valores de 5.77 ppm y 3.34 ppm, respectivamente; la concentración más baja de Cu fue de 0.47 ppm (est. 06), las estaciones restantes (32 y 07) registraron valores de 1.26 ppm y 2.10 ppm. Este elemento al igual que el cobalto, son esenciales, al aumentar sus concentraciones naturales o al cambiar su forma química pueden ser tóxicos (Mandelli, 1979).

P L O M O

Este metal registró su concentración disponible mayor de 9.85 ppm en la estación 08, igualmente su concentración total de Pb también fue la más alta de este crucero; mientras que las estaciones 07 y 32 registraron los niveles menores (2.03 ppm).

Z I N C

Este metal registró su mayor concentración de 5.71 ppm en la estación 08, (Cuadro 8.b) también presentó los niveles más altos de Ni, Co y Pb; le sigue la estación 32 con 5.07 ppm, las últimas tres estaciones registrarán concentraciones similares de 2.96 ppm (est. 07), 2.31 ppm (est. 05) y 2.04 ppm (est. 06).

C A D M I O

Las concentraciones de cadmio no fueron detectadas.

9. O G M E X - 2

En la Figura 9 se muestra la ubicación de las estaciones de esta crucero; y en el Cuadro 9.a están registrados los porcentajes de carbonatos y C-orgánico así como las concentraciones totales de metales pesados.

9.1 MATERIA ORGANICA

Las estaciones 27, 42 y 40 registrarán las concentraciones más altas 0.91%, 0.47%, y 0.38% de C-orgánico respectivamente. Estas concentraciones están influidas por el tipo de sedimento que presentan las estaciones y éstos a su vez son afectados por su ubicación en la zona de estudio; las estaciones 42 y 40 se localizan en la parte este en dirección de la Laguna del Carmen en Tabasco. Como se mencionó en el OGMEX-1, el tipo de sedimento cerca de la costa es de arenas limosas terrígenas y sobre la plataforma continental está compuesto por arenas gruesas terrígenas.

Considerando que el mayor aporte de material sedimentario es por parte de la descarga de los ríos, era de esperarse que la mayor cantidad de materia orgánica se quedara atrapada en las estaciones más próximas a la costa, (como en la estación 25 con 0.20% de C-orgánico) que en aquellas que se ubican lejos de ésta; teniendo en cuenta que la materia orgánica es mayor en los sedimentos de tipo fino (límos y arcillas) que en los constituidos por partículas gruesas (Bryan, 1976). Sin embargo, como se ha mencionado, los patrones de sedimentación de la zona de estudio sufren alteraciones por el flujo de corriente de los ríos Coatzacoalcos y Tonala ya que sus drenajes son considera-

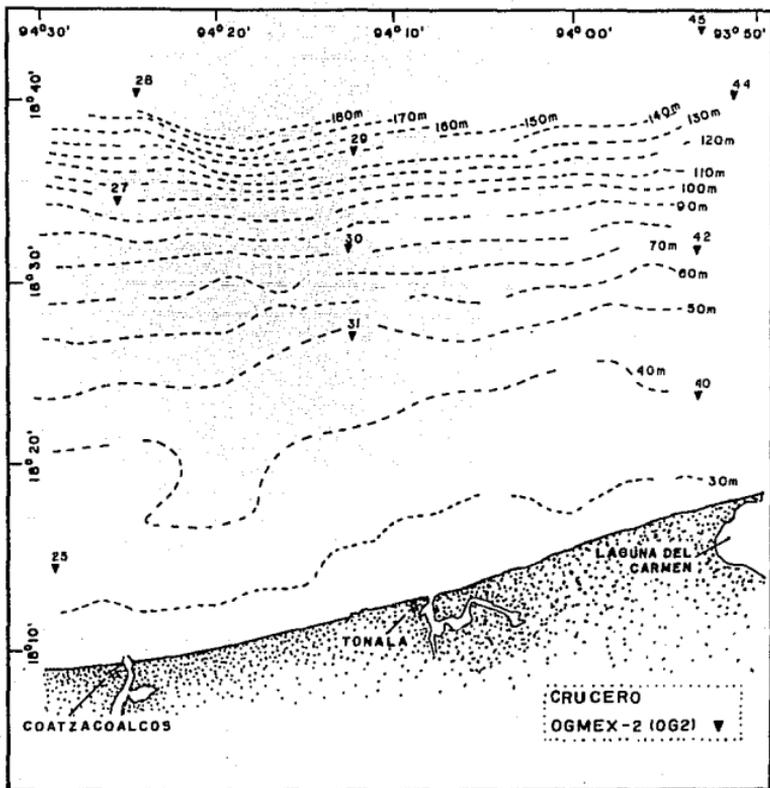


FIGURA 9. LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES DEL OGMEX-2
AGOSTO, 1987

bles, además en este período se presenta la mayor precipitación fluvial aumentando así su caudal, estas corrientes provocan el arrastre del material más fino lejos de la costa, sobre la plataforma, a ello se debe que las estaciones que se ubican en la parte media de esta zona (27, 42 y 40) registren las mayores concentraciones de este crucero. Además estas estaciones reciben aportes de la Laguna del Carmen que por corrientes y oleaje pueden también transportar nutrientes y/o contaminantes hacia la plataforma.

Las estaciones 28, 30 y 44 muestran el mismo comportamiento que las anteriores, solo que las concentraciones disminuyen un poco 0.21%, 0.25% y 0.27% de C-orgánico respectivamente.

La estación 45 es la que se localiza más lejos de la costa en comparación con las estaciones de los cuatro cruceros; su concentración tan baja fue causada por su localización, además el oleaje no es tan fuerte ya que en esta época los vientos que se presentan no son de velocidades considerables y el sedimento no alcanza a ser transportado hasta este lugar o la materia orgánica sufre otros procesos.

Las estaciones 29 y 31 también se localizan en la parte media de la zona, pero sus porcentajes de C-orgánico se ven muy disminuidos 0.08% (est. 29) y 0.09% (est. 31), si bien, el aporte de los ríos es excepcional, tal vez estos sitios se ven afectados por corrientes de turbidez que impiden la sedimentación del material más fino y por lo tanto, la cantidad de material orgánico que retienen es menor.

9.2 CARBONATOS

Los carbonatos también tienen una participación importante en el estado químico de los metales pesados, formando complejos que modifican las características de estos muchas veces enmascarando su concentración real (Forstner y Wittmann, 1979).

Los niveles de carbonatos para el grupo de estaciones del crucero-2 son mayores que los niveles de materia orgánica (Cuadro 9.a); por otro lado, las concentraciones mayores las registrarán las estaciones 29, 28 y 42 siendo estos 20.56%, 18.63% y 18.31%; las siguientes estaciones 44, 45, 27 y 30 presentarán porcentajes intermedios de 14.78%, 12.85%, 12.21% y 11.56% todas estas estaciones se localizan lejos de la costa arriba de la latitud 18°32.0' y su profundidad es de 57 m; en cambio, las estaciones 40, 31 y 25 contienen porcentajes bajos de carbonatos del orden de 5.14%, 6.10% y 7.39% y están ubicadas cerca de la costa donde se ven influenciadas por el flujo de corriente de la descarga de los ríos provocando el mismo proceso que ocurre con los niveles de C-orgánico (el material es transportado lejos de la orilla de la playa).

9.3 CONCENTRACIONES TOTALES DE METALES PESADOS.

N I Q U E L

Las concentraciones de 21.02 ppm y 20.74 ppm corresponden a las estaciones 28 y 29 consideradas como las más altas para este metal; las concentraciones medias las presentaron las estaciones 30, 44 y 25 cuyo valor es de 16.20 ppm, 16.15 ppm y 15.34 ppm; las concentraciones más bajas las registrarán las estaciones 40 y 42 localizadas a una longitud de 93°52.1' y 93°52.2' cuya concentración es de 3.5 ppm y 4.84 ppm.

C R O M O

El cromo registró sus concentraciones mayores de 12.85 ppm y 10.0 ppm en las estaciones 28 y 25; nuevamente la estación 40 presentó el valor más bajo de 2.80 ppm, aunque hay estaciones como las 42 y 45 donde el Cr no fue detectable.

C O B A L T O

Este metal presentó sus mayores concentraciones en las estaciones 40 (19.82 ppm), 28 (19.17 ppm) y 29 (19.14 ppm); mientras que el valor mínimo fue de 15.10 ppm para la estación 44, y en la estación 25 no se detectó este metal.

C O B R E

Las mayores concentraciones son de 15.30 ppm, 14.98 y 14.89 ppm para las estaciones 28, 27 y 29 respectivamente, mientras que las estaciones 25 y 30 registrarán los valores mínimos de 2.33 ppm y 3.22 ppm.

P L O M O

En general, este metal registró las concentraciones más altas en todas las estaciones del crucero, en comparación con los metales anteriores y solamente en la estación 31 resultó no detectable; el valor mínimo fue para la estación 40 (13.89 ppm), las demás estaciones presentaron valores entre 20.58 y 29.63 ppm llegando al máximo de 46.16 ppm que corresponde a la estación 28 (Cuadro 9.a).

CUADRO 9.a CONCENTRACIONES TOTALES (ppm) DE METALES PESADOS EN SEDIMENTOS DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DE LOS ESTADOS DE VERACRUZ Y TABASCO, MEXICO.

O G M E X - 2 (AGOSTO, 1987)

ESTACION	M.O.	CO ₃	Ni	Cr	Co	Cu	Pb	Zn	Cd
0G2-25	0.20	7.39	15.34	10.00	N.D.	2.33	22.41	27.72	1.15
0G2-27	0.91	12.21	10.47	4.42	17.88	14.98	23.60	38.29	1.86
0G2-28	0.21	18.63	21.02	12.85	19.17	15.30	46.16	48.81	1.16
0G2-29	0.08	20.56	20.74	8.38	19.14	14.89	29.63	35.33	1.85
0G2-30	0.25	11.56	16.20	9.24	17.56	3.22	25.54	21.00	1.22
0G2-31	0.09	6.10	10.20	4.15	18.71	11.29	N.D.	N.D.	1.22
0G2-40	0.38	5.14	3.50	2.80	19.82	10.51	13.89	N.D.	1.44
0G2-42	0.47	18.31	4.84	N.D.	16.90	9.35	25.19	18.09	1.18
0G2-44	0.27	14.78	16.15	9.24	15.10	11.38	22.45	23.67	1.16
0G2-45	0.06	12.85	12.60	N.D.	16.50	10.20	20.58	0.14	1.65
PROMEDIO	0.30	12.75	13.10	6.11	16.08	10.34	22.94	22.30	1.40

M.O. = Materia orgánica

M.O. = % Carbono orgánico (C-o.)

CO₃ = % Carbonatos

N.D. = no detectable

Z I N C

Las concentraciones más altas de Zn son de 48.81 ppm, 39.28 ppm y 35.33 ppm, las cuales corresponden a las estaciones 28, 27 y 29, haciéndose notar que estas estaciones presentarán también los niveles más altos de Cu; la concentración mínima se registró en la estación 45 con 0.14 ppm en cuanto a las estaciones 31 y 40 sus concentraciones resultarán (ND) no detectables.

C A D M I O

En el caso de este metal, no hubo gran dispersión de valores dentro de las diez estaciones, las concentraciones se encuentran dentro de este rango 1.86-1.15 ppm que corresponde a las estaciones 27 y 25. Aunque éstas concentraciones son relativamente bajas (con respecto a las detectadas para otros metales) es importante mencionar que se encuentran por arriba del límite de detección, ya que para Cd es de 1.00 ppm.

DISCUSION GENERAL

De las 10 estaciones que integraron este crucero son 3 las que mostrarán las mayores concentraciones totales de metales, de acuerdo al análisis descrito en párrafos anteriores, se presentan a continuación en orden decreciente de concentración:

ESTACION	M E T A L E S
28	Zn > Pb > Ni > Co > Cu > Cr
29	Zn > Pb > Ni > Co > Cu > Cd
27	Zn > Pb > Co > Cu > Ni > Cd

Las concentraciones relativamente altas que presentarán estas estaciones se deben principalmente a aspectos de actividades antropogénicas, principalmente por parte del Complejo Petroquímico; pues esta zona además de recibir sus residuos también ha sufrido alteraciones que de una u otra forma repercuten en el ambiente marino p. ej., en la cuenca alta, el agua ha sido empleada para generar energía mediante la construcción de grandes presas, y en la cuenca baja la zona es objeto de un amplio desarrollo portuario-industrial (Toledo, 1983). El delta del río Coatzacoalcos representa la mayor concentración del país en las ramas de la petroquímica básica, la secundaria y fertilizantes, distribuida en los Complejos de Minatitlán, Pajaritos, Cosoleacaque y la Cangrejera. Adicionalmente, en la zona se localizan otros procesos industriales de gran escala, vinculados a la química orgánica básica, entre otros, la producción de azufre,

cloro y sosa cáustica. De un modo sistemático, estas arrojan sus desechos al estuario y a las zonas pantanosas adyacentes. así, a la contaminación por hidrocarburos se le adicionó la de los metales pesados y de otras sustancias tóxicas vertidas en el estuario y en otras áreas del delta.

Por otro lado, los bordes del río y de la costa son arenosos y relativamente más elevados lo que propicia que los metales no se depositen cerca de la costa, sino que son acarreados por las corrientes y atrapados cerca del borde continental que es la zona por donde se ubican las tres estaciones de las concentraciones mayores (28, 29 y 27).

Las siguientes estaciones presentarán las concentraciones más bajas de estos metales:

ESTACION	M E T A L E S
40	Ni > Cr > Pb > Zn (ND)
25	Cu > Cd > Co (ND)
44	Co

Nuevamente se puede observar en la Figura 9 que estas estaciones observarán estas concentraciones por la ubicación que presentan en la zona de estudio, así por ejemplo, la estación 25 esta muy próxima a la costa donde el material del sedimento es arenoso y con niveles bajos de materia orgánica; las estaciones restantes (42, 44 y 45) se localizan lejos del río Coatzacoalcos en la parte adyacente a la laguna del Carmen, y en este período estacional las corrientes y el movimiento de las capas de agua de la plataforma son menores como para dispersar los sedimentos a distancias muy alejadas de la costa (Cuadro 9.a).

9.4 CONCENTRACIONES BIODISPONIBLES DE METALES PESADOS

En el Cuadro 9.b se registran las concentraciones biodisponibles de este OGMEX.

N I Q U E L

Las concentraciones de Ni biodisponible para las diez estaciones son menores en comparación con las concentraciones totales para el mismo elemento, los niveles más altos son de 4.54 ppm (est. 28), 3.64 ppm (est. 30) y el mínimo es de 0.98 ppm que corresponde a la estación 40.

CUADRO 9.b CONCENTRACIONES BIODISPONIBLES de metales pesados en sedimentos de la plataforma continental de los estados de Veracruz y Tabasco, México.

O G M E X - 2 (AGOSTO, 1987)							
ESTACION	Ni	Cr	Co	Cu	Pb	Zn	Cd
OG2-25	1.40	0.77	1.55	N.D.	3.46	4.31	0.20
OG2-27	2.58	1.14	1.86	1.57	5.79	3.98	0.32
OG2-28	4.54	1.78	2.57	1.29	9.37	6.13	0.42
OG2-29	3.07	0.85	0.51	3.59	2.61	2.22	0.22
OG2-30	3.64	0.75	1.51	1.21	4.10	3.45	N.D.
OG2-31	1.73	0.43	0.28	2.89	N.D.	N.D.	0.14
OG2-40	0.98	0.28	0.14	3.10	2.01	N.D.	0.14
OG2-42	2.90	N.D.	1.98	0.76	5.16	3.61	0.19
OG2-44	2.64	1.00	1.67	1.11	4.50	2.92	0.13
OG2-45	2.38	N.D.	1.34	1.34	3.75	2.37	0.19
PROMEDIO	2.60	0.70	1.34	1.68	4.07	2.89	0.20

metales = ppm
 N.D. = no detectable

C R O M O

En cuanto al Cr biodisponible, las concentraciones son más bajas en relación al metal anterior, siendo la de 1.78 ppm la máxima registrada por la estación 28 y 1.14 ppm de la estación 27, mientras que 0.28 ppm fue la concentración mínima que corresponde a la estación 40.

C O B A L T O

El valor de 2.57 ppm de la estación 28 es la concentración máxima de Co biodisponible, registrándose el nivel mínimo de 0.14 ppm nuevamente para la estación 40.

C O B R E

La concentración mayor de Cu biodisponible es de 3.59 ppm que se registró en la estación 29; mientras que la mínima concentración es de 0.76 ppm registrada en la estación 42.

P L O M O Y Z I N C

Estos elementos registrarán concentraciones mayores en la fracción biodisponible de la estación 28, 9.37 ppm de Pb y 6.13 ppm de Zn, además estos valores son significativos pues son los más altos de todos los metales biodisponibles de este cruce; en cuanto a los niveles mínimos fueron registrados en las estaciones 40 (2.01 ppm de Pb) y 29 (2.22 ppm de Zn).

C A D M I O

Al igual que en el OGMEX-1, el Cd biodisponible registró niveles muy bajos en las diez estaciones, siendo el nivel máximo de 0.42 ppm que corresponde a la estación 28 y el mínimo de 0.13 ppm de la estación 44.

10. O G M E X - 3

La localización de las estaciones se muestra en la Figura 10, y en el Cuadro 10.a se registran las concentraciones totales de metales, así como los porcentajes de carbonatos y C-orgánico.

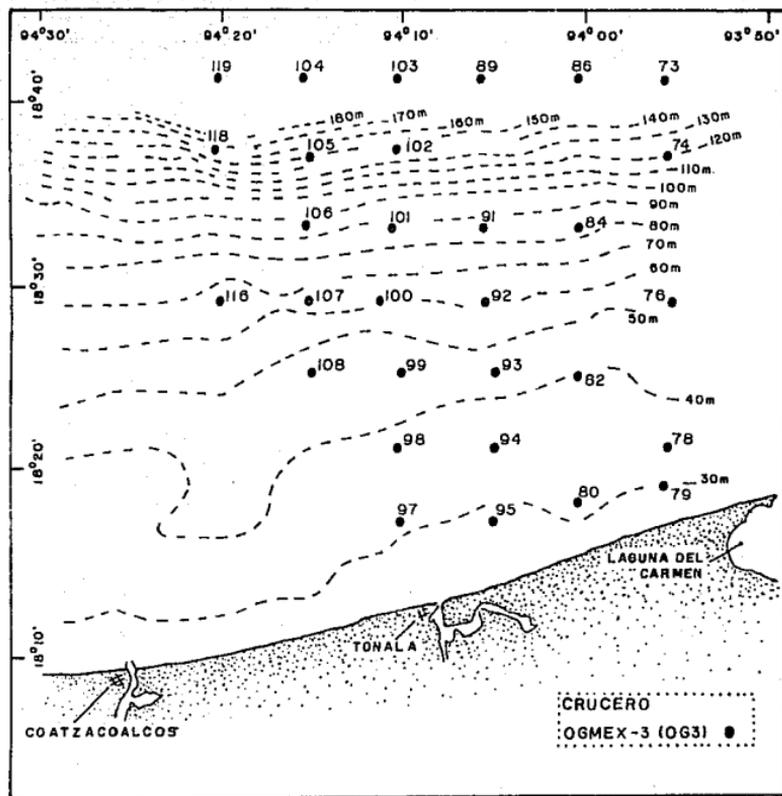


FIGURA 10. LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES DEL OGMEX-3
 DICIEMBRE, 1987

10.1 MATERIA ORGANICA

Los porcentajes de materia orgánica varían desde 1.48% de la estación 118 (el nivel más alto), hasta 0.01% y 0.04% que registrarán las estaciones 107 y 93, y que son los porcentajes menores. Puesto que existe una gran variación entre las estaciones con respecto a este parámetro, se efectuó una clasificación basada en el rango de porcentajes. Para ello se consideran los porcentajes más altos aquéllos del rango entre 0.73% y 1.48%, siendo estos:

ESTACION	118	86	89	104	102	97
C-org. (%)	1.48	1.32	1.24	1.20	1.17	1.17
ESTACION	74	119	105	103	94	
C-org. (%)	1.15	1.13	1.08	0.90	0.73	

Como se muestra en la Figura 10 casi todas las estaciones anteriores se ubican más lejos de la costa (exceptuando las estaciones 94 y 97) a ello se debe el alto porcentaje de C-orgánico por los aportes que reciben las costas de los ríos Coatzacoalcos y Tonalá (como se mencionó en los dos cruces anteriores).

Los niveles medios presentarán un rango de 0.66% a 0.42% y son las siguientes:

ESTACION	78	106	98	91	73	92
C-org. (%)	0.66	0.64	0.60	0.50	0.49	0.42

Las doce estaciones restantes presentan los porcentajes más bajos del orden de 0.42% a 0.01% y también se localizan en la parte media de la zona de estudio.

10.2 CARBONATOS

Los porcentajes de carbonatos también presentan grandes variaciones a pesar de que el tipo de sedimento no cambia drásticamente en la zona, presentando un rango de entre 15.74% (valor máximo de la est. 73) y 0.01% (porcentaje mínimo que corresponde a la est. 107). Al igual que para el parámetro anterior, estos porcentajes varían notablemente en relación a la distancia que guardan las estaciones con respecto a la costa, por lo que nuevamente son divididos en rangos. Las estaciones con los porcentajes más altos son las siguientes:

ESTACION	73	103	104	102	105	86
CO ₃ (%)	15.74	15.10	15.10	14.45	14.45	14.13
ESTACION	119	74	118	39	84	91
CO ₃ (%)	13.49	13.49	13.17	10.28	10.28	9.00

En la Figura 10 puede notarse que estas estaciones se localizan arriba de la latitud 18 30.0', se trata de las estaciones que están mas alejadas de la costa.

De la misma forma es debido a la influencia que la zona recibe tanto de los ríos como por parte de la Laguna del Carmen, estos compuestos pueden ser arrastrados hasta aguas mas profundas donde son precipitados (Forstner, 1979).

Las 16 estaciones restantes presentan los porcentajes mas bajos, pero se localizan mas cerca a la costa, por debajo de la latitud 18 29.0'.

10.3 CONCENTRACIONES TOTALES DE METALES PESADOS

N I Q U E L

Para este metal hubo varias estaciones que registraron los niveles mas altos como son:

ESTACION	119	107	86	118	103	116
Ni (ppm)	127.61	51.88	35.00	34.31	30.35	30.02

Puede observarse que algunas de las estaciones anteriores también presentaron los porcentajes mayores de materia orgánica como son 119, 118, 103 y 86 (Cuadro 10.a), con lo que se corrobora que a mayor porcentaje de materia orgánica habrá mayor afinidad por los metales pesados; no obstante las estaciones 107 y 116 presentaron las mínimas concentraciones de materia orgánica, pero sus porcentajes de carbonatos no son muy bajos (6.74% y 6.42%), lo que hace suponer que estos metales presentan altas concentraciones porque se encuentran formando compuestos con los carbonatos. Sin embargo, la concentración mínima de Ni la registro la estación 97 la cual se discutió anteriormente por presentar un alto porcentaje de C-orgánico; nuevamente no se demostro la afinidad que tienen los metales pesados con la materia orgánica, también se ha mencionado que se trata de muestras de sedimentos recientes y esta estación se localiza proxima a la costa siendo perturbada por corrientes de

CUADRO 10.a CONCENTRACIONES TOTALES (ppm) DE METALES PESADOS EN SEDIMENTOS DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DE LOS ESTADOS DE VERACRUZ Y TABASCO, MEXICO. *(Primera parte)

D G M E X - 3 (DICIEMBRE, 1987)

ESTACION	M.O.	CO ₂	Ni	Cr	Co	Cu	Pb	Zn	Cd
0G3-73	0.49	15.74	25.40	23.34	20.40	9.33	39.38	42.02	2.11
0G3-74	1.15	13.49	9.40	5.03	20.48	13.96	47.10	42.79	1.34
0G3-76	0.28	5.46	N.D.	3.85	17.24	10.98	7.41	0.81	1.38
0G3-78	0.66	7.39	20.24	16.01	19.48	12.78	12.36	29.02	1.22
0G3-79	0.37	2.89	13.18	13.49	19.65	9.33	8.26	22.93	1.18
0G3-80	0.26	1.28	N.D.	N.D.	17.64	7.89	9.50	18.00	1.21
0G3-82	0.13	4.81	2.97	1.86	16.89	3.22	5.60	3.18	1.22
0G3-84	0.25	10.28	25.65	9.58	23.07	16.10	38.42	32.22	1.54
0G3-86	1.32	14.13	35.00	41.83	27.00	21.18	45.50	61.67	1.50
0G3-89	1.24	10.28	21.50	42.85	21.58	23.16	42.71	55.64	1.34
0G3-91	0.50	9.00	2.43	N.D.	21.20	10.90	36.00	30.30	1.40
0G3-92	0.42	5.14	2.21	9.06	16.29	12.82	8.77	7.33	1.39
0G3-93	0.04	2.57	6.48	5.06	18.43	22.48	19.95	7.59	1.04
0G3-94	0.73	3.85	N.D.	4.33	19.94	11.48	25.47	1.02	1.56
0G3-95	0.21	4.17	11.77	21.62	27.08	19.22	28.00	26.33	1.50

CUADRO 10.a CONCENTRACIONES TOTALES (ppm) DE METALES PESADOS EN SEDIMENTOS DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DE LOS ESTADOS DE VERACRUZ Y TABASCO, MEXICO. *(Segunda parte)

O G M E X - S (DICIEMBRE, 1987)									
ESTACION	M.O.	CO ₃	Ni	Cr	Co	Cu	Pb	Zn	Cd
0G3-97	1.17	1.28	0.92	1.01	15.92	12.56	14.17	N.D.	1.32
0G3-98	0.60	0.32	2.31	2.03	16.82	15.71	13.21	N.D.	1.33
0G3-99	0.21	4.17	6.73	4.41	20.09	13.88	27.14	N.D.	1.51
0G3-100	1.13	3.21	7.20	4.86	17.22	12.36	25.11	N.D.	1.43
0G3-101	0.27	7.71	N.D.	4.27	17.59	17.42	12.55	N.D.	1.23
0G3-102	1.17	14.45	24.73	42.59	23.81	17.73	61.01	52.71	1.46
0G3-103	0.90	15.10	30.35	35.30	23.92	17.70	41.10	50.04	1.51
0G3-104	1.20	15.10	23.52	22.36	18.87	19.85	34.53	45.98	2.06
0G3-105	1.08	14.45	15.64	18.37	23.27	16.88	37.30	44.75	1.37
0G3-106	0.64	11.56	1.38	2.99	18.64	13.10	23.62	18.34	1.33
0G3-107	0.01	6.74	51.88	3.41	25.90	33.11	66.07	80.92	1.82
0G3-108	0.16	3.53	N.D.	7.42	19.02	11.82	21.16	N.D.	1.62
0G3-116	0.13	6.42	30.02	22.65	24.18	62.66	54.11	27.63	1.50
0G3-118	1.48	13.17	34.31	46.59	26.95	23.05	52.28	64.18	2.50
0G3-119	1.13	13.49	127.60	217.60	45.39	61.39	181.92	223.50	3.00
PROMEDIO	0.79	11.40	33.94	41.92	25.00	27.73	57.31	63.48	1.81

M.O. (Materia orgánica) = % de C-o. (Carbono orgánico)
 CO₃ = % de Carbonatos
 N.D. = no detectable

C R O M O

Las máximas concentraciones de Cr también fueron registradas por las estaciones:

ESTACION	119	118	89	102	86
Cr (ppm)	217.6	46.59	42.85	42.59	41.83

Estas estaciones se ubican lejos de la costa y a mayor profundidad, y también presentaron los porcentajes de materia orgánica más altos. La concentración más baja de Cr es de 1.01 ppm, registrándose nuevamente para la estación 97, las posibles causas a estas concentraciones fueron ya expuestas.

C O B A L T O

La mínima concentración de Co 15.92 ppm corresponde a la estación 97; a continuación se registran las estaciones con los niveles mayores de cobalto:

ESTACION	119	95	86	118
Co (ppm)	45.39	27.08	27.00	26.95

De las estaciones anteriores la 95 es la excepción puesto que registró un porcentaje de C-orgánico muy bajo (0.21%) y su porcentaje de carbonatos es intermedio (4.17%), sin embargo, solo para este metal registró alta concentración; se localiza cerca de la costa y de la desembocadura del río Tonalá, (igual que la est. 97).

C O B R E

3.22 ppm fue la concentración mínima de Cu registrada por la estación 82 ubicada a una latitud de 18°24.9' y 94° de longitud, la cual también presentó el mínimo valor de materia orgánica (0.13% C-orgánico).

Tres estaciones registrarón las máximas concentraciones de este metal:

ESTACION	116	119	107
Cu (ppm)	62.66	61.39	33.11

De las cuales, como ya se dijo, la estación 119 presentó alto porcentaje de C-orgánico; mientras que las estaciones 107 y 116

registrarón el menor, estas dos se localizan en la parte central del área de estudio (fue el mismo comportamiento que mostrarón para níquel).

P L O M O

La estación 82 al igual que Cu presentó la mínima concentración de Pb, en cuanto a las concentraciones mayores las mostrarón las siguientes estaciones:

ESTACION	119	107	102
Pb (ppm)	181.92	66.07	61.01

La estación 107 fue discutida en el caso de Ni y Cu, sin embargo, a pesar de su baja porcentaje de C-orgánico registró también mayor concentración de plomo.

Z I N C

Estas cuatro estaciones registrarón el mayor contenido de zinc:

ESTACION	119	107	118	86
Zn (ppm)	223.5	80.92	64.18	61.67

Como puede verse, las estaciones 119, 118 y 107 siguen siendo las que presentan mayores concentraciones por su localización alejada de la costa.

C A D M I O

Las concentraciones de 3.0 ppm y 2.5 ppm fueron las concentraciones más altas de Cd que corresponden a las estaciones 118 y 119 respectivamente; para este metal la concentración mínima fue de 1.04 ppm registrado por la estación 93.

DISCUSION GENERAL

Después de haber descrito brevemente cada uno de los metales analizados se discuten las posibles causas de dichas concentraciones. A continuación se destacan las estaciones que presentaron las máximas concentraciones de los siete metales:

ESTACION	METALES TOTALES						
119	Zn	Cr	Pb	Ni	Cu	Co	Cd
107	Zn	Pb	Ni	Cu	Co	Cr	Cd
118	Zn	Pb	Cr	Ni	Co	Cu	Cd
116	Cu	Pb	Ni	Zn	Co	Cr	Cd
86	Zn	Pb	Cr	Ni	Co	Cu	Cd
89	Zn	Cr	Pb	Cu	Co	Ni	Cd
102	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Cu	Cd

De acuerdo al análisis anterior, puede notarse que en general, las concentraciones mayores corresponden a zinc, plomo, cromo, y níquel; obteniéndose una relación en orden de concentración decreciente:

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

Las altas concentraciones que presentan estas estaciones pueden ser causadas por varios factores:

En primer lugar, los factores meteorológicos que se presentan en el período estacional, así como los parámetros de oceanografía física que caracterizan al Golfo de México y en particular a esta región, provocan que las capas de agua se muevan considerablemente mezclándose las partículas sedimentarias en la columna de agua, ocasionando el transporte del material particulado; factores como los nortes de carácter severo que ocurren de diciembre a febrero, lo que provoca que las olas alcancen alturas anormales; también influyen las surgencias, turbulencias que ponen en movimiento las masas de agua y promueven la cantidad de material suspendido. Las surgencias pueden ser la causa de la acumulación de metales pesados en el fondo; estas provocan el afloramiento de nutrientes en el Golfo que ocurre en los giros ciclónicos, donde estos compuestos surgen junto con otros materiales de capas más profundas durante el invierno y la primavera.

En segundo lugar, es muy importante considerar la ubicación que guardan las estaciones que registran mayores concentraciones (como varias veces se ha discutido) en la Figura 10 se observa que estas estaciones se encuentran en la parte media y hacia el borde continental en la zona de estudio; puede notarse que las estaciones que se localizan hacia el borde continental (119, 118, 89, 86 y 102) registrarán niveles altos de C-orgánico y carbonatos; mientras que las estaciones de la parte media presentan porcentajes bajos de los dos parámetros.

Si bien, se ha mencionado en donde se han acumulado estos elementos y porque se depositan en esas estaciones; pero también es importante mencionar la procedencia de estos metales, ya que en esta región el mayor aporte de los mismos es por parte de

actividades antropogénicas y por medio del drenaje de los ríos Coatzacoalcos y Toniná; el mayor aporte de contaminantes antropogénicos es a causa del Complejo Industrial de Pajaritos, pues FENEX tiene una dársena en Manchital con almacenes para carga y descarga de depósitos de explosivos, de estas descargas se podría esperar el vertimiento de productos con elevada concentración de algunos metales relacionados con la industria petroquímica.

El níquel presenta grandes variaciones en los cuatro cruceros, pero generalmente ocupa el tercero y cuarto lugar con respecto a los 7 metales analizados; se supone que sus concentraciones significativas se deben a que este metal se encuentra muy relacionado con el vanadio y con el tipo de industrias que se encuentran establecidas en la zona, ya que ambos metales forman parte de algunos crudos y el Ni además es empleado como agente catalizador en el proceso de refinación del petróleo crudo, (Ramondetta y Harris, 1976; Villanueva, 1987).

Al igual que el metal anterior, los residuos de cromo que llegan al río Coatzacoalcos provienen del Complejo Industrial de Cosoleacaque y son desechados en forma de Na_2CrO_4 y K_2CrO_4 . En este crucero las concentraciones de Cr registradas fueron las mayores en relación a los otros cruceros, por tal motivo el Cr se encuentra entre el segundo y tercer lugar de entre los siete metales.

10.4 CONCENTRACIONES BIODISPONIBLES DE METALES PESADOS

Estas concentraciones esta registradas en el Cuadro 10.b.

N I Q U E L

La estación 105 observó la concentración mayor de níquel biodisponible (4.13 ppm), esta misma fue una de las estaciones que registró mayor concentración de Ni total; mientras que el valor mínimo corresponde a la estación 100 (0.56 ppm).

C R O M O

El cromo biodisponible registró su máxima concentración de 1.86 ppm en la estación 105 y el valor mínimo 0.14 ppm en la estación 98.

C O B A L T O

La mayor concentración de 3.14 ppm correspondió a la estación 76, sin embargo, la concentración total de esta estación no fue precisamente una de las mayores; y el valor mínimo de 0.27 ppm se registró en la estación 108.

CUADRO 10.b CONCENTRACIONES BIODISPONIBLES de metales pesados en sedimentos de la plataforma continental de los estados de Veracruz y Tabasco, México. *(Primera parte)

O G M E X - 3 (DICIEMBRE, 1987)

ESTACION	Ni	Cr	Co	Cu	Pb	Zn	Cd
063-73	3.50	1.48	1.75	0.67	6.08	4.23	0.22
063-74	2.94	1.28	1.96	1.12	5.01	4.11	0.23
063-76	N.D.	0.68	3.14	2.32	1.76	0.76	0.08
063-78	2.84	1.55	1.55	0.51	0.27	4.42	0.06
063-79	1.52	1.38	1.38	0.61	3.02	5.47	0.11
063-80	N.D.	N.D.	0.71	3.02	2.55	3.18	N.D.
063-82	0.83	0.41	0.55	5.40	2.73	1.72	N.D.
063-84	2.45	1.50	1.50	1.22	4.38	3.33	0.10
063-86	3.28	1.31	0.65	1.15	7.12	4.07	0.38
063-89	3.65	1.27	2.86	1.43	6.60	4.40	0.37
063-91	2.39	N.D.	1.88	1.07	5.11	3.78	0.12
063-92	1.87	1.20	0.80	2.94	3.14	2.06	0.06
063-93	0.94	0.29	0.40	3.50	2.14	1.41	N.D.
063-94	N.D.	0.41	1.92	3.99	3.78	0.68	N.D.
063-95	0.82	0.45	0.55	3.98	2.10	1.40	0.11

Metales = ppm

CUADRO 10.b CONCENTRACIONES BIODISPONIBLES de metales pesados en sedimentos de la plataforma continental de los estados de Veracruz y Tabasco, México. *(Segunda parte)

O G M E X - 3 (DICIEMBRE, 1987)							
ESTACION	Ni	Cr	Co	Cu	Pb	Zn	Cd
063-97	0.69	0.41	1.92	3.99	3.78	N.D.	N.D.
063-98	N.D.	0.14	0.41	7.67	3.01	N.D.	N.D.
063-99	1.21	0.67	0.40	5.27	3.13	N.D.	N.D.
063-100	0.56	0.70	0.56	5.35	2.79	N.D.	N.D.
063-101	N.D.	0.64	0.77	1.29	3.40	N.D.	0.06
063-102	3.54	1.20	2.36	1.31	6.50	4.10	0.32
063-103	3.57	1.45	1.72	0.92	5.68	3.62	0.19
063-104	2.32	1.28	1.80	1.28	7.02	4.96	0.21
063-105	4.13	1.86	2.53	1.19	5.73	4.01	1.33
063-106	1.30	0.94	1.21	1.48	4.69	2.65	0.10
063-107	1.11	0.41	0.83	10.13	2.91	1.99	N.D.
063-108	N.D.	0.40	0.27	3.25	3.07	N.D.	N.D.
063-116	2.06	N.D.	0.54	5.21	2.85	1.64	N.D.
063-118	3.12	1.22	2.17	0.54	6.11	3.85	N.D.
063-119	3.76	1.55	2.07	0.77	7.24	4.41	0.18
PROMEDIO	1.81	0.87	1.37	2.75	4.13	2.54	0.14

N.D. = no detectable
 METALES = ppm

C O B R E

La estación 107 registró el nivel mayor de cobre biodisponible de 10.13 ppm; mientras que la estación 78 presentó el mínimo de 0.51 ppm.

P L O M B O

Nuevamente la estación 78 registró el valor mínimo en este caso de Pb (0.27 ppm), y la concentración mayor (7.24 ppm) lo presentó la estación 119.

Z I N C

Para zinc, la estación 79 presentó 5.47 ppm siendo el valor mayor y 0.68 ppm el nivel mínimo que registró la estación 94.

C A D M I O

Igual que para los metales Ni y Cr, la estación 105 registró el nivel mayor de cadmio, siendo de 1.33 ppm, el valor menor fue 0.06 ppm en las estaciones 78, 92 y 101. Para cadmio se registrarón 12 estaciones en donde la concentración no fue detectada.

11. O G M E X - 4

Las concentraciones totales de los metales pesados son expuestas en el Cuadro 11.a junto con los porcentajes de C-orgánico y carbonatos; mientras que en la Figura 11 se muestra la ubicación de las estaciones de este crucero.

11.1 MATERIA ORGANICA

Los porcentajes de materia orgánica varían desde 1.32% (máximo valor) que corresponde a la estación 10 hasta 0.07% (nivel menor) de la estación 19; por lo cual se efectuaron dos divisiones referentes a la distancia de las estaciones con respecto a la costa.

Las siguientes estaciones se localizan próximas a la costa, desde una latitud media de 18°28.6' (respecto a la zona de estudio) hasta 18°13' (cerca de la costa):

ESTACION	19	18	15	03	20	01	13
C-org. (%)	0.07	0.09	0.12	0.13	0.16	0.22	0.27

Estas estaciones registrarán los valores más bajos de materia orgánica, las causas a estos valores fueron ya tratados en los cruceros anteriores (1, 2 y 3).

El segundo grupo de estaciones están ubicadas lejos de la costa desde una altitud de 18°29.0' hasta 18°41.3', puede notarse en la Figura 11 que son las más alejadas de la costa y que presentan los mayores porcentajes de C-orgánico, siendo estas:

ESTACION	10	22	23	05	11
C-org. (%)	1.32	1.08	0.87	0.60	0.52
ESTACION	06	09	08	07	
C-org. (%)	0.50	0.42	0.40	0.40	

Estas concentraciones también se ven influenciadas por factores de la época estacional como p. ej., la concentración de nutrientes en la capa superficial es al principio alta, pero decrece bruscamente (al iniciarse la primavera) al ser absorbidos por el fitoplancton que se multiplican muy rápido (Tait, 1987).

11.2 CARBONATOS

Los porcentajes de carbonatos también presentan variaciones, el porcentaje mayor de 16.06% lo registró la estación 22 y el menor 4.17% fue presentado por la estación 19.

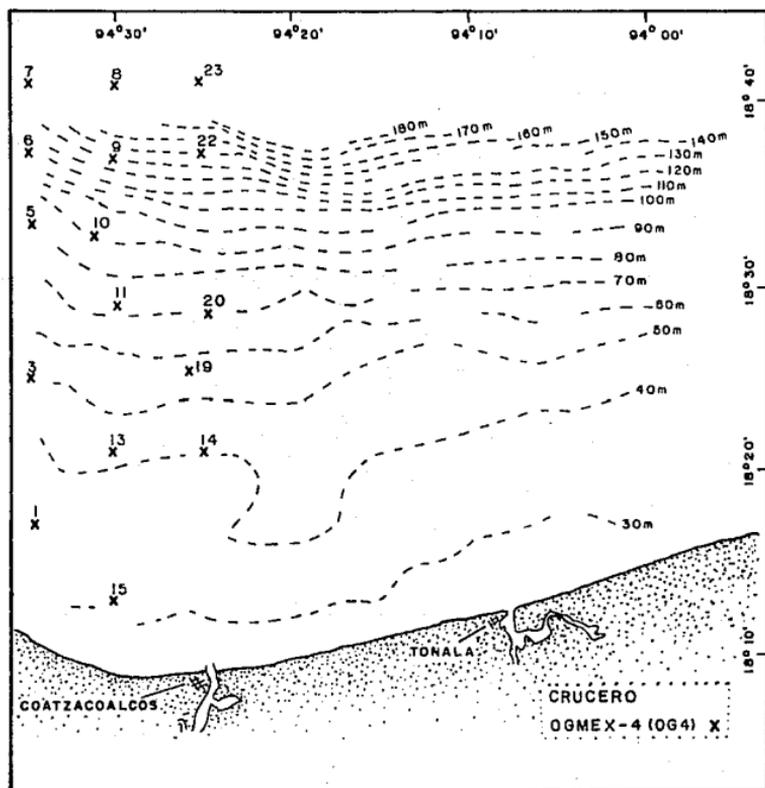


FIGURA II. LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES DEL OGMEX-4
 ABRIL, 1988

La clasificación anterior efectuada para los porcentajes de materia orgánica, funciona también para los niveles de carbonatos dividiendo estos porcentajes en dos grupos con respecto a la ubicación.

Estaciones cercanas a la costa con menores porcentajes:

ESTACION	15	01	20	18	13	03	19
CO ₃ (%)	10.92	7.71	7.06	6.42	5.46	5.14	4.17

Las siguientes estaciones están localizadas a partir de la latitud 18°29.0' hasta 18°41.0', que registrarán los mayores porcentajes:

ESTACION	22	05	09	23	06
CO ₃ (%)	16.06	15.42	14.45	14.13	13.49

ESTACION	07	10	11	08
CO ₃ (%)	12.85	12.20	12.20	11.56

11.3 CONCENTRACIONES TOTALES DE METALES PESADOS.

N I Q U E L

La concentración de Ni varía desde 24.45 ppm (est. 05) hasta 3.24 ppm (est. 18). De acuerdo al nivel de concentración se efectuarán dos divisiones, a continuación se destacan las estaciones con las mayores concentraciones de Ni:

ESTACION	05	06	07	22	23
Ni (ppm)	24.45	24.28	23.00	22.67	22.32

ESTACION	10	13	08	09
Ni (ppm)	21.27	21.16	21.15	21.07

De acuerdo al grupo anterior nuevamente se corroboró que los sedimentos con mayor contenido de C-orgánico presentan mayor afinidad por este metal (Ni); con excepción de la estación 13 que presentó niveles bajos de C-orgánico y de carbonatos.

CUADRO 11.a CONCENTRACIONES TOTALES (ppm) DE METALES PESADOS EN
SEDIMENTOS DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DE LOS ESTADOS DE VERACRUZ
Y TABASCO, MEXICO.

O G M E X - 4 (ABRIL, 1988)

ESTACION	M.O.	CO ₃	Ni	Cr	Co	Cu	Pb	Zn	Cd
0G4-01	0.22	7.71	15.06	2.50	17.96	13.82	24.22	40.86	1.27
0G4-03	0.13	5.14	20.04	4.00	18.92	4.55	14.39	10.16	1.31
0G4-05	0.60	15.42	24.45	1.41	25.17	26.39	39.49	57.94	1.47
0G4-06	0.50	13.49	24.28	7.00	26.51	20.72	45.11	45.97	2.35
0G4-07	0.40	12.85	23.00	5.00	19.68	21.28	12.77	14.88	1.27
0G4-08	0.40	11.56	21.15	8.49	20.55	21.66	46.24	47.89	1.45
0G4-09	0.42	14.45	21.07	13.11	20.64	22.86	46.14	30.87	2.43
0G4-10	1.32	12.21	21.27	11.60	22.18	21.58	29.28	47.72	1.48
0G4-11	0.52	12.21	17.60	12.70	21.00	21.93	19.56	31.35	1.48
0G4-13	0.27	5.46	21.16	12.50	19.65	16.93	7.76	13.50	1.45
0G4-15	0.12	10.92	10.04	7.20	21.33	17.04	16.10	17.55	1.50
0G4-18	0.09	6.42	3.24	4.16	16.58	18.06	24.82	0.51	1.33
0G4-19	0.07	4.17	6.55	10.45	17.13	13.49	15.12	3.75	1.38
0G4-20	0.16	7.06	9.44	7.27	16.30	10.70	8.50	4.21	1.20
0G4-22	1.08	16.06	22.67	15.45	20.72	21.04	36.14	46.78	1.54
0G4-23	0.87	14.13	22.32	21.31	20.80	20.00	33.48	43.23	1.15
PROMEDIO	0.43	10.58	17.70	9.00	20.32	18.05	26.20	28.57	1.50

M.O. (Materia orgánica) = % de C-o. (Carbono orgánico)
CO₃ = % de Carbonatos

Las concentraciones menores de níquel las registrarón las estaciones:

ESTACION	03	11	01	15	20	19	18
Ni (ppm)	20.04	17.60	15.06	10.04	9.44	6.55	3.24

C R O M O

Para este metal se registró la concentración máxima en la estación 23 (21.32 ppm), mientras que la estación 05 registró la concentración mínima de 1.41 ppm. Para Cr no se puede aplicar en todas las estaciones el criterio del porcentaje de materia orgánica, porque algunas presentarán concentraciones altas de Cr pero no de C-orgánico y viceversa.

Estaciones con mayores concentraciones:

ESTACION	23	22	09	11
Cr (ppm)	21.31	15.45	13.11	12.70
ESTACION	13	10	19	
Cr (ppm)	12.50	11.60	10.45	

En la clasificación anterior, las estaciones 13 y 19 son la excepción pues sus concentraciones de C-orgánico son pequeñas (Cuadro 11.a).

Considerando que se detectaron en estas estaciones concentraciones arriba del límite de detección que es de 10.0 ppm de Cr se establece la contaminación por este metal.

Las 9 estaciones restantes (01, 03, 05, 06, 07, 08, 15, 18 y 20) registrarón concentraciones menores del orden de 8.49 ppm a 1.41 ppm.

C O B A L T O

El Co no presentó un rango amplio de concentraciones en las estaciones de este crucero como sucedió con Ni y Cr; este metal varía de 16.3 ppm (est. 20) que es el valor más pequeño, hasta 26.51 ppm de la estación 06. La retención de este metal en los sedimentos de las 16 estaciones resulta homogénea.

C O B R E

El valor mínimo de Cu es de 4.55 ppm que corresponde a la estación 03, mientras que la estación 05 registró el valor máximo de 26.39 ppm. El siguiente grupo de estaciones presentarán los valores más altos de materia orgánica y también las mayores concentraciones de cobre:

ESTACION	05	09	11	08	10
Cu (ppm)	26.39	22.86	21.93	21.66	21.58
ESTACION	07	22	06	23	
Cu (ppm)	21.28	21.04	20.72	20.00	

P L O M O

El rango de concentraciones de este metal varia desde 46.24 ppm (est. 08) hasta el mínimo de 7.76 ppm (est. 13).

Estaciones con las mayores concentraciones de Pb:

ESTACION	08	09	06	05	22
Pb (ppm)	46.24	46.14	45.11	39.49	36.14
ESTACION	23	10	18	01	
Pb (ppm)	33.48	29.28	24.82	24.22	

Las estaciones 11, 15, 19, 03, 07, 20 y 13 mostrarán concentraciones de entre 19.56 ppm hasta 7.76 ppm. Las concentraciones detectadas para este metal presentan variaciones significativas de unas estaciones a otras, observandose que algunas no registrarán concentraciones arriba del límite de detección (para Pb al igual que para Cr es de 10.0 ppm); en contraste con otras estaciones que mostrarán concentraciones muy altas.

Z I N C

Este metal presentó gran diversidad en sus concentraciones variando desde 57.94 ppm (est. 05) hasta 0.51 ppm que corresponden a la estación 18. Las siguientes estaciones registrarán los niveles mayores de Zn:

ESTACION	05	08	10	22	06
Zn (ppm)	57.94	47.89	47.72	46.78	45.97
ESTACION	23	01	11	09	
Zn (ppm)	43.23	40.86	31.35	30.87	

Este metal muestra el mismo comportamiento que Ni, Cr, Cu y Pb la estación 01 es la única estación que no estaba integrada en este grupo, su concentración tal vez se deba a que capta parte de los sedimentos que no quedan atrapados en la estación 15 y que son arrastrados hasta este sitio por el flujo de corriente que provoca la desembocadura del río Coatzacoalcos pues la estación 15 queda próxima a este lugar.

C A D M I O

Este metal no presenta variaciones significativas, sus concentraciones son muy pequeñas en todas las estaciones siendo las mayores de 2.35 ppm (est. 06) y 2.43 ppm (est. 09), mientras que los valores mínimos son de 1.15 ppm y 1.20 ppm (estaciones 23 y 20). No obstante, estas concentraciones se encuentran por arriba del límite de detección (1.00 ppm de Cd), por lo que son mínimas solo en comparación con las concentraciones de los otros metales.

DISCUSION GENERAL

De entre las 16 estaciones, las máximas concentraciones de los metales totales están repartidas entre 6 de éstas, a continuación se describen:

ESTACION	METALES TOTALES
05	Zn > Pb > Cu > Co > Ni > Cd > Cr
06	Zn > Pb > Co > Ni > Cu > Cr > Cd
08	Zn > Pb > Cu > Ni > Co > Cr > Cd
09	Pb > Zn > Cu > Ni > Co > Cr > Cd
22	Zn > Pb > Ni > Cu > Co > Cr > Cd
23	Zn > Pb > Ni > Cr > Co > Cu > Cd

Nuevamente, estas estaciones se localizan cerca del borde continental donde el sedimento es de partícula mas fina, las 6 estaciones registrarón porcentajes de carbonatos elevados; mientras que los porcentajes de C-orgánico son muy pequeños con excepción de las estaciones 22 y 23 (1.08% y 0.87%). La concentración de estas estaciones se ve incrementada por la influencia de la Corriente de Yucatán, en el período de primavera-verano la velocidad de la corriente aumenta, lo que provoca que las contracorrientes se desplacen más al oeste, presentandose un aumento en la productividad (Secretaría de Marina, 1982); en abril, el flujo de la corriente es intenso y arrastra grandes cantidades de material particulado impidiendo

que este material pueda sedimentar, y se acumula en la materia particulada acarreada por la Corriente del Caribe que barre las costas de Sudamérica; pero al mismo tiempo, si estos sitios se ven afectados por las surgencias que se presentan en este periodo, el comportamiento de las masas de agua se modifica, entonces, pueden favorecer la precipitación y acumulación en el fondo del mar (Barron, 1991). Este es uno de los factores que causan que las concentraciones en algunas de las estaciones sea muy baja, ya que los metales se encuentran junto con el sedimento suspendido; si se presentan las surgencias se promoverá el aumento de metales en el sedimento.

Los metales zinc y plomo ocupan el primero y segundo lugar en la jerarquía anterior y esta relación se mantiene en los cuatro cruceros, las altas concentraciones que presentan estos metales se explica (como se ha mencionado varias veces) en base a las descargas que sufre el río Coatzacoalcos de efluentes contaminados por metales pesados (principalmente Pb y Zn) procedentes de las plantas de TEMSA, IQUISA y PEMEX; el plomo se obtiene como subproducto de la fabricación del anti-detonante mexoctano, se dispersa como PbO y $(CH_3CH_2)_4Pb$, el efluente tal como sale de la fábrica, se recibe en un pozo de lodos, donde se decantan los sólidos y se recupera el Pb; el líquido sobrenadante es transportado a través de un ducto que penetra en el río (Villanueva, 1987).

11.4 CONCENTRACIONES BIODISPONIBLES DE METALES PESADOS

Como se ha mencionado en los cruceros anteriores, las concentraciones disponibles de metales resultan de gran interés en relación a la concentración total, ya que esta fracción es la que podría ser tomada por los organismos acuáticos en un momento determinado.

En el Cuadro 11.b se registran las concentraciones de los metales biodisponibles que presentaron las estaciones de este OGMEX.

N I Q U E L

Para Ni, solo la estación 09 no fue detectada; la máxima concentración de 6.11 ppm la registró la estación 07, mientras que la estación 22 registro el valor menor de 1.16 ppm.

C R O M O

De los 7 metales analizados en este estudio, el Cr junto con Cd presentaron los valores biodisponibles más bajos en estas estaciones; el valor mayor de 1.95 ppm de Cr lo presentó la

CUADRO 11.b CONCENTRACIONES BIODISPONIBLES de metales pesados en sedimentos de la plataforma continental de los estados de Veracruz Veracruz y Tabasco, México.

O G M E X - 4 (ABRIL, 1988)							
ESTACION	Ni	Cr	Co	Cu	Pb	Zn	Cd
OG4-01	6.02	0.21	N.D.	N.D.	2.05	14.52	N.D.
OG4-03	3.61	1.55	1.15	3.50	2.37	3.77	N.D.
OG4-05	3.43	1.04	2.46	2.88	5.26	5.02	0.12
OG4-06	2.07	N.D.	5.82	N.D.	17.80	12.42	N.D.
OG4-07	6.11	1.35	2.37	2.71	7.72	8.51	0.30
OG4-08	1.76	0.80	1.98	5.94	4.12	8.72	N.D.
OG4-09	N.D.	N.D.	3.84	3.84	4.40	14.42	N.D.
OG4-10	3.64	1.48	2.42	2.29	4.06	4.67	0.24
OG4-11	3.13	1.42	2.28	5.56	4.43	4.27	0.25
OG4-13	1.92	0.25	N.D.	N.D.	4.05	2.67	N.D.
OG4-15	3.37	1.46	1.46	N.D.	2.67	3.27	N.D.
OG4-18	3.10	0.98	0.84	8.73	3.21	N.D.	0.12
OG4-19	1.30	0.53	N.D.	N.D.	5.60	2.05	N.D.
OG4-20	2.98	0.56	0.71	8.20	3.03	2.53	N.D.
OG4-22	1.16	0.52	1.99	7.96	3.73	12.44	N.D.
OG4-23	5.13	1.95	2.93	1.77	3.91	5.60	0.24
PROMEDIO	3.04	0.90	1.89	3.33	5.27	6.76	0.08

N.D. = no detectable

estación 23, y el valor mínimo (0.21 ppm) fue registrado por la estación 01. Las concentraciones de las estaciones 06 y 09 no fueron detectadas por el espectrofotómetro de absorción atómica.

C O B A L T O

El Co biodisponible también mostró comportamiento muy variado, su mayor concentración de 5.82 ppm lo registró la estación 06 y la estación 20 presentó el nivel más pequeño de 0.71 ppm. En el Cuadro 11.b puede notarse que también el Co no fue detectado en algunas estaciones.

C O B R E

En cuanto a Cu aumentan un poco sus concentraciones, teniendo la máxima en la estación 18 con 8.73 ppm y la menor de 1.77ppm en la estación 23, también presentó estaciones cuyos valores no fueron detectados.

Z I N C

Presentó concentraciones poco uniformes, variando desde 14.52 ppm (est. 01) hasta 2.05 ppm (est. 19).

P L O M O

El Pb al igual que Zn registrarón los valores más altos en la mayoría de las estaciones, siendo éstas en orden decreciente:

METALES	ESTACIONES
Zn	01 > 09 > 22 > 06 > 08 > 07 > 23
Pb	06 > 23 > 07 > 19 > 05 > 11 > 09

C A D M I O

Este metal presentó el mayor número de estaciones con valores no detectados (10 estaciones), mientras que en las demás los niveles fueron mínimos, siendo el mayor de 0.30 ppm registrado por la estación 07.

12. ANALISIS DE CORRELACION LINEAL

Para establecer hasta que punto los parámetros antes mencionados están interactuando con los metales, se realizó un análisis de correlación lineal. En el Cuadro 12.a se presentan los coeficientes de correlación entre los dos parámetros analizados carbonatos (CO_3) y materia orgánica (C-orgánico) así como su relación con cada uno de los 7 metales totales.

METALES TOTALES

Los valores que se registran en el Cuadro 12.a demuestran que existe una fuerte asociación entre los metales independientemente de los niveles (altos y/o bajos) de concentración que presentarán, esta relación estrecha entre ellos manifestará en cierto grado un sinergismo o antagonismo que dependerá de las características del metal.

A continuación se destacan los coeficientes más altos que se registrarán:

Zn	-	Pb	(r = 0.9389)
Ni	-	Zn	(r = 0.9295)
Ni	-	Pb	(r = 0.9000)

Se puede decir que el nivel de acumulación de estos tres metales (Zn, Pb y Ni) está interrelacionada cuando se encuentran en el sedimento.

De acuerdo a las correlaciones que se registrarán puede decirse que los metales no muestran una afinidad directa por los carbonatos ni por la materia orgánica, sus correlaciones no son significativas; todos sus coeficientes son pequeños, el mayor ($r=0.46$) lo registró la relación Zn-C.org.

Como puede observarse en el cuadro, el cadmio no mantiene una relación íntima con los otros metales, ya que fue el metal que presentó los coeficientes más bajos.

El Ni registró dos coeficientes poco significativos, en sus relaciones Ni-Cu ($r=0.70$) y Ni-Cd ($r=0.61$); el Cr también observó dos coeficientes pequeños en sus relaciones Cr-Cu ($r=0.61$) y Cr-Cd ($r=0.57$); el mismo comportamiento lo mostró Co-Cu con $r=0.70$ y Co-Cd con $r=0.72$.

Cuadro 12.a COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE METALES TOTALES ANALIZADOS EN SEDIMENTOS RECIENTES DE LOS CUATRO CRUCEROS , LA MATERIA ORGANICA Y LOS CARBONATOS.

	Ni	Cr	Co	Cu	Pb	Zn	Cd
Ni	1.0000						
Cr	0.8727	1.0000					
Co	0.8023	0.8022	1.0000				
Cu	0.7034	0.6109	0.6978	1.0000			
Pb	0.9000	0.8566	0.8267	0.7290	1.0000		
Zn	0.9294	0.8638	0.8051	0.6625	0.9388	1.0000	
Cd	0.6123	0.5749	0.7163	0.4600	0.6313	0.5713	1.0000
CO ₃	0.3332	0.2517	0.2242	0.1900	0.4009	0.4009	0.2206
C-org.	0.2235	0.3791	0.2209	0.1847	0.3156	0.4561	0.1361

Materia orgánica = % de C-org.

CO₃ = % de carbonatos

n = 61 muestras

α = 0.05

METALES BIODISPONIBLES

En el Cuadro 12.b se registran los coeficientes de correlación entre los metales biodisponibles, el C-orgánico y los carbonatos.

La relación entre los metales Zn-Pb mostró el coeficiente más alto $r=0.90$, seguida por las relaciones Co-Zn con $r=0.82$, Co-Pb con $r=0.71$, Co-Cr ($r=0.67$) y Zn-Ni ($r=0.52$). Las relaciones restantes entre los otros metales registraron coeficientes menores de 0.5; el metal que mejor se relacionó de entre los 6 casos fue Zinc.

Es importante mencionar que existe una mejor relación entre los metales totales que entre los biodisponibles.

Como puede observarse, el análisis de correlación no arrojó datos considerables tanto para la concentración total como para la fracción biodisponible con respecto a la materia orgánica y a los carbonatos, ya que se considera una interacción significativa cuando los valores son mayores de 0.5; exceptuando la relación entre Cr biodisponible con CO_3 donde $r=0.54$, con lo cual se corrobora (en esta evaluación) la mayor afinidad que presentaron los metales para relacionarse con los carbonatos, en cuanto a la materia orgánica también se demuestra que no presenta relación estrecha con los metales.

Cuadro 12.b COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE METALES BIODISPONIBLES ANALIZADOS EN SEDIMENTOS RECIENTES DE LOS CUATRO CRUCEROS, LA MATERIA ORGANICA Y LOS CARBONATOS.

	Ni	Cr	Co	Cu	Pb	Zn	Cd
Ni	1.0000						
Cr	-0.1250	1.0000					
Co	0.4840	0.6679	1.0000				
Cu	0.2140	-0.4070	-0.3565	1.0000			
Pb	0.3722	-0.0978	0.7092	-0.0182	1.000		
Zn	0.5244	0.1967	0.8184	-0.1809	0.9036	1.0000	
Cd	0.1543	0.1358	0.1960	0.0240	0.1617	0.0241	1.0000
CO ₃	0.0384	0.5432	0.4895	-0.3662	0.1642	0.2894	0.0997
C-org.	-0.0491	0.4090	0.3791	-0.3318	-0.0665	-0.0005	0.2087

Materia orgánica = % de C-org.

CO₃ = % de carbonatos

n = 61 muestras

α = 0.05

13. CONCENTRACIONES PROMEDIO

13.1 MATERIA ORGÁNICA

Las concentraciones promedio de materia orgánica y de carbonatos son expuestas en el cuadro 13.a.

OGMEX-3:

Este crucero fue el de mayor concentración de materia orgánica 0.63% ; efectuó su muestreo a finales de otoño, cuando las cantidades de fitoplancton y zooplancton disminuyen gradualmente a medida que la temperatura y la iluminación descienden (Tait, 1987), por lo tanto, la productividad primaria también desciende provocando que las cantidades de materia orgánica disminuyan también; sin embargo, sucede lo contrario, esto puede ser el resultado de los efectos de parámetros atmosféricos como vientos, corrientes, mareas, etc.. (Cooper, 1978) considera que las olas internas pueden producir mezclas verticales cuando inciden sobre el talud continental, ya que el movimiento que allí se produce se transmite de forma comparable al de las olas que rompen sobre la costa, llevando aguas profundas hacia la plataforma continental. De esta forma, las capas oceánicas profundas ricas en nutrientes pueden sobrepasar el borde continental mezclándose con las aguas de la plataforma continental y aumentando así su fertilidad (Shepard, 1967). Se cree que este proceso contribuye en la acumulación de C-orgánico en esta zona pues Coatzacoalcos recibe el impacto directo de los nortes, frecuentes de octubre a marzo; los vientos dominantes en la región son del NE (Secretaría de Marina, 1980).

De mayor importancia es el contemplar las descargas de los ríos Coatzacoalcos y Tonalá en la zona de estudio ya que son los que contribuyen con la mayor cantidad de nutrientes. La transportación por sistemas de ríos es considerable, Kuenen (1978) calculo que la partícula anual total y la materia disuelta deliverada por los ríos del mundo ascendieron a 12 Km cúbicos por año.

OGMEX-4:

Continuando con este crucero en el que se encontró un promedio de 0.43% de C-orgánico en sus estaciones; su recorrido se efectuó en la época de primavera (abril, 1987) en la cual la concentración de nutrientes es al principio alta, pero disminuye al ser absorbidos por el fitoplancton que se multiplica, por lo tanto, la productividad primaria aumenta al máximo y el zooplancton también aumenta (Tait, 1987). A ello se debe que disminuya el porcentaje de materia orgánica durante este

período; la sucesión estacional de especies de fitoplancton que tiene lugar durante el período de producción puede reflejar, en parte, los cambios estacionales en la materia orgánica, con especies de primavera que crecen a expensas de los nutrientes inorgánicos y especies que prosperan más tarde utilizando los solutos orgánicos que abundan en el agua después del florecimiento primaveral (Tait, 1967). De esta forma es consumida la materia orgánica, y además el aporte por parte de los ríos disminuye un poco ya que en esta región se presenta una temporada seca de febrero a mayo (SARH, 1974). Por otra parte, los vientos no son considerables como para que influyan en el movimiento de las aguas más profundas y puedan aportar nutrientes.

OGMEX-2:

En el verano se efectuó el muestreo del OGMEX-2; al final de esta época la corriente de Lazo presenta una amplia intromisión (Leipper, 1970; Elliot, 1982) lo que provoca el arrastre de sedimentos desde el Mar Caribe hasta las costas de Veracruz.

Por otro lado, la descarga de los ríos en este período es mayor puesto que es la época de lluvias. A pesar de las condiciones anteriores, el porcentaje promedio de materia orgánica del OGMEX-2 disminuye a 0.30% ; Liu y Kaplan (1984) señalan que más de la mitad de las macroparticulas orgánicas depositadas sobre el piso marino pueden ser consumidas por desnitrificación en la interfase agua-sedimento.

OGMEX-1:

Aquí las estaciones registraron el menor porcentaje promedio de materia orgánica 0.205 %, este muestreo se efectuó a finales de invierno.

Puede decirse que el proceso cascada es uno de los causantes de las pérdidas tanto de nutrientes como de organismos planctónicos de las aguas neríticas. Durante el otoño y el invierno la pérdida de calor de la superficie del mar puede hacer que las aguas poco profundas que sobrenadan la plataforma continental lleguen a hacerse más frías y más densas que las aguas que están a niveles similares más allá del borde continental. Por consiguiente, el agua más pesada de la plataforma tenderá a descender por el talud continental, es decir, a caer en cascada hasta un nivel de densidad apropiada. Las pérdidas producidas por el agua que cae en cascada desde la plataforma continental deben ser compensadas por una corriente equivalente de entrada que proceda de cualquier otro sitio (Tait, 1967). En consecuencia, este efecto sobre la fertilidad de la plataforma continental dependerá de la calidad del agua de compensación; y el flujo de entrada del agua hacia el mar por parte de los ríos en el período invernal es poco con-

CUADRO 13.a CONCENTRACIONES PROMEDIO DE METALES PESADOS, CARBO-
NATOS Y MATERIA ORGANICA EN SEDIMENTOS DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL
DE LOS ESTADOS DE VERACRUZ Y TABASCO, MEXICO.

M E T A L E S · T O T A L E S

CRUCEROS	M.O.	CO ₃	Ni	Cr	Co	Cu	Pb	Zn	Cd
OGMEX-1	0.21	8.48	23.80	10.40	24.94	15.95	34.24	35.42	2.00
OGMEX-2	0.30	12.75	13.10	6.11	16.08	10.34	22.94	22.30	1.40
OGMEX-3	0.79	11.40	17.38	20.60	22.19	18.14	22.04	32.43	1.51
OGMEX-4	0.43	10.58	17.70	9.00	20.32	18.05	26.19	28.57	1.50
PROMEDIO	0.43	10.80	18.00	11.52	20.88	15.62	26.35	29.70	1.60

M.O. (materia orgánica) = % de C-o. (carbono orgánico)

CO₃ = % de carbonatos

siderable a causa de que las lluvias son mínimas (SARH, 1975). Sumado a ésto, influyen en la disminución de C-orgánico otros factores que fueron anteriormente tratados.

13.2 CARBONATOS

inversamente, los carbonatos registrarón valores superiores a los de materia orgánica. Esto se debió principalmente a la ubicación geográfica, en la cual se encuentra una zona extensa de arrecifes coralinos altamente productores de carbonatos localizados en el estado de Veracruz y al tipo de sedimento constituido en su mayoría por arenas, otra de las causas es la influencia que ejercen los sedimentos calcáreos de la plataforma continental del Banco de Campeche, los cuales pueden ser arrastrados durante la entrada de la Corriente de Lazo por el Caribe Mexicano. También se sabe que la mayoría de los sedimentos carbonatados marinos poco profundos son derivados de la ruptura de esqueletos que caen de organismos secretando carbonatos (Walter, 1965).

Los valores más altos fueron registrados en las estaciones del Crucero-2 con un promedio de 12.75% de CO_3 , después el Crucero-4 con 10.58%, seguido por el Crucero-1 con porcentaje promedio de 8.48% y finalmente, el Crucero-3 con 6.44%.

13.3 METALES TOTALES PROMEDIO

En el cuadro 13.a se registran las concentraciones totales promedio de metales pesados.

El CRUCERO-1 obtuvo las mayores concentraciones promedio de metales totales para cinco de los elementos analizados (Figura 12), estos son:

METALES	Zn	Pb	Co	Ni	Cd
(ppm)	35.42	34.24	24.94	23.80	2.00

Las causas de los promedios más altos de estos metales pueden ser las siguientes: Este crucero efectuó el muestreo al norte de la zona de estudio y sus estaciones están ubicadas más hacia el borde continental que hacia la costa donde el sedimento es de partícula más fina y los metales pesados tienen mayor afinidad por los sedimentos de grano fino depositándose

en estos. (Smith, 1973; De Gooit, 1977; Chester and Stoner, 1975a) han demostrado que el carácter textural de los sedimentos determinan en cierto grado la concentración de metales pesados; sin embargo, estos autores mencionan que la concentración de metales pesados aumenta al aumentar el contenido del material orgánico, sin embargo, en este cruceo el promedio de C-orgánico fue el menor (0.21% de C-orgánico). Lo anterior puede ser un claro indicio de que los metales pesados en el área donde se efectuó el muestreo no necesariamente están asociados a la fracción orgánica.

Por otro lado, puede que las altas concentraciones de metales pesados se encuentran ligados a la fracción de los óxidos de Fe y Mn. Esta bien establecido que estos óxidos existen como nódulos, concreciones, o simplemente como cementantes o revestimiento de partículas; éstos óxidos son excelentes captadores de los metales pesados (como Zn, Cu, Co, Ni y Mo) y termodinámicamente son inestables en condiciones reductoras (Tessier et al., 1979; Heggie y Lewis, 1933). Considerando que las aguas interiores suelen contener mucho más hierro que las oceánicas, especialmente en las cercanías de los estuarios, donde los ríos transportan a menudo cantidades bastante grandes de hierro, tanto disuelto como en partículas (Tait, 1987).

Las elevadas concentraciones promedio de Pb y Cd que se encuentran en esta zona pueden ser causadas por los contenidos de carbonatos (concentración promedio de CO_3 8.5%). Ponce (1988) en su evaluación de metales pesados en sedimentos de la Laguna de Términos, en Campeche, encontró que estos metales (Pb y Cd) estuvieron asociados a los carbonatos del sedimento; sus concentraciones más altas se registraron en las zonas donde existen altos porcentajes de carbonatos (8.5%) y la mayoría de los sitios de esta región presenta sedimentos arenosos que propician la permanencia de estos metales potencialmente tóxicos en el fondo del mar e impiden su presencia en la columna de agua por tiempos largos (Goldberg, 1976).

Se había mencionado que en esta zona el sedimento era de tamaño fino, sin embargo, existen varios movimientos que alteran la sedimentación en esta época como son las turbulencias (difusión en remolinos) que pueden generarse en tres formas por convección, por corrientes o por olas internas (Tait, 1987); éstos propician el transporte de sedimentos y con éste acompañan los metales asociados a las partículas del sedimento.

El CRUCEO-3 llevó a cabo el muestreo a finales de otoño; sus concentraciones promedio de los metales totales Zn, Pb, Co, Ni y Cd ocupan el segundo lugar; mientras que para Cr (20.60 ppm) y Cu (18.14 ppm) presentó las concentraciones más altas con respecto a los otros tres cruceros (Figura 14).

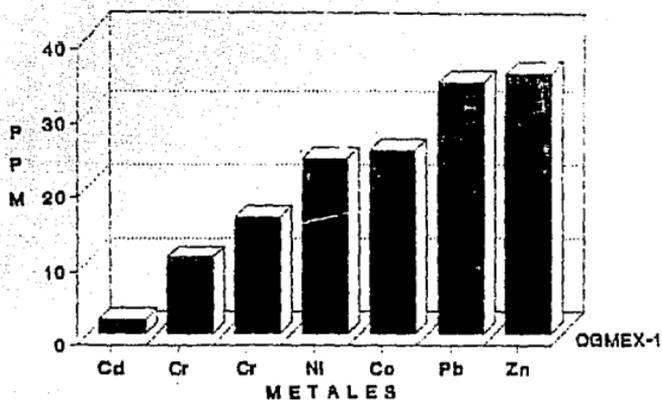


FIGURA 13. Concentraciones totales promedio. Plataforma Continental de Veracruz y Tabasco. (Marzo de 1987).

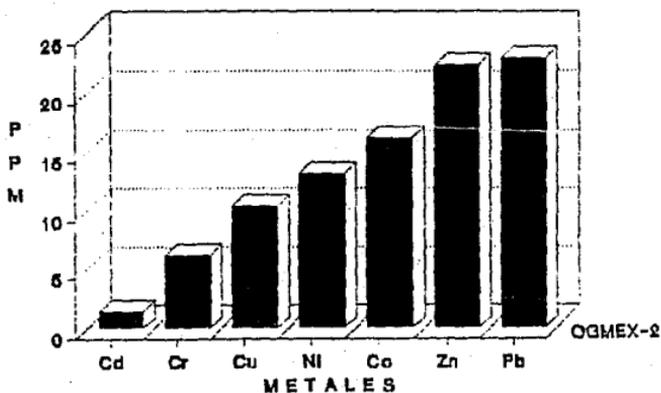


FIGURA 14. Concentraciones totales promedio. Plataforma Continental de Veracruz y Tabasco. (Agosto de 1987).

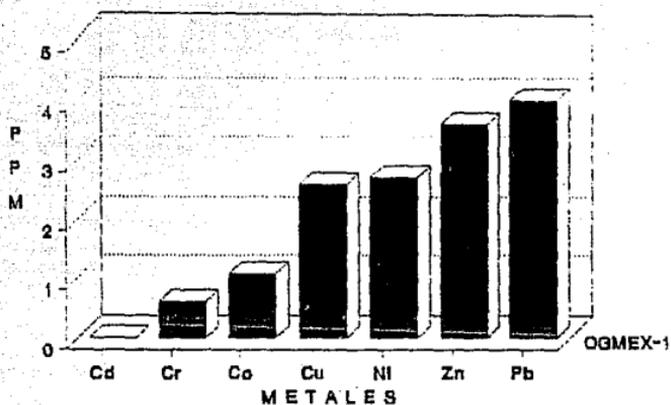


Figura : Concentraciones biodisponibles promedio. Plataforma Continental de Veracruz y Tabasco. (Marzo de 1987).

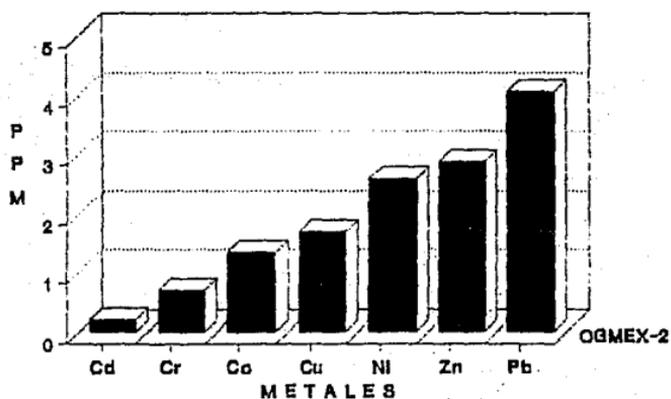


FIGURA : Concentraciones biodisponibles promedio. Plataforma Continental de Veracruz y Tabasco. (Agosto de 1987).

Las altas concentraciones de estos metales pueden ser causadas por la afinidad que estos presentan para asociarse a la fracción orgánica, recordando que este crucero registró la mayor concentración promedio de C-orgánico 0.63% y el porcentaje promedio menor de carbonatos 0.44% CO_3 . Tomando en cuenta que las arcillas, los óxidos de metal hidratado y materia orgánica están considerados por ser el grupo más importante en contribución y competencia por la absorción de elementos traza (Kabata y Pendias, 1992).

En la zona de estudio el tipo de sedimento no es arcilloso y por otra parte, influye notablemente la época en la cual se efectuó el muestreo (diciembre), ya que los factores climáticos que causan alteraciones en los parámetros oceanográficos de la zona de estudio promueven a su vez el transporte de sedimentos (como se ha mencionado anteriormente).

El sedimento es puesto en movimiento y transportado por la energía que llega principalmente de la disipación de las olas superficiales generadas por el viento a lo largo de la playa. Esta disipación puede tomar la forma de diferentes procesos, tales como la reflexión de energía de las olas de la playa o conversión para corrientes y fluctuaciones de otras dimensiones como las turbulencias (Capurro, 1970). El principal agente de transporte parece ser las corrientes de turbidez las cuales dominan todos los otros procesos deposicionales en el mar, y de esta forma se promueve el transporte de metales junto con los sedimentos; además, el aumento en el nivel del mar así como el oleaje en esta época provocan la erosión de los continentes; el transporte de arena en la zona litoral es sorprendentemente grande, el oleaje y las corrientes se encargan de llevar todo este material hacia la plataforma y los océanos. La principal fuente de este volumen viene de la tierra por descarga de los ríos; si bien, la época de muestreo fue en la temporada de lluvias se esperaba que las descargas de los ríos Coatzacoalcos y Tonala fueran mayores; sin embargo, los fuertes vientos y las mareas provocan grandes cambios en los estuarios.

Aunado a esto, se presentan descargas de grandes flujos de contaminantes por parte del complejo industrial ubicado en Coatzacoalcos, es posible que las altas concentraciones de estos metales se deba principalmente a descargas antropogénicas, estos ríos pasan por centros urbanos e industrializados así, la carga de los metales es aumentada por estos derrames; por otro lado la intensa sedimentación en estuarios atrapa una gran cantidad de metales los cuales llegan a ser absorbidos por partículas del sedimento y acarreados al fondo, además los sedimentos de estuarios industrializados contienen el legado de un siglo o más de desperdicios descargados; finalmente el dragado regular de canales de buques en estas áreas produce grandes cantidades de sedimentos contaminados con metales y usualmente es descargado en el mar (Clark, 1986).

El Crucero-4 ocupa el tercer lugar en cuanto a concentraciones promedio de los siete metales analizados Zn, Pb, Co, Ni, Cd, Cu, y Cr (Figura 15); registró valores intermedios tanto de materia orgánica 9.43% como de carbonatos 19.56%.

Una de las razones por la cual las concentraciones promedio de Zn, Co, Cr, Cu, Pb, Cd y Ni fueron menores que en la evaluación de los otros cruceros se puede explicar en base a que organismos como el plancton, copépodos, y radiolarios tienen la capacidad de concentrar selectivamente elementos traza (Paez-Osuna, 1990), como un resultado de esta selectividad, las concentraciones de algunos elementos traza en aguas puede decrecer en algunas estaciones, mientras que otros elementos pueden llegar a ser solubles durante la descomposición de las plantas (Kabata y Pendias, 1992).

Otra de las razones que provocan las concentraciones bajas de estos metales se debe al bajo caudal de los ríos; pues esta época de muestreo corresponde al período de sequías de la región.

El OGMEX-2, registró las menores concentraciones promedio de los 7 metales totales (Figura 13) debido posiblemente al alto porcentaje de carbonatos que registró (12.75%), esto es, considerando que los minerales carbonatados más comunes y abundantes como son la calcita y aragonita se caracterizan por tener concentraciones muy bajas de metales pesados y más bien tienden a diluir a los sedimentos que acompañan (Forstner y Wittmann, 1979; Forstner, 1982). Igualmente intervienen en la acumulación de los metales otros factores que se presentan en esta temporada estacional y que han sido tratados en párrafos anteriores.

CUADRO 13b. CONCENTRACIONES PROMEDIO DE METALES PESADOS, EN SEDIMENTOS DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DE LOS ESTADOS DE VERACRZ Y TABASCO, MEXICO.

METALES BIODISPONIBLES

CRUCEROS	Ni	Cr	Co	Cu	Pb	Zn	Cd
OGMEX-1 (MAR. 1987)	2.70	0.61	1.09	2.58	4.02	3.60	N.D.
OGMEX-2 (AGO. 1987)	2.60	0.70	1.34	1.68	4.07	2.89	0.20
OGMEX-3 (DIC. 1987)	1.81	0.87	1.37	2.75	4.13	2.54	0.14
OGMEX-4 (ABR. 1987)	3.04	0.90	1.89	3.33	5.27	6.76	0.08
PROMEDIO	2.54	0.77	1.42	2.60	4.37	3.95	0.10

Metales = ppm

13.4 METALES BIODISPONIBLES PROMEDIO

La fracción biodisponible es la que se encuentra más débilmente ligada a otros compuestos, puede también derivarse desde los iones que se liberan cuando se perturbaban las condiciones diagenéticas, por lo tanto, esta fracción es la que está más fácilmente disponible para los organismos acuáticos (Loring, 1979).

Las concentraciones promedio mayores de metales biodisponibles fueron registradas en los cruceros 4 y 3 (Figura 14' y 15'), en contraste con los cruceros 1 y 3 que registrarón las mayores concentraciones de metales totales (Cuadro 13.b). El crucero-4 mostró la mayor concentración en cuanto a cinco metales:

METALES	Zn	Pb	Cu	Hg	Co	Cr
(ppm)	6.76	5.27	3.33	3.04	1.89	0.90

Mientras que el Crucero-2 registró mayor concentración promedio sólo para cadmio, siendo este de 0.20 ppm (Figura 13').

Como puede notarse en el Cuadro 13.a y b, de la concentración total obtenida de metales totales, sólo una cantidad muy pequeña está disponible para la biota acuática.

13.5 COMPARACION CON OTROS ESTUDIOS

A). COMPARACION CON AREAS COSTERAS DEL GOLFO DE MEXICO.

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 13.c que los niveles de metales pesados en los sedimentos de la plataforma continental de los estados de Veracruz y Tabasco en la mayoría de éstos resultan ser concentraciones menores que los registrados por otros autores, excepto para cadmio.

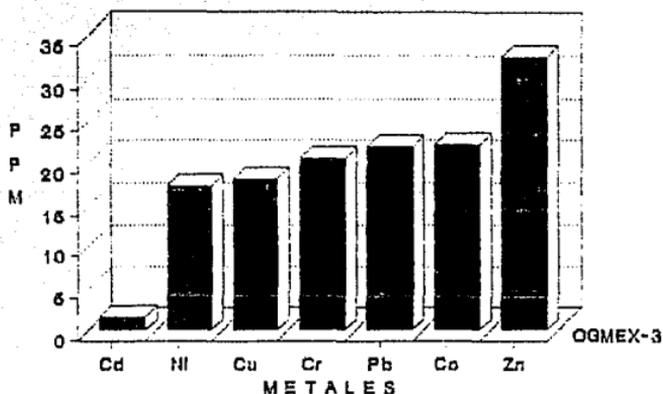


FIGURA 15. Concentraciones totales promedio. Plataforma Continental de Veracruz y Tabasco. (Diciembre de 1987).

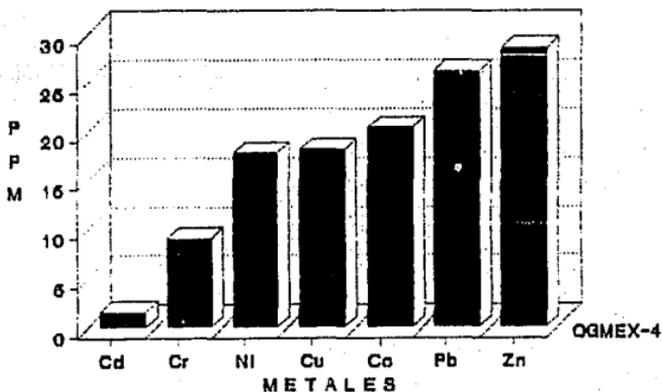


FIGURA 16. Concentraciones totales promedio. Plataforma Continental de Veracruz y TABASCO. (Abril de 1988).

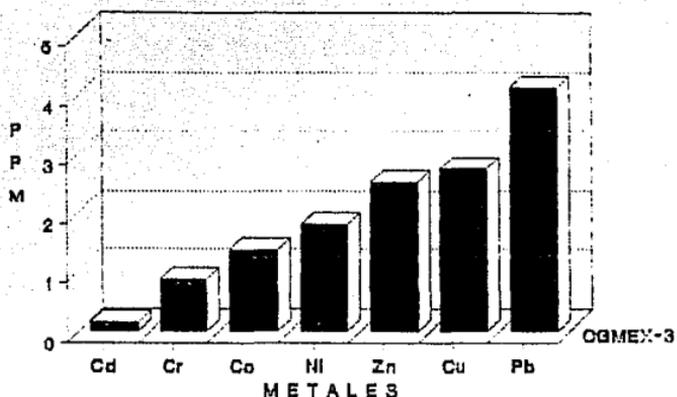


FIGURA : Concentraciones biodisponibles promedio, Plataforma Continental de Veracruz y Tabasco. (Diciembre de 1987).

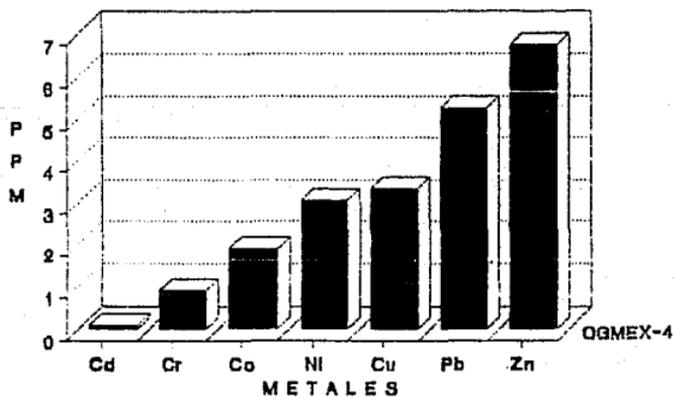


FIGURA : Concentraciones biodisponibles promedio, Plataforma Continental de Veracruz y Tabasco. (Abril de 1988).

La concentración promedio de NIQUEL (10.0 ppm) resultó ser la más pequeña y aunque el nivel más alto (98.4 ppm) es reportado en el Río Tonalá y ésta desemboca en la zona de estudio, esta disminución es debida a la influencia de diversos factores que actúan en la plataforma continental y que han sido discutidos anteriormente; las concentraciones de las áreas restantes se mantienen en el rango del Río Tonalá como la Laguna Bojórquez con 67.3 ppm, de entre estas áreas las menores son los Ríos Blanco y Coatzacoalcos con 35.9 y 34.7 ppm respectivamente.

Aunque la concentración promedio de CROMO 11.5 pp se mantiene dentro del rango de estas regiones que va de 83.0 ppm (Río - Blanco) hasta 1.00 ppm (Laguna Atasta), resulta ser de los niveles más bajos junto con las Lagunas de Tampamachoco y Mandinga con 9.6 y 7.4 ppm respectivamente.

El nivel de COBALTO 21.0 ppm es similar al de las áreas de comparación como el Río Tonalá (25.4 ppm) y el Río Coatzacoalcos (21.6 ppm), siendo el mayor de 42.8 ppm de la Laguna del Ostión.

Nuevamente la concentración mayor es reportada para la Laguna del Ostión en éste caso presentó 50.3 ppm de COBRE; sin embargo, la concentración reportada en este estudio 15.6 ppm es similar al de las áreas restantes, ya que el valor menor es de 7.4 ppm (Laguna de Términos).

La concentración promedio mayor de PLOMO es la registrada para el Río Coatzacoalcos de 43.0 ppm; el nivel registrado por este estudio es de 26.4 ppm y ocupa el cuarto lugar con respecto a las siete áreas que reportarán el nivel de este metal.

En cuanto a la concentración de Zn 29.7 ppm de este estudio también resulta ser de los valores más pequeños, ya que el mayor es de 112.4 ppm reportado para la Laguna del Ostión, mientras que el menor es de 20.44 ppm de la Laguna de Términos.

El CADMIO fue el único metal que presentó concentración (1.60 ppm) igual al de algunas de éstas áreas, como los Ríos Coatzacoalcos y Blanco, siendo el nivel menor de 0.02 registrado por las lagunas de Mandinga y Atasta.

Cuadro 13.d COMPARACION DE LAS CONCENTRACIONES PROMEDIO DE METALES TOTALES (ppm) EN SE SEDIMENTOS DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DE LOS ESTADOS DE VERACRUZ Y TABASCO CON DIFERENTES REGIONES DEL MUNDO.

LOCALIDAD	Ni	Cr	Co	Cu	Pb	Zn	Cd
Golfo de Cali- fornia. (a)	19.6	21.9	16.7	13.2	34.9	57.4	3.42
Golfo Arábigo. (b)	10.1	--	2.01	2.6	3.5	13.7	0.26
Golfo de Paria. (c)	31.0	100.0	19.0	--	20.0	--	--
Golfo de México. (d)	8.0	--	--	--	6.2	21.0	0.80
Golfo de México. (e)	18.0	11.5	21.0	15.6	26.4	29.7	1.60

a) Paéz-Osuna, 1990; b) Al Hashimi y Salman, 1985; c) Hist, 1962; d) Roth y Hornung, 1977; e) Este estudio.

Es importante mencionar que las concentraciones totales de los metales pesados Ni, Cr, Co, Cu, Pb, Zn y Cd son los primeros registrados en esta zona de la plataforma continental; por lo que no se cuenta con valores referencia para establecer comparaciones más reales, y aunque es aceptable hacerlo con otros registros de localidades diferentes es necesario considerar todos aquellos parámetros que caracterizan las diferentes regiones y de las que dependen la presencia de estos metales.

B). COMPARACION CON DIFERENTES REGIONES DEL MUNDO.

Una segunda comparación de estos datos con los registrados en otras partes del mundo se muestra en el Cuadro 13.d; puede observarse que los niveles de metales pesados en los sedimentos de la plataforma continental no resultan ser tan bajos como lo son con respecto a las regiones costeras del Golfo de México; el Golfo de Paria presentó las mayores concentraciones de Ni (31.0 ppm) y de Cr (100.0 ppm), siguiendo el Golfo de California con 19.6 ppm de Ni y 21.9 ppm de Cr, ocupando el tercer lugar para ambos metales el Golfo de México (en este estudio) con 18.0 ppm de Ni y 11.5 ppm de Cr.

Para cobalto y cobre este estudio registró los niveles más altos de 11.5 ppm y 21.0 ppm respectivamente; mientras que para plomo (26.4 ppm), zinc (29.7 ppm) y cadmio (1.60 ppm) ocupa un segundo lugar entre las demás regiones comparadas, siendo las mayores concentraciones de 34.9 ppm de Pb, 57.4 ppm de Zn y 3.42 ppm de Cd que fueron registradas para el Golfo de California.

CUADRO 13.c COMPARACION DE LAS CONCENTRACIONES TOTALES (VALORES PROMEDIO) DE METALES PESADOS EN SEDIMENTOS RECIENTES DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DE LOS ESTADOS DE VERACRUZ Y TABASCO CON DIFERENTES AREAS COSTERAS DEL GOLFO DE MEXICO.

LOCALIDAD	Ni	Cr	Co	Cu	Pb	Zn	Cd
L. Tampamachoco, Ver. (a)	--	9.6	--	--	3.9	--	0.10
L. Mandinga, Ver. (a)	--	7.4	--	--	3.3	--	0.02
R. Tonalá, Ver. (b)	98.4	--	25.4	22.2	--	66.5	--
R. Coatzacoalcos, Ver. (b)	34.7	67.0	21.6	24.7	43.0	85.5	1.60
L. Del Ostión, Ver. (b)	68.8	--	42.8	50.3	--	112.4	--
R. Blanco, Ver. (c)	35.9	83.0	25.4	27.1	31.6	90.0	1.60
L. Del Carmen, Tab. (a)	--	30.5	--	--	6.5	--	0.30
L. Atasta, Camp. (a)	--	1.0	--	--	0.3	--	0.02
L. Términos, Camp. (d,e)	45.5	--	--	N.D.	--	40.0	--
L. Términos, Camp. (f)	50.9	47.2	12.3	7.4	33.9	20.4	1.40
L. Bojórquez, OR. (g)	87.3	--	--	36.3	--	57.2	--
Plataforma Cont., Ver. y Tab. (h)	18.0	11.5	21.0	15.6	26.4	29.7	1.60

a) Rosas et.al., 1983; b) Villanueva, 1987; c) Álvarez, 1983; d) Bortello, 1983; e) Hicks, 1976; f) De León y Peña, 1987; g) Ponce, 1988; h) Este estudio. N.D. = No Detectado.

14. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos propuestos y con base en los resultados obtenidos en el presente estudio, se concluye lo siguiente:

1. Las máximas concentraciones promedio de metales totales en sedimentos recientes de la Plataforma Continental fueron para Zn (35.42 ppm) y Pb (34.24 ppm) que corresponde al OGMEX-1.

2. Considerando las concentraciones promedio de los metales totales de cada uno de los cruceros efectuados en los cuatro periodos estacionales se presenta la siguiente sucesión:

OGMEX-1 > OGMEX-3 / OGMEX-4 / OGMEX-2

3. Se observó que los 7 metales analizados tienen mayor afinidad por los sedimentos carbonatados, este comportamiento fue mostrado en los cuatro cruceros.

4. Las estaciones de los cuatro cruceros estudiados, presentaron sedimentos con concentraciones de C-orgánico muy bajas, debido al predominio de sedimentos arenosos; éstos son más ricos en carbonatos.

5. Las estaciones que registrarán mayores concentraciones de metales totales de los cuatro cruceros se muestran en orden decreciente de concentración:

CRUCERO/EST. OG3-119 > OG3-107 > OG3-118 > OG1-07 >

CRUCERO/EST. OG3-116 > OG3-86 > OG3-89 > OG3-102

6. Las áreas de mayor impacto se localizan en dirección del borde continental a una latitud de entre 18°28.9' y 18°41.1', esto es, en la parte central de la zona de estudio y en el límite de ésta.

7. Los factores estacionales presentan gran influencia sobre la acumulación de metales traza, ya que cambian las características locales de la región, esto se observa claramente con las concentraciones obtenidas para los cuatro cruceros que fueron efectuados en diferente época.

8. El OGHEX-4 registró las mayores concentraciones promedio de metales biodisponibles, siendo Pb y Zn los metales que pueden ser mayormente absorbidos por los organismos marinos; la fracción biodisponible del sedimento presentó una concentración de 5.76 ppm de Pb y 6.76 ppm de Zn (en época de primavera).

15. RECOMENDACIONES

Para poder determinar el grado del impacto ambiental que hasta estos días ha venido sufriendo la plataforma continental adyacente al corredor industrial de Coatzacoalcos debido al vertimiento de aguas residuales con altos contenidos de metales pesados en los ríos Coatzacoalcos y Tonalá que desembocan en esta zona es necesario realizar una evaluación completa, y para que este objetivo se pueda lograr se recomiendan los siguientes puntos:

1. Analizar la columna de agua completa (estrato superficial, estrato profundo, la interfase sedimento agua y el sedimento).
2. Al mismo tiempo efectuar análisis de los organismos de la misma zona (no coleccionarlos antes, ni después de realizar el muestreo de agua y sedimento).
3. Realizar análisis de granulometría a los sedimentos de cada una de las estaciones establecidas.
4. Cuantificar: salinidad, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos.
5. También es muy importante efectuar la determinación de las fracciones disponibles.

16. REFERENCIAS

- AGEMIAN H.A.S. y CHAU, 1976. Evaluation of extraction techniques for the determination of metals in aquatic sediments. ANALYST, 101 (1207): 761-767.
- ALVAREZ R.U., 1983. Distribución de metales pesados en edimentos del Rio Blanco, Veracruz. Tesis de Maestría. UACPyP-CCH, Maestría en Ciencias del Mar. UNAM. México. 68p.
- ANTOINE J., 1972. Structure of the Gulf of Mexico. In: Contribution on the geological and geophysical oceanography on the Gulf of Mexico. Rezak & Henry (Eds.) Houston, Texas. 3:35-65.
- AOYAMA I., INOUE Y. y Y. INOUE, 1978. Simulation analysis of the concentration process of trace heavy metals by aquatic organisms from the viewpoint of nutrition ecology. WAT. RES., 12(10):837-842.
- BAUDO R. y MUNTAU H., 1990. Lesser known in-place pollutants and diffuse source problems. In: Sediments: Chemistry and Toxicity in-place pollutants. (Baudo, R., Giesy, J.P. and Muntau, H. eds.) Lewis Publishers, Inc. London.
- BONNATTI E., 1978. Yacimientos metálicos en la litosfera oceánica. Investigación y Ciencia. No. 19 pp. 4-12.
- BOTELLO A.V. y PAEZ-OSUNA F., 1986. El problema crucial: la contaminación. En: Serie Medio Ambiente Coatzacoalcos Centro de Ecodesarrollo, México, Vol. 1. pp. 62-85.
- BOUNA H.A., 1972. Distribution of sediments and sedimentary structures in the Gulf of Mexico. In: Contribution on the geological and geophysical oceanography of the Gulf of Mexico. Rezar & Henry (Eds.) Houston Texas. 3:35-65.
- BRYAN G.W. 1976. Heavy metal contamination in the sea. In: Marine Pollution. Jhonston, R. (ed.) London: Academic Press.

- CAPURRO R.A., 1970. Oceanography for practicing en engineers. Department of Oceanography. College of Geosciences, Texas A&M. Barnes & Noble, Inc. New York.
- CHAVEZ S.G., 1975. Elementos de Oceanografía. C.E.C.S.A. Mexico.
- CLARK R.B., 1986. Marine Pollution. Clarendon Press, Oxford.
- D'INTRY M.F., 1990. The biomethylation and cicling of Selected metals and metalloids in aquatic sediments. In: Sediments: Chemistry and Toxicity of in-place pollutants. (Baudo R., Giesy P.J. and Muntau H. eds). Lewis Publishers, Inc. Boston.
- 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.
- FAIRBRIDGE W.R., 1966. The enciclopedia of oceanography. Reinhold Publishing Corporation. New York.
- FLEMMING B.W., 1981. Factors controlling shelf sediment dispersal along the Southeast African Continental Margin In: Sedimentary dynamics of continental shelves. (Nittrouer, C.A. ed). Elsevier Scientific Publishing Company. New York.
- FLINT W.R. y RABALAIS N.N., 1981. Environmental studies of a marine ecosystem. University of Texas Press.
- FORSTNER U. y WITTMANN G.T., 1979. Metal pollution in the aquatic environment. Springer Verlag Germany.
- FORSTNER U., 1990. Inorganic sediment chemistry and elemental speciation. In: Sediments: Chemistry and toxicity of in-place pollutants. (Baudo R., Giesy J.P. y Muntau H. eds.) Lewis Publishers, Inc. Boston.

- GAUDETTE H.E., FLIGHT W.R., TONER L. v FOLGER, 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. J.SEDIMENT PETROL.. 44(1): 249-253.
- GIL M.N., SASTRE V., SANTINELLI N. v ESTEVES J.L., 1969. Metal Content in seston from the San Jose Gulf, Patagonia, Argentina. Bull. Environ. Contam.Toxicol. 43:337-341.
- GOLDBERG D.E., 1976. The health of the oceans. The Unesco Press. Paris. 173p.
- GOLDBERG D.E., KOIDE M., HODGE V., RUSSEL F.A. v J.H. MARTIN, 1983. U.S. Mussel Watch: 1977-1978. Results on trace metals and radionuclides. EST. COAST. AND SHELF SCI.. 16: 69-93.
- GREEN A.M., ALLER C.R. y ALLER Y.J., 1992. Experimental evaluation of the influences of biogenic reworking on carbonate preservation in neashore sediments. Mar. Geol. 107: 175-181.
- JOHNSTON J., 1976. Marine pollution. Academic Press. New York.
- KABATA-PENDIAS A. y PENDIAS H. 1983. Trace elements in soils and plants. Press.
- LEWIS T.E. y McINTOSH A.W., 1969. Covariation of selected trace elements with binding substrates in cores collected from two contaminated sediments. Bull. Environ. Contam. tam. Toxicol. 43: 518-528.
- LORING D.H. y R.T. RANTALA, 1977. Geochemical analysis of marine sediments and suspended particulate matter. Fisheries an Marine Services. Technical Canada. Report No. 700. 58p.
- MALO B., 1977. Partial extraction of metals from aquatic sediments. Environ.Sci. Technol. 11:277-282.

- MANDELLI E.F., 1977. Investigación y vigilancia de los contaminantes por metales pesados. Interubernamental Oceanographic Commission. Workshop Report No. 11 (Supplement) UNESCO, Paris. pp. 104-147.
- MATTHEWS W.H. y SMITH F.E., 1974. Man's impact on terrestrial and oceanic ecosystems. The Mit Press, London.
- MEGUELLATI N., ROBEE D., MARCHANDISE P. y ASTRUC, 1983. A new chemical extraction procedure in the fractionation of heavy metals in sediments interpretation. International Conference "Heavy metals in the environmental" the Heidelberg.
- McINTYRE A.D. y McLW A.D., 1975. Ecological Toxicology Research. Effects of metal and organohalogen compounds. Department of Agriculture and Fisheries for Scotland. C.F. Mill. (Eds.) Plenum Press. New York.
- NIHOUL C.J.J., 1975. Modeling of marine systems. Elsevier Scientific Publishing Company. New York.
- NOWELL R.M.A. y JUMARS P.A., 1981. Effects of biological activity on the entrainment of marine sediments. In: Sedimentary dynamics of continental shelves. (Nittrouer, C.A. ed). New York.
- OACLEY S.M., NELSON P.P. y K.J. WILLIAMSON, 1981. Model of trace metal partitioning in marine sediments. ENVIRON. SC. & TECH., 15(4): 474-480.
- PAEZ-OSUNA F., BOIELLO A.V. y VILLANUEVA F.S., 1986. Heavy metals in Coatzacoalcos, estuary and Ostion Lagoon, Mexico. Mar. Pollout. Bull. 11:516-519.
- PAEZ-OSUNA F. y J.I. OSUNA-LOPEZ. 1980. Heavy metals distribution in the geochemical fractions of surfase sediments from de lower Gulf of California. Anal. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nac. Autón. México. 17 (2).
- PAROPKARI A.L., BABU C.P., y MASCARENHAS A., 1992. A critical evaluation of depositional parameters controlling the variability of organic carbon in Arabian Sea sediments. Mar. Geol. 107: 213-226.

PICA G.Y., PONCE V. M.G. y BARRON E. M.E., 1991. Golfo de México v Mar Caribe Mexicano. Oceanografía Geológica. En: Oceanografía de mares mexicanos. De la Lanza E.G. AGT (Ed.) México.

PONCE V.M.G., 1988. Evaluación de metales pesados en sedimentos recientes y tejidos de ostión *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) de la Laguna de Términos, Campeche, México. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias. UNAM. México.

PONCE-VELEZ M.G. y BOTELLO A.V., 1991. Aspectos geoquímicos y de contaminación por metales pesados en la Laguna de Términos, Campeche. Hidrobiología Vol. 1(2).

RIFAAT A.E., EL-SAYED M. Kh., BELTAGY A., MORSY M.A. y NAWAR A., 1992. Geochemical predictive models of manganese, zinc, nickel, copper and cadmium in Nile Shelf sediments. Mar. Geol. 106: 59-71.

ROSS R.D., 1984. La industria y la contaminación del aire. Ed. Diana.

SECRETARIA DE MARINA. 1982. Analisis de algunos oligoelementos en las cercanias al Puerto de Veracruz. Dirección General de Oceanografía. Mexico.

SECRETARIA DE MARINA. 1982. Reporte de Cruceros. Dirección General de Oceanografía. inv. Ocean. B. 1(5): 1-276.

SECRETARIA DE MARINA. 1982. Nuestros mares. Condicion jurídica y recursos economicos. Ensayo. Mexico.

SECRETARIA DE MARINA. 1980. Estudio geografico de la region de Veracruz, Ver. Dirección General de Oceanografía.

SECRETARIA DE MARINA. 1972. Reporte de cruceros de 1971. Dirección General de Oceanografía. México.

SHEPARD P.F., 1967. Submarine geology. Harper & Row, New York.

- SIMS R.R. y PRESLEY B.J., 1976. Heavy metal concentrations in organisms from an actively dredged Texas Bay. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 16(5): 575-583.
- SKEI J. y FAUSE P.E., 1979. Surface metal enrichment and partitioning of metal in a dated sediment core from a Norwegian fjord. Geochim. et Cosmochim. Acta, 43:329-246.
- SUBSECRETARIA DEL MEJORAMIENTO DEL AMBIENTE (S.S.A.), 1977. Legislación Ambiental de México.
- TESSIER A., CAMPBELL P.G.C. y M. BISSON, 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. Anal. Chem., 51(7): 844-850.
- TOLEDO O.A., 1983. Como destruir el paraíso. El desastre ecológico del sureste. Centro de Ecodesarrollo. México.
- VILLANUEVA F.S., 1987. Evaluación de metales pesados en los sedimentos y organismos del río Coatzacoalcos y áreas adyacentes. Ver., México. Tesis Profesional. ENEP ZARAGOZA, UNAM. México.
- VILLANUEVA F.S. y BOTELLO A.V., 1992. Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: una revisión. Rev. Int. Contam. Ambient. 8(1), 47-61.
- WARREN L.J. y PILKINGTON, 1979. Determination of heavy metals distribution in marine sediments. Env. Sc. & Tech., 13(3): 295-299.
- YANEZ- 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. Nal. Autón. México.