

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ciencias



EVALUACION DE METALES PESADOS EN
SEDIMENTOS RECIENTES Y TEJIDOS DEL
OSTION *Crassostrea virginica* (Gmelin,
1791) DE LA LAGUNA DE TERMINOS,
CAMPECHE, 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 :
MARIA GUADALUPE PONCE VELEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	3
INTRODUCCION	5
OBJETIVOS	9
ANTECEDENTES	10
DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO	13
MATERIALES Y METODOS	17
RESULTADOS Y DISCUSION	27
CONCLUSIONES	58
LITERATURA CITADA	60

RESUMEN

Para conocer el contenido de metales pesados en sedimentos recientes (superficiales) y tejidos del ostión Crassostrea virginica en la Laguna de Términos, Campeche se determinaron Cu, Ni, Co, Cr, Pb, Cd y Zn. La colecta de sedimento fue realizada en 16 estaciones durante agosto de 1985 (época de lluvias) mientras que los organismos fueron recolectados en mayo de 1985 (época de secas), agosto de 1985 (época de lluvias) y enero de 1986 (época de nortes).

Los sedimentos se procesaron siguiendo una modificación de la técnica de Loring y Rantala (1977) para concentraciones totales a través de una extracción ácida (HNO_3 conc.) en digestores cerrados de teflón. Se utilizó el método de Meguellati et al. (1983) para llevar a cabo el fraccionamiento químico de las muestras de sedimento dando como resultado cuatro fracciones: fracción I: metales intercambiables, fracción II: metales unidos a carbonatos, fracción III: metales unidos a materia orgánica y sulfuros y fracción IV: metales unidos a óxidos de hierro y manganeso.

Para la extracción de metales en los organismos se siguió la técnica de Goldberg et al. (1983) con un tamaño de muestra de 25 bivalvos en cada colecta durante las tres épocas climáticas que comprendió el estudio.

En el sedimento de la región oeste de Laguna de Términos, se registraron las máximas concentraciones totales de Cu, Ni, Co, Cr y Zn siendo el Ni el metal que señaló el valor más alto en la Boca de Palizada Vieja con 144.6ppm/peso seco. Para la zona que recibe la descarga del río Candelaria y la mayor influencia oceánica (región este), fueron el Pb y el Cd los metales que mostraron las concentraciones totales mayores, registrándose en la Boca de Puerto Real el valor máximo para el Pb (83.33 ppm/peso seco).

Con relación a las cuatro fracciones analizadas, la fracción II comprendió los mayores porcentajes de Cd (74.1%), Pb (71.4%) y subsecuentemente los de Co y Cr mientras que el Cu, Ni y Zn se presentaron en mayor proporción en la fracción IV, correspondiendo el valor máximo promedio al Ni (8.54 ppm/peso seco).

Las concentraciones máximas de los metales pesados Cu, Ni, Co, Cr, Cd y Zn en tejidos de C. virginica se registraron en la época de lluvias (agosto de 1985) mientras que para el Pb el valor más alto se presentó en enero de 1986 (época de nortes). El Zn tuvo el nivel máximo con 996.6 ppm/peso seco para el bivalvo, concentración similar a lo reportado diez años atrás; el Cr y el Pb fueron superiores 2.7 y 4.0ppm respectivamente al registro anterior debido quizá al incremento de las actividades petroleras de la Sonda de Campeche, reflejándose en el interior de la Laguna de Términos.

ABSTRACT

In order to know the contents of heavy metals in recent (surface) sediments and tissues obtained from the oyster Crassostrea virginica in Terminos Lagoon, Campeche. The concentrations of Cu, Ni, Co, Cr, Pb, Cd y Zn were determined. The collects of sediments were effected in 16 stations in august 1985 (rain season); the oysters were collected in may 1985 (dry season), august 1985 (rain season) and january 1986 ("nortes" season).

The sediments were processed following a modification of the technics developed by Loring and Rantala (1977). This technics is used to calculate the total concentrations of metals using an acid extraction (HNO_3 concentrated) in closed teflon digesters. In order to get the chemical partitioning of the sediment samples was used the technic of Meguellati et al. (1983), as result of this method were obtained four fractions: fraction I: exchangeable metals; fraction II: metals joined to carbonates; fration III: metals joined to organic matter and sulfides; fraction IV: metals joined to iron and manganese oxides.

The method of Goldberg et al. (1983) for the extraction of metals in organisms was used. The size of each sample was 25 oysters.

The records of total concentrations of Cu, Ni, Co, Cr and Zn in sediment were highest in the west zone of Terminos Lagoon. The Ni showed the highest concentration in Boca de Palizada Vieja (144.6ppm/dry weight). The Pb and Cd were the metals that exhibited the highest total concentrations in Candelaria river mouth zone and in the maximum marine influence zone (east zone). In Boca de Puerto Real the highest value for Pb was 83.33 ppm/dry weight.

In relation to four analized fractions, the fraction II had the highest values of Cd (74.1%), Pb (71.4%) followed by Co and Cr. The highest concentrations of Cu, Ni and Zn were recorded in fraction IV, where the maximum average for Ni was 8.54ppm/dry weight.

The highest concentrations of Cu, Ni, Co, Cr, Cd and Zn in tissues of C. virginica were recorded in rain season (august, 1985); the highest Pb concentration was recorded in january 1986 ("nortes" season). The Zn showed a maximum level of concentration with 996.6ppm/dry weight in oyster s tissues, this concentration is similar to the concentration recorded ten years before. The Cr and Pb were respectively 2.7 and 4.0ppm higher than the previous record, this increase can be the result of the oil activity in the Sonda de Campeche and this activity is reflected in Terminos Lagoon ecosystem.

INTRODUCCION

La zona costera es una región socioeconómicamente valiosa e importante desde diversos puntos de vista, debido a su basta potencialidad pesquera y porque en ella se realizan gran cantidad de actividades relacionadas con la alimentación, el transporte, la energía, la recreación y el urbanismo (Lasserre, 1979); aunque esta zona representa un ecosistema frágil dado su alta probabilidad de ser alterado, es muy relevante en el aspecto ecológico ya que en ella se da una diversidad muy amplia de ciclos biológicos íntimamente relacionados con la productividad primaria que favorece las grandes capturas de diferentes organismos de importancia comercial como son principalmente camarones y peces (Day y Yáñez, 1982).

De toda la zona costera, las lagunas y los estuarios han sido objeto de variadas investigaciones, entre éstas, cabe mencionar las realizadas en la última década por el Laboratorio de Contaminación Marina del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM con la finalidad de evaluar el nivel de calidad del agua para conocer la existencia de una posible contaminación tanto biológica como química sobre la biota de estos sistemas (Botello, 1979 y 1985).

Es importante señalar que las lagunas costeras son consideradas como depresiones de la zona costera que están por debajo del promedio más alto de las mareas más altas (MLHM) y tienen comunicación permanente o efímera con el mar, pero están protegidas de éste por algún tipo de barrera (Lankford, 1977). Su relevancia radica en que en ellas se llevan a cabo un sin número de ciclos de vida de especies que son importantes para la economía del país.

Las lagunas costeras mexicanas han sido estudiadas con diferente intensidad en diversos campos de la ciencia, ocasionando con ello, el planteamiento de hipótesis sin los argumentos suficientes que pretenden explicar lo que sucede en estos ecosistemas tan complejos. Numerosos han sido los trabajos efectuados en estas regiones, pero son pobres los encaminados a la geoquímica y deben ser impulsados ya que la fase sedimentaria, al igual que la acuosa, representa el

sustrato más favorable para la acumulación de contaminantes entre los que se encuentran particularmente los metales pesados o traza cuyos niveles de concentración en el agua son del orden de nanogramos por litro (ng/l) y generalmente son elementos de transición con pesos específicos mayores de 5. De esta manera, el conocimiento del componente químico tanto de la columna de agua, como de los sedimentos y de la biota, permitirá evaluar correctamente la calidad del agua donde se cultivan los organismos, así como el contenido alimenticio de los mismos y la ubicación de los espacios idóneos para efectuar dicho cultivo.

Dentro del grupo de los metales pesados que son necesarios para el buen desarrollo de los organismos acuáticos se encuentran entre otros, el Cu, Fe, Mn, Zn, Ca, Na, K debido a que participan en algunos sistemas enzimáticos, forman parte de proteínas y son fundamentales para el sistema de amortiguamiento iónico de los líquidos corporales, por ejemplo, el Zn en la anhidrasa carbónica, el Cu en la hemocianina, el Na y el K en los mecanismos de transporte activo y pasivo de las células, el Ca en la neurotransmisión (Williams, 1967; Lehninger, 1981; Simkiss, 1984; Viarengo, 1985). Estos elementos tienen que ser abundantes y relativamente solubles en el agua, lo cual restringe los metales disponibles para la biota a aquellos de número atómico inferior a 40. Existen otros elementos químicos sobre los que se están desarrollando estudios sobre sí se les puede considerar como necesarios para el metabolismo de los organismos, entre ellos están el Ni y el V ya que observaciones realizadas en algunos animales como la ascidia Phallusia mammillata, han demostrado que presentan una mayor concentración del metal en sus tejidos que la existente en el medio que los circunda, en este caso el reporte es de un millón de veces más. El Ni ha sido encontrado en el ARN y en la ATPasa de los eritrocitos de algunos roedores (Williams, 1967).

Existen algunos elementos químicos que son motivo de estudio debido a su requerimiento para un buen funcionamiento de los organismos como es el caso del Co y Cr, que actúan como coenzimas dependiendo de la forma química en que se presenten, si ésta varía al igual que su concentración, pueden representar peligro para la vida. Otros metales han llamado la atención por sus potencialidades tóxicas para la biota, entre ellos pueden mencionarse

como los más importantes al Hg, Pb y Cd ya que han provocado efectos deletéreos en determinadas cadenas de alimentación afectando principalmente a organismos superiores como peces y aves marinas e incluso causando daño a la salud humana (Williams, 1967; Viarengo, 1985).

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., permite conocer la potencialidad tóxica que existe en un ambiente determinado ya que por ejemplo, los metales asociados a la estructura mineral del sedimento son considerados de difícil acceso para los organismos (Alvarez, 1983). Además el sedimento puede comportarse como un almacén de la mayor parte del material que se encuentra en la columna de agua teniendo en él un registro espacio-temporal de lo que sucede en el sistema.

Segun Gerni (1983) el empleo de sedimentos para conocer el grado de contaminación de un cuerpo de agua, ofrece algunas ventajas, entre las que destacan:

- son depósitos normalmente estables de contaminantes reales y potenciales.
- pueden proporcionar un registro histórico de los aportes de metales por actividades antropogénicas.
- dan información más precisa de la distribución local y regional de los contaminantes.
- permiten la obtención de muestras adecuadas, reproducibles y fáciles de analizar con respecto al agua y los organismos.
- facilitan la captura de datos dentro de un amplio intervalo de condiciones ambientales.

Anteriormente se han realizado trabajos sobre la estimación de la concentración total de metales en sedimentos, pero en la actualidad se ha iniciado una serie de estudios encaminados a conocer la especie química en la que se encuentra el metal o bien, que fracción del sedimento contiene la mayor cantidad de un elemento químico y si se encuentra disponible a la biota (Tessier et al., 1979; Warren y Pilkington, 1979; Oakley et al., 1981; Meguellati et al., 1983).

Por otra parte, es importante considerar las sustancias del medio que son acumuladas por los organismos y a través de esta vía definen un índice del ambiente porque son finalmente ellos los que pueden provocar alguna alteración en la salud humana cuando son consumidos. Se han establecido las características que debe de tener un organismo para que se le considere como indicador de buena calidad de agua o bien de algún proceso de contaminación, entre las que destacan: que sea sésil, abundante en la zona de estudio, que posea hábitos filtradores, que tenga importancia comercial y que sea cosmopolita para poder establecer comparaciones de datos a nivel mundial (Goldberg et al., 1978 y 1983). Estas condiciones las presentan los moluscos bivalvos, en particular los ostiones, de ahí que sean motivo de diferentes análisis en varias regiones del planeta con el fin de conocer y cuantificar sustancias que pueden provocar problemas de salud pública o bien graves trastornos ecológicos. Entre dichas sustancias pueden mencionarse el petróleo, los plaguicidas, los radioisótopos y los metales pesados (Goldberg et al., 1978; Botello, 1979; Rosas et al., 1983).

Debido a lo anteriormente expuesto y sabiendo que la Laguna de Términos es un ecosistema en el cual la mayoría de las especies de importancia económica de la Sonda de Campeche llevan a cabo su reproducción, desove y desarrollo larvario y juvenil y que puede ser alterada gravemente por las actividades petroleras que se realizan en el Golfo de México, se efectuó el presente estudio utilizando al ostión Crassostrea virginica como un organismo indicador para poder definir procesos de contaminación por metales pesados; así como la evaluación del sedimento de la laguna para conocer las concentraciones de los mismos.

OBJETIVOS

El presente trabajo tiene por objetivo determinar las concentraciones de los metales pesados Cu, Ni, Cr, Co, Pb, Cd y Zn en sedimentos recientes y tejidos del ostión Crassostrea virginica de la Laguna de Términos, Campeche, mediante:

1. La evaluación de la concentración total y las fracciones disponibles de estos elementos en el sedimento para determinar la forma química más abundante de estos metales.
2. La determinación de la variación estacional de estos metales en los tejidos de C. virginica durante tres épocas climáticas del año.
3. El establecimiento de una relación estadística de los metales pesados presentes en el sedimento con el contenido de materia orgánica, carbonatos, tipo de sedimento, salinidad, oxígeno disuelto y temperatura para comprender la dinámica de estos elementos en el sistema lagunar.
4. La comparación de los resultados obtenidos con información anterior, con el fin de conocer el incremento de los niveles de metales pesados en C. virginica como resultado de las diversas actividades humanas que se desarrollan en el área de estudio.

ANTECEDENTES

Desde hace varios años se han realizado investigaciones con el objeto de conocer la existencia de metales pesados tanto en la columna de agua, el sedimento así como en los organismos de los cuerpos acuáticos. Entre estos, se encuentran los trabajos de Thomas (1972), Loring y Rantala (1977), Meyerson y Luther (1981) y Chester y Voutsinov (1981), los cuales únicamente se encaminaron a cuantificar la concentración total en sedimentos superficiales. Otros estudios se refieren a la distribución de estos elementos en el sedimento (Gupta y Ghen, 1975), en el agua de sistemas dulceacuícolas (Vuceta y Morgan, 1978) y en organismos tanto de agua dulce como marinos (Goldberg et al., 1978; Mandelli, 1979), así como también los posibles mecanismos de transporte de metales en los ríos (Gibbs, 1973).

Davis y Leckie (1978) analizaron experimentalmente los efectos que tienen los ligandos orgánicos acomplejantes y el pH sobre la adsorción de metales traza en la interfase agua-sedimento. También existe información sobre modelos químicos realizados por Vuceta y Morgan en 1978 y Danielsson et al. en 1983 donde tratan de explicar los factores de los cuales depende la especiación química y la distribución de estos metales en el agua, en cuanto a los sedimentos están los efectuados por Tessier et al. (1979), Warren y Pilkington (1979) y Oakley et al. (1981). Además, existen estudios enfocados a conocer esta especiación en la mezcla agua dulce-agua marina (Long y Angino, 1977).

El trabajo de Meguellati et al. (1983) determina la concentración de metales en cuatro fracciones químicas del sedimento. Estos autores definen la importancia de estas fracciones como aportadoras de elementos pesados a la columna de agua.

Los organismos acuáticos también han sido motivo de análisis en relación con su contenido de metales traza ya que, por estar en contacto directo con el hombre como alimento, pueden representar un peligro potencial para la salud humana. En este sentido, se encuentran los trabajos del Programa Mundial Mussel Watch (Goldberg et al., 1978) que en su inicio, estableció las

características que debe presentar un organismo para poder considerarlo como indicador de este tipo de contaminación, proponiendo a los bivalvos filtradores como los más adecuados.

Se tienen estudios donde han analizado a mejillones (Phillips, 1976 y 1978; Gordon et al., 1980), ostiones (Harvey y Knight, 1978; Phillips, 1979; Rosas et al., 1983), crustáceos (Greig et al., 1976) y peces entre otros (Cheng et al., 1979; Villanueva, 1987) pero solamente reportan la cantidad de metales presentes en los tejidos de estos organismos.

Para efecto de ampliar los análisis químicos referentes a la biota, existen investigaciones en el campo de la bioquímica de los metales (Williams, 1967; Viarengo, 1985), sobre análisis de las tasas de acumulación y excreción (Coombs, 1972 y 1974; Aoyama et al., 1978; Gothrie y Davis, 1979; Simpson, 1979; Martincic et al., 1984) y los mecanismos enzimáticos de detoxificación (Koyuna y Kagi, 1978, Noel-Lambert, 1978 vide Simkiss, 1984), entre otros.

En el Golfo de México se han registrados datos sobre el contenido de metales pesados en sedimentos, agua y ostiones en diferentes lagunas costeras (Rosas et al., 1983), en sedimentos del Río Blanco, Veracruz (Alvarez, 1983), en sedimentos y organismos de tres phyla diferentes (Villanueva, 1987) así como las variaciones estacionales de estos metales en ostiones de una laguna costera del sur del Golfo de México (Hicks, 1976; Botello et al., 1976).

La Laguna de Términos, Campeche ha sido una zona muy estudiada desde diferentes puntos de vista, pero pobremente analizada en el aspecto de contaminación por metales pesados como productos de las actividades antropogénicas. Entre los trabajos desarrollados en esta laguna, están los de batimetría, salinidad y distribución de sedimentos (Yáñez, 1963); taxonomía y distribución del plancton (Suarez y Gómez, 1965); estudio de los peces Cichlidae (Torál, 1971); abundancia, tamaño y distribución de camarones (Signoret, 1974); hidrología y plancton (Gómez, 1974); calidad del agua (Mandelli y Botello, 1975); parámetros hidrológicos (Botello, 1978; Mancilla y Vargas, 1980); algunos de los más recientes referidos a la fauna y flora existentes en la región como son los de Yáñez (1980), Dressler (1981) y

Carreño (1982); productividad primaria (Day et al., 1982) y los trabajos de García-Cubas (1981) y Yáñez-Arancibia y Sánchez-Gil (1986) donde se hace referencia a un gran número de estudios efectuados en esta laguna. Recientemente se terminó el proyecto interdisciplinario denominado "Interacciones Ecológicas Estuario-Mar en la región de la Laguna de Términos, Campeche: Físicoquímica, Contaminación, Ecología Trófica, Modelos Matemáticos y Análisis del Sistema y sus Recursos Bióticos" del convenio UNAM-CONACYT PCEBNA-021925 del cual forma parte el presente trabajo fungiendo como responsables el Dr. Alfonso Vázquez Botello, el Dr. Alejandro Yáñez Arancibia y el Dr. Felipe Vázquez Gutiérrez.

DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

La Laguna de Términos se encuentra situada en el litoral del Golfo de México, entre los meridianos $91^{\circ} 15'$ y $92^{\circ} 00'$ de longitud oeste y los paralelos $18^{\circ} 25'$ y $19^{\circ} 00'$ de latitud norte en el Estado de Campeche.

Cuenta con una longitud máxima de 60 Km y aproximadamente con 28 Km de ancho, teniendo una superficie de 500 Km^2 (Vargas, 1978). Está limitada al norte por la Isla del Carmen, la cual la separa del Golfo de México (Botello, 1978). Se comunica con el mar a través de dos bocas abiertas permanentemente, ubicadas en los extremos de la Isla: Boca de Puerto Real en el lado este y Boca del Carmen al oeste. Existe una entrada de agua oceánica por la boca este con un delta interno bien definido, mientras que Boca del Carmen manifiesta también un delta pero de carácter externo ya que a través de ella, el agua de la laguna se mezcla con el mar (Mancilla y Vargas, 1980) (Fig. 1).

En general, es un cuerpo de agua somero con una profundidad promedio de 4.5 m. En la región este, limita con la placa de Yucatán la cual está constituida por rocas, principalmente del tipo de las calizas contrastando con la zona oeste donde ocurre una depositación de detritus terrígeno aportado por los ríos (Phleger y Ayala, 1971).

Los ríos más importantes que descargan sus aguas en la laguna son:

- Río Palizada, que forma parte de la red hidrológica de los ríos Mexcalapa, Grijalva y Usumacinta.
- Río Chumpán, que se origina en la planicie costera por los ríos San Joaquín y Salsipuedes.
- Río Candelaria, cuya cuenca se localiza en la Península de Yucatán y en su cauce se encuentran grandes cantidades de carbonato de calcio.

Por el oriente, desembocan el Río Sabancuy, los arroyos Coláx, Lagarteros y Chivojá Grande; por el sur, los ríos Mamantel, Candelaria y sus afluentes que convergen en la Boca de Balchacah; el Chepe, el Palizada y los arroyos Las Peñas y Marentes, que desembocan en la Laguna del Este la cual se comunica con Laguna de Términos por el oeste al igual que lo hacen las lagunas y este-

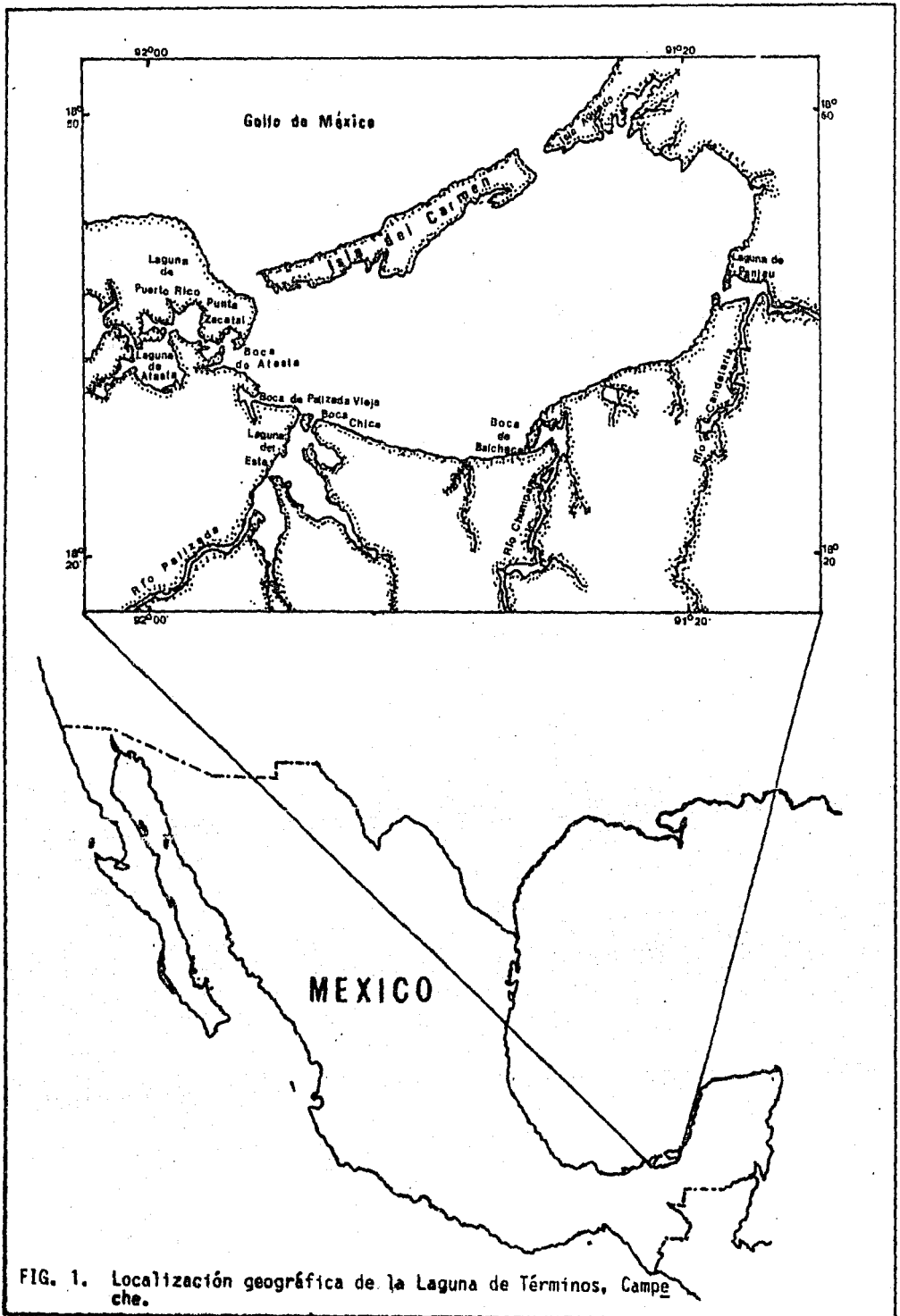


FIG. 1. Localización geográfica de la Laguna de Términos, Campeche.

ros de Pom, Atasta y Puerto Rico, todos comunicados entre sí (Botello, 1978). El tipo de marea es mixto-diurno con una amplitud promedio de 0.4 m (Grivel y Arce, 1977). La onda de marea penetra a la laguna por ambas bocas, produciéndose un encuentro de las ramas mareales muy cerca del centro de la laguna (Mancilla y Vargas, 1980).

El clima de la región es tropical del tipo cálido-húmedo, de la categoría AmW según la clasificación de García (1973). La temperatura máxima es de 36°C durante el verano y el valor mínimo es de 17°C registrándose en el invierno. Existen tres estaciones climáticas muy marcadas durante el año: Secas (febrero-mayo), Lluvias (junio-septiembre) y Nortes (octubre-febrero).

Los vientos dominantes tienen una dirección Noreste-Suroeste, ocurriendo durante el invierno fuertes tormentas tropicales y huracanes en los cuales predominan vientos del cuadrante norte de donde toman su nombre (Botello, 1978).

La precipitación pluvial promedio es de 1680mm con un intervalo que va de 1200 hasta 2000mm por año, observándose el valor máximo durante los meses de junio a noviembre (Yáñez y Day, 1982).

La salinidad varía dependiendo de la época del año. Durante la estación de lluvias desciende hasta 12o/oo y en el estiaje aumenta a valores de 38o/oo. Existe una gradación de la salinidad, ésta es mayor cerca de la Isla del Carmen y disminuye hacia la región continental debido a los aportes fluviales de esta zona (Amezcuá y Yáñez, 1980).

El sedimento de Laguna de Términos está constituido por arenas, limos y arcillas. La distribución del tipo de grano varía en las diferentes zonas de la laguna debido principalmente a las corrientes y al aporte de ríos. En la región oeste existe una predominancia de grano fino representado por limos y arcillas siendo el aporte fluvial el posible causante de este sedimento característico. Por otro lado, en la zona este se encuentra una dominancia de las arenas carbonatadas con más del 70% de carbonato de calcio que proviene de calizas de la placa yucateca a través de escurrimientos, oleaje y descarga del Río Candelaria (Phleger y Ayala, 1971).

La vegetación emergente en los márgenes de la laguna está caracterizada principalmente por palmeras y diversas especies de mangle, entre los que destacan por su abundancia Avicenia germinans, Rhizophorae mangle y Laguncularia racemosa. Las plantas sumergidas constituyen importantes praderas de Thalassia testudinum ubicadas en regiones cercanas a la Isla del Carmen (Day y Yáñez, 1982). Los bancos ostrícolas se encuentran en la zona oeste y están en contacto con aguas ricas en materia orgánica y sedimento fino.

MATERIALES Y METODOS

Durante la época de lluvias (agosto de 1985) se establecieron 16 sitios para la colecta de sedimento reciente (superficial) ubicados en los diversos microambientes caracterizados en la Laguna de Términos por Yáñez y Day (1982) y Yáñez *et al.* (1983) (Fig. 2). Además, en cada sitio fueron tomadas muestras de sedimento para el análisis de materia orgánica, carbonatos y granulometría, así como también se obtuvieron muestras de agua superficial para determinaciones de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto con objeto de relacionar estos parámetros con las concentraciones de metales pesados.

Los organismos se recolectaron durante tres muestreos: época de secas (mayo de 1985), época de lluvias (agosto de 1985) y época de nortes (enero de 1986) específicamente en los bancos ostrícolas de Boca de Atasta (estación 9) y Boca de Palizada Vieja (estación 10).

MEDICIONES EN EL CAMPO.

La temperatura se registró mediante un termómetro de campo marca Taylor (-10+200°C).

La salinidad se determinó con ayuda de un conductímetro portátil de inducción marca Beckman modelo RS-7B.

El oxígeno disuelto se cuantificó siguiendo el método de Winkler modificado con azida (Strickland y Parsons, 1968).

Sedimentos.

Las muestras de sedimento reciente (superficial) se colectaron con ayuda de una draga Van Veen tomando aproximadamente los primeros diez centímetros y sólo el material de la parte central que no entró en contacto con las paredes de la draga. Se depositaron en bolsas de plástico y fueron mantenidas a una temperatura de 4°C hasta su análisis posterior en laboratorio.

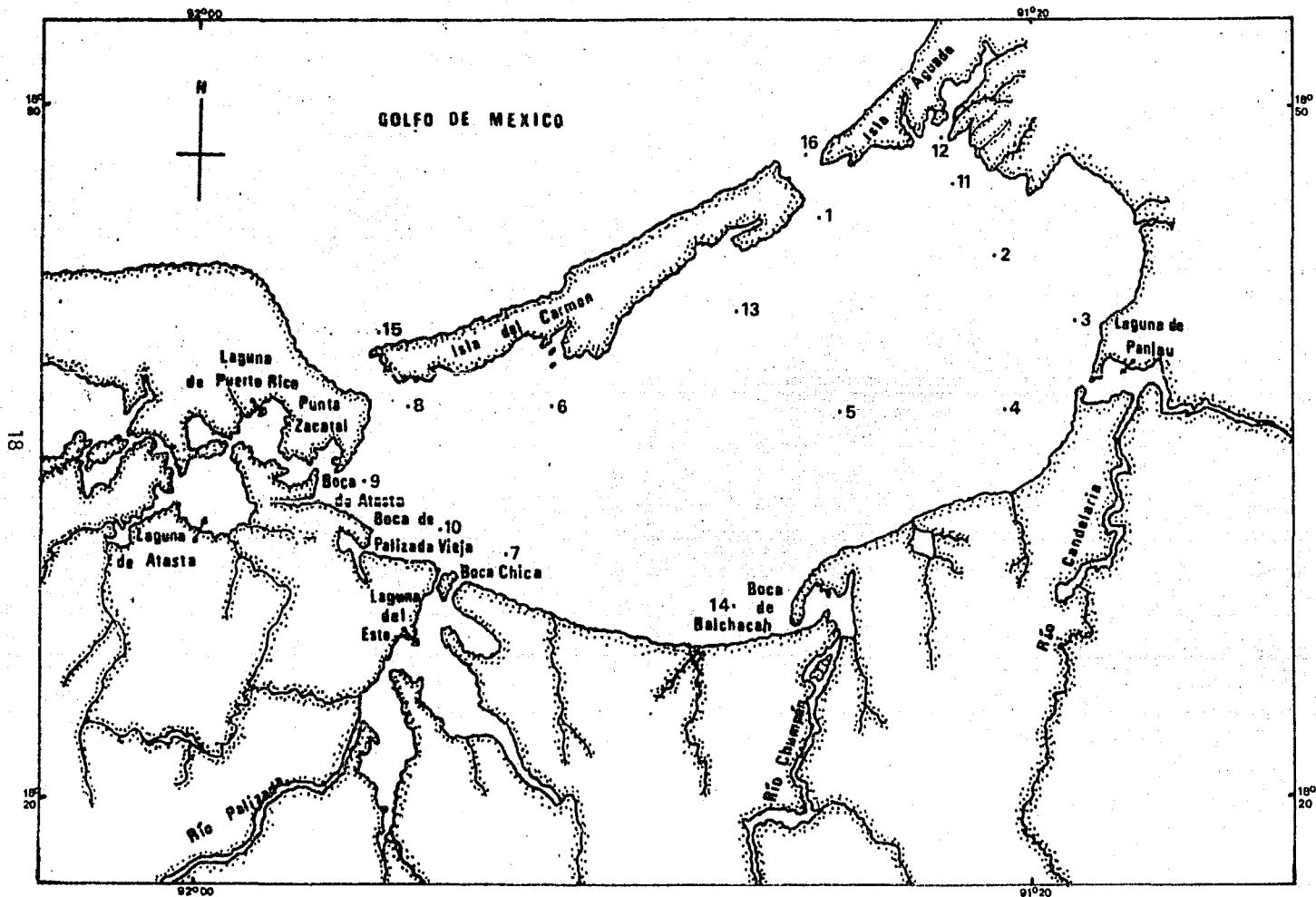


FIG. 2. Ubicación de los sitios de colecta de sedimentos recientes y organismos en la Laguna de Términos, Campeche.

Organismos.

Los organismos fueron colectados manualmente con ayuda de guantes de asbesto, introducidos en bolsas de plástico y se almacenaron a una temperatura de 4°C para el análisis de laboratorio.

ANALISIS DE LABORATORIO.

Sedimento.

Las muestras se descongelaron a temperatura ambiente. El sedimento fue secado a 50°C durante 48 hrs., excepto la porción destinada al análisis granulométrico.

Granulometría.

La materia orgánica se destruyó con H₂O₂ al 25% para la determinación de los porcentajes de grava, arena, limo y arcilla de cada muestra siguiendo el método convencional de tamices y pipetas de Folk (1974).

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 expresó como el porcentaje de carbono orgánico (Gaudette et al., 1974).

Carbonatos.

La cantidad de carbonatos se calculó 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 Calcímetro de Bernard siguiendo la técnica usada por Alvarez (1983).

METALES PESADOS.

Sedimentos.

Determinación de la Concentración Total.

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 enjuagándose con agua bidestilada y se almacenó en bolsas de plástico para su uso posterior.

El sedimento seco, fue triturado a pulverización en un mortero de porcelana, de donde se tomó entre 2.0 y 2.5g para digerirlo con soluciones de HNO₃ 2N y HNO₃ concentrado con el fin de eliminar carbonatos y poder realizar el ataque ácido que liberara los metales (Páez, comunicación personal). La digestión total se realizó en bombas de digestión PTFE con 12ml de HNO₃ conc.; este método ha sido reportado en la literatura como el más eficiente para la extracción de metales totales en el sedimento (Buckley y Cranston, 1971; Agemian y Chau, 1976; Loring y Rantala, 1977). Los digestores se mantuvieron a 100° C con una variación de $\pm 10^{\circ}\text{C}$ durante aproximadamente 18 hrs. Después de esta etapa, las muestras fueron centrifugadas (2500rpm/30min) lavando el residuo con agua bidestilada. Los sobrenadantes fueron colectados en frascos de plástico y aforados a 30ml. Fue realizado un blanco testigo por grupos de 8 muestras, el cual fue sometido al mismo tratamiento pero sin sedimento (Fig. 3).

Determinaciones de las Fracciones Disponibles.

Se realizó el fraccionamiento de las muestras de sedimento utilizando 1.5g de éste para obtener valores de los metales en cuatro fracciones químicas sedimentarias (Gupta y Ghen, 1975; Tessier et al., 1979; Meguellati et al., 1983).

2.0 - 2.5g sedimento seco y pulverizado + 12ml HNO₃ conc. ----- sequedad.

Anadir 12ml HNO₃ conc. ----- sequedad.

Pasar a bombas PTFE con 12ml HNO₃ conc. a 100°C durante 18 horas.

Centrifugar a 2500rpm/30min.

Sobrenadante a frasco
de plástico A.

Anadir al botón 18ml de agua
bidestilada y centrifugar.

Colectar en frasco de plástico A. Aforar a 30ml.

Leer en espectrofotómetro AA/EF.

Fig. 3. Técnica para la extracción de metales totales en sedimento (Loring y Rantala, 1977; Páez, comunicación personal).

Fracción I: Cationes Intercambiables.

Al sedimento inicial (1.5g) colocado en un tubo de centrifuga de nalgene, se le añadieron 12ml de una solución 1M de BaCl con un pH de 7 para poder extraer los metales debilmente adheridos. Las muestras fueron sometidas a agitación continua durante una hora. Posteriormente fueron centrifugadas (2500rpm/30min) y el sobrenadante se colectó en frascos de plástico previamente pesados para después cuantificarse en el espectrofotómetro de Absorción Atómica/Emisión de Flama. El sedimento residual (botón) de la centrifugación se lavó con agua ddestilada y se volvió a centrifugar en igualdad de condiciones desechando el sobrenadante.

Fracción II: Metales unidos a carbonatos.

Al sedimento resultante de la fracción anterior, se le agregaron 30ml de una solución 1M de acetato de sodio con un pH de 5, la cual libera a los metales de los carbonatos, llevándolo a agitación continua por un lapso de 7 hrs. Después de esta etapa se centrifugó en forma similar a la fracción anterior. Esta etapa en su totalidad se efectuó en dos ocasiones con el objeto de liberar a los metales en su totalidad de los carbonatos del sedimento.

Fracción III: Fase Oxidable. Metales unidos a la materia orgánica y a sulfuros.

Diez mililitros de una mezcla de H_2O_2 al 30% más HNO_3 0.02M (5v+3v), fueron adicionados al sedimento proveniente de la fracción II. Las muestras fueron colocadas en baño María a $92^\circ C$ durante dos horas con agitación ocasional. Al final de ésto, se repitió desde el inicio toda la operación. Se dejaron enfriar para añadirles 10ml de acetato de amonio el cual evita que los metales vuelvan a unirse con el sedimento, agitando continuamente por espacio de una hora. Se centrifugaron de igual forma que en la fracciones anteriores.

Fracción IV: Fase Reducible. Metales unidos a óxidos de fierro y manganeso.

A cada muestra proveniente de la fracción III, se les agregaron 20ml de una

solución 0.1M de acetato de clorhidroxilamina al 25% (v/v) introduciéndolas en baño María a 92°C durante 7 hrs., con agitación esporádica. Se dejaron enfriar, para luego añadirles 10ml de acetato de amonio agitando continuamente durante una hora. Fueron centrifugadas en condiciones similares a las etapas anteriores (Fig. 4).

Organismos.

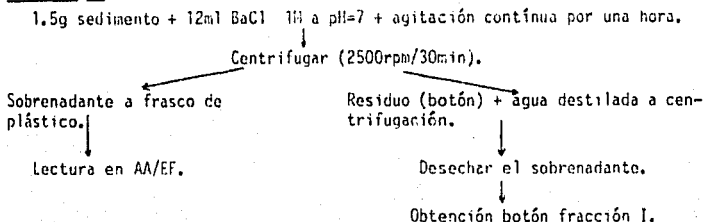
Los ostiones fueron descongelados a temperatura ambiente anotando sus características internas y externas para su identificación posterior.

El organismo fue retirado de sus valvas con ayuda de un cuchillo de acero inoxidable y espátulas de plástico. Las conchas fueron medidas a lo largo y ancho y también se determinó la cantidad de agua contenida en el ostión; esto se hizo mediante diferencia de peso expresando el resultado como porcentaje de humedad. Este dato es importante calcularlo para poder hacer comparaciones válidas de datos de trabajos donde se hayan hecho las determinaciones sobre el tejido húmedo.

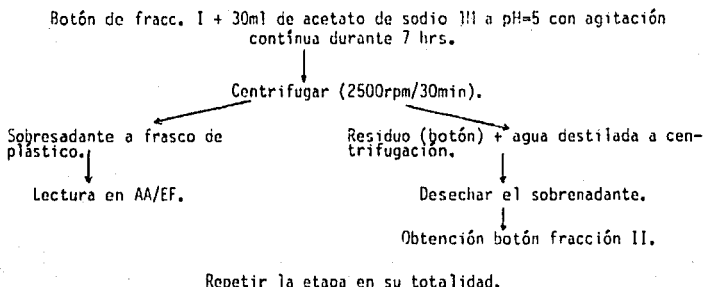
En promedio se trabajó con 25 organismos por cada estación en las tres colectas realizadas. Los tejidos se secaron en una estufa de laboratorio a 110°C durante 48 hrs., (Goldberg et al., 1983). Una vez seca la muestra, se procedió a macerarla en un mortero de teflón.

Del tejido molido, se tomaron 1.8g para efectuar la extracción de metales mediante una digestión ácida utilizando 10ml de HNO₃ concentrado y destilado en el laboratorio a temperatura ambiente durante 14 hrs., en vasos de precipitados de vidrio Pyrex (Goldberg et al., 1983). Al final de este período, las muestras se llevaron a sequedad a 90°C y posteriormente, se incineraron a 350°C en una mufla por espacio de dos horas. Después de esto, se les agregaron 12ml de una solución 2N de HNO₃ destilado en dos etapas y se realizó una centrifugación a 3500rpm durante 30min en cada una de ellas. Los sobrenadantes fueron colectados en frascos de plástico previamente pesados. Al igual que en los sedimentos, también fue realizado un blanco testigo para las muestras de ostiones (Fig. 5). Para las lecturas de metales en los organismos,

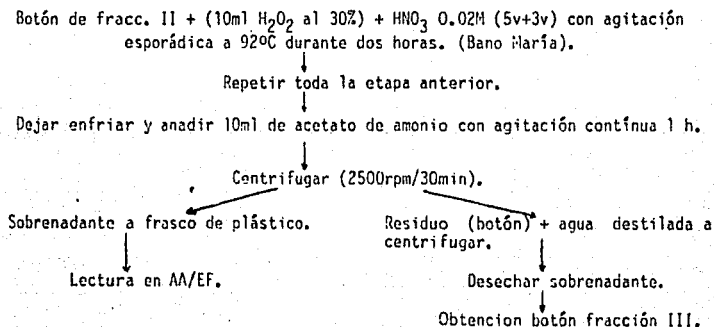
FRACCIÓN I.



FRACCIÓN II.



FRACCIÓN III.



FRACCIÓN IV.

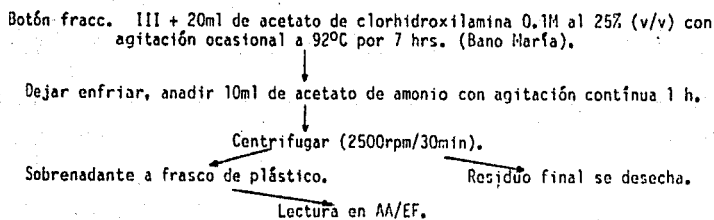


Fig. 4. Técnica de extracción de metales disponibles en 4 fracciones del sedimento (Meguellatti et al., 1983; Páez, comunicación personal).

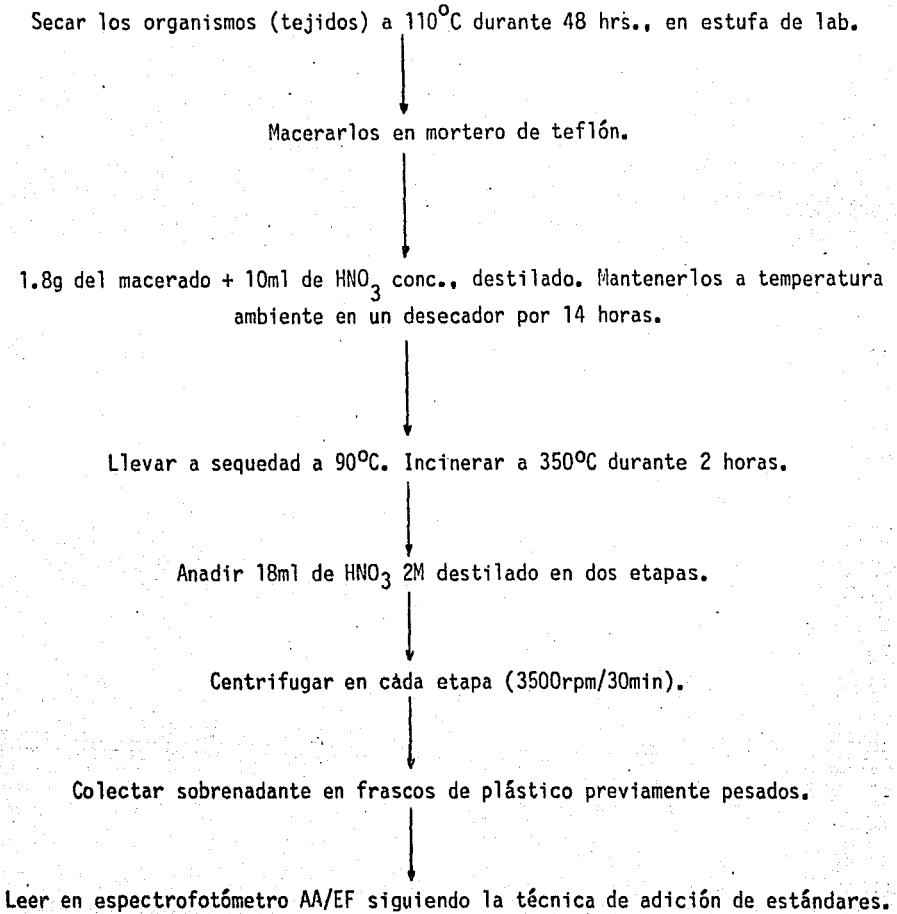


Fig. 5. Método utilizado para extraer metales pesados de tejidos de moluscos (Goldberg et al., 1983; Páez, comunicación personal).

se siguió el método de adición de estándares (Loring y Rantala, 1977; Páez, comunicación personal).

Finalmente, las determinaciones de los metales pesados Cu, Ni, Cr, Co, Pb, Cd y Zn se realizaron con ayuda de un Espectrofotómetro de Absorción Atómica/Emisión de Flama marca Shimadzu modelo AA-630-02-12.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores de salinidad, oxígeno disuelto, temperatura y profundidad para cada uno de los sitios de colecta de sedimento, se presentan en la tabla 1. Estos datos se registraron por ser parámetros ambientales que están relacionados con el desarrollo de los organismos, en particular, de ostiones, así como también con los procesos bioquímicos de acumulación de metales pesados (Phillips, 1977). Los resultados sobre la hidrología de la laguna, muestran que este cuerpo de agua es somero con una profundidad máxima de 3m registrada para este estudio en agosto de 1985 en la estación 5 que se localiza en la parte central de la laguna y un valor mínimo de 0.5m en la zona cercana a la Boca de Palizada Vieja (est. 10) donde está ubicado uno de los bancos ostrícolas del sistema lagunar. La temperatura observó su valor mínimo (22°C) en el extremo oeste de la Isla del Carmen por su parte costera (est. 15) y el máximo fue de 31°C ubicado en los bancos de ostión correspondientes a las estaciones 9 y 10. Con respecto a la salinidad, la estación 1 localizada en la Boca de Puerto Real, presentó la mayor concentración (36.10/00) mientras que en la Boca de Balchacah (est. 14) se obtuvo el valor mínimo de salinidad (10.20/00); también en los bancos ostrícolas se manifestaron concentraciones bajas de salinidad siendo de 15.20/00 (est. 9) y 16.90/00 (est. 10). La concentración del oxígeno disuelto varió en los diferentes sitios de la laguna: fue mínimo en la Boca de Balchacah (est. 14) (2.10mg/l) y máximo en los bancos de ostión de Boca de Atasta con 5.4mg/l y Boca de Palizada Vieja con 5.1mg/l.

La distribución horizontal de la salinidad manifestó el gradiente establecido por Amezcua y Yañez (1980), el cual decrece de la Isla del Carmen hacia el continente.

En la tabla 2 se registran las concentraciones totales de los metales pesados analizados, expresadas en partes por millón/peso seco, en las muestras de sedimento recolectadas durante agosto de 1985. Se discute brevemente los resultados obtenidos para cada uno de los metales pesados.

TABLA 1. Parámetros hidrológicos registrados en los sitios de colecta de Laguna de Términos, Campeche (agosto, 1985).

ESTACION	PROFUNDIDAD (m)	TEMPERATURA (°C)	OXIGENO DISUELTO (mg/l)	SALINIDAD (o/oo)
1	2.0	29.5	3.90	36.098
2	2.0	30.0	4.20	24.110
3	1.0	30.5	3.60	29.071
4	2.0	30.0	4.20	32.509
5	3.0	30.0	4.20	33.795
6	2.0	29.0	3.60	34.010
7	1.0	29.5	4.20	30.781
8	1.0	30.0	4.20	31.629
9	1.0	31.0	5.40	15.179
10	0.5	31.0	5.10	16.928
11	*	*	*	26.700
12	2.0	23.0	3.00	27.300
13	*	*	*	28.900
14	1.0	23.5	2.10	10.200
15	1.5	22.0	3.00	31.400
16	*	*	*	33.800
PROMEDIO	1.54	28.39	3.90	27.651

* = No registrado.

TABLA 2. Valores promedio de las concentraciones de metales totales (partes por millón/peso seco) obtenidas de los sedimentos recientes de cada una de las estaciones de la Laguna de Términos, Campeche (agosto, 1985).

ESTACION	Cu	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Zn
1	6.54	16.91	13.51	23.68	83.33	1.93	6.98
2	8.67	74.10	16.02	87.02	44.94	1.36	31.79
3	8.79	60.23	16.23	62.78	54.06	1.59	26.26
4	4.21	37.53	8.11	37.85	18.25	0.76	15.08
5	6.43	29.55	11.18	30.23	22.46	1.46	12.91
6	4.42	21.41	7.03	19.14	17.43	1.12	9.61
7	12.47	130.88	20.28	108.60	27.03	1.24	43.81
8	4.63	37.72	11.19	32.82	24.60	1.09	20.51
9	12.00	103.67	18.30	75.93	26.54	1.49	43.87
10	15.07	144.60	21.18	102.35	25.97	1.12	58.45
11	8.99	21.43	11.51	39.28	55.16	2.12	8.07
12	7.77	24.28	8.62	31.56	35.57	1.34	11.05
13	6.91	21.10	9.30	31.66	43.46	1.51	8.16
14	1.61	53.62	7.91	17.17	4.82	N.D.	14.21
15	5.38	25.60	8.83	27.26	35.07	1.02	11.39
16	5.06	12.22	7.28	27.53	24.69	1.73	4.69
PROMEDIO	7.43	50.93	12.28	47.18	33.96	1.39	20.43

N.D. = No Detectable.

Cobre.

El Cu presentó sus concentraciones más altas en las estaciones 7, 9 y 10 con 12.47, 12.00 y 15.07ppm respectivamente, siendo este último valor el máximo de los 16 sitios analizados. Estas estaciones presentan un tipo de sedimento fino formado por arcillas y limos que favorecen una fuerte acumulación de los metales, en particular del Cu. Además, las dos últimas estaciones corresponden a los bancos ostrícolas y se sabe que los ostiones absorben este metal tanto en sus tejidos como en sus conchas de donde puede aportarse este elemento al sedimento. La mínima concentración de Cu se obtuvo en la Boca de Balchacah (est. 14) con un valor de 1.61ppm (Fig. 6a).

Níquel.

Este metal al igual que el Cu, registró sus valores máximos de 130.88, 103.67 y 144.60ppm en las estaciones 7, 9 y 10 respectivamente mientras que la concentración más baja (12.22ppm) fue para la estación 16 ubicada en la parte externa de la Boca de Puerto Real donde el sedimento es arenoso y la corriente de entrada es mayor impidiendo la residencia de materiales en este punto (Fig. 6a y b).

Cobalto.

En las estaciones 7, 9 y 10 el Co tuvo concentraciones de 20.28, 18.3 y 21.18ppm respectivamente, representando los valores máximos, mientras que el valor mínimo de 7.03ppm se presentó cerca del Estero Pargo (est. 6) en un lugar denominado "Los Cayos" con sedimento arenoso y una salinidad alta (34o/oo) (Fig. 6a).

Cromo.

Para el Cr sus concentraciones más altas (108.60, 75.93 y 102.35ppm) correspondieron a las mismas estaciones que para los metales anteriormente señalados y nuevamente la Boca de Balchacah manifestó el valor mínimo de 17.17ppm. La estación 2 que recibe influencia del agua oceánica por estar

ubicada cerca de la Boca de Puerto Real, manifestó una concentración de 87.02ppm debido, probablemente, a que la circulación que ofrece la laguna favorece la acumulación de sedimento y sustancias provenientes de mar abierto.

Plomo.

Este metal presentó altos niveles en las estaciones 3, 11 y 1 con valores de 54.06, 55.16 y 83.33ppm respectivamente; estos sitios estuvieron ubicados en la región este de la laguna donde los carbonatos fueron elevados con porcentajes de 9.06 para la estación 1, 7.62 en la 3 y 9.67 para la estación 11; el sedimento fue arenoso para las estaciones 1 y 3. En la Boca de Balchacah (est. 14), el Pb se registró en baja proporción (4.83ppm) (Fig.6b).

Cadmio.

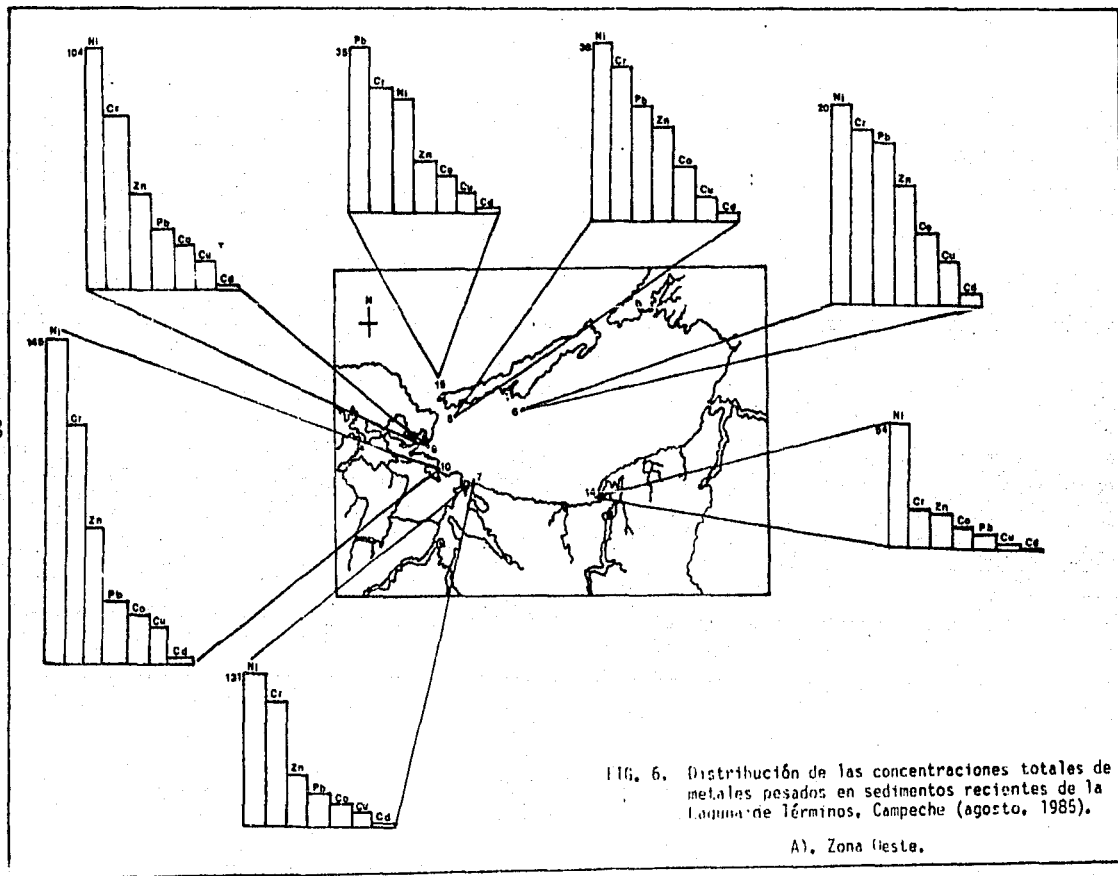
La estación 11 localizada cerca de Isla Aguada presentó la mayor concentración de Cd que fue de 2.12ppm seguida por la Boca de Puerto Real (est. 1) con 1.93ppm, mientras que cerca de la Boca de la Laguna de Panlau (est. 4) se obtuvo el mínimo para este metal de 0.76ppm (Fig. 6b).

Zinc.

El Zn presente en el sedimento de las estaciones 7, 9 y 10 registró las concentraciones mayores de 43.81, 43.87 y 58.45ppm respectivamente, mientras que en la parte externa de la Boca de Puerto Real (est. 16) se presentó una concentración de 4.69ppm correspondiendo al valor mínimo de este metal de los 16 sitios de recolecta de sedimento en la laguna (Fig. 6a).

En relación a los valores promedios, el más alto correspondió al Ni con 50.93ppm y el menor fue para el Cd con 1.39ppm (Fig. 7); sin embargo, estas concentraciones deben tomarse con reserva ya que se pueden enmascarar condiciones locales.

Como se ha descrito, los metales Cu, Ni, Co, Cr y Zn tuvieron sus



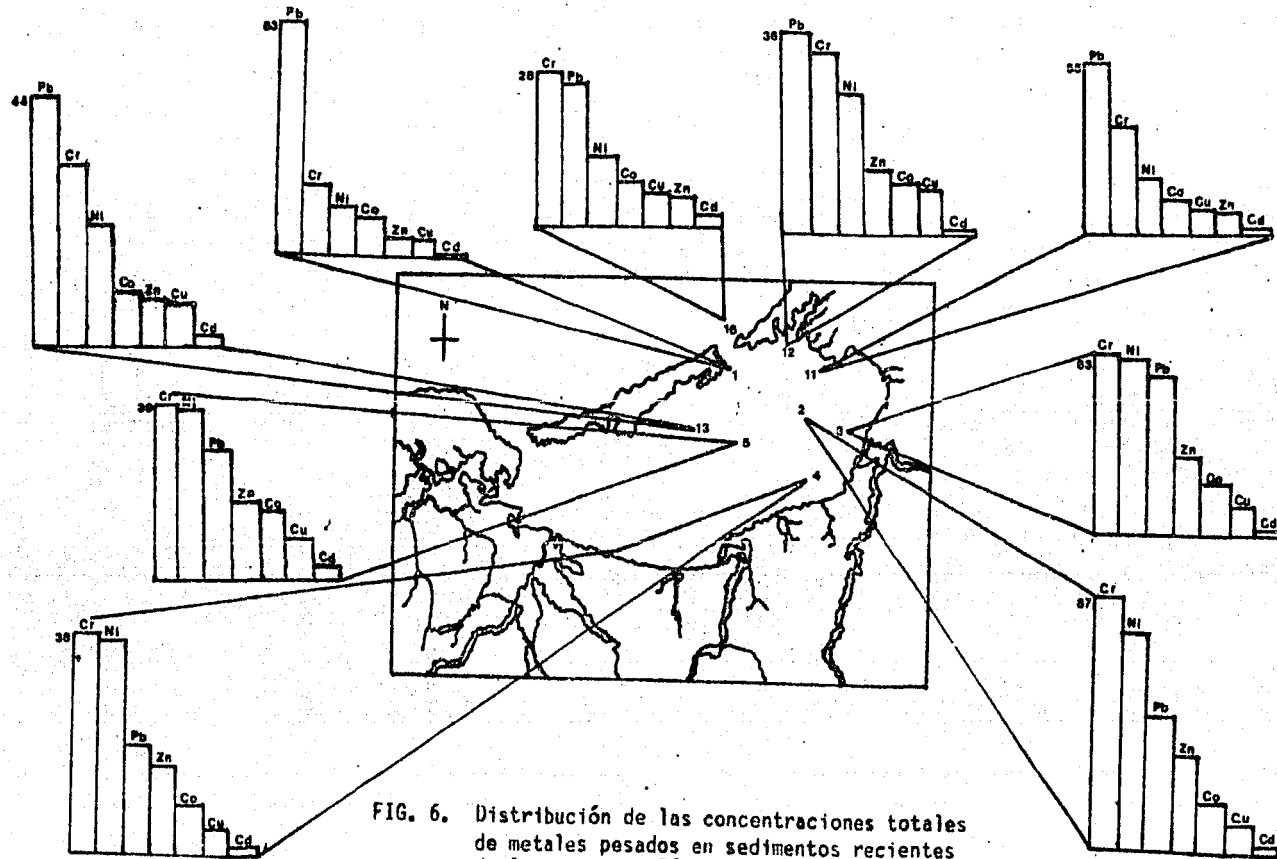


FIG. 6. Distribución de las concentraciones totales de metales pesados en sedimentos recientes de la Laguna de Términos, Campeche (agosto, 1985).

B). Zona Este.

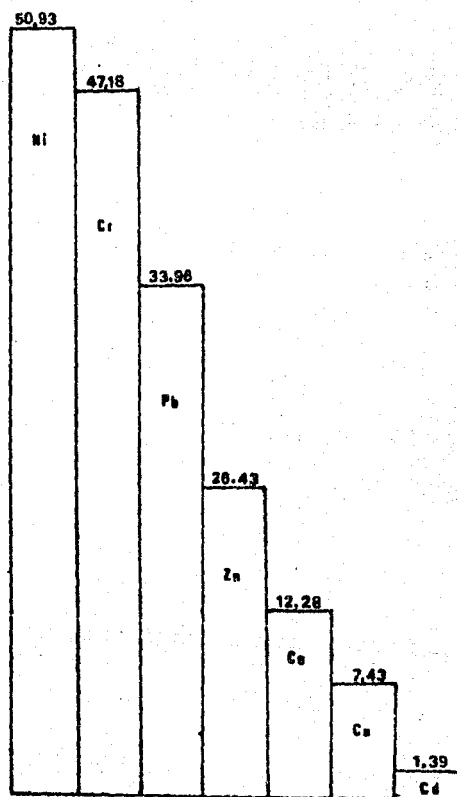


FIG. 7. Concentraciones totales promedio (ppm/peso seco) de los metales pesados en el sedimento reciente de la Laguna de Términos, Campeche (agosto, 1985).

concentraciones mayores en la zona oeste de la laguna, específicamente en las estaciones 7, 9 y 10 correspondiendo las dos últimas a los bancos ostrícolas. En estos sitios existe un predominio de limos y arcillas como constituyentes del sedimento, las descargas fluviales son grandes así como también la materia orgánica y el contenido de oxígeno disuelto, todas estas condiciones favorecen la acumulación de estos elementos en los sedimentos. El Pb y el Cd presentaron sus valores máximos en la zona este del sistema (estaciones 1, 3 y 11) donde la influencia oceánica puede favorecer su entrada a la laguna por la circulación de la misma, así como también la presencia de carbonatos en el sedimento ya que estos metales tienen afinidad por estos compuestos (Goldberg, 1976).

En la tabla 3 se muestran las concentraciones de los elementos traza presentes en las cuatro fracciones químicas disponibles del sedimento analizado. Solamente el Ni presentó forma intercambiable con una concentración promedio de 1.75ppm nivel que fue el más bajo de las cuatro fracciones disponibles del metal. El Cu, el Ni y el Zn fueron, en promedio, más afines a los óxidos de Fe y Mn representados por la fracción IV teniendo concentraciones promedio de 3.87, 8.54 y 3.58ppm respectivamente (Tabla 4, Fig. 8) correspondiendo los valores más altos a las estaciones ubicadas en la región centro-oeste de la laguna; en general, estos sitios presentaron sedimentos finos y alto contenido de materia orgánica, condiciones que favorecen la formación de los complejos metales-óxidos debido a las propiedades eléctricas que tienen las arcillas y que permiten la adsorción de metales en su superficie o bien la formación de enlaces entre ellos (Vuceta y Morgan, 1978; Tessier *et al.*, 1979). Al realizar las correlaciones lineales entre las concentraciones totales de los metales pesados estudiados y algunos componentes del sedimento, se obtuvo que el Cu, Ni y Zn presentaron los coeficientes más significativos al relacionarlos con el porcentaje de arcillas (0.86, 0.72 y 0.73 respectivamente); también estos elementos con la materia orgánica del sedimento tuvo coeficientes altos (0.83, 0.68 y 0.77), apoyando la afinidad de estos elementos por los óxidos antes mencionada (ver tabla 7).

El Pb y el Cd, además del Co y el Cr, estuvieron asociados a los carbonatos del sedimento (fracción II); sus concentraciones más altas se registraron en

TABLA 3. Valores promedio de las concentraciones (partes por millón/peso seco) de metales en cuatro fracciones químicas del sedimento de Laguna de Términos, Campeche (Agosto, 1985).

ESTACION	Cu		Ni		Ni		Co		Cr		Pb		Cd		Zn						
	FII	FIII	FIV	FI	FII	FIII	FIV	FII	FIII	FIV	FII	FIII	FIV	FII	FIII	FIV					
1	1.90	2.25	2.42	0.87	7.36	6.68	2.54	5.00	4.29	1.21	18.28	8.75	2.30	29.20	17.65	2.05	1.19	0.48	1.66	1.69	1.57
2	N.D.	0.98	N.D.	0.64	7.38	4.00	11.36	3.80	0.32	2.37	9.40	4.33	3.31	21.24	N.D.	N.D.	0.89	N.D.	0.89	N.D.	5.05
3	2.15	2.20	3.32	N.D.	7.16	7.58	4.06	5.49	5.24	1.72	18.39	8.40	2.33	29.37	20.67	3.32	1.43	0.55	2.63	1.52	2.58
4	N.D.	N.D.	8.32	4.26	6.51	4.13	5.60	2.77	0.54	2.15	6.26	3.20	1.86	14.78	N.D.	1.15	0.50	N.D.	0.75	N.D.	3.44
5	1.69	1.30	5.30	N.D.	7.09	5.61	6.83	5.78	5.74	1.88	17.84	6.52	2.24	28.68	16.95	3.18	0.96	0.39	0.96	0.52	3.42
6	N.D.	3.71	3.94	N.D.	1.84	N.D.	1.60	2.36	0.82	0.62	8.39	1.80	1.72	12.33	N.D.	N.D.	0.26	N.D.	1.05	2.20	1.48
7	N.D.	0.63	N.D.	1.50	11.89	3.13	28.00	5.71	1.13	4.31	13.32	5.89	7.48	25.45	0.63	N.D.	0.71	N.D.	2.62	0.38	10.06
8	1.03	8.27	2.61	1.83	5.68	1.55	11.63	4.39	1.33	2.09	18.07	3.31	3.27	28.65	2.65	N.D.	1.29	N.D.	3.36	1.55	6.01
9	0.76	N.D.	N.D.	N.D.	5.07	2.45	7.14	4.05	2.00	1.38	15.21	3.49	2.88	24.07	5.01	N.D.	1.01	N.D.	2.03	N.D.	2.88
10	N.D.	0.89	N.D.	N.D.	10.00	3.95	27.00	5.19	0.77	4.12	13.20	6.37	7.51	24.28	1.02	0.44	0.71	N.D.	1.89	0.51	8.84
11	1.50	N.D.	1.28	N.D.	12.04	3.07	3.58	12.04	2.17	1.15	20.16	4.86	2.17	52.36	6.39	N.D.	2.71	0.26	4.21	0.51	1.41
12	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	6.85	3.12	4.60	4.16	1.56	1.00	16.40	3.90	3.10	24.48	5.57	N.D.	1.22	0.22	1.47	0.67	2.73
13	2.27	1.41	2.45	N.D.	6.82	5.12	4.00	3.54	3.97	1.29	16.92	5.76	2.32	25.26	12.30	2.29	1.26	0.51	3.54	0.77	2.32
14	N.D.	N.D.	N.D.	1.42	1.75	2.50	9.70	N.D.	1.25	2.33	5.51	2.38	2.88	5.01	N.D.	1.16	0.25	N.D.	1.25	N.D.	1.81
15	N.D.	1.08	6.65	N.D.	5.22	1.92	7.05	3.30	1.20	1.33	17.31	2.88	3.32	21.98	12.09	1.73	1.10	0.24	1.92	1.08	2.93
16	1.43	N.D.	2.39	N.D.	5.73	2.73	2.01	2.39	1.86	0.63	16.00	4.10	2.76	20.77	6.70	1.13	0.97	0.25	1.67	0.50	0.75
PROMEDIO	1.59	2.27	3.87	1.75	6.71	3.84	8.54	4.66	2.14	1.85	14.42	4.75	3.20	24.24	8.97	1.83	1.03	0.36	1.99	0.99	3.58

N.D. = No Detectable.

TABLA 4. Intervalos de concentración (partes por millón/peso seco) de metales pesados en las cuatro fracciones químicas del sedimento de Laguna de Términos, Camp. (agosto, 1985).

SEDIMENTO	Cu	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Zn
Metales Totales	1.61-15.1 (7.43)	12.22-144.6 (50.93)	7.28-21.18 (12.28)	17.17-108.6 (47.18)	4.82-55.16 (33.96)	0.76-2.12 (1.39)	6.98-58.45 (20.43)
Fracción I							
Forma Intercambiable	N.D.	0.64-4.26 (1.75)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Fracción II							
Metales unidos a carbonatos	0.76-2.27 (1.59)	1.75-12.04 (6.77)	2.36-12.04 (4.67)	5.51-20.16 (14.42)	5.01-52.36 (24.24)	0.25-2.71 (1.03)	0.75-4.21 (1.99)
Fracción III							
Metales unidos a materia orgánica y sulfuros	0.63-8.27 (2.27)	1.55-7.58 (3.84)	0.32-5.24 (2.14)	1.80-8.75 (4.75)	0.63-20.67 (8.97)	0.22-0.55 (0.36)	0.38-2.20 (0.99)
Fracción IV							
Metales unidos a óxidos de Fe y Mn	1.28-8.32 (3.87)	1.60-28.0 (8.54)	0.62-4.31 (1.85)	1.72-7.51 (3.20)	1.13-3.32 (2.00)	N.D.	0.75-10.06 (3.58)

N.D.= No Detectable.

()= Concentración Promedio.

la zona centro-este donde existen altos porcentajes de carbonatos ($x=8.5\%$) 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 ecosistema e impiden su presencia por tiempos largos en la columna de agua (Goldberg, 1976). Las correlaciones de estos metales con los carbonatos, sobre todo las del Pb y el Cd tuvieron coeficientes significativos (0.72 y 0.81 respectivamente) reafirmando la preferencia de estos metales por los carbonatos como ya se ha hecho referencia.

En la tabla 4 se muestra que las concentraciones promedio de la fracción II para el Co, Cr, Pb y Cd fueron de 4.67, 14.42, 24.24 y 1.03ppm y representan, respecto a la concentración total, el 38.0, 30.6, 71.4 y 74.1% respectivamente, lo cual significa que alrededor de las tres cuartas partes de los metales potencialmente tóxicos (Pb y Cd), se encuentran en forma de carbonatos y son inactivados. El Cu presente en la fracción IV representa el 52.1% de la concentración total del metal; los metales restantes manifiestan porcentajes pequeños respecto al total (Tabla 5; Fig. 8).

En forma complementaria a las determinaciones de metales pesados, se analizó el sedimento para conocer el tipo de grano dominante, la cantidad de materia orgánica y de carbonatos en cada uno de los sitios de recolecta (Tabla 6). De los resultados se deduce que el 62.5% de las 16 estaciones estudiadas, manifestó un sedimento de tipo arenoso y las restantes tuvieron fondos limosos y arcillosos. La distribución del sedimento en la Laguna de Términos está acorde con los resultados obtenidos de metales pesados en el ecosistema ya que las estaciones 7, 9 y 10 con concentraciones altas de Cu, Ni y Zn presentan grano fino en su fondo mientras que los sitios 1 y 3 estuvieron constituidos por arenas carbonatadas registrándose concentraciones altas de Pb y Cd principalmente.

Algunos autores han mencionado la existencia de una relación inversa entre el tamaño de grano del sedimento y la cantidad de materia orgánica que puede contener. Rodina (1960) vide De la Lanza (1981) menciona que la presencia de bacterias adsorbidas al sedimento, puede restringir la tasa de descomposición de la materia orgánica. Oppenheimer (1960) citado por el mismo autor, observó

TABLA 5. Concentraciones máximas promedio de metales pesados en las fracciones químicas del sedimento y por ciento a los totales, durante agosto de 1985 en la Laguna de Términos, Campeche.

CARACTERISTICAS	PROMEDIO (ppm)	PORCENTAJES (%)
Cobalto Total	12.28	100.0
Cobalto Fracción II	4.67	38.0
Cromo Total	47.18	100.0
Cromo Fracción II	14.42	30.6
Plomo Total	33.96	100.0
Plomo Fracción II	24.24	71.4
Cadmio Total	1.39	100.0
Cadmio Fracción II	1.03	74.1
Cobre Total	7.43	100.0
Cobre Fracción IV	3.87	52.1
Níquel Total	50.93	100.0
Níquel Fracción IV	8.54	16.8
Zinc Total	20.43	100.0
Zinc Fracción IV	3.58	17.5

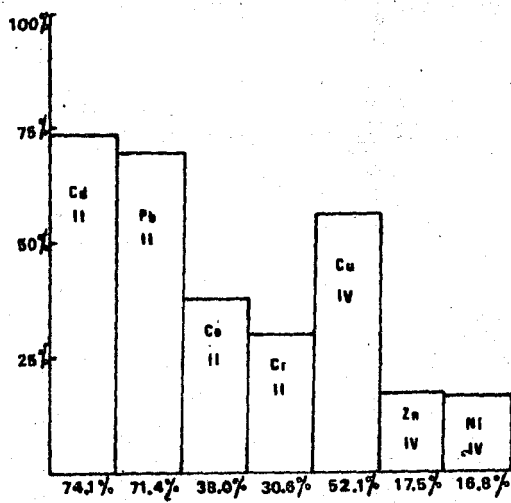


FIG. 8. Proporciones de las fracciones químicas dominantes de los metales pesados con respecto a la concentración total (100%) en los sedimentos recientes de la Laguna de Términos, Campeche.

TABLA 6. Granulometría, materia orgánica y carbonatos para cada una de las estaciones de recolecta de sedimentos recientes de Laguna de Términos, Campeche (agosto, 1985).

ESTACION	TIPO DE SEDIMENTO (% grano dominante)	M. O. (% c. o.)	CARBONATOS (%)
1	Arenoso (59.06)	0.83	9.06
2	Limo-arcilloso (58.12-40.94)	1.23	4.51
3	Arenoso (70.15)	1.57	7.62
4	Arenoso (67.46)	1.00	2.29
5	Gravo-arenoso (59.00-41.00)	0.89	8.32
6	Arenoso (76.83)	0.16	4.04
7	Limo-arcilloso (57.00-42.00)	1.92	3.81
8	Arenoso (83.00)	0.59	5.97
9	Arcilloso (59.75)	1.89	4.53
10	Arcilloso (57.11)	1.69	5.10
11	Arcilloso (51.34)	0.70	9.67
12	Limoso (66.12)	1.51	6.94
13	Arenoso (72.23)	0.54	7.56
14	Arenoso (58.60)	0.13	2.14
15	Arenoso (87.35)	0.19	6.73
16	Arenoso (91.82)	0.25	6.73
PROMEDIO		0.94	5.94

que en sedimentos arenosos, la materia orgánica fue descompuesta en un 95% en 40 días contrastando con los sedimentos arcillosos donde fue sólo del 75%. La residencia de algunos metales como el Cu, Ni y Zn en el sedimento está asociada con la cantidad de materia orgánica que existe y a su vez con el tamaño de grano que lo forma por lo que es mayor en los sedimentos de tipo fino como limos y arcillas que en aquellos constituidos por arenas. En el presente trabajo se observó esta relación entre tamaño de grano, contenido de materia orgánica y concentraciones de Cu, Ni y Zn, ya que donde hubo dominancia de arcillas y limos se presentaron los niveles de materia orgánica mayores, así como las máximas concentraciones de estos elementos (estaciones 7, 9 y 10).

Con respecto a la presencia de carbonatos, se encontró una mayor concentración de éstos en las estaciones del lado este de la laguna, debido a la influencia que ejercen los sedimentos calcáreos de la plataforma continental del Banco de Campeche, los cuales son transportados por corrientes costeras y oleaje hacia esta zona, como es la Corriente de Intrusión derivada de la Corriente de Yucatán (Campos, 1981). Esta región de la laguna registró las concentraciones mayores de Pb el cual puede dejar de representar un peligro para la biota por estar formando compuestos con los carbonatos de la zona.

Se efectuaron correlaciones entre la presencia de metales pesados tanto en las concentraciones totales como en algunas de las fracciones químicas con la cantidad de materia orgánica, carbonatos, tipo de grano dominante, salinidad, oxígeno disuelto, temperatura y entre los mismos elementos traza (Tabla 7). De las relaciones entre las concentraciones totales de metales pesados, la correlación Ni-Zn fue la que presentó el coeficiente más alto $r=0.98$, seguida por las relaciones Ni-Cr, Cr-Zn y Co-Cr teniendo una $r=0.92$. Puede decirse que la tasa de acumulación de estos elementos está interrelacionada cuando se encuentran en el sedimento. Al correlacionar la concentración total del Ni, Co, Cr y Zn con su fracción IV (metales unidos a óxidos de Fe y Mn), se observó que los coeficientes resultantes fueron altos (0.87, 0.70, 0.79 y 0.80 respectivamente) manifestando un comportamiento semejante de estos metales en el sedimento.

Con la materia orgánica presente, el Cu tuvo la correlación más alta ($r=0.83$) pero también el Ni, Co, Cr y Zn registraron correlaciones significativas ($\alpha =0.05$). Con el porcentaje de arcilla, nuevamente el Cu presentó el mayor coeficiente ($r=0.86$) (Tabla 7). Los resultados estadísticos apoyan las explicaciones ya discutidas sobre la interacción de estos elementos en el sedimento y en particular con la materia orgánica y el grano fino que existen en él.

La relación Pb-Cd ($r=0.74$) manifiesta un comportamiento semejante de estos elementos y corrobora que ambos tengan afinidad por los carbonatos como se demuestra en las correlaciones de su concentración total con la fracción II (metales unidos a carbonatos) que tuvieron $r=0.62$ para el Pb y $r=0.72$ para el Cd (Tabla 7).

De las correlaciones estadísticas entre la concentración total de metales en el sedimento y los valores de salinidad, oxígeno disuelto y temperatura determinados en el agua, se obtuvieron relaciones inversas entre la salinidad y el Zn ($r=-0.85$), el Cu ($r=-0.77$), el Ni ($r=-0.76$), el Co ($r=-0.69$) y el Cr ($r=-0.70$) todas ellas con un 95% de confiabilidad ($\alpha =0.05$) (Tabla 7); el efecto que tiene la salinidad sobre la permanencia de los metales en la columna de agua ha sido reportado en la literatura (Phillips, 1976 y 1977) observándose un tiempo de residencia del metal mayor en aguas dulces que en marinas. De aquí que sea importante el denotar que el Zn se torna más soluble con las salinidades bajas permaneciendo más tiempo en la columna de agua; los bancos ostrícolas presentaron estas salinidades durante la época de lluvias, fecha en que este metal fue abundante en los tejidos de C. virginica pudiendo ser otra causa de su elevada presencia en el bivalvo.

El Zn obtuvo un $r=0.73$ al correlacionarlo con el oxígeno disuelto, siguiéndole el Ni ($r=0.67$) y el Cu ($r=0.66$) (Tabla 7). Estos metales registraron sus concentraciones máximas en el sedimento de la zona oeste de la laguna donde existe un aporte fluvial considerable y además se observaron los valores de oxígeno disuelto más altos (estaciones 7, 9 y 10), así como también cabe recordar que estos elementos estuvieron asociados en mayor proporción a los óxidos de Fe y Mn (FIV) en el sedimento. Con la temperatura los coeficientes de correlación oscilaron entre 0.16 y 0.59 para el Pb y Co respectivamente, manifestando que este factor no es determinante en la presencia de metales pesados en este sistema (Tabla 7).

TABLA 7. Correlación múltiple entre la concentración total de los metales estudiados en el sedimento reciente, las fracciones químicas, la materia orgánica y las arcillas, así como también con la salinidad, el oxígeno disuelto y la temperatura del medio.

$r \geq 0.5$ corresponde $\alpha = 0.05$

	Cu	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Zn
Cu	1.00000						
Ni	0.78223	1.00000					
Co	0.89108	0.87798	1.00000				
Cr	0.87133	0.91680	0.91749	1.00000			
Pb	0.22520	-0.21728	0.22689	0.01698	1.00000		
Cd	0.39213	-0.20080	0.21618	0.09060	0.73763	1.00000	
Zn	0.81198	0.97880	0.89635	0.91957	-0.17412	-0.13145	1.00000
FII	-0.22119	0.38383	0.35898	-0.06815	0.61818	0.72339	0.00362
FIII	-0.52821	-0.09449	0.02198	0.29788	0.57126	0.18290	-0.26927
FIV	-0.49126	0.87133	0.70388	0.78498	0.42634	0.00000	0.79680
M.O.	0.83372	0.67673	0.82656	0.81898	0.15546	0.21627	0.76920
CO ₃	0.10960	-0.44950	-0.04182	-0.25540	0.72240	0.80880	-0.38840
%Arc.	0.85500	0.71490	0.72840	0.73680	0.03270	0.23960	0.72750
So/oo	-0.77270	-0.76390	-0.69190	-0.69520	0.19870	0.05411	-0.85260
OD mg/l	0.66200	0.66780	0.56340	0.52440	-0.30840	-0.11730	0.72930
T °C	0.45901	0.41425	0.58838	0.50132	0.16278	0.18927	0.49825

F II = Fracción unida a carbonatos.

F III = Fracción unida a materia orgánica y sulfuros.

F IV = Fracción unida a óxidos de fierro y manganeso.

M.O. = Materia orgánica.

CO₃ = Carbonatos.

%Arc. = Porcentaje de arcillas en el sedimento.

So/oo = Salinidad.

OD mg/l = Oxígeno disuelto.

T °C = Temperatura.

Con el objeto de tener un panorama general de los resultados obtenidos en el presente trabajo y para comparación con otros estudios, se elaboró el cuadro sinóptico comparativo que muestra los valores de metales pesados reportados para sedimentos del Golfo de México, así como también para otros lugares del mundo (Tabla 8). Puede apreciarse que las concentraciones promedio de los elementos traça en el sedimento de la Laguna de Términos obtenidas en este estudio, fueron bajas para el Cu, Co y Zn, mientras que los elementos Ni, Cr, Pb y Cd tuvieron 50.9, 47.2, 33.9 y 1.4ppm respectivamente, ubicándose como valores intermedios el Ni y el Cr mientras que el Pb y el Cd sí bien no son los más altos, son muy similares a lo reportado para zonas impactadas como los ríos Blanco y Coatzacoalcos en Veracruz. Cabe mencionar que las concentraciones totales de los metales pesados Cu, Co, Cr, Pb y Cd en el sedimento de la Laguna de Términos, son los primeros registros de la zona, no teniendo un marco de referencia para establecer comparaciones más reales ya que si bien, es aceptable hacerlo con otros registros de áreas diferentes, es necesario considerar las condiciones naturales de cada lugar y las fluctuaciones ambientales tan específicas a que está sometida cada región añadiendo las variaciones que sufren dichas condiciones de una zona a otra aunque la distancia entre ellas no sea considerable. Para el Ni y el Zn existen concentraciones reportadas de 45.5 y 40.0ppm respectivamente por Botello en 1983 en el sedimento de la Laguna de Términos (Tabla 8).

Organismos.

Los osciones colectados fueron identificados por el personal del Laboratorio de Malacología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, perteneciendo a la especie Crassostrea virginica (Gmelin, 1791). La ubicación taxonómica de este bivalvo es la siguiente (Abbott, 1974):

PHYLUM MOLLUSCA	Cuvier, 1797
CLASE BIVALVIA	Linneo, 1758
ORDEN OSTREINA	Rafinesque, 1815
FAMILIA OSTREIDAE	Rafinesque, 1815
GENERO <u>Crassostrea</u>	Sacco, 1897
ESPECIE <u>Crassostrea virginica</u>	Gmelin, 1791

TABLA 8. Cuadro comparativo de las concentraciones totales de metales pesados (ppm/peso seco) en sedimentos superficiales de diferentes regiones.

LOCALIDAD	Cu	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Zn	REFERENCIA
Costa Inglesa	---	9.6	---	---	43.5	0.50	29.6	Taylor, 1974 *
Bahía Narragansett, USA.	---	20.0	---	---	49.0	1.30	110.5	Eisler <i>et al.</i> , 1977 *
Golfo de México	---	8.0	---	---	6.2	0.80	21.0	Roth y Hornung, 1977 *
Río Blanco, Veracruz	27.1	35.9	25.4	83.0	31.6	1.60	90.0	Alvarez, 1983
Tampamachoco, Veracruz	---	---	---	9.6	3.9	0.10	---	Rosas <i>et al.</i> , 1983
Mandinga, Veracruz	---	---	---	7.4	3.3	0.02	---	Rosas <i>et al.</i> , 1983
Del Carmen, Tabasco	---	---	---	30.5	6.5	0.30	---	Rosas <i>et al.</i> , 1983
Atasta, Campeche	---	---	---	1.0	0.3	0.02	---	Rosas <i>et al.</i> , 1983
Río Tonalá, Veracruz	22.2	98.4	25.4	---	---	---	66.5	Villanueva, 1987
Río Coatzacoalcos, Ver.	24.7	34.7	21.6	67.0	43.4	1.60	85.5	Villanueva, 1987
Laguna del Ostión, Ver.	50.3	68.8	42.8	---	---	---	112.4	Villanueva, 1987
Laguna de Términos, Camp.	N.D.	45.5	---	---	---	---	40.0	Botello, 1983
Laguna de Bojórquez, Q Roo.	36.3	87.3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	57.2	De León y Peña, 1987
Laguna de Términos, Camp.	7.4	50.9	12.3	47.2	33.9	1.40	20.4	Este estudio

N.D. = No Detectable.

* = Tomados de Sadiq y Zaidi (1985).

Las concentraciones de metales pesados en los tejidos de estos bivalvos, registraron su valor más altos en los individuos recolectados durante la época de lluvias (agosto de 1985), excepto para el Pb (Tabla 9). Debido a la localización que tienen los bancos ostrícolas (estaciones 9 y 10), reciben descargas importantes de los ríos Palizada y Chumpán así como también de todo el sistema de lagunas interiores; estos aportes fluviales son fuentes considerables de material particulado con grandes cantidades de materia orgánica y sedimento fino que sufre depositación y permanece en los bancos siendo una fuente de alimento para los ostiones. Además, pueden ser el vehículo de sustancias tóxicas como algunos metales (Pb y Cd) que son capaces de adherirse a las partículas alimenticias presentes en la columna de agua y pasar a formar parte de los organismos.

Un hecho interesante es la relación que algunos autores han reportado entre el estado reproductivo y la sexualidad del ostión con el contenido de algunos metales en sus tejidos. Cunningham y Tripp (1975) observaron, *in vitro*, una disminución de Hg en C. virginica durante el período de desove; un estudio hecho por Delhaye y Cornet (1975) *vide* Cunningham (1979) sobre la sensibilidad de Mytilus edulis hacia el Cu, reveló que el incremento de este metal en los tejidos del mejillón se debió al aumento del metabolismo y por tanto de la tasa de absorción del metal por la cercanía de la etapa de desove. En relación a la sexualidad, Galtsoff (1964) reporta para hembras de C. virginica concentraciones más altas de Mn que para los machos; Watling y Watling (1976) *vide* Cunningham (1979) encontraron diferencias en las concentraciones de Zn, Cu y Mn siendo éstos mayores en las hembras que en los machos mientras que el Pb y el Bi fueron mayores en los machos. Aunque en el presente trabajo no se obtuvo el registro de la sexualidad de los organismos utilizados, las concentraciones de metales pesados obtenidas durante agosto de 1985 fueron, en general, las más altas de las tres épocas de recolecta, este hecho es debido posiblemente a que hubo un aumento en la tasa metabólica de los organismos incrementando la filtración y absorción de partículas, como un mecanismo de preparación para la fase de desove masivo que ha sido reportada para bivalvos de esta especie en esta región, para el mes de septiembre (Rogers y García-Cubas, 1981), sin dejar de considerar otras fuentes alternas de entrada anteriormente mencionadas en la discusión de los resultados en los sedimentos.

TABLA 9. Contenido total (ppm/peso seco) de metales pesados estudiados en tejidos del ostión Crassostrea virginica de la Laguna de Términos, Campeche en las colectas de mayo y agosto de 1985 y enero de 1986.

SITIO Y FECHA DE COLECTA	Cu	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Zn
9 (mayo, 1985)	175.05	16.31	3.82	1.53	4.10	4.65	696.10
10 (mayo, 1985)	22.63	6.80	N.D.	0.81	0.77	0.83	101.71
9 (agosto, 1985)	237.01	14.48	7.10	13.71	5.90	4.55	996.57
10 (agosto, 1985)	198.23	13.88	5.06	5.50	5.10	4.12	770.24
9 (enero, 1986)	154.96	9.01	2.94	9.81	10.53	4.37	780.42
10 (enero, 1986)	158.09	8.70	2.13	8.54	8.45	3.61	731.33
PROMEDIO	157.70	11.50	4.20	6.70	5.80	3.70	679.40

N.D.= No Detectable.

El Pb contenido en los tejidos de C. virginica tuvo su concentración mayor durante la época de nortes en enero de 1986, alcanzando hasta 10.53ppm como valor máximo y 9.49ppm como concentración promedio de los dos bancos ostrícolas (Tabla 10). Algunos investigadores, entre ellos Goldberg et al. (1978), mencionan que elementos trazas como el Pb, son movilizados mediante transporte atmosférico y han observado que en lugares donde no debería presentarse este metal en cantidades detectables, se ha podido registrar, explicando este fenómeno como una consecuencia de su acarreo por vientos desde zonas alejadas y donde seguramente se presenta en cantidades considerable. Este mecanismo puede ocurrir en el caso del Pb registrado en los ostiones de la Laguna de Términos ya que los vientos del norte tienen una gran influencia en esta época del año arrastrando partículas desde mar abierto, sobre todo de la zona de plataformas petroleras, hacia el continente y las depositan en éste o en las lagunas costeras que ahí existen mediante precipitaciones intensas, en estas partículas puede incluirse al Pb; asimismo, el complejo petrolero situado a sólo 80Km de la laguna, puede influir sobre la misma a través de la circulación imperante en el área la cual se ha establecido en sentido este-oeste en zona costera y puede provocar que este metal penetre al sistema lagunar por la Boca de Puerto Real para luego ser distribuido por las corrientes propias de la laguna. Otra fuente de aporte de Pb en el ecosistema; lo representan las lanchas con motor fuera de borda empleadas en las diferentes actividades pesqueras que se llevan a cabo en este sistema, ya que utilizan tetraetilo de Pb como antidetonante en el combustible de estos vehículos y este compuesto pasa a la columna de agua de donde los ostiones toman su alimento y junto con él al metal.

Otro hecho notable respecto a la concentración de metales pesados en los tejidos de los ostiones, fue la presencia de Zn en niveles altos ya que tuvo un valor máximo de 996.6ppm (Tabla 10). Esta concentración puede ser justificada si se considera que este elemento, al igual que otros, pertenece al grupo de los metales esenciales para el desarrollo de organismos acuáticos (Williams, 1967; Simkiss, 1984) ya que algunos estudios bioquímicos como el de Viarengo (1985), manifiestan que la proporción correcta de Zn entre el medio externo e interno del individuo, es necesario para el mantenimiento de la estructura y funcionalidad de las membranas celulares.

Esto pone de manifiesto la importancia de este elemento en procesos enzimáticos, pero son escasos los estudios encaminados a establecer las concentraciones requeridas en esos mecanismos, ya que para lograrlo sería necesario un registro continuo tanto in vivo como in vitro, del nivel que comenzara a ocasionar cambios por deficiencia y exceso del metal en dichos procesos. Coombs (1972 y 1974) atribuye la presencia de Zn en grandes concentraciones en ostiones, a niveles elevados de Ca en el medio circundante, ya que existe una competencia entre estos elementos por introducirse en la célula a través de la bomba de Ca. Asimismo, se refiere también a los grandes requerimientos de Ca por parte de los ostiones para la formación de sus conchas y las enzimas implicadas en este proceso dependen de la presencia de Zn, por lo que estos bivalvos acumulan este metal en una proporción comparable a la acumulación de Ca. Galtsoff (1964) menciona la posible existencia de una aparente relación estacional entre las concentraciones de elementos traza en el ostión y la formación de su concha. Este mismo autor comenta que las cantidades de metales como Zn, Cu, Fe, Mn y tal vez Ca, son más elevadas durante los meses de verano cuando la elaboración de la concha aumenta. Los organismos colectados en el mes de agosto presentaron las concentraciones promedio más altas de Zn (883.4ppm) y Cu (217.6ppm) (Tabla 10) lo cual podría explicarse por el proceso de formación de la concha anteriormente señalado. Un hecho que hay que considerar es que si el Zn se encuentra en grandes cantidades en la columna de agua, es de esperarse su presencia abundante en los tejidos de los ostiones debido a que los hábitos filtradores de estos organismos favorecen la entrada del metal.

Se ha reportado en la literatura que metales como el Cu, Zn y Fe son indispensables en los procesos enzimáticos de los ostiones (Coombs, 1974; Phillips, 1976; Simkiss, 1984; Viarengo, 1985). El Zn se presenta en concentraciones elevadas en los moluscos de manera natural y está involucrado en diversas enzimas como la anhidrasa carbónica y la fosfatasa alcalina entre otras (Wolfe, 1970; Coombs, 1972). Existen algunos metales pesados que participan conjuntamente en diversas rutas metabólicas por lo que es importante conocer mediante pruebas estadísticas la relación que exista entre algunos de ellos. Se realizaron correlaciones entre los diferentes metales detectados en tejidos de C. virginica. Los coeficientes de

TABLA 10. Intervalos de concentraciones de metales totales (ppm/peso seco) en tejidos de Crassostrea virginica de Laguna de Términos, Campeche para las tres épocas de recolecta.

FECHA DE COLECTA	Cu	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Zn
Mayo, 1985 (secas)	22.63-175.05 (98.84)	6.80-16.31 (11.56)	N.D.-3.82	0.81- 1.53 (1.17)	0.77- 4.10 (2.44)	0.83-4.65 (2.74)	101.71-696.10 (398.91)
Agosto, 1985 (lluvia)	198.23-237.01 (217.62)	13.88-14.48 (14.18)	5.06-7.10 (6.08)	5.50-13.71 (9.60)	5.10- 5.90 (5.50)	4.12-4.55 (4.34)	770.24-996.57 (883.41)
Enero, 1986 (nortes)	154.96-158.09 (156.53)	8.70- 9.01 (8.86)	2.13-2.94 (2.54)	8.54- 9.81 (9.18)	8.45-10.53 (9.49)	3.61-4.37 (3.99)	731.33-780.42 (755.88)

N.D.= No Detectable.

()= Concentración promedio.

correlación mayores correspondieron a las relaciones Cu-Zn con $r=0.97$, Cd-Zn con $r=0.94$, Co-Cu con $r=0.93$ y Cu-Cd con $r=0.92$ (Tabla 11), lo cual pone de manifiesto la utilización que hace de ellos el metabolismo del ostión. Feng y Ruddy (1974) vide Cunningham (1979) encontraron una correlación significativa entre Cu-Cd-Zn para C. virginica de Long Island, USA. Esta misma correlación se registró en C. commercialis en New South Wales, Australia (Mackay et al., 1975 vide Cunningham, 1979) y en el mismo C. virginica se detectó una correlación significativa entre Fe-Zn-Cd por Frazier (1976). Lo reportado en estos trabajos y lo aquí obtenido puede evidenciar la relación que se presenta entre algunos metales, como es el caso del Zn y el Cd que por ser bivalentes, comparten propiedades similares ya que ambos penetran en las células mediante la 'bomba de Ca (Simkiss, 1984) siendo necesario realizar estudios más específicos y finos para el establecimiento formar de tales relaciones.

En general, de 21 correlaciones lineales realizadas entre los metales pesados presentes en tejidos de C. virginica en el presente estudio, el 85.7% tuvo una confiabilidad del 95% ($\alpha = 0.05$) manifestando, estadísticamente, relaciones muy estrechas entre la mayoría de los elementos traza en el bivalvo.

En la tabla 12 se presenta una comparación de las concentraciones de metales pesados obtenidas en C. virginica de diferentes regiones de América del Norte. Rosas et al. (1983) obtuvieron para esta especie recolectada en diversas lagunas costeras del Golfo de México, valores menores para Cr, Pb y Cd respecto a lo registrado en este estudio con diferencias hasta de 5.8, 4.3 y 2.6ppm respectivamente. Los datos reportados para la Laguna del Ostión, Veracruz por Villanueva (1987) son superados para el Cu y el Zn por los niveles aquí encontrados, mientras que el Ni de los ostiones de la Laguna de Términos permaneció 70 veces por debajo de la concentración reportada por dicho autor. En el trabajo de Hicks (1976), se tienen concentraciones comparables de Zn con lo aquí detectado mientras que para los metales restantes existen diferencias, sobresaliendo el Cu, Co y Cd siendo menores sus niveles en el presente trabajo no así para el Ni, Cr y Pb que superaron las concentraciones de 1976 debido posiblemente al incremento de las actividades petroleras de la zona vecina de plataformas. La FDA (Food and Drug

TABLA 11. Correlación múltiple entre los metales detectados en tejidos de *C. virginica* en la Laguna de Términos, Campeche.

	Cu	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Zn
Cu	1.00000						
Ni	0.75589	1.00000					
Co	0.92821	0.80117	1.00000				
Cr	0.66235	0.08288	0.62215	1.00000			
Pb	0.49788	-0.07794	0.24100	0.69869	1.00000		
Cd	0.92315	0.72499	0.77930	0.53449	0.62955	1.00000	
Zn	0.97298	0.61380	0.85952	0.77364	0.67266	0.93489	1.00000

$r \geq 0.5$ corresponde $\alpha = 0.05$

Administration) en 1971 estableció los límites permisibles de metales pesados para ciertos alimentos, por ejemplo para ostiones comerciales el Pb tiene un valor límite máximo de 0.2ppm/peso húmedo y el Cd de 0.14ppm/peso húmedo que al compararlos con los pesos secos aquí utilizados, sólo se multiplica por un factor de 10; estos límites fueron sobre pasados por los niveles encontrados en este trabajo ya que las concentraciones promedio para estos metales fueron de 5.8ppm para el Pb y 3.7ppm para el Cd.

Los metales Cu, Ni, Co, Cd y Zn estuvieron dentro de los valores referidos para otras zonas costeras e incluso para la propia Laguna de Términos. El Cr y el Pb registrados en el presente estudio, tuvieron los valores máximos respecto a lo reportado para la misma laguna así como para áreas costeras ubicadas en latitudes mayores (Tabla 12). Las diferencias del Cr y el Pb son justificables en base a la metodología utilizada por cada autor, a la contaminación de la muestra durante su manejo, así como por ser resultado del incremento en la industria petrolera que afecta directamente a este ecosistema con sus desechos, maniobras de extracción, derrames, entre otros.

Además de las determinaciones de metales pesados en los ostiones, también se presentan datos tomados de características morfológicas como son largo y ancho de las conchas, contenido de agua en el tejido y número de organismos analizados (Tabla 13), todos ellos dados como marco de referencia para poder establecer comparaciones de los resultados de esta investigación con otras regiones con el fin de evaluar la calidad alimenticia y el contenido de sustancias potencialmente tóxicas en estos bivalvos.

Finalmente puede decirse que los sedimentos y los ostiones de la especie C. virginica de la Laguna de Términos en el Estado de Campeche, presentaron concentraciones de los metales pesados analizados que sugieren la posibilidad de un aumento de estos elementos en el sistema el cual puede atribuirse a diversas causas discutidas a lo largo del trabajo; de todas ellas, la más preocupante son las actividades relacionadas con la obtención, procesamiento y uso del petróleo y sus derivados. El sistema estuarino Laguna de Términos debe permanecer bajo evaluación constante de la presencia de sustancias potencialmente contaminantes con objeto de evitar perturbaciones en su

TABLA 12. Comparación de las concentraciones de metales pesados (ppm/peso seco) en tejidos de Crassostrea virginica para distintas regiones de América del Norte.

LOCALIDAD	Cu	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Zn	REFERENCIA
Costa Este, USA.	216.5	4.1	---	---	1.8	6.0	3695.0	Goldberg <u>et al.</u> , 1978
Bahía San Antonio, USA.	138.5	2.2	---	---	1.4	3.1	515.0	Goldberg <u>et al.</u> , 1983
Tampamachoco, Veracruz	---	---	---	0.9	1.9	2.1	---	Rosas <u>et al.</u> , 1983
Mandinga, Veracruz	---	---	---	2.2	3.0	1.5	---	Rosas <u>et al.</u> , 1983
Del Carmen, Tabasco	---	---	---	4.6	3.0	7.1	---	Rosas <u>et al.</u> , 1983
Atasta, Campeche	---	---	---	3.8	1.5	1.1	---	Rosas <u>et al.</u> , 1983
Laguna del Ostión, Ver.	38.0	84.0	---	---	---	---	144.0	Villanueva, 1987
Laguna de Términos, Camp.	172.0	7.0	6.0	4.0	1.8	5.7	643.1	Hicks, 1976
Laguna de Términos, Camp.	26.4	---	---	---	0.3	0.9	101.1	Botello <u>et al.</u> , 1976*
Laguna de Términos, Camp.	157.7	11.5	4.2	6.7	5.8	3.7	679.4	Este estudio
Límite Permisible	---	---	---	---	0.2	0.14	---	FDA., 1971*

* = basado en peso húmedo.

TABLA 13. Datos morfométricos de los ostiones Crassostrea virginica colectados en las localidades de Boca de Atasta (est. 9) y Boca de Palizada Vieja (est. 10) durante tres épocas climáticas en la Laguna de Términos, Camp.

SITIO (fecha)	LARGO PROMEDIO (cm.)	ANCHO PROMEDIO (cm.)	No. DE ORGANISMOS ANALIZADOS	% HUMEDAD
9 (mayo, 1985)	6.50 (5.40-6.80)	4.10 (2.90-4.50)	32	87.75
10 (mayo, 1985)	6.00 (4.70-6.40)	3.80 (2.70-4.00)	20	88.41
9 (agosto, 1985)	4.20 (3.50-5.00)	2.70 (2.50-2.80)	20	83.28
10 (agosto, 1985)	4.20 (3.00-6.00)	2.65 (2.40-2.80)	21	79.20
9 (enero, 1986)	5.10 (4.00-6.90)	3.10 (2.20-3.90)	23	86.50
10 (enero, 1986)	4.42 (3.20-5.70)	2.95 (2.20-3.90)	22	87.35

equilibrio ecológico que conllevaría a la alteración de los ciclos de vida de diversas especies que representan una fuente alimenticia y un sostén económico importante a nivel local, regional y nacional.

CONCLUSIONES

Con base a los objetivos planteados al inicio del presente trabajo y con los resultados obtenidos, pueden emitirse las siguientes conclusiones:

1. La máxima concentración total promedio de metales pesados en el sedimento de la Laguna de Términos fue para el Ni (50.93ppm). El Cu, Ni, Co, Cr y Zn tuvieron preferencia por los sedimentos finos y la materia orgánica abundante presentes en la región oeste de la laguna. El Pb y el Cd se encontraron en sus mayores concentraciones en sedimentos arenosos con alto contenido de carbonatos localizados en la zona este del sistema.

La forma química mejor representada de los elementos Cu, Ni, y Zn fue como óxido mientras que el Co, Cr, Pb y Cd se presentaron en mayor concentración disponible como carbonatos.

2. En los tejidos de C. virginica se registraron las concentraciones mayores de Cu, Ni, Cr, Co, Cd y Zn (217.6, 14.2, 6.1, 9.6, 4.3 y 883.41ppm respectivamente) durante la época de lluvias (agosto de 1985) mientras que para el Pb se presentó en la época de nortes con 9.5ppm (enero de 1986). Esto pone de manifiesto la presencia de una variación estacional en el contenido de metales pesados en este bivalvo de la Laguna de Términos.

3. El Cu, Ni, Co, Cr y Zn deben presentarse en concentraciones mayores en tejidos de C. virginica cuando existan condiciones de baja salinidad, como es la época de lluvias, ya que permanecen solubles por más tiempo en la columna de agua.

4. Los metales pesados Pb y Cd, potencialmente tóxicos, sobrepasaron los límites permisibles establecidos para los ostiones destinados al consumo humano a lo largo del ciclo analizado por lo que se recomienda evitarlos en la dieta.

5. Con base en los resultados obtenidos tanto en sedimentos como en organismos y tomando como referencia trabajos anteriormente realizados en esta laguna, puede decirse que en el sedimento de Laguna de Términos, así como en los tejidos de C. virginica, se está llevando a cabo un incremento de los niveles de los metales Cr y Pb posiblemente por la actividad petrolera tan intensa que se genera frente a este sistema y cuyos desechos llegan a través de la circulación costera y del transporte atmosférico. El análisis de dos componentes importantes en un ecosistema acuático como son el sedimento y la biota, permite evaluar adecuadamente si tal cuerpo de agua se encuentra en las condiciones correctas para permitir el desarrollo de organismos económicamente importantes, como los ostiones.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

LITERATURA CITADA

- ABBOTT R.T., 1974. AMERICAN SEASHELLS. The Marine Mollusca of the Atlantic and Pacific Coast of North America. Van Nostrand Reinhold Co., New York, 2a. Ed., 666p.
- AGEMIAN H.A.S. y CHAU, 1976. Evaluation of extraction techniques for the determination of metals in aquatic sediments. ANALYST, 101 (1207): 761-767.
- ALVÁREZ R.U., 1983. Distribución de metales pesados en sedimentos del Río Blanco, Veracruz. Tesis de Maestría. UACPyP-CCH, Maestría en Ciencias del Mar. UNAM. México. 68p.
- AMEZCUA L.F. y A.A. YAÑEZ, 1980. Ecología de los sistemas fluvio lagunares asociados a la Laguna de Términos. El habitat y estructura de las comunidades de peces. AN. INST. CIEN. DEL MAR Y LIMNOL. UNIV. NAL. AUTON. MEXICO., 76(1): 69-118.
- AOYAMA I., INOVE Y. y Y. INOVE, 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.
- BOTELLO A.V., 1978. Variaciones de los parámetros hidrológicos en las épocas de sequías y lluvias (mayo y noviembre, 1974) en la Laguna de Términos. AN. INST. CIEN. DEL MAR Y LIMNOL. UNIV. NAL. AUTON. MEXICO., 5(1): 159-178.
- BOTELLO A.V., 1979. Presencia e importancia de hidrocarburos fósiles en el medio ambiente marino: Nota Científica. AN. INST. CIENC. DEL MAR Y LIMNOL. UNIV. NAL. AUTON. MEXICO., 6(1): 1-6.

- BOTELLO A.V., 1983. Variación estacional del contenido de metales pesados en Thalassia testudinum y sedimentos en una zona costera del Golfo de México. Informe presentado en el Inst. de Cienc. del Mar y Limnol., de la UNAM.
- BOTELLO A.V., 1985. Vigilancia de la contaminación por petróleo en la Bahía de Campeche y la zona costera del Caribe Mexicano. Reporte presentado al Consejo de Ciencia y Tecnología. ICMYL. UNAM. México, D.F.
- BOTELLO A.V., HICKS E. y E.F. MANDELLI, 1976. Estudios preliminares sobre los niveles de algunos contaminantes en la Laguna de Términos, Campeche, México. Trabajo presentado en Simposio CICAR II. Progress in Marine Research in the Caribbean and Adjacent Regions. Caracas, Venezuela. Julio 12-16, 1976.
- BUCKLEY D.E. y R.E. CRANSTON, 1971. Atomic absorption analyses of 18 elements from a single decomposition of aluminosilicate. CHEM. GEOL., 7: 273-274.
- CAMPOS C.J., 1981. Contribución a la sedimentología y morfología de la plataforma continental frente a las costas de Campeche, México. Primera Parte. Dirección General de Oceanografía. Sría. de Marina. Inv. Ocean.,: 1-41.
- CARREÑO L.S.A., 1982. Algunos aspectos ecológicos de la macrofauna bentónica de las praderas de Thalassia testudinum de la Laguna de Términos, Campeche. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias. UNAM. 71p.
- COOMBS T.L., 1972. The distribution of zinc in the oyster Ostrea edulis and its relation to enzymic activity and to other metals. MAR. BIOL., 12: 170-178.

- COOMBS T.L., 1974. The nature of zinc and copper complexes in the oyster Ostrea edulis. MAR. BIOL., 28: 1-10.
- CUNNINGHAM P.A. y M.R. TRIPP, 1975. Factors affecting acumulation and removal of mercury from tissues of the American Oyster, Crassostrea virginica. MAR. BIOL., 31: 311-319.
- CUNNINGHAM P.A., 1979. The use of bivalve molluscs in heavy metal pollution research. Advances in Marine Biology.
- CHENG L., FRANCO P.J. y M. SCHULZ-BALDES, 1979. Heavy metals in the sea-skater Halobates robustus from Galapagos Islands: concentrations in nature and uptake experiments, with special reference to Cd. MAR. BIOL., 54(3): 201-206.
- CHESTER R. y F.G. VOUTSINOV, 1981. The initial assessment of trace metal pollution in coastal sediments. MAR. POLL. BULL., 12(3): 84-91.
- DANIELSSON L.G., MAGNUSSON B., WESTERLUND S. y K. ZHANG, 1983. Trace metals in the Gota River Estuary. EST. COAST. AND SHELF SCI., 17: 73-85.
- DAVIS J.A. y J.O. LECKIE, 1978. Effect of adsorbed complexing ligand on trace metal uptake by hydrous oxides. ENV. SCI. & TECH., 12(12): 1309-1315.
- DAY J.W., Jr., DAY R.H., BARREIRO Ma. T., LEY-LOU F. y Ch.J. MADDEN, 1982. Primary Production in the Laguna de Términos, a tropical estuary in the southern Gulf of Mexico, p. 269-276. In: Lasserre, P. y H. Postma (Eds.) Coastal Lagoons. OCEANOLOGICA ACTA, Vol. Spec., 5(4): 462p.
- DAY J.W. y A. YAÑEZ ARANCIBIA, 1982. Coastal lagoons and estuaries ecosystems approach. CIENCIA INTERAMERICANA, 22(1-2): 11-26.

- DE LA LANZA E.G., 1981. Importancia de la materia orgánica en los sedimentos de la Laguna de Huizache-Caimanero, Sinaloa, México. Tesis Doctoral. UACPyP-CCH. Doctorado en Ciencias del Mar. UNAM. 93p.
- 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.
- DELHAYE W. y D. CORNET, 1975. Contribution to the study of the effects of copper on Mytilus edulis during the reproductive period. COMP. BIOCHEM. PHYSIOL., 50A: 511-518.
- DRESSLER R., 1981. Investigación sobre mareas y efectos del viento en la Laguna de Términos (México) mediante un modelo hidrodinámico-numérico. Informe Técnico CICESE OC. 82: 01, 19p.
- FENG S.Y. y G.M. RUDDY, 1974. Zins, copper, cadmium, manganese, and mercury in oysters along the Connecticut coast. In Investigations on Concentrations, Distributions and Fates of Heavy Metals in Parts of Long Island Sound. pp. 132-158, Groton Connecticut: University of Connecticut.
- FOOD and DRUG ADMINISTRATION, 1971. FED. REG., 29 (230): 15814.
- FOLK R.L., 1974. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Pub. Co. Austin, 182p.
- FRAZIER J. M., 1976. The dynamics of metals in the American Oyster, Crassostrea virginica II. Environmental effects. CHESAPEAKE SCI., 17: 188-197.
- GARCIA-CUBAS A., 1981. Moluscos de un sistema lagunar tropical en el sur del Golfo de México (Laguna de Términos, Campeche). INST. CIENC. DEL MAR Y LIMNOL. UNIV. NAL. AUTON. MEXICO. Publ. Esp., 5: 1-182.

- GARCIA E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). INST. GEOGR. UNIV. NAL. AUTON. MEXICO. 264p.

- GAUDETTE H.E., FLIGHT W.R., TONER L. y D.W. FOLGER. 1974. An Inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. J. SEDIMENT. PETROL., 44(1): 249-253.

- GALTSOFF P., 1964. The american oyster, Crassostrea virginica. FISH. BULL. FISH. WILD. SERV. U.S., 64: 1-480.

- GEMSI ad hoc GROUP, 1983. The use of marine sediments for pollution monitoring. Proc. The first meeting of the Gemsi ad hoc Group on the Use of marine sediments for pollution monitoring. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. Mazatlán, México. April - 11-15, 1983.

- GIBBS J.R., 1973. Mechanisms of trace metal transport in rivers. SCIENCE, 180(4081): 71-73.

- GMELIN J.F., 1791-92. Caroli a Linné Systema Naturae per Regna tria Naturae, Leipzig, 13 Ed., 6: 3021-3910.

- GOLDBERG D.E., 1976. The health of the oceans. The Unesco Press. París. 173p.

- GOLDBERG D.E., BOWEN V.I., FARRINGTON J.W., MARTIN J.H., PARKER P.L., RISEBROUGH R.W., ROBERTSON W., SCHNEIDER E. y E. BANBRE, 1978. The Mussel Watch. ENV. CONSER., 5(2): 101-125.

- GOLDBERG D.E., KOIDE M., HODGE V., RUSSEL F.A. y J.H. MARTIN, 1983. U.S. Mussel Watch: 1977-1978, Results on trace metals and radionuclides. EST. COAST. AND SHELF SCI., 16: 69-93.

- GOMEZ A.S., 1974. Reconocimientos estacionales de hidrología y plancton en la Laguna de Términos, Campeche, México (1964-1965). AN. CEN. - CIENC. DEL MAR Y LIMNOL. UNIV. NAL. AUTON. DE MEXICO, 1(1): 61-82.
- GORDON M., KNAWER G.A. y J.H. MARTIN, 1980. Mytilus californianus as a bioindicator of trace metal pollution: variability and statistical considerations. MAR. POLL. BULL., 11(7): 195-198.
- GOTHRIE R.K. y E.M. DAVIS, 1979. Biomagnification of heavy metals by organisms in a marine microcosm. BULL. ENVIRON. CONT. TOXICOL., 21(1-2): 53-61.
- GREIG R.A., WENZLOFF D.R. y J.B. PEARSE, 1976. Distribution and abundance of heavy metals in finfish, invertebrates and sediments collected at a deepwater disposal site. MAR. POLL. BULL., 7(10): 185-187.
- GRIVEL P.F. y U.R. ARCE, 1977. Configuración cotidal en la Laguna de Términos, Camp. Instituto de Geofísica, UNIV. NAL. AUTON. DE MEXICO. (no publicado).
- GUPTA K.S. y K.Y. GHEN, 1975. Partitioning of trace metals in selective chemical fractions of nearshore sediments. ENV. LETT., 10(2): 129-158.
- HARVEY E.J. y L.A. KNIGHT, 1978. Concentration of three toxic metals in oysters (C. virginica) of Bilox and Pascagoula, Mississippi estuaries. WAT. AIR AND SOIL POLL., 9(3): 255-261.
- HICKS E.A., 1976. Variación estacional en la concentración de elementos metálicos en ostiones de la Laguna de Términos, Camp., México. Tesis Profesional. Facultad de Química. UNAM.
- KOJUNA Y. y J.H.R. KAGI, 1978. TRENDS IN BIOCH. SCI., 3 (90).

- LANKFORD R.R., 1977. Coastal Lagoons of Mexico: Their Origin and Classification. EST. PROC., 2. Academic Press, Inc. Nueva York. 182-215.
- LASSERRE P., 1979. Coastal Lagoons: Sanctuary Ecosystems, Cradles of Culture, Targets for Economic Growth. NAT. AND RES., 4(15): 1-21.
- LEHNINGER L.A., 1981. BIOQUIMA. Omega. 2a. Ed. Barcelona, España.
- LONG D.T. y E.E. ANGINO, 1977. Chemical speciation of Cd, Cu, Pb and Zn in mixed freshwater, seawater and brine solutions. GEOCHIM. ET COSMOCHIM. ACTA, 41: 1183-1191.
- LORING D.H. y R.T. RANTALA, 1977. Geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. Fisheries and Marine Services Technical Canada. Report 700. 58p.
- MACKAY N.J., WILLIAMS R.J., KACPRZAC J.L., COLLINS A.J. y E.H. AUTY, 1975. Heavy metals in cultured oysters, Crassostrea commercialis from the estuaries of New South Wales. AUST. MAR. FRESHWAT. RES., 26: 31-46.
- MANDELLI E.F., 1979. Contaminación por metales pesados. REV. CON. PERM. PACIFICO SUR, 10: 209-228.
- MANDELLI E.F. y A.V. BOTELLO, 1975. A study of variables related to the matter quality of Terminos Lagoon and adjacent coastal areas, Campeche, Mexico. Final Report Project GUB53. CEN. CIENC. DEL MAR Y LIMNOL. UNAM. Informe Técnico. 92p.
- MANCILLA P.M. y F.M. VARGAS, 1980. Los primeros estudios sobre la circulación y el flujo neto de agua a través de la Laguna de - Términos, Campeche. AN. CENC. CIENC. DEL MAR Y LIMNOL. UNIV. NAL. AUTON. MEXICO, 7: 1-12.

- MARTINCIC D., NURNBERG H.W., STOEPLER M. y M. BRANICA, 1984. Bioaccumulation of heavy metals by bivalves from Lim Fjord (North Adriatic Sea). MAR. BIOL., 81(2): 177-188.
- MEGUELLATI N., ROBBE D., MARCHANDISE P. y M. 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.
- MEYERSON A.L. y W.G. LUTHER, 1981. Heavy metal distribution in Newark Bay sediments. MAR. POLL. BULL., 12(7): 244-250.
- NOEL-LAMBET F., 1978. REV. INT. OCEANOGR. MED., 49(13).
- OAKLEY S.M., NELSON P.O. y K.J. WILLIAMSON, 1981. Model of trace metal partitioning in marine sediments. ENVIRON. SC. & TECH., 15(4): 474-480.
- OPPENHEIMER C.H., 1960. Bacterial activity in sediments of shallow marine bays. GEOCHIM. COSMOCHIM. ACTA, 19(4).
- PHILLIPS D.J.H., 1976. The common mussel Mytilus edulis as an indicator of pollution by zinc, cadmio, lead and copper. I y II. MAR. BIOL., 38(1): 59-69 y 71-80.
- PHILLIPS D.J.H., 1977. Effects of salinity on the net uptake of zinc by the common mussel, Mytilus edulis. MAR. BIOL., 41(1): 79-88.
- PHILLIPS D.J.H., 1978. The common mussel Mytilus edulis as an indicator of trace metals in scandinavian waters. II. Pb, Fe and Mn. MAR. BIOL., 46(2): 147-156.
- PHILLIPS D.J.H., 1979. The rock oyster Saccostrea glomerata as an indicator of trace metals in Hong Kong. MAR. BIOL., 53(4): 353-360.

- PHLEGER B.F. y A.C. AYALA, 1971. Process and history of Terminos Lagoon, Mexico. AMER. ASSOC. PETROL. GEOL. BULL., 55(2): 2130-2140.
- ROSAS I., BAEZ A. y R. BELMONT, 1983. Oyster (Crassostrea virginica) as indicator of heavy metal pollution in some lagoons of the Gulf of Mexico. WAT. AIR AND SOIL POLL., 20: 127-135.
- ROGERS P. y A. GARCIA-CUBAS, 1981. Evolución gonádica a nivel histológico del ostión Crassostrea virginica (Gmelin, 1791) del sistema fluvio-lagunar Atasta-Pom, Laguna de Términos, Campeche, México. AN. INST. CIENC. DEL MAR Y LIMNOL. UNIV. NAL. AUTON. MEXICO., 8(1): 21-42.
- SADIQ M. y T.H. ZAIDI, 1985. Metal concentrations in the sediments from the Arabian Gulf of Saudi Arabia. BULL. ENV. CONTAM. TOXICOL., 34: 565-571.
- SIGNORET M., 1974. Abundancia, tamaño y distribución de camarones (Crustácea, Peneidae) de la Laguna de Términos, Campeche, México y su relación con algunos factores hidrológicos. AN. INST. BIOL. - UNIV. NAL. AUTON. MEXICO. SER. ZOOLOGIA, 45(1): 119-140.
- SIMKISS K., 1984. Invertebrados que neutralizan metales tóxicos. MUNDO CIENTIFICO, 4(39): 864-866.
- SIMPSON R.D., 1979. Uptake and loss of zinc and lead by mussels (Mytilus edulis) and relationships with body weight and reproductive cycle. MAR. POLL. BULL., 10(3): 74-78.
- STRICKLAND D.H. y T.R. PARSONS, 1968. A practical handbook of seawater analysis. BULL. FISH. RES. BD. CAN., 167.
- SUAREZ C.J.A. y S. GOMEZ-AGUIRRE, 1965. Observaciones sobre el plancton de la Laguna de Términos, Campeche, México. BULL. MAR. SCI., 15(4): 1072-1120.

- 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.
- THOMAS R.L., 1972. The distribution of mercury in the sediments of Lake Ontario. CAN. J. EARTH. SCI., 9: 636-651.
- TORAL A.S., 1971. Estudios de los Cichlidae (Pisces, Perciformes) de la Laguna de Términos y sus efluentes. Tesis Profesional. Fac. Ciencias. UNAM. México. 32p.
- VARGAS, 1978. Las corrientes y el transporte neto de agua en la Laguna de Términos, Campeche. Tesis Profesional. Fac. Ciencias. UNAM. México. 94p.
- VIARENGO A., 1985. Biochemical effects of trace metals. MAR. POLL. BULL., 16(4): 153-158.
- 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. 82p.
- VUCETA J. y J.J. MORGAN, 1978. Chemical modeling of trace metals in fresh waters: Role of complexation and adsorption. ENV. SC. & TECH., 12(12): 1302-1309.
- WARREN L.J. y E.S. PILKINGTON, 1979. Determination of heavy metal distribution in marine sediments. ENV. SC. & TECH., 13(3): 295-299.
- WATLING H.R. y R.J. WATLING, 1976. Trace metals in Choromytilus meridionalis. MAR. POLL. BULL., 7: 91-94.
- WILLIAMS R.J.P., 1967. Heavy metals in biological systems. ENDEAVOUR, 24: 96-108.

- WOLFE D.A., 1970., Zinc enzymes in Crassostrea virginica. J. FISH. RES. BD. CAN., 27: 59-69.
- YAÑEZ C.A., 1963. Batimetría, salinidad, temperatura y distribución de los sedimentos recientes en la Laguna de Términos, Campeche, México. BOL. INST. GEOL. UNIV. NAL. AUTON. MEXICO., 67(1): 1-47.
- YAÑEZ A.A., 1980. Fish community structure and function in Terminos Lagoon. A tropical estuary in the southern Gulf of Mexico. In: Kennedy (Ed.). ESTUARY PROSPECTING. C. Press Inc. USA.
- YAÑEZ A.A. y J.W. DAY, 1982. Ecological characterization of Terminos lagoon-estuarine system in the Southern Gulf of Mexico. 431-440. In: Lasserre, P. y H. Postma (Eds.) Coastal Lagoons. OCEANOLOGICA ACTA, Vol. Spec., 5(4): 462p.
- YAÑEZ A.A., A.L. LARA-DOMINGUEZ, P. CHAVANCE y D. F. HERNANDEZ, 1983. Environmental behavior of Terminos Lagoon ecological system, Campeche, Mexico. AN. INST. CIEN. DEL MAR Y LIMNOL. UNIV. NAL. AUTON. MEXICO., 10(1): 137-176.
- YAÑEZ A.A. y P. SANCHEZ-GIL, 1986. Los peces demersales de la plataforma continental del sur del Golfo de México. 1. Caracterización ambiental, ecología y evaluación de las especies, poblaciones y comunidades. INST. CIENC. DEL MAR Y LIMNOL. UNIV. NAL. AUTON. MEXICO. PUBL. ESP., 9: 1-230.