



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ZARAGOZA"

DETERMINACION DE METALES PESADOS (Cd, Cu,
Fe, Mn, Pb, Zn), EN DOS ESPECIES DE OSTION,
(Crassostrea virginica, Crassostrea rhizophora),
EN LA LAGUNA DE TERMINOS, CAMPECHE

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
B I O L O G O
P R E S E N T A :
HUGO SANCHEZ MODESTO



MEXICO, D. F.

FEBRERO DE 1992



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

	pag.
RESUMEN	1
INTRODUCCION	2
GENERALIDADES	6
AREA DE ESTUDIO	12
OBJETIVOS	16
MATERIALES Y METODOS	17
RESULTADOS	20
ANALISIS DE RESULTADOS	25
CONCLUSIONES	29
ANEXOS	30
REFERENCIAS	34

RESUMEN

Se realizó un estudio sobre el nivel de las concentraciones de seis metales pesados, (Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn), en cinco estaciones en la Laguna de Términos, Campeche, utilizando para ello a dos especies de ostión, (Crassostrea virginica, Crassostrea rhizophora).

Las concentraciones totales de Cd (1.2 - 7.6 ppm), Cu (71 - 662 ppm), Fe (293 - 2650 ppm), Mn (14 - 63 ppm), Pb (1.8 - 24 ppm), Zn (200 - 1315 ppm), varían dependiendo de la especie y sitio donde se localicen. La estación de Boca Chica generalmente presenta los valores más altos, no así la estación de Estero Pargo, la cual tiene una gran influencia marina, que presenta los valores más bajos en todos los metales a excepción del Pb.

Haciendo una comparación de los valores del presente trabajo con otros anteriores, se observa que existe un incremento en las concentraciones de Cd, Cu y Pb desde 1976 a la fecha.

I.- INTRODUCCION

La mayoría de las actividades humanas, producen inevitablemente más sustancias y energía en el ambiente, como una consecuencia de la extracción y utilización de los recursos renovables y no renovables, causando contaminación y con ello el deterioro ambiental. Esta contaminación tiene lugar de muchas formas: Plaguicidas, detergentes, partículas, hidrocarburos, etc. Más recientemente, los metales tóxicos se han identificado como una clase de contaminantes más peligrosos para el ambiente, los cuales se han manifestado claramente en el suelo, aire y agua.

La contaminación marina y de la zona costera se ha convertido en un problema económico, político y social. Se define la contaminación marina como: La introducción directa o indirecta por el hombre, de sustancias o energía en el medio marino (incluyendo estuarios y lagunas costeras), que resulten en efectos deletéreos y daños a los recursos vivos, peligro a la salud humana, alteración de las actividades marinas, incluyendo la pesca, menoscabo a la calidad del agua y la reducción del valor recreativo (GESAMP, 1982).

A partir del incidente ocurrido en la Bahía de Minamata, Japón, donde ocurrió una grave intoxicación debida al consumo humano de peces contaminados con mercurio, es que se ha centrado la atención hacia las concentraciones de algunos metales en peces y moluscos y en particular los metales traza como: Cobre(Cu),

cinc(Zn), mercurio(Hg), níquel(Ni), vanadio(V), iodo(I), cobalto(Co), selenio(Se), etc., muchos de estos elementos son metales pesados como: Plomo(Pb), manganeso(Mn), cobre(Cu), hierro(Fe), cadmio(Cd), cinc(Zn), etc., los cuales pueden afectar las funciones de cualquier ser vivo.

La mayoría de los metales pesados se encuentran dentro de la clasificación de elementos no esenciales. su nivel de toxicidad va a depender de la cantidad y de su capacidad para reemplazar a los elementos esenciales en todo proceso metabólico de los seres vivos; esto es conocido como "antagonismo biológico", en donde la competencia o la sustitución del elemento o de moléculas que presentan radios iónicos similares, es un mecanismo que determina el desplazamiento en los complejos biomoleculares, (Mondragón, M. L.; Morales, S. R.; Sánchez, R. A., 1989).

La elevada toxicidad de los metales pesados es debido a que gran parte de ellos logran acumularse en los organismos permaneciendo allí durante largos periodos de tiempo y funcionando como venenos acumulativos. En contraste con los contaminantes orgánicos, los metales tóxicos no pueden ser degradados en la naturaleza por medios biológicos ni químicos, no obstante pueden pasar a formar parte de los sedimentos por procesos geoquímicos o ser solamente removidos para acumularse en los mismos; por lo tanto, los compuestos que contengan metales pueden ser alterados pero los metales indeseables aún permanecen, (GESAMP, 1982). En algunos casos, tales reacciones conducen a que el metal obtenga una forma más tóxica, como en el caso del mercurio que en la naturaleza a

través de un proceso relativamente rápido pasa de una forma inorgánica a una forma organometálica.

Los metales al llegar a la laguna o estuario, sufren una serie de transformaciones de tipo físico, químico y biológico. Al encontrarse con otras aguas dentro de la laguna o estuario, los metales sufren procesos de absorción, precipitación, floculación coloidal, fijación biológica, sedimentación, liberación bioquímica a la columna de agua y otros más, cuyo balance final es que solamente una pequeña parte de los metales originalmente introducidos abandonan la zona estuarina en estado de disolución, (Botello, A.V., Mendelewicz, M., 1988.).

Los recursos pesqueros de las zonas estuarinas han venido siendo afectados a través de las descargas provenientes de los drenajes agrícolas, contaminados con insecticidas, fertilizantes químicos, sales, así como las descargas de las aguas negras de las poblaciones, que en forma global han provocado un descenso significativo en especies, (ostión, camarón, ranas, etc.), que tienen un alto valor comercial y demanda en los mercados internos y externos, (Zoltan de Cserna, Mosiffo A., 1974).

Los efectos biológicos y toxicológicos han sido revisados ampliamente y mediante numerosos estudios se ha sugerido el uso de moluscos bivalvos marinos como organismos indicadores de la contaminación marina, (Akberali, H.B., Earnshaw, M., 1984). Sobre éstos bivalvos se ha reportado la habilidad que tienen para reflejar los niveles ambientales sobre contaminantes, como

metales pesados en ecosistemas estuarinos. Los bivalvos exhiben diversas características como especies idealés que incluyen lo siguiente: (i) La habilidad de acumular altas concentraciones sin sufrir mortandad; (ii) presentan una vida sedentaria; (iii) gran abundancia numérica; (iv) suficiente reproducción para permitir muestreos de más de un año con toda clase de monitoreo periódico; (v) tamaño grande, tanto que el tejido es disponible para análisis y (vi) buena adaptación a condiciones de laboratorio. Por ésta razón se han usado en diversas regiones del mundo como "monitores de la contaminación", (Eisler, R., 1981).

Debido a la toxicidad de los metales pesados y a la gran importancia social, económica y biológica que presenta la Laguna de Términos, Campeche, en el sureste de nuestro país, se realizó éste estudio a fin de conocer el estado que guardan los metales pesados, (Cd, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn), en dos especies de ostión, Crassostrea virginica y Crassostrea rhizophora, localizados en dicha laguna.

II.- GENERALIDADES

Los términos "metales pesados" y "metales traza" son usados en los estudios de impacto ambiental. El concepto de toxicidad es usualmente asociado con éstos términos y con los siguientes elementos: Hg, Cd, Cu, Zn, Co, Mn, Mo, Ni, Pb, Fe, As, Al, Cr, Sn, Ti, Va, Ag, Bi, Be, Se y Te. Ambos términos se originaron a partir de los sistemas usados para subclasificar los muchos metales conocidos. Metales pesados son aquellos que tienen una densidad mayor a 5 gramos por centímetro cúbico, los que tienen una densidad menor se les denomina metales ligeros. El término "metal traza" pretende indicar la abundancia natural del mismo. Por lo común, aquellos metales que se encuentran en la corteza terrestre en proporciones de 0.1 por ciento o menos (1000 ppm) en peso se sitúan en ésta categoría. En términos de contaminación ambiental, los metales traza son más importantes que los metales más abundantes debido a sus efectos adversos sobre los organismos (Stoker, S., Seager, S. 1981).

La abundancia de elementos en la corteza terrestre varía mucho. El oxígeno, el más abundante, se encuentra en una cantidad de 500 millones de veces superior a la de los metales traza más raros. El silicio y el oxígeno, no metales los dos, representan en conjunto casi las tres cuartas partes (74.3 por ciento) del peso total de la corteza terrestre. Solo doce elementos, incluyendo el oxígeno y el silicio, no se clasifican como elementos traza y

forman el 99.4 por ciento del peso total de dicha corteza, la amplia variación en cuanto a abundancia de los elementos traza, puede observarse en la tabla 1.

Wood y Goldberg (1977) dividen los metales de importancia biológica en tres grupos:

1.- Metales ligeros, normalmente transportados como cationes móviles en soluciones acuosas (ej. Na y K).

2.- Metales de transición, los cuales pueden ser tóxicos a altas concentraciones y esenciales a bajas concentraciones (ej. Fe, Cu, Co, Mn).

3.- Metales pesados o metaloides, que pueden ser requeridos para actividades metabólicas a bajas concentraciones, pero a niveles ligeramente altos son tóxicos (ej. Hg, Se, Pb, As, Sn).

Los metales traza entran al medio acuático como resultado de los procesos naturales y de las actividades vía ríos, descargas, procesos atmosféricos y la disolución de sedimentos en el fondo acuático. Por otro lado, llegan al hombre por diferentes vías: Una de ellas es: Suelo-planta-animal-hombre; otra es: roca-productos industriales-agua-hombre, o la de desechos industriales-agua-hombre; estas vías originan que los elementos traza se encuentren en cantidades variables en el cuerpo humano.

Diversos factores deben ser considerados en relación al movimiento de metales en los ciclos biogeoquímicos: (i) Forma

física (solución coloidal, particulada; (ii) especiación química; (iii) reacción con material inorgánico y orgánico (incluyendo la biota) y (iv) la magnitud de fuentes y su localización o distribución (Wood, J.M., Goldberg, E.D.,1977).

Debe señalarse que hasta cierto punto, los metales traza se mueven por el ambiente con independencia de las actividades humanas. Como resultado de los procesos biogeoquímicos, los organismos vivos están expuestos a ligeras concentraciones naturales de metales traza, en la comida y el agua potable, por ejemplo.

Una indicación de la medida en que las actividades humanas han amplificado las concentraciones de metales en el ambiente es observable en la tabla 2; en ella se compara la velocidad con que los metales son llevados hasta la superficie de la tierra debido a la minería con la que resulta de la erosión.

Uno de los resultados más graves de la persistencia de los metales tóxicos en el ambiente es la amplificación biológica en las cadenas tróficas. Como consecuencia de éste proceso, los niveles de metales en los miembros superiores de la cadena pueden alcanzar valores muchas veces superiores a los que se encuentran en el aire o el agua. Ello puede hacer que muchas plantas o animales lleguen a constituir un peligro para la salud al usarse como alimento. Los seres humanos presentan una tendencia a acumular metales, como lo demuestra la prolongada vida media de algunos de ellos en el cuerpo; 1460 días para el plomo y 200 para

el cadmio. Esta tendencia puede observarse mejor en la tabla 3. La sola presencia de los metales traza no indica un daño potencial, varios de ellos considerados como contaminantes, lo necesitan en forma esencial todos los animales y plantas. La tabla 4 presenta una lista de ellos. Hay cuatro que son metales ligeros abundantes y nueve que son trazas y pesados. Estos últimos se incorporan usualmente a las proteínas, algunas de las cuales funcionan como enzimas o catalizadores biológicos. Los metales ligeros forman con facilidad iones en disolución, y de esta manera ayudan a mantener la neutralidad eléctrica de los fluidos y de las células corporales. También contribuyen al mantenimiento del volumen apropiado de líquido en la sangre y otros sistemas fluidos.

De acuerdo con la Clean Air Act, (Stoker, S.; Seager, S., 1981), hay dos metales, mercurio y berilio, que fueron designados como peligrosos. Otros nueve, que pueden verse en la tabla 5, fueron establecidos como candidatos a la misma clasificación. La catalogación de peligroso significa que la liberación de la sustancia en cuestión en el ambiente debe ser cuidadosamente controlada, ya que una ligera exposición podría dañar la salud humana.

Las aguas estuarinas fértiles por naturaleza presentan las condiciones ecológicas más favorables como criaderos de especies y ecosistemas de alta productividad, además de actuar como reservorios acumulan los contaminantes que llegan a través de los ríos, atmósfera y del mar (Odum, W. E., 1970).

Los ambientes estuarinos presentan variaciones estacionales así como también variaciones de carácter diario generados por la marea, lluvia, vientos, etc., que ejercen sobre los organismos fuertes presiones físicas a las que han de adaptarse para poder sobrevivir. Si además de éstas presiones se agregan otras generadas por las descargas de aguas contaminadas derivadas de la actividad humana, aumenta ampliamente la posibilidad de que el frágil equilibrio ecológico del ecosistema se deteriore (Copeland, B. J., 1966).

En las zonas estuarinas y costeras, la presencia de contaminantes es muy significativa por encontrarse en relación directa con los organismos; en muchos de ellos las primeras etapas vitales incluyendo la del huevo, son particularmente sensibles a los materiales tóxicos u otras tensiones ambientales. Otros organismos, especialmente las formas bénticas y las que se alimentan de plancton mediante filtros, muestran propensiones marcadas a la acumulación de materiales precipitados y coprecipitados con lo que pueden acumular partículas tóxicas en cantidades para causar su propia muerte o para transmitir concentraciones de contaminantes por la cadena alimentaria hacia niveles tróficos más elevados (SCEP, Estudio de los Problemas Críticos del Ambiente, 1976).

Entre los materiales que entran a las áreas costeras como consecuencia del desarrollo urbano e industrial se encuentran los metales pesados. En la actualidad, la movilización de éstos materiales por el hombre supera los flujos naturales derivados de

procesos geológicos, (Mandelli, E.,1977). Dada la dinámica de la zona costera, los metales atrapados en estos ecosistemas están disponibles a los organismos, los cuales sufren sus efectos tóxicos o los bioacumulan a través de la cadena alimenticia, de ésta manera los metales pueden llegar al hombre y afectar su salud, (Botello, A.V.; Mendelewicz, M.,1988).

La Laguna de Términos es el sistema lagunar más importante del Estado de Campeche y de la República Mexicana, de gran importancia económica y ecológica ya que: (i) Presenta una rica variedad de especies y hábitats; (ii) es fuente de riqueza en moluscos y crustáceos; (iii) por su interrelación con la Sonda de Campeche (la más importante área pesquera en el Golfo de México) y (iv) por su cercanía con la zona de explotación petrolera en la Sonda de Campeche y la creciente urbanización e industrialización de la región (Yañez-Arancibia,A.; Day, J.,1982).

Dada la mencionada importancia de ésta laguna, se hace necesario evaluar constantemente el flujo de contaminantes que entran a ella. Uno de tales contaminantes son los metales pesados a los cuales en el presente estudio se les determinó la concentración acumulada en dos especies de ostión.

111.- AREA DE ESTUDIO

La Laguna de Términos se encuentra localizada en el litoral del Golfo de México, entre los meridianos 91 15'- 92 00' de longitud Oeste y los paralelos 18 25'- 29 00' de latitud norte, con una longitud de 70 km y 28 km de ancho (Botello, A. V., 1978).

Se halla situada frente a una extensa franja de plataforma continental de una amplitud promedio de 120 km, desde el litoral hasta su margen interno. Esta zona conocida como Sonda de Campeche soporta una de las más grandes pesquerías marinas de México, (Gutiérrez Estrada, 1977), se comunica con el mar por la Boca de Ciudad del Carmen, situada entre el extremo occidental de la Isla y la punta de Xicalango que corresponde al lado NO de la Boca y por la Boca de Paso Real que es la entrada NE de la Laguna de Términos (Botello, A. V., 1978).

CLIMA

Hay tres épocas estacionales en esta región. De junio hasta fines de septiembre hay casi diariamente aguaceros vespertinos.

De octubre a marzo es la temporada de "nortes" o vientos fuertes. Estos vientos son generalmente fuertes y asociados con lluvias, durante noviembre, diciembre y enero. En febrero se da la estación de secas. La temperatura oscila entre 27 y 33 C. (Yañez-Arancibia, A.; Day, J. W., 1982).

HIDROLOGIA Y CORRIENTES.

La precipitación media anual es de 1,600 mm. Tres grandes ríos llevan un gran volumen de agua y acarrean sedimentos a la laguna, éstos ríos son: El río Palizada, río Chumpán, río Candelaria y en parte el Sistema Atasta. No existen datos publicados para los ríos Chumpán y Palizada, pero su patrón de flujo es similar al Usumacinta, del cual el río Palizada es tributario, (Yañez-Arancibia, A.; Day, J. W., 1982). La descarga promedio anual de los ríos que desembocan en la Laguna se estima en 6×10^9 metros cúbicos (Gutiérrez Estrada, 1977). Los vientos dominantes del Este, la corriente litoral y la descarga de los ríos provocan que el agua del Golfo entre a la Laguna por la Boca de Puerto Real y salga por la Boca del Carmen. Esta afirmación se basa en los patrones de foraminíferos, la distribución de la salinidad, la turbidez, la batimetría de las áreas de las Bocas, así como la productividad y distribución de las comunidades (Yañez-Arancibia, A.; Day, J. W., 1982).

SALINIDAD

Las características químicas están determinadas por la circulación del flujo de los ríos y la biología de la laguna; esto trae como consecuencia que la laguna presente un rango de salinidad muy amplio (Yañez-Arancibia, A.; Bravo-Núñez, E., 1979). Diversos autores han reportado diferentes salinidades para la laguna, entre ellos, Phleger, F., Ayala Castañares (1971), reportan salinidades de 25 a 36 en las partes Oeste y Sur. Yañez-

Arancibia y Bravo-Núñez, 1979, reportan 26 a 39 en la Boca de Puerto Real. Ley Lou, 1979, reportó 40 en áreas protegidas en época de secas. Amezcua Linares y Yañez-Arancibia registraron desde 28 en los sistemas fluviolagunares de Términos; Carbajal registró promedios de 33 en la época de secas y de 26 en la época de lluvias; Botello y Mandelli reportaron 33.5 y 21.9 respectivamente para las épocas mencionadas (Yañez-Arancibia, A.; Day, J. W., 1988).

GEOLOGIA Y SEDIMENTOS

La Laguna de Términos tuvo su origen en la regresión del Holoceno por sedimentación de terrígenos aportados por los ríos; presenta un Delta interno de sedimentos calcáreos hacia el lado de la laguna en la Boca de Puerto Real y otro muy marcado hacia el Golfo en la Boca del Carmen. El área correspondiente a Bajos del Cayo parece haber sido el Delta de una Boca en otros tiempos, (Phleger, F. B.; Ayala-Castañares). Los tipos de sedimentos existentes en la laguna son: arenas, arcillas, limos, fragmentos de conchas de moluscos así como combinaciones de éstos en las zonas del litoral interior de la Isla del Carmen, los sedimentos son en un gran porcentaje arenas de transición con un contenido de 40 a 50 % de $CaCO_3$ y alto contenido orgánico (Yañez-Arancibia, A.; Day J. W., 1982).

VEGETACION

la distribución de la vegetación parece estar íntimamente ligada con la transparencia del agua y el contenido de CaCO_3 del sedimento en las zonas protegidas de Estero Pargo y Bajos del Cayo, se observan aguas claras con vegetación sumergida, formando praderas de Thalassia testudinum, Halodule wrightii y Siringodium filiforme, siendo la primera la más abundante y posiblemente la más significativa geológicamente por su papel como acumuladores de sedimentos, (Ayala-Castañares, A., 1963). Otro aspecto muy importante de Thalassia es su alta producción. Hornelas, V., reportó 382 gramos por metro cuadrado de biomasa total de Thalassia en el interior de la Isla del Carmen.

La vegetación circundante está representada por mangle, constituidos por plantas bien adaptadas a aguas de salinidad elevada. Los mejores representantes en áreas protegidas son: Rhizophora mangle (mangle rojo) y Avicenia germinans (mangle negro), ocasionalmente se encuentran Laguncularia racemosa (mangle blanco) y Conocarpus erectus. En términos generales los manglares rojos son más comunes en áreas de mayor salinidad y los negros en áreas cercanas a los ríos, sin embargo ambos existen en las dos áreas y no hay una zonación clásica como se ha reportado por Zarur-Méñez en 1962 (Yañez-Arancibia, A.; Day, J. W., 1982). Los manglares crecen en los terrenos arenosos y en sus proximidades existen densos campos de Thalassia (Hedgpeth, J. W.), esta afirmación se cumple para el interior de la Isla del Carmen, (Yañez-Arancibia, A.; Day, J. W., 1982).

Tabla 1. Abundancia de una selección de elementos en la corteza terrestre.

	Abundancia (ppm)	Posición
Elementos abundantes		
#oxígeno	466 000	1
#silicio	277 200	2
aluminio	81 300	3
hierro	50 000	4
calcio	36 300	5
sodio	28 300	6
potasio	25 900	7
magnesio	20 900	8
titanio	4 400	9
#hidrógeno	1 400	10
#fósforo	1 180	11
mangaso	1 000	12
No metales		
Selección de elementos traza		
bario	425	14
vanadio	135	19
níquel	75	23
cinc	70	24
cobre	55	26
plomo	12.5	36
berilio	2.8	46
uranio	2.7	48
estaño	2.0	51
cadmio	0.2	63
mercurio	0.08	67
plata	0.07	68
oro	0.004	71

De "COMPOSITION OF THE EARTH'S CRUST" por Raymond L. Parker, del U.S. Dept. of the Interior, U. S. Geological Survey Professional paper 440-D, 1969, pág. D-15

Tabla 2. Exposición natural frente a la inducida por el hombre de algunos metales en el ambiente.

Metal	cantidad descubierta al año (millares de toneladas métricas.)		factor de amplificación (tasa de minería/tasa de erosión)
	Erosión	Minería	
plomo (pb)	180	2330	13
mercurio (Hg)	3	7	2.3
cobre (Cu)	375	4660	12
cinc	370	3930	11
níquel (Ni)	300	358	1.2
plata (Ag)	5	7	1.4
manganeso (Mn)	440	1600	3.6
molibdeno (Mb)	13	57	4.4
estaño (Sn)	2	166	83

Datos de Man's Impact on the Global Environment-Report of the Study of Critical Environmental Problems, pag.116. Copyright by the Massachusetts Institute of Technology.

Tabla 3. Ingestión de metales por el hombre.

metal	Ingestión media diaria (mg/día)		Dosis oral tóxica (mg)	Contenido corporal total (mg)	Vida media en todo el cuerpo (días)
	Comida y agua	Aire			
antimonio (Sb)	0.100	0.0017	100	7.9	38
bario (Ba)	0.735	0.030	200	22.0	65
berilio (Be)	0.012	0.00004		0.03	180
bismuto (Bi)	0.020	0.00076		0.23	5
cadmio (Cd)	0.160	0.0074	3	50.0	200
cromo (Cr)	0.245	0.0011	200	1.8	616
cobalto (Co)	0.390	0.00012	500	1.5	9.5
cobre (Cu)	1.325	0.0114	250-500	72.0	80
hierro (Fe)	15.000	0.084		4200	800
plomo (Pb)	0.300	0.046		120	1460
manganeso (Mn)	4.400	0.0288		12	17
mercurio (Hg)	0.025				70
molibdeno (Mo)	0.335	0.0006		9.3	5
níquel (Ni)	0.600	0.00236		10	667
plata (Ag)	0.060-0.080		60	1	5
estaño (Sn)	7.300	0.0006	2000	17	35
titanio (Ti)	1.375	0.0014		9	320
uranio (U)	0.050			0.7	100
vanadio (V)	0.116	0.00916		22	42
cinc (Zn)	14.500	0.0168		2.300	933
circonio (Zr)	0.490			420	450

De: Heavy metals in the environment, Oregon State University Water Resources Institute, enero 1973, pág. 16.

Tabla 4. Metales esenciales para la vida.

Elemento	Comentario
Metales ligeros abundantes	
sodio	Catión extracelular principal
magnesio	Activa muchas enzimas
potasio	catión celular principal
calcio	Componente principal del hueso, necesario para algunas enzimas.
Metales pesados en Trazas	
vanadio	Esencial para plantas inferiores, ciertos animales marinos y el hombre.
cromo	Esencial en animales superiores, relacionado con la actividad de la insulina.
manganesc	activa varias enzimas
hierro	Es el ión metálico de transición más importante; esencial en hemoglobina y muchas enzimas.
cobalto	Activa muchas enzimas, en la vitamina B 12
cobre	esencial en enzimas oxidativos y otros, así como en la hemocianina
cinc	Activa muchas enzimas
molibdeno	Activa varias enzimas
estaño	Esencial en ratas; se desconoce su función.

De: "The Chemical Elements of Life", de E. Fireden, Scientific American, julio de 1972, pág. 53.

Tabla 5. Contaminantes metálicos real y potencialmente peligrosos.

Metal	Tipo de metal
Peligroso	
berilio	metal ligero en trazas
mercurio	metal pesado en trazas
Candidatos peligrosos	
bario	metal ligero abundante
cadmio	metal ligero en trazas
cobre	metal pesado en trazas
plomo	metal pesado en trazas
manganeso	metal pesado en trazas
níquel	metal pesado en trazas
estaño	metal pesado en trazas
vanadio	metal pesado en trazas
cinc	metal pesado en trazas

De: A "Survey of Emissions and Controls for Hazardous and other Pollutants" de la U.S. Environmental Protection Agency; de A. J. Goldberg (NT'IS publication PB 223-568) febrero 1973, pag. 8.

**TABLA 6. CONCENTRACION DE METALES TRAZA EN BIVALVOS DE AREAS QUE
 FORMAN A LA LAGUNA DE TERRINOS, CAMPECHE. 1980.
 CONCENTRACION EN ppm PESO SECO.**

FECHA	ESTACION DE ATASTA						ESTACION BOCA CHICA					
	METAL						METAL					
	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
MARZO	3.4	164	570	63	6.7	1178	3.1	190	1113	58	8.2	587
ABRIL	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
MAYO	4.8	217	970	34	10.9	310	5.0	297	1278	33	7.8	728
JUNIO	4.9	200	419	25	8.7	365	7.4	389	2550	39	12.0	690
AGOSTO	4.1	278	1250	35	9.0	473	3.5	250	1030	21	8.6	491
SEPTIEMBRE	5.0	475	715	55	6.5	590	1.7	338	293	24	2.9	650
NOVIEMBRE	3.9	372	530	53	4.6	600	2.0	662	410	39	4.6	1315

FECHA	ESTACION DE CHINCHORRO						ESTACION DE ESTERO PARGO					
	METAL						METAL					
	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
MARZO	6.2	188	1759	49	24.2	300	3.4	72	350	14	15.1	315
ABRIL	4.1	169	1067	35	11.6	200	3.1	71	302	14	10.1	386
MAYO	5.4	314	961	31	10.2	412	3.0	75	295	14	1.8	400
JUNIO	7.8	302	768	23	13.2	364	3.8	120	460	16	12.1	415
AGOSTO	3.5	246	1604	35	11.9	495	3.1	88	470	16	13.1	446
SEPTIEMBRE	1.2	325	636	41	3.5	512	1.2	125	661	65	5.8	721
NOVIEMBRE	1.8	468	786	49	6.1	697	2.8	175	704	49	7.8	1150

FECHA	ESTACION DEL PALIZADA					
	METAL					
	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
MARZO	3.0	333	419	42	7.1	859
ABRIL	---	---	---	---	---	---
MAYO	6.7	381	1300	46	13.4	534
JUNIO	2.4	387	170	24	4.3	834
AGOSTO	5.7	415	1538	30	14.1	567
SEPTIEMBRE	3.5	346	1010	40	3.8	1030
NOVIEMBRE	2.7	420	726	41	4.2	730

TABLA 7. COMPARACION DE METALES TRAZA EN BIVALVOS DE APRES
QUE FORMAN A LA LAGUNA DE TERMINOS, CAMPECHE, 1980.

ESTACION DE ATASTA									ESTACION BOCA CHICA													
MES	ORDEN								ORDEN													
MARZO	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Fe	<	Zn	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe
ABRIL	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe
MAYO	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe
JUNIO	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe
AGOSTO	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe
SEPTIEMBRE	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe
NOVIEMBRE	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Fe	<	Zn	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Fe	<	Cu	<	Zn

ESTACION DE CHINCHORRO									ESTACION DE ESTERO PARGO													
MES	ORDEN								ORDEN													
MARZO	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe
ABRIL	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Fe	<	Zn
MAYO	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Fe	<	Zn
JUNIO	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe
AGOSTO	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe
SEPTIEMBRE	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Fe	<	Zn
NOVIEMBRE	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Fe	<	Zn

ESTACION DEL PALIZADA											
MES	ORDEN										
MARZO	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Fe	<	Zn
ABRIL	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe
MAYO	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe
JUNIO	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Fe	<	Cu	<	Zn
AGOSTO	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Zn	<	Fe
SEPTIEMBRE	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Fe	<	Zn
NOVIEMBRE	Cd	<	Pb	<	Mn	<	Cu	<	Fe	<	Zn

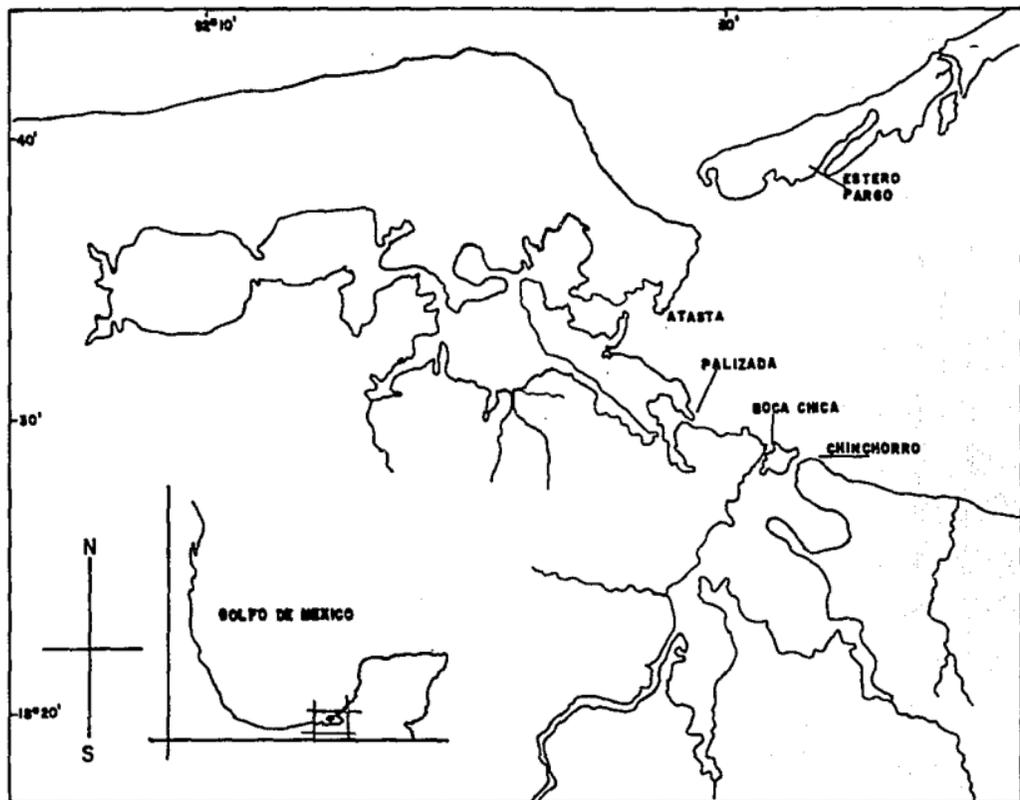


FIG.1 AREA DE ESTUDIO Y LOCALIZACION DE SITIOS DE MUESTREO

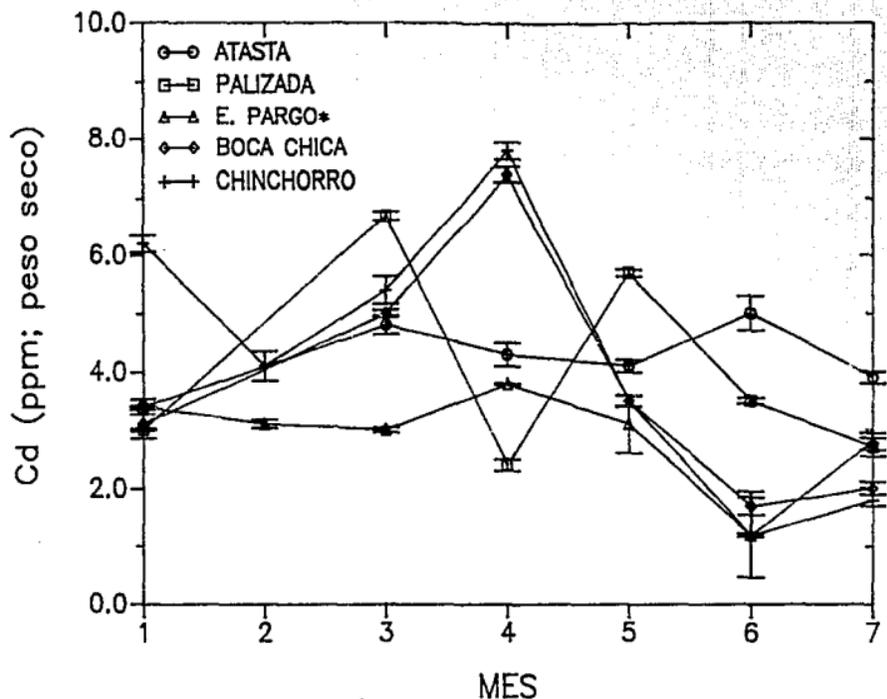


FIGURA 2. CAMBIOS EN LA CONCENTRACION DE Cd EN OSTIONES DE AREAS QUE FORMAN LA LAGUNA DE TERMINOS, CAMPECHE. 1988. (*C. rhizophora).

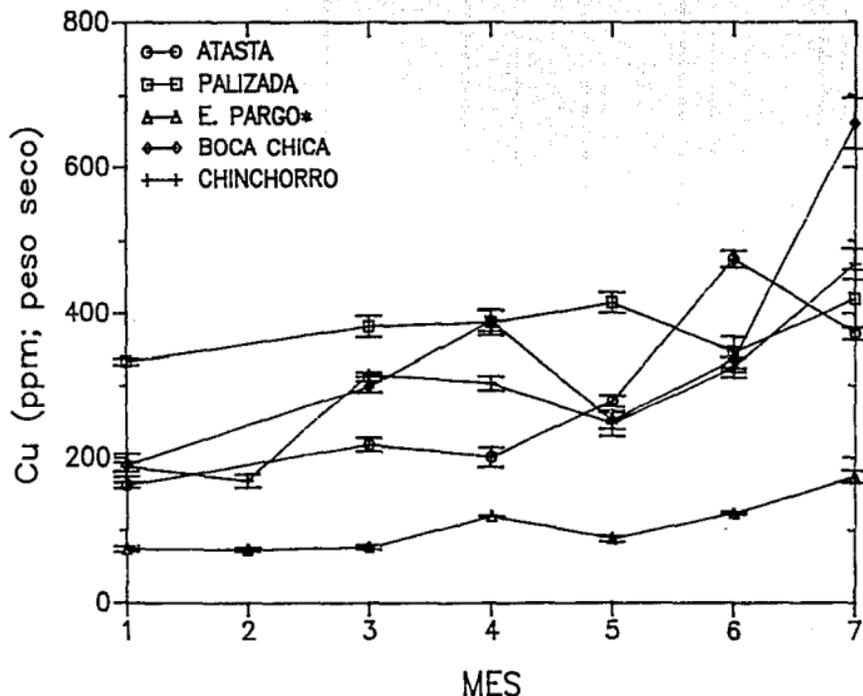


FIGURA 3. CAMBIOS EN LA CONCENTRACION DE Cu EN OSTIONES DE AREAS QUE FORMAN LA LAGUNA DE TERMINOS, CAMPECHE. 1988. (*C. rizophora).

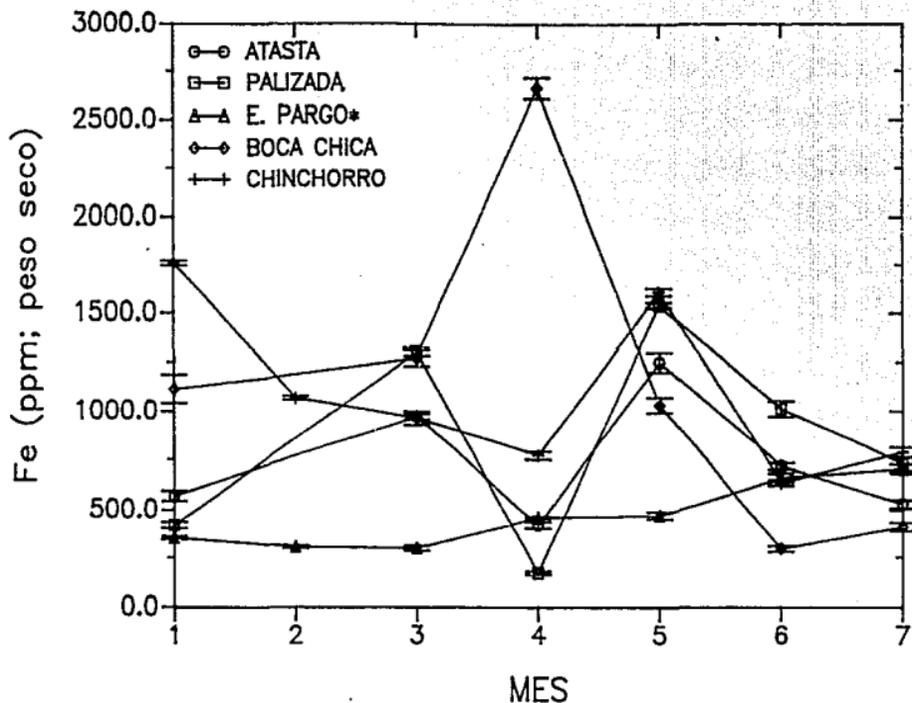


FIGURA 4. CAMBIOS EN LA CONCENTRACION DE Fe EN OSTIONES DE AREAS QUE FORMAN LA LAGUNA DE TERMINOS, CAMPECHE. 1988. (*C. rhizophora).

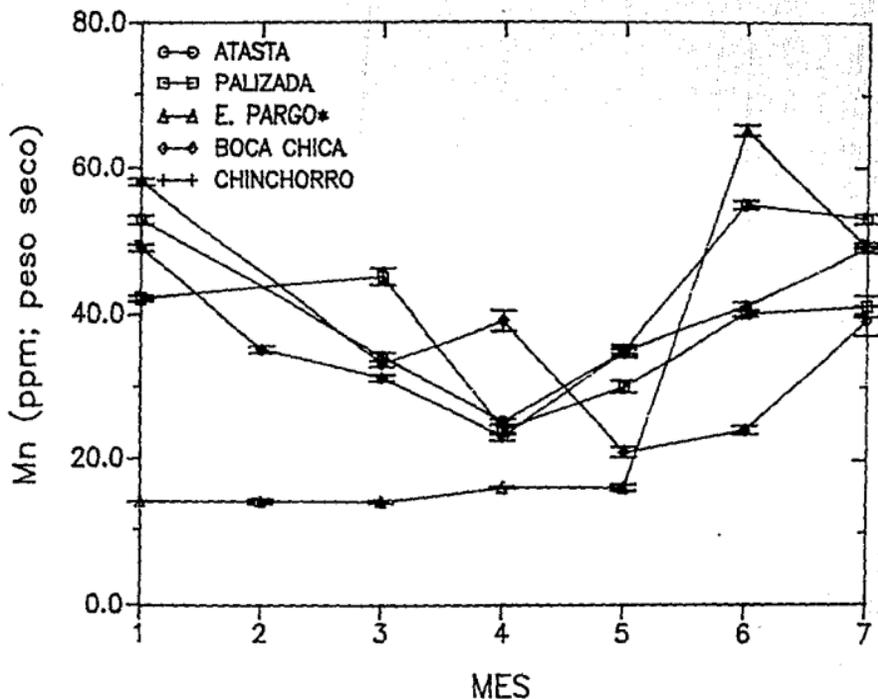


FIGURA 5. CAMBIOS EN LA CONCENTRACION DE Mn EN OSTIONES DE AREAS QUE FORMAN LA LAGUNA DE TERMINOS, CAMPECHE. 1988. (*C. rhizophora).

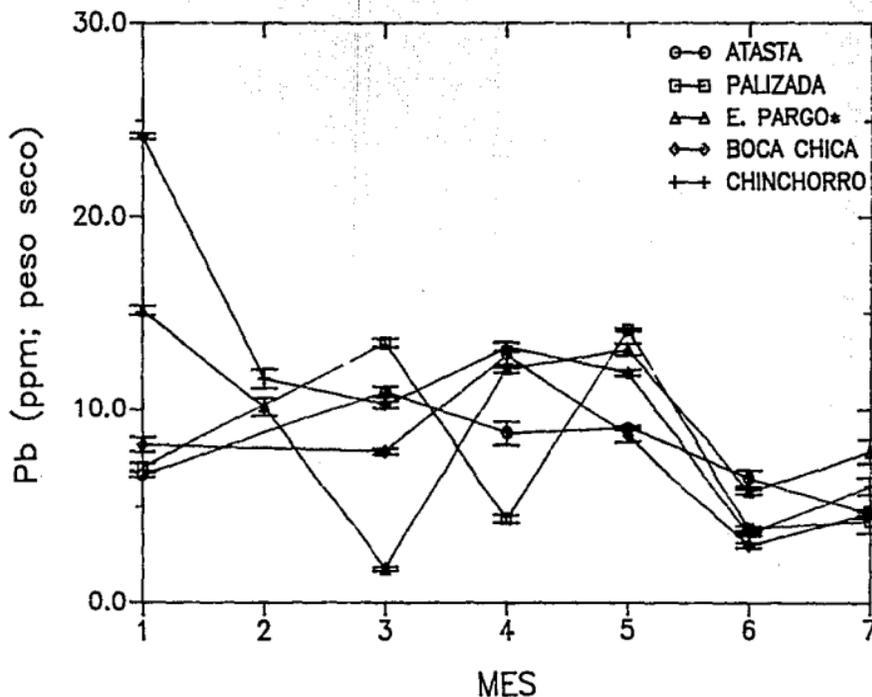


FIGURA 6. CAMBIOS EN LA CONCENTRACION DE Pb EN OSTIONES DE AREAS QUE FORMAN LA LAGUNA DE TERMINOS, CAMPECHE. 1988. (*C. rhizophora).

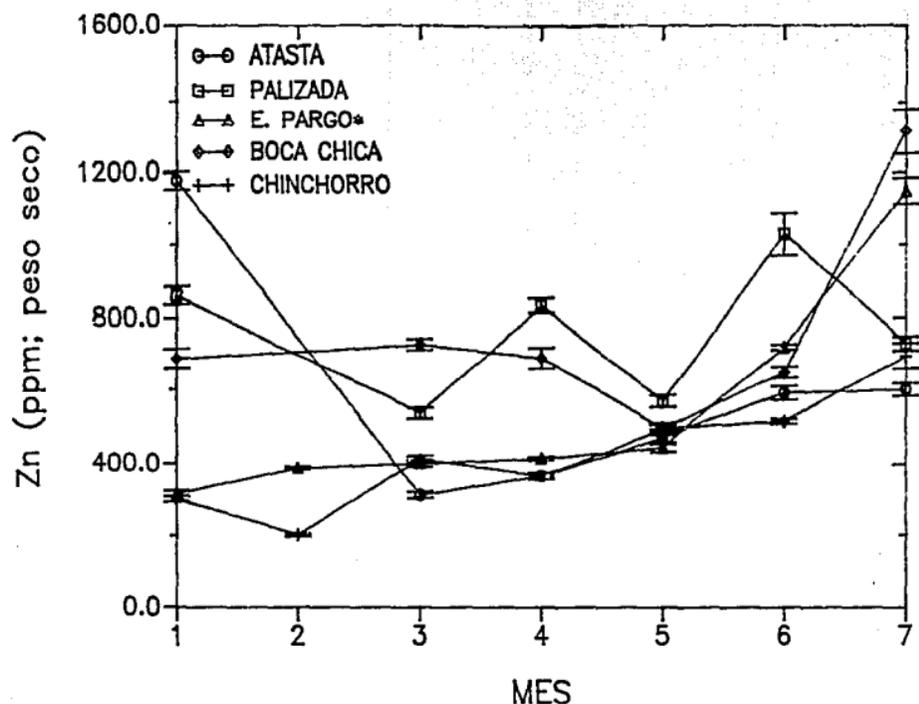


FIGURA 7. CAMBIOS EN LA CONCENTRACION DE Zn EN OSTIONES DE AREAS QUE FORMAN LA LAGUNA DE TERMINOS, CAMPECHE. 1988. (C. rhizophora).

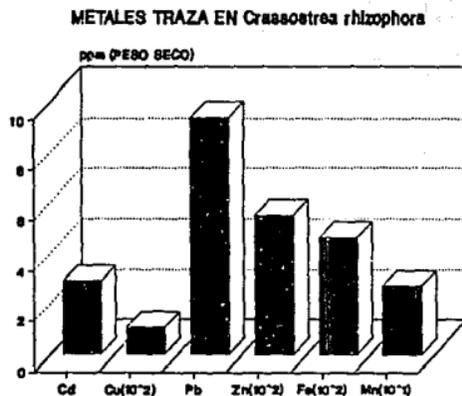
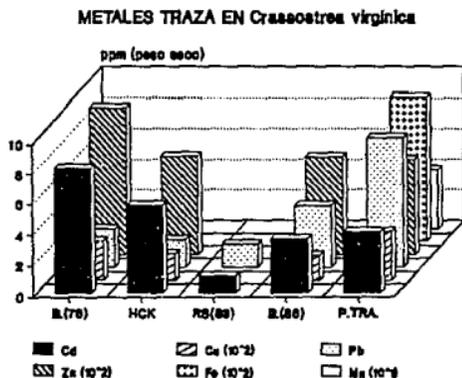


Figure 8. Comparacion de la concentracion de los metales traza, en ostiones de la Laguna de Terminos, Campeche. (P.TRA.=PRESENTE TRABAJO).

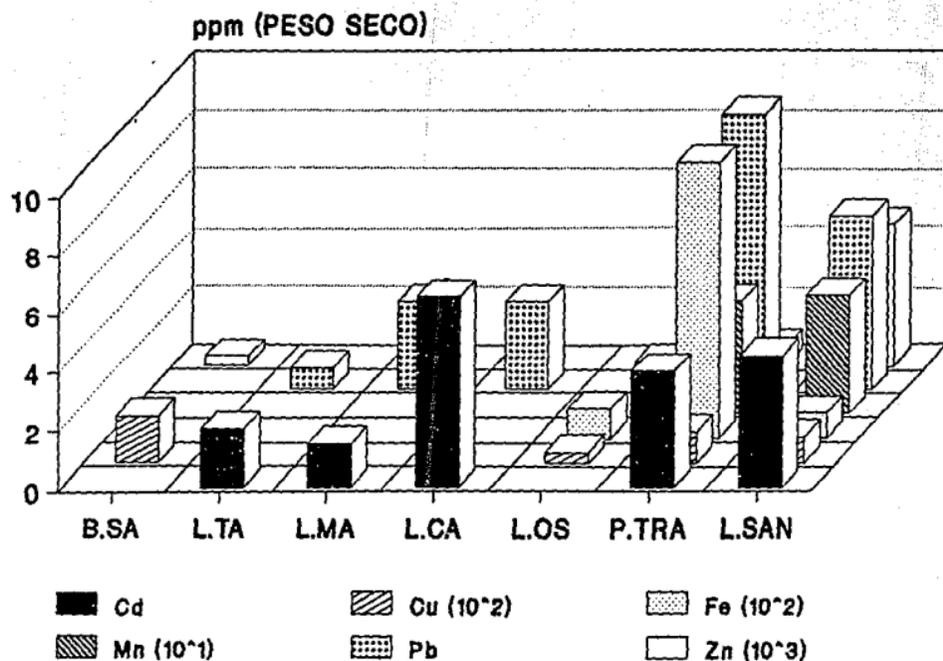


FIGURA 9. Comparación de la concentración de metales traza en *Cassotrea virginica*, en diversos lugares del Golfo de México. (Para abreviaciones ver el texto).

IV.- OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL;

Evaluar las concentraciones de metales pesados (Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn) en dos especies de ostión, Crassostrea virginica y Crassostrea rhizophora, en la Laguna de Terminos, Campeche.

OBJETIVOS ESPECIFICOS;

1. Determinar las concentraciones de metales pesados en las dos especies de ostión, Crassostrea virginica y Crassostrea rhizophora.
2. Establecer las variaciones estacionales y espaciales de los metales pesados contenidos en ostiones.
3. Observar si existe diferencia alguna en el grado de bioacumulación de metales pesados entre las dos especies de ostión en estudio.
4. Conocer cuál ha sido la tendencia de los metales pesados en estudio durante los últimos años, en la Laguna de Términos, Campeche.

V.- MATERIALES Y METODOS.

EN marzo de 1988 se inició el presente trabajo, se efectuaron siete muestreos, durante los meses de marzo, abril, mayo, junio, agosto, septiembre y noviembre, en dos especies de ostión, Crassostrea virginica y Crassostrea rhizophora. La figura 1 presenta un mapa del área de estudio con las estaciones de colecta de los organismos. El ostión Crassostrea rhizophora fue obtenido en la estación de Estero Pargo; mientras que Crassostrea virginica lo fue en las cuatro estaciones siguientes: Atasta, Palizada, Boca Chica y Banco Chinchorro.

La elección de las estaciones de muestreo estuvo basada en el hecho de considerar que las mismas son zonas que se encuentran afectadas por la contaminación de ríos que desembocan en la Laguna de Términos; además de que en ellas se encuentran los mayores bancos comerciales de ostión (Crassostrea virginica) que se explotan actualmente. Por otro lado, se tomó en cuenta una zona con gran influencia marina (Estero Pargo) y donde se encuentra la otra especie de ostión, (Crassostrea rhizophora).

Los ejemplares se obtuvieron manualmente, al azar, y colocados en bolsas de plástico para su transporte, después del cual se mantuvieron en refrigeración hasta su análisis. En el laboratorio fueron lavados con agua desmineralizada para eliminar todo material fino adherido a su cuerpo.

Todo el material empleado para éstos análisis fué limpiado previamente, (anexo 1). Los reactivos utilizados en éste estudio fueron de grado analítico, apropiados para análisis de metales traza.

La preparación de las muestras consistió en lo siguiente:

De cada estación se tomaron 30 individuos de talla aproximadamente uniforme, los cuales fueron homogenizados para formar una muestra compuesta, de ésta manera se disminuye la variación debida a las diferencias individuales, (Hicks, E. 1976). De éste homogenizado se tomaron 10 g y se colocaron en una estufa para su desecación (a una temperatura de 80 grados C.), durante tres días. Se realizó ésta técnica por triplicado para obtener un valor promedio.

Una vez realizado lo anterior, las muestras fueron tratadas agregandoles 5 ml de ácido nítrico concentrado y dejándolas reposar por espacio de 24 hrs.; pasado éste tiempo fueron llevadas a una plancha para elevar su temperatura al punto de ebullición, permaneciendo así hasta disminuir su volúmen a aproximadamente 2 ml; después del cual se añadió peróxido de hidrógeno, 5 ml, gota a gota, dejando ebullicir por espacio de una hora. Las muestras fueron filtradas con papel Whatman No. 40, previamente lavados con ácido nítrico 1:1 y agua desionizada. Las soluciones obtenidas de las diferentes digestiones se guardaron en recipientes de plástico para su posterior lectura.

La determinación analítica de los metales se realizó mediante un

espectrofotómetro de absorción atómica Varian Techtron 1200. Se elaboraron curvas patrón para cada elemento analizado, según el manual del instrumento (anexo 3); se elaboró un blanco de reactivos en cada análisis.

VI.- RESULTADOS

La tabla 6 muestra las concentraciones de los metales analizados en las cinco estaciones de muestreo en el periodo comprendido entre marzo y noviembre de 1982.

La figura 2 muestra las variaciones de cadmio. En las estaciones de Boca Chica y Banco Chinchorro sus concentraciones fueron muy semejantes a lo largo del tiempo; en ellas se encuentran las concentraciones máximas y mínimas (Banco Chinchorro) de cadmio. Por otro lado, la estación de Palizada presenta cambios drásticos en sus concentraciones durante los meses de muestreo; mientras que, en la estación de Estero Pargo, aunque las concentraciones no permanecen constantes, los cambios observados en ella son poco significativos en todos los meses de muestreo, a excepción del mes de septiembre, donde existe un notable descenso en su concentración.

La figura 3 presenta los valores de Cu. En la estación de Palizada se observa un incremento de concentración a partir de marzo y termina en agosto, después del cual decrece hasta septiembre, mes en que se reporta la mínima concentración. Para el mes de noviembre se presenta un aumento, correspondiendo éste al máximo valor de concentración para dicho metal. Atasta presenta un aumento gradual en sus concentraciones a lo largo de los meses de muestreo, se encontró la máxima concentración en el

mes de septiembre. Boca Chica presenta su mínimo valor de concentración durante el mes de marzo, se incrementó hasta alcanzar la máxima concentración en el último mes de muestreo, noviembre. La estación Banco Chinchorro presentó su mínimo valor en el mes de abril, a partir del cual los mismos se incrementaron irregularmente hasta alcanzar un valor máximo durante el mes de noviembre. Estero Pargo obtiene su mínimo valor de concentración durante el mes de marzo, posterior a éste mes sus valores aumentaron a lo largo de los meses siguientes hasta obtener el más alto, que se registró en noviembre; es importante mencionar que ésta es la estación que registró las concentraciones más bajas con respecto a las otras estaciones de muestreo.

En la figura 4, que representa las concentraciones de hierro, es fácil distinguir que el valor más alto obtenido para el Fe, fue dado en el mes de junio, para la estación de Boca Chica; asimismo, el mínimo valor registrado fue en éste mismo mes, para la estación de Atasta. Todas las estaciones presentan cambios muy drásticos en cuanto a sus concentraciones, no así la estación de Estero Pargo, la cual presenta una tendencia a incrementar regularmente sus concentraciones a lo largo del tiempo.

La figura 5 indica las variaciones del manganeso. Las estaciones de Banco Chinchorro y Atasta presentan una tendencia a disminuir sus concentraciones desde marzo hasta junio, mes en que se observan sus mínimos valores. Después de junio los valores se incrementan alcanzando sus máximos en noviembre y septiembre

respectivamente. Boca Chica alcanza su concentración máxima en el mes de marzo, mientras que su mínimo valor se observa durante agosto, con variaciones significativas a lo largo del tiempo. Por otra parte, Palizada encuentra una concentración máxima en mayo, mientras que la mínima se presentó en junio. Con respecto a Estero Pargo, las concentraciones tienden a incrementarse de manera constante a partir de marzo hasta agosto; un aumento drástico se observó en septiembre para disminuir nuevamente en noviembre.

La figura 6 que muestra las fluctuaciones del plomo, son notorias las variaciones significativas que se dan en la estación de Palizada: en ella se observan dos valores máximos de concentración, encontrados durante los meses de mayo y agosto; asimismo, se presentan dos valores mínimos, junio y septiembre. Atasta tiene un incremento en sus concentraciones a partir de marzo hasta mayo, después del cual declinan hasta obtener un valor mínimo durante noviembre. En lo que respecta a Boca Chica, esta presenta un valor máximo en junio, decreciendo paulatinamente hacia septiembre, en donde se registra su mínimo valor de concentración. La estación Banco Chinchorro encuentra un máximo valor durante marzo, disminuyendo hacia mayo, a partir de aquí se incrementa hasta junio, declinando hasta encontrar un mínimo durante septiembre.

En la figura 7, se manifiestan las concentraciones de cinc, en ella la estación de Palizada observó un comportamiento irregular a lo largo del tiempo. En mayo obtiene su mínima concentración,

se incrementa en junio y desciende en agosto, volviendo a incrementarse hasta su máxima concentración en septiembre. Atasta encuentra su máxima concentración en marzo, después del cual este valor disminuye drásticamente hasta su mínimo valor, en mayo, volviendo a incrementarse de manera constante hasta el mes de noviembre. Boca Chica presenta una tendencia a incrementar sus concentraciones desde marzo hasta mayo, posterior al cual declinan hasta su mínimo valor, en agosto; posteriormente los valores se incrementan de manera significativa hasta su máximo valor, en noviembre. Banco Chinchorro tiende a incrementar sus concentraciones a lo largo del tiempo; presenta su mínima en abril y alcanza su concentración máxima en el mes de noviembre. Estero Pargo presentó un incremento constante en sus concentraciones; en el mes de marzo se dió el mínimo valor, mientras que en noviembre se obtuvo el máximo. Es notorio el drástico incremento en la concentración del cinc a partir de septiembre hasta noviembre en ésta estación, comparado con los meses anteriores.

En la tabla 7 se presenta una comparación del orden de aparición de los metales traza estudiados en los diversos sitios de muestreo. Se observa que para los elementos cadmio, plomo y manganeso, las estaciones de muestreo, Atasta, Boca Chica, Chinchorro y Palizada, presentan el orden de incremento de concentración siguiente:

$Cd < Pb < Mn$

excepto para la estación de Estero Pargo la cual durante el mes

de marzo presentó el orden siguiente:



el resto de los meses presentó el orden descrito anteriormente. Para los metales cobre, cinc y hierro, la estación de Chinchorro presentó el orden de concentración siguiente:



Para la Estación de Atasta, durante los meses de mayo, junio, agosto y septiembre, se observó el mismo orden; durante los meses de marzo y noviembre el orden de concentración fué el siguiente:

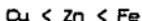


En la estación de Boca Chica el orden de concentración fué similar al presentado para la estación de Chinchorro, excepto para el mes de noviembre (tabla 7) en el cual el orden fué:



La estación de Estero Pargo presentó el orden similar al de la estación de Chinchorro, durante los meses de marzo, junio y agosto; para los meses de abril, mayo, septiembre y noviembre, el orden de concentración fué similar al de la estación de Atasta para los meses de marzo y noviembre, (tabla 7).

Finalmente, la estación del Palizada presentó la mayor variación en el orden de concentración, (tabla 7); se obtuvieron las siguientes variaciones para marzo-septiembre-noviembre, mayo-agosto y junio respectivamente.



VII. ANALISIS DE RESULTADOS

Con base en los resultados obtenidos se tiene que, el elemento con menor concentración en Crassostrea virginica fué el cadmio y el elemento más abundante fueron el hierro y el cinc (tabla 7). Para Crassostrea rhizophora el contenido de cadmio fué el menor y el de hierro fué el mayor (tabla 7). Esto se debe principalmente a que el cadmio es un elemento que se presenta en una concentración baja en las aguas costeras (0.05-0.1 ppb) y también debido a que el Cd es un elemento con una extensa renovación durante los procesos de mezcla en las áreas estuarinas, (Vázquez y Baeza, en preparación). El hierro y el cinc se encontraron en mayor concentración debido a que son elementos esenciales para el metabolismo de los organismos, (Vázquez y Baeza, en preparación) y por lo tanto son fácilmente asimilados. La estación de Palizada presentó el mayor cambio conforme a los metales Cu, Fe y Zn, debido a que por ésta área existe un intercambio grande de agua dulce y salina, asimismo se presentan procesos de adsorción/desorción muy intensos y cambios de pH, (Vázquez, G.F., Velázquez, D. 1988), que originan probablemente cambios muy drásticos en las concentraciones de los metales traza en el agua, acción que finalmente se observa en la concentración de los metales traza en los organismos.

Una comparación de la concentración media de los metales traza analizados en éste trabajo respecto a los resultados obtenidos en otras investigaciones en la Laguna de Términos, se presenta en la figura 8 (A y B) para Crassostrea virginica, en ella se presentan las concentraciones promedio realizadas por Botello, 1976 (B, 76, tabla 8-A); Hicks, 1976 (HCK, tabla 8-A); Rosas, 1983 (RS,83); Botello, 1986 (B,86) y el presente trabajo (P.TRA., tabla 8-A).

La concentración de los metales analizados se ha incrementado en ésta laguna de 1976 a la fecha en forma general; el cinc es un elemento que se ha mantenido constante durante la última década. Durante éste lapso de tiempo el cadmio ha disminuido en un 29.1 % respecto al dato reportado por Hicks (1976). El plomo ha aumentado en un 470 % (Fig. 8-A), respecto al valor reportado en 1976 (Hicks, 1976); éste incremento equivale a un aumento anual del 29.4 %, el cual ha sido ocasionado principalmente por el desarrollo de la actividad humana en esa región. Un incremento de cobre se observa también, el cual equivale a un 184.9 % desde 1976 a la fecha y representa un incremento anual de 11.6 %, incremento debido también al desarrollo de la actividad humana que ha sufrido el sureste del país. Datos de hierro y manganeso no se tienen disponibles para ésta área.

En la figura 8-B se muestra la concentración promedio de metales traza para Crassostrea rhizophora; las principales diferencias que se observan son: (i) Un contenido mayor de plomo (9.4 ppm, peso seco); (ii) un contenido menor de hierro (463 ppm, peso seco), que es el 49 % del que contiene Crassostrea virginica;

(iii) un contenido menor de cobre (103.7 ppm, peso seco) que es equivalente al 32.6 % del que contiene Crassostrea virginica;

(iv) para el Cd, Mn y Zn, la concentración también es menor del 67 % al 87 % respecto a la reportada para Crassostrea virginica (fig. 8-A), siendo el contenido de éstos metales traza los que tienen mayor similitud. Las principales causas de que Crassostrea rhizophorabio acumule menores concentraciones de metales pesados que Crassostrea virginica se debe a que, Crassostrea rhizophora se encuentra viviendo suspendida a las raíces de mangle y no en sedimento como C. virginica, además de que el lugar donde se localiza, Estero Pargo, tiene una gran influencia de corrientes marinas, lo cual trae como consecuencia una menor concentración de metales pesados.

En la figura 9 se presenta una comparación de las concentraciones reportadas en otras áreas del Golfo de México. Los valores de cadmio en el presente trabajo, (P.TRA., Fig. 9), son menores a los reportados para la Laguna del Carmen, Tabasco, (L.CA., Fig. 9), aunque son mayores a los reportados para las Lagunas de Tamiahua y Mandinga, L.TA., L.MA., Fig. 9); los valores obtenidos en el presente trabajo, (P.TRA., Fig. 9), para el cadmio son similares a los reportados para la Laguna de San Andrés, Tamaulipas, (L.SAN., Fig. 9). Respecto al cobre, la concentración promedio que se reporta para la Laguna de Términos es mayor respecto al valor reportado para la Laguna del Ostión, Veracruz, (L.OS., Fig. 9), éste valor es similar al reportado para la Laguna de San Andrés, Tamaulipas, (Fig. 9). Respecto al valor de cobre reportado para la Bahía de San Antonio, Texas, (B.SA., Fig.

9), el valor promedio del presente trabajo es menor.

El valor promedio del contenido de plomo es mayor cuando se compara con los valores promedio reportados para otras áreas del Golfo de México, (Fig. 9), lo cual probablemente sea debido a la actividad petrolera y agropecuaria que se ha desarrollado cerca de la Laguna de Términos. Los valores de cinc están en un orden de magnitud menores a los reportados para la Laguna de San Andrés, (Fig. 9), mientras que los valores de hierro son mayores en un orden de magnitud cuando se comparan con los valores reportados para otras áreas del Golfo de México, (Fig. 9), esto se debe a que la composición mineral del suelo (Gutiérrez y Castro del Río, 1988), del área de la Laguna de Términos esta formada de minerales férricos. Los valores de manganeso son similares a los reportados para la Laguna de San Andrés, Tamaulipas, (Fig. 9).

VIII. CONCLUSIONES

- La concentración de los metales pesados estudiados, presentó una variación irregular a través del tiempo y por estaciones, a excepción de la zona de Estero Pargo, la cual presentó una tendencia regular a través del tiempo debido principalmente a la estabilidad que le proporciona la influencia marina.
- Comparando a las especies C. virginica y C. rhizophora, la segunda bioacumuló menor concentración de metales traza, a excepción del plomo, lo cual puede deberse en gran parte a que C. rhizophora se encuentra suspendido sobre las raíces de mangle, no así C. virginica, la cual se encuentra localizada sobre el sedimento.
- Existe un incremento significativo en la concentración del Cd, Cu y Pb desde 1976 a la fecha, incremento debido también al desarrollo de la actividad humana (petrolera y agropecuaria) que ha sufrido esta parte del sureste del país.

ANEXO I

LIMPIEZA DE MATERIAL

1. SE LAVO TODO EL MATERIAL CON JABON NEUTRO
2. EXPOSICION DEL MATERIAL DURANTE UN DIA EN METANOL, SATURADO CON HIDROXIDO DE POTASIO.
3. ENJUAGUE CON ACIDO CLORHIDRICO, DILUIDO
4. ENJUAGUE CON AGUA DESTILADA
5. LAVADO CON ACIDO CLORHIDRICO
6. ENJUAGUE CON AGUA DESTILADA
7. LAVADO CON ACIDO NITRICO 1:1 DURANTE CINCO DIAS
8. ENJUAGUE CON AGUA DESIONIZADA
9. SECADO A 100 GRADOS C. DURANTE DOS HORAS

ANEXO II

Crassostrea virginica

TAMANO. De 5 a 15 cm. de largo

COLOR. Gris pardo

FORMA. Irregular y variable, desde orbicular a francamente alargada, moderadamente gruesas. La superficie es rugosa con escamaciones; los márgenes de las valvas son rectos u ondulados. El umbo es largo y curvado. La valva derecha o superior es pequeña y aplanada; más lisa que la inferior o izquierda. La concha se encuentra cementada al sustrato por un biso calcificado, la valva izquierda es ligeramente mayor que la valva derecha.

AREA DE LA CHARNELA. Los umbones presentan un canal central donde se adhiere al ligamento.

INTERIOR Y LINEA PALEAL. En la parte interior la impresión muscular es subcentral con un color púrpura oscura. El interior el interior es liso y carecen de sifones.

PERIOSTRACO. Erosionado.

HABITAT. Son típicos de aguas salobres, se les encuentra en lagunas y esteros, son organismos filtradores y forman parte de la epifauna cementante.

DISTRIBUCION GEOGRAFICA. Golfo de San Lorenzo, Canadá, Golfo de

México a las Antillas.

DISTRIBUCION LOCAL. Es una de las especies más importantes debido a su intensa explotación comercial en el Sistema fluviolagunar, Pom-Atasta. Sin embargo, existen numerosos bancos en las desembocaduras de las diversas lagunas que vierten sus aguas a Terminos. Entre los más importantes se pueden citar Boca de Palizada Vieja, Boca Chica, Balchacah, Boca de Panlau, Chivojá Grande, Chivojá Chico.

Crassostrea rhizophora

TAMANO. Hasta 15 cm de largo

COLOR. Grisáceo

FORMA. Variable, generalmente la valva izquierda en forma de copa, y la derecha plana. Conchas ligeras y delgadas.

ORNAMENTACION. De aspecto foliáceo.

AREA DE LA CHARNELA. Umbones girados dorsalmente.

INTERIOR Y LINEA PALEAL. El interior es blanco con la impresión muscular púrpura, cerca del margen dorsal; los márgenes internos rectos y lisos; el de la valva izquierda con manchones azul púrpura.

PERIOSTRACO. No visible.

HABITAT. Raíces y tallos de mangles, en la subzona intermareal, en aguas de mayor salinidad y menor turbidez que C. virginica, epifaunales de nutrición suspensívora.

DISTRIBUCION GEOGRAFICA. Golfo de México, Caribe, Las Antillas, Brasil y Uruguay.

DISTRIBUCION LOCAL. Se encuentra restringida a la zona de manglar de la Isla del Carmen con influencia marina. No se explota comercialmente.

ANEXO III. CONDICIONES DE TRABAJO PARA CADA METAL

	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
LONGITUD DE ONDA -	228.8	324.7	248.3	213.8	279.5	217.0
ANCHO DE BANDA-ESPECTRAL	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
CORRIENTE DE LAMPARA -	4.0	4.0	8.0	5.0	5.0	5.0
COMBUSTIBLE	acet.	acet.	acet.	acet.	acet.	acet.
OXIDANTE	aire	aire	aire	aire	aire	aire
ESTEQUIOMETRIA-DE LA FLAMA	oxid.	oxid.	oxid.	oxid.	oxid.	oxid.

REFERENCIAS

Akberalli, H. B.; Earnshaw, M. J. and Marriot, K. R. M., (1984). The action of Heavy Metals on the Gametes of the Marine Mussel, Mytilus edulis. Induced Uncoupling of Respiration in the Unfertilized eggs. 77 C, No. 2, 289-294.

Ayala Castañares, A., (1963). Sistemática y distribución de los foraminíferos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México, 67 (3): 1-130.

Botello, A. V., (1978). Variación de los parámetros hidrobiológicos en las épocas de sequía y lluvias (mayo y noviembre de 1974) en la Laguna de Términos, Campeche, México, 5(1): 159-178.

Botello, A. V. y M. Mendelewicz, (1988). La contaminación y los contaminantes de la Laguna de Términos, Cap. 21: 415-430. In Yañez-Arancibia, A.; Day, J. W. Jr. (Eds.), Ecología de los Ecosistemas Costeros en el sur del Golfo de México: La región de la Laguna de Términos. Inst. Cien. del Mar y Limnol. UNAM, Coast. Ecol. Inst. LSU. Editorial Universitaria, Mexico, D. F.

Branica, M.; Zdenica, K., (1977). Lead in the Marine Environment, Proceedings of the international Discussion on Lead Occurrence, Fate and Pollution in the Marine Environment, Rovinj, Yugoslavia,

18-22. Octubre, 1977. Pergamon Press, 1980.

Calabrese, A.; Collier, R. S.; Nelson, D., (1973). The Toxicity of Heavy metals to Embryos of the American Oyster, Crassostrea virginica, Mar. Biol. 18. 162-167.

Copeland, B. J., (1966). Effects of Industrial Waste on Marine Environment. Water Pollution Control Fed. 38: 110-101.

Cabrera, M. I., (1981). Evaluación de Metales Pesados en Cuatro Lagunas del Golfo de México en las que se realiza explotación agrícola. Tesis profesional, Fac. de Ciencias. Univ. Nal. Autón. México, P. 66.

GESAMP, (1982). Report and Studies No. 16: The Health of the Oceans. UNESCO Press, Paris.

Gutiérrez Estrada, M., (1977). Sedimentología del Área de Transición entre las Provincias Terrígenas y Carbonatadas del Sureste del Golfo de México. Tesis M. en C. Fac. Cienc. Univ. Nal. Autón. México, 175 p.

Gutiérrez, E. M.; Castro del Río, A., (1988). Origen y Desarrollo Geológico de la Laguna de Términos, Cap. 5. In: Yañez-Arancibia, A.; Day, J.W. Jr. (Eds.), Ecology of Coastal Ecosystem in the Southern Gulf of Mexico: The Terminos Lagoon Region. Inst. Cienc. del Mary Limnol. UNAM., Coast. Ecol. Inst. LSU. Ed. Universitaria, México, D. F. p 89-110.

Hedgpeth, J. W., (1957). Estuarines and Lagoons Biological Aspects. In: Hedgpeth, J. W. Treatise on Marine Ecology and Paleocology. Geol. Soc. America. 67:1, 673-750.

Hornelas, V., (1975). Comparación de la Biomasa y de Algunos Aspectos Morfométricos de la Fanerógama Marina, Thalassia testudinum. en tres diferentes Areas del Golfo de México. Tesis Profesional. Fac. Cienc. Univ. Nal. Autón. México, 54 p.

Hicks, E. A., (1976). Variación Estacional en la Concentración de Elementos Metálicos en Ostiones de la Laguna de Términos, Campeche, México. Tesis Profesional. Fac. Química. Univ. Nal. Autón. México. P. 50.

Ley-Lou, F., (1979). Algunos Factores Ecológicos Abióticos en Estero Pargo, Campeche. Tesis Profesional, Fac. Cienc. Univ. Nal. Autón. México, 39 p.

Mandelli, E. F., (1979). Contaminación por Metales Pesados. Rev. Com. Perm. Pacífico Sur, 10: 209-228.

Mondragón, M. L.; Morales, S. R; Sánchez, R. A., (1989). Evaluación de los Efectos Provocados por Metales Pesados (Cd y Zn), en los Géneros Fraxinus, sp., (fresno) y Eucaliptus, sp. (eucalipto), así como en las Propiedades del Suelo, bajo condiciones de Invernadero durante el Periodo, Nov. 1985 a Oct. de 1986.

Morrison, G. M.. (1989). Trace Element Speciation and its Relationship to Bioavailability and Toxicity in Natural Waters. In: Batley, G. E. (ed) Trace Element Speciation: Analytical Methods and Problems. CRC Press, Inc. USA p 25-42.

Odum, W. E.. (1970). Insidious Alteration of the Estuarine Environment. Trans Am. Fish Soc., 99: 836-847.

Dropeza Mendoza, L.; Chavarria, C., (1981). Manual del Curso, Introducción a la Ingeniería Sanitaria (agua) SARH. 3a. edición. Preparado y Publicado por la Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica.

Phleger, F. B.; Ayala Castañares, (1971). Processes and History of Terminos Lagoon, México. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 55 (2): 2130-2140.

SCEP (Estudio de los Problemas Críticos del Ambiente), (1976). Informe de la Influencia del Hombre en el Medio Global, Ed. Fondo de Cultura Económica, México.

Stoker, Stephen; Seager, S., (1981). Química Ambiental: Contaminación del Aire y del Agua, Ed. Blume Ecológica, España. 259-298.

Varian. Manual de Operación del Espectrofotómetro de Absorción atómica Varian automatico 1472.

Vázquez, G. F.; Velázquez, D.; Alexander, V., (1988). El Sistema del Dióxido de Carbono en la Laguna de Términos, Cap. 7. In: Yañez-Arancibia, A.; Day, J. W. Jr. (eds) Ecology of Coastal Ecosystem in the Southern Gulf of Mexico: The Terminos Lagoon Region. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM., Coast. Ecol. Inst. LSU. Ed. Universitaria, México, D. F. p 131-158.

Vázquez, G. F.; Aguilera, L. G.; Delgado, H. D., (1990). Trace and Heavy Metals in the Oyster Crassostrea virginica, San Andrés Lagoon, Tamaulipas, México. Bull. Environ. Contamin. Toxicol. 45: 907-914.

Villanueva, F. S.; Botello, A. V.; Páez, O. F. , (1988). Evaluación de algunos metales pesados en organismos del Río Coatzacoalcos y de la Laguna del Ostión, Ver., México. Contam. Ambient. 4: 19-31.

Wood, J. M., Goldberg, E. D., (1977). Impact of Metals on the Biosphere. In: Stumm, W. Global Chemicals Cycles and their Alterations by Man. Dahlem Konferenzen, Physical and Chemical Sciences Research Report 2, Berlin, 347 p.

Yañez-Arancibia, A.; Bravo-Núñez, E., (1979). Ecología en la Boca de Puerto Real, Laguna de Términos. Descripción del Área y Análisis Estructural de las Comunidades de Peces. An. Centro Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México, 6(1): 125-182.

Yañez-Arancibia, A.; Day, J. W. Jr.; (1988). Ecological Characterization of Terminos Lagoon, a Tropical Lagoon, Estuarine System in the Southern Gulf of Mexico, Chap. 1. In: Yañez-Arancibia, A.; Day, J. W. Jr. (eds) Ecology of Coastal Ecosystem in the Southern Gulf of Mexico: The Terminos Lagoon Region. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM, Coast. Ecol. Inst. LSU. Ed. Universitaria, Mexico, D. F. p 11-26.

Zoltan de Cserna; Mosiño, A. P.; Benassin, D., (1974). El Escenario Geográfico (Introducción Ecológica). Inst. Nal. de Antrop. e Historia. Tomo 1.