



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**"EVALUACION DE METALES PESADOS EN
SEDIMENTOS RECIENTES DE DOS SISTEMAS
COSTEROS DEL CARIBE MEXICANO"**

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 :
OLGA DE LEON Y PEÑA NAJERA



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	Pag.
Introducción	2
Antecedentes	3
Objetivos	7
Areas de estudio	8
Metodología	19
Resultados	23
Discusión	49
Conclusiones	58
Literatura citada	60
Literatura de apoyo	66

INTRODUCCION

El presente trabajo de tesis forma parte del proyecto OEA-CONACyT "Impacto Ambiental de los Hidrocarburos Fósiles - en dos Sistemas Costeros del Caribe Occidental (México - Costa Rica)".

Consta del análisis de nueve metales pesados que son: cadmio, cobalto, cromo, cobre, fierro, manganeso, níquel, plomo y zinc, en sedimentos recientes de dos zonas costeras; la región del Caribe Mexicano y la Laguna de Bojórquez, Quintana Roo, México.

Las muestras para la región del Caribe Mexicano se obtuvieron durante dos cruceros a bordo del Barco Oceanográfico - "Justo Sierra" en abril y septiembre de 1985.

Los de la Laguna de Bojórquez se realizaron en colaboración con el convenio de Asesoría Técnica PIADISA-UNAM, a través del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, referente a la "Evaluación del Impacto Ambiental Generable sobre el Sistema Lagunar Nichupté por el Dragado Programado para Rellenar el Lote 18-A". El muestreo se llevó a cabo durante junio de 1985 y enero y julio de 1986. También dentro de la Laguna de Bojórquez se tomaron muestras de pastos marinos en el mes de julio de 1986, determinándose en ellos los mismos nueve metales pesados.

La importancia que tiene la realización de este estudio radica en identificar las características de mayor relevancia de los "niveles base" de contaminación que presentan las regiones litorales elegidas, siendo consideradas aún como áreas no impactadas por los procesos de industrialización, para establecer a nivel mundial las concentraciones actuales de los diferentes reservorios de los ciclos geoquímicos globales y para disponer de un registro en el tiempo que permitirá tomar acciones más acertadas en la solución del impacto ambiental - que algunos contaminantes producen.

ANTECEDENTES

Los océanos cubren las tres cuartas partes de la tierra y contienen aproximadamente 1420×10^{15} metros cúbicos de agua. Dentro de los mismos se encuentran comprendidas las zonas costeras que constituyen alrededor de un diez por ciento de la superficie oceánica total e incluyen: estuarios, lagunas costeras, albuferas y muchos mares y aguas marginales sobre la plataforma continental.

Las zonas costeras reciben considerables aportes de materiales continentales a través de los ríos, de la escorrentía, desagües domésticos e industriales y por inmersión directa de desechos, llevándose a cabo una mezcla y acumulación de los mismos.

Las aguas costeras son lugares de intensa actividad biológica. Aproximadamente el noventa y nueve por ciento de la captura mundial de peces se realiza en estas aguas; por tal motivo, han sido objeto de innumerables estudios de diversa índole.

Debido a que son zonas de alta productividad, se han elaborado una serie de trabajos de investigación para un mayor conocimiento y aprovechamiento de sus recursos; algunos de los estudios han sido enfocados al impacto de las actividades humanas sobre el medio marino.

Equivocadamente el mar puede considerarse con un alto poder de disolución y no es sorprendente, por lo tanto, suponer que puede absorber todos los desechos vertidos en él. Por desgracia, existe la contaminación debido a que las sustancias nocivas no se mezclan homogéneamente, sino que permanecen concentradas en áreas limitadas, algunas de ellas no biodegradables, o incluso, pueden ser bioacumuladas por los seres vivos, como es el caso de la contaminación por metales pesados.

En años recientes, las investigaciones sobre metales pesados han sido motivo de gran interés, debido a la creciente preocupación de proteger el medio marino y por el papel que algunos elementos juegan en los sistemas vivos.

Los metales pesados están presentes de manera natural en la hidrósfera; estos elementos tienen un peso específico mayor de cinco y algunos de ellos son parte integral del metabolismo de los sistemas vivos.

La contaminación evidente de las aguas marinas por metales pesados, se produce en las zonas costeras donde se lleva

ANTECEDENTES

Los océanos cubren las tres cuartas partes de la tierra y contienen aproximadamente 1420×10^{15} metros cúbicos de agua. Dentro de los mismos se encuentran comprendidas las zonas costeras que constituyen alrededor de un diez por ciento de la superficie oceánica total e incluyen: estuarios, lagunas costeras, albuferas y muchos mares y aguas marginales sobre la plataforma continental.

Las zonas costeras reciben considerables aportes de materiales continentales a través de los ríos, de la escorrentía, desagües domésticos e industriales y por inmersión directa de desechos, llevándose a cabo una mezcla y acumulación de los mismos.

Las aguas costeras son lugares de intensa actividad biológica. Aproximadamente el noventa y nueve por ciento de la captura mundial de peces se realiza en estas aguas; por tal motivo, han sido objeto de innumerables estudios de diversa índole.

Debido a que son zonas de alta productividad, se han elaborado una serie de trabajos de investigación para un mayor conocimiento y aprovechamiento de sus recursos; algunos de los estudios han sido enfocados al impacto de las actividades humanas sobre el medio marino.

Equivocadamente el mar puede considerarse con un alto poder de disolución y no es sorprendente, por lo tanto, suponer que puede absorber todos los desechos vertidos en él. Por desgracia, existe la contaminación debido a que las sustancias nocivas no se mezclan homogéneamente, sino que permanecen concentradas en áreas limitadas, algunas de ellas no biodegradables, o incluso, pueden ser bioacumuladas por los seres vivos, como es el caso de la contaminación por metales pesados.

En años recientes, las investigaciones sobre metales pesados han sido motivo de gran interés, debido a la creciente preocupación de proteger el medio marino y por el papel que algunos elementos juegan en los sistemas vivos.

Los metales pesados están presentes de manera natural en la hidrósfera; estos elementos tienen un peso específico mayor de cinco y algunos de ellos son parte integral del metabolismo de los sistemas vivos.

La contaminación evidente de las aguas marinas por metales pesados, se produce en las zonas costeras donde se lleva

a cabo su mezcla y acumulación, siendo posteriormente eliminados hacia los sedimentos subyacentes con la fase sólida, biológica e inorgánica, iniciándose ahí la penetración de estos elementos hacia los tejidos vegetales y animales (Botello, - 1983).

El tiempo que transcurre entre la entrada inicial de un contaminante y el reconocimiento de un problema, puede durar meses o años, es decir, su presencia, desaparición por sedimentación, descomposición, mezcla con aguas de alta mar o recolección por los organismos puede darse a través del tiempo antes que el problema sea patente (Mandelli, 1979).

El largo tiempo de residencia de los productos químicos, puede conducir a la formación de un medio tóxico. Un problema importante es la posibilidad de que las concentraciones de materias tóxicas puedan alcanzar valores tales que la exposición de los organismos a ellas produzcan altos porcentajes de morbilidad o mortalidad, porque al llegar a este punto, no hay posibilidad de retroceso.

Los metales pesados que penetran en el medio marino experimentan una serie de transformaciones en las cuales se incluyen procesos químicos, físicos y biológicos.

La transformación biológica es debida principalmente a la acción de los organismos marinos; los sistemas biológicos pueden protegerse cuando entran en contacto con sustancias tóxicas, se adaptan transformándolas en no tóxicas para su metabolismo, sin embargo, en la realidad no siempre sucede lo mismo y puede ser debido a que la concentración de algún metal es superior al que pueden metabolizar causando el fenómeno de bioacumulación, que independientemente de los mecanismos que lo provoquen, tiene como resultado que un organismo o sus tejidos presenten concentraciones de elementos químicos superiores a las del medio donde se desarrollan.

Todos los organismos vivos, tanto animales como vegetales, ya sean acuáticos o terrestres, requieren para su desarrollo y crecimiento cierta cantidad de metales como son: calcio, cadmio, cobalto, cromo, cobre, fierro, potasio, manganeso, molibdeno, magnesio, sodio, zinc y vanadio, que actúan en diversas funciones estructurales, catalíticas, electroquímicas y enzimáticas en el interior de las diferentes células.

Las concentraciones de estos elementos dentro de los sistemas vivos, se encuentran en relación con las funciones que realizan, por lo que una alteración en la concentración de los mismos puede causar graves alteraciones como son: transformaciones fisiológicas, alteraciones en el desarrollo, malformaciones congénitas y en muchos casos hasta la muerte.

El estudio de metales pesados en las zonas costeras está enfocado básicamente a aquellas especies que tienen una importancia comercial como el caso de los moluscos. Entre otros están los reportados por Schulz-Baldés (1974) con el mejillón Mytilus edulis sobre acumulación y excreción de plomo; Cunningham y Trip (1973) y Mandelli (1975) sobre acumulación de mercurio y cobre por Crassostrea virginica.

Otros organismos y sistemas no menos importantes, pero sí poco conocidos, son los realizados para los ceibadales o praderas de pastos marinos, los cuales entre unas de sus muchas funciones están: las de abrigar gran cantidad de invertebrados que se desarrollan en ellos, producir material detrítico y ser uno de los principales eslabones de la cadena alimenticia.

Se ha cuantificado la presencia de algunos metales pesados en los pastos marinos como el fierro, manganeso y zinc, los cuales intervienen en diferentes funciones metabólicas - como son: la fosforilación oxidativa dentro de las mitocondrias y en la transferencia de electrones en las unidades fotosintéticas (Viarengo, 1985).

Actualmente se han llevado a cabo estudios en cuanto a la transformación metabólica de metales pesados en el medio marino a través de los pastos marinos (Dunstan y Windom, 1974).

Otros estudios sobre la bioacumulación de metales pesados en las comunidades lagunares marinas están los de Walsh y Grow (1973), Pulich (1976), Burrell y Schubert (1977), De la Lanza y Arenas (1978) y Botello (1983) en Thalassia testudinum; Pulich (1980) en Halodule wrightii; Mrozek y Funicelli (1982) en la especie que habita las marismas Spartina alterniflora y el de Walsh y Grow (1973) en Ruppia maritima.

La transformación biológica que sufren los metales pesados y la dinámica de los mismos en los océanos, depende de la distribución entre la fase soluble y las suspendidas, así como la relación con su comportamiento químico.

Procesos como la adsorción, absorción, precipitación, floculación coloidal y fijación biológica activas o pasivas actúan eliminando estos elementos de la columna de agua y transfiriéndolos a los sedimentos.

Turekian (1972) hace notar que a pesar de la transferencia de metales pesados de los ríos a los océanos, sólo una pequeña fracción abandona la zona costera y muchos de ellos quedan almacenados en los sedimentos.

Los sedimentos pueden considerarse como partículas mine

rales producidas por la erosión de las rocas, llegando algunas veces a depositarse en las zonas costeras y en los océanos.

Muchos factores pueden afectar la concentración de los metales en los sedimentos marinos; los sedimentos de grano fino (líamos y arcillas) retienen concentraciones de metales más altas que aquéllos de grano grueso como las arenas. Es por ello que las zonas costeras son más sensibles de ser impactadas por metales pesados, ya que son por naturaleza de grano más fino.

OBJETIVOS

- Evaluar la concentración de metales pesados (cadmio, cobalto, cobre, cromo, fierro, manganeso, níquel, plomo y zinc) en sedimentos recientes de la región del Caribe Mexicano, así como de la Laguna de Bojórquez, Quintana Roo.
- Reconocer la relación existente entre la concentración de metales pesados y los parámetros sedimentológicos de contenido de materia orgánica, carbonatos y granulometría.
- Determinación de metales pesados en pastos marinos (Thalassia testudinum, Halodule wrightii y Ruppia maritima) en la Laguna de Bojórquez.
- Establecer la relación existente entre la concentración de metales pesados en los sedimentos y pastos marinos de la Laguna de Bojórquez.
- Reconocer la relación entre la concentración de metales pesados en sedimentos de la Laguna de Bojórquez y algunas áreas de la región del Caribe Mexicano.
- Evaluar la concentración de metales pesados en sedimentos recientes y en el pasto marino Thalassia testudinum de la estación de Puerto Morelos, Quintana Roo y compararlos con la región del Caribe Mexicano y la Laguna de Bojórquez.

AREAS DE ESTUDIO

Las zonas de estudio del presente reporte comprenden dos sistemas:

- 1) Las aguas situadas en el borde oriental de la Península de Yucatán, conocidas como Caribe Mexicano, incluyendo también la estación de Puerto Morelos y las aguas que bañan la parte norte de la Península (Figura 1).
- 2) La Laguna de Bojórquez situada en la parte noreste de la Península de Yucatán, en Cancún, Quintana Roo (Figura 2).

Caribe Mexicano.

El sistema se encuentra influenciado directamente por el Mar Caribe propiamente dicho, por el Golfo de México y las aguas adyacentes del Océano Atlántico.

Hidrografía.

El Caribe consiste en varias cuencas muy profundas separadas por grandes plataformas. Las dos cuencas principales son el Mar Caribe y el Golfo de México, donde se encuentran ubicadas las estaciones analizadas (Tabla 1). Estas dos cuencas consideradas conjuntamente han recibido a veces el nombre de "Mediterráneo Americano" (Hodgson, 1973).

La superficie marítima total de la zona es de $4,24 \times 10^6$ kilómetros cuadrados ($1,60 \times 10^6$ kilómetros cuadrados en el - Golfo de México y $2,6 \times 10^6$ kilómetros cuadrados en el Caribe; Harding y Nowlin, 1966).

La característica hidrológica más sobresaliente de la región es la circulación continua de agua de este a oeste en el Mar Caribe, seguida de un movimiento de sureste a noreste en la cuenca de Yucatán y por último, en el Golfo de México se registra una fuerte circulación de nuevo hacia el este, por el estrecho de Florida, después de un movimiento anticiclónico de la mayor parte de esa agua en la parte occidental del - Golfo (UNESCO, 1977).

El movimiento del agua en general es estable durante todo el año, aunque se observan ciertos cambios estacionales de la velocidad donde el agua es empujada hacia unos angostos pasos, tales como el canal de Yucatán o el estrecho de Florida.

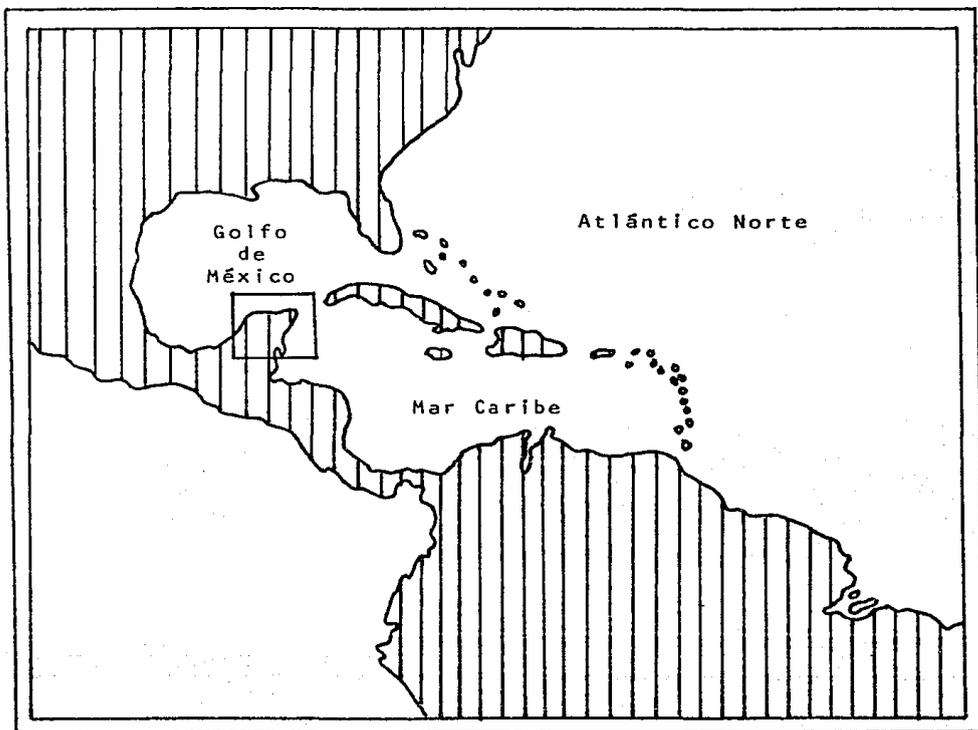


Figura 1. Area de estudio: Caribe Mexicano inscrito en la región general del Caribe-Golfo de México.

(Tomado del Primer Informe Anual OEA-CONA CyT, 1986).

Tabla 1. Situación geográfica de las estaciones analizadas para metales pesados en sedimentos de la región - del Caribe Mexicano.

Fecha	Estación	Latitud	Longitud
Abril 1985	04	21°39.6'	89°48.5'
"	07	22°13.1'	89°46.4'
"	09	22°47.7'	89°51.4'
"	19	22°40.2'	88°28.2'
"	20	22°58.1'	88°32.0'
"	25	22°26.0'	87°20.4'
"	26	22°16.0'	87°16.9'
"	28	21°54.1'	87°10.2'
"	33	21°47.0'	86°32.2'
"	38	21°13.9'	86°50.1'
"	41	21°54.2'	87°25.9'
"	50	22°28.9'	87°54.2'
"	52	22°02'	87°47.3'
"	56	21°35.9'	86°45.0'
"	68	20°54.8'	86°49.9'
Sept. 1985	09	22°28.8'	89°09.0'
"	15	21°55.1'	88°16.1'
"	37	21°57.4'	87°11.1'
"	85	21°44.8'	86°40.1'
"	89	21°54.0'	86°46.3'
"	98	21°23.5'	86°34.2'

La temperatura superficial de las partes tropicales de la región es por término medio de 27°C y no varía sensiblemente durante el año.

Las fluctuaciones estacionales no son superiores a los tres grados centígrados; cabe decir lo mismo de la parte meridional del Golfo de México. En su parte septentrional hay cambios estacionales extremos de temperatura, de unos 16°C en invierno a 28°C en verano, por lo que durante los meses invernales existe un fuerte gradiente de temperatura latitudinal.

El enfriamiento de las aguas superficiales en el norte y centro del Golfo de México durante los meses de invierno también repercute en la distribución vertical de la temperatura. En toda la zona del Caribe y los mares adyacentes, la temperatura baja de 15°C a 10°C durante los doscientos primeros metros, mientras que en ciertas partes del Golfo de México en profundidades a veces de cien metros, se forma una termoclina durante el invierno.

Salinidad.

Existe una pequeña variación estacional de la salinidad superficial; una salinidad relativamente estable, mayor de 35.5 ‰ durante todo el año en la parte este de la Península de Yucatán y una salinidad menor de 35.5 ‰ de diciembre a mayo en el borde norte de la Península. La causa de esta variación se debe al flujo de agua de poca salinidad procedente del sureste a fines de otoño por el aporte de los ríos Orinoco y Amazonas o de una convergencia tropical (Wust, 1964; Atwood, 1977).

Vientos.

En el Caribe Mexicano los fuertes vientos como huracanes y nortes, son muy frecuentes de noviembre a enero. Ellos producen mezcla vertical, sobre todo cuando la estabilidad cerca de la superficie ha sido disminuida por enfriamiento. Es posible que a causa de los huracanes se produzcan divergencias en la superficie y por lo tanto, ascenso en la termoclina (Emilsson, 1976).

Puerto Morelos.

En el año de 1980, la Universidad Nacional Autónoma de México inició la construcción de una estación de investigaciones marinas frente al Caribe Mexicano, en Puerto Morelos, Quintana Roo, debido a la importancia de estudiar las costas y recursos de esta parte litoral nacional (Merino y Otero, en prensa).

El objetivo de estudio de esta área pretende establecer un marco de comparación con la región del Caribe Mexicano y la Laguna de Bojórquez en cuanto a la concentración de metales pesados; además de sentar un marco de referencia que sirva de apoyo para las investigaciones futuras, así como de punto de partida para las que pudieran realizarse con las nuevas condiciones favorables para el estudio de la zona.

El análisis de metales pesados en sedimentos recientes y pastos marinos de esta área comprendió las muestras que se tomaron frente a la estación de investigación de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La información que a continuación se presenta proviene de un estudio ambiental realizado por Merino y Otero (en prensa), durante 1981 y 1983 en la zona costera de Puerto Morelos.

Hidrografía.

En el área circundante a Puerto Morelos se observa la presencia de una barrera arrecifal que corre en forma aproximadamente paralela a la costa y que divide la plataforma continental en dos regiones: entre la barrera arrecifal y la costa se forma una depresión denominada laguna arrecifal, mientras que al otro lado de la barrera se extiende una plataforma que termina con el inicio del talud continental.

La barrera funciona como un eficiente disipador de la energía del oleaje, por lo que éste se ve fuertemente transformado por su paso a través de la misma. Las observaciones cuantitativas indican una altura media de oleaje de 14.4 centímetros en la zona de la playa frente a la estación de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La temperatura del agua frente a Puerto Morelos se encuentra entre los 24.96°C y los 30.52°C. El clima es cálido - subhúmedo con lluvias en verano con poca oscilación térmica. Esto es, de acuerdo con las cartas de clima publicadas por la Secretaría de la Presidencia (1970a, 1970b), el tipo climático correspondiente a Puerto Morelos es el Aw1 (x') (i') g.

Salinidad.

Las fluctuaciones de la salinidad son del 34.921 ‰ y - 36.513 ‰. Este pequeño rango de variación resalta un marcado carácter oceánico de la zona, la cual probablemente está denominada hidrológicamente por las aguas oceánicas adyacentes, - siendo prácticamente inapreciable la influencia continental.

Vientos.

Resalta la existencia de un período de vientos alisios dominantes entre febrero y julio. A este período parece seguir una época de transición entre julio y septiembre que da lugar a la época de "nortes" que dominan en los meses de octubre y enero.

Laguna de Bojórquez.

La Laguna de Bojórquez forma parte de un conjunto lagunar conectado entre sí denominado Sistema Lagunar Nichupté, situado en la parte noreste de la Península de Yucatán, en Cancún, Quintana Roo, a los 86°44' de longitud oeste y 21°30' de latitud norte, aproximadamente (Contreras, 1985).

Dicho sistema comprende el Canal Cancún, Laguna de Bojórquez, Bajo Zeta, Isla Cancún, Canal Nizuc, Río Inglés y Somosaya (Figura 2). Estas cuencas comparten características que las sitúan dentro de la definición tradicional de laguna costera de Emery y Stevenson (1958) así como las de Lankford (1976), propuesta específicamente para el inventario y clasificación de las lagunas costeras mexicanas.

Por su ubicación el sistema presenta ciertas características particulares (Merino y Gallegos, 1986) como son:

- Por la latitud a la que se encuentra se trata de un sistema lagunar tropical.
- La naturaleza cársica de la Península impide la existencia de corrientes terrestres superficiales y provoca que los aportes continentales de agua al sistema sean únicamente por cenotes o por el drenaje de las superficies inundables alejadas.
- Las características del Mar Caribe adyacente somete al sistema a un régimen de aguas oligotróficas y mareas mixtas de escasa amplitud.

Son pocos los estudios científicos que se han realizado no sólo en la Laguna de Bojórquez, sino en todo el Sistema Nichupté, por lo que se cuenta con escasa información; se han realizado investigaciones hidrológicas como las de Jordán *et al.*, (1978, 1983), en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (1971) y más recientemente Merino y Gallegos (1986) como parte de un estudio para la evaluación del impacto ambiental del dragado en el Sistema Lagunar Nichupté.

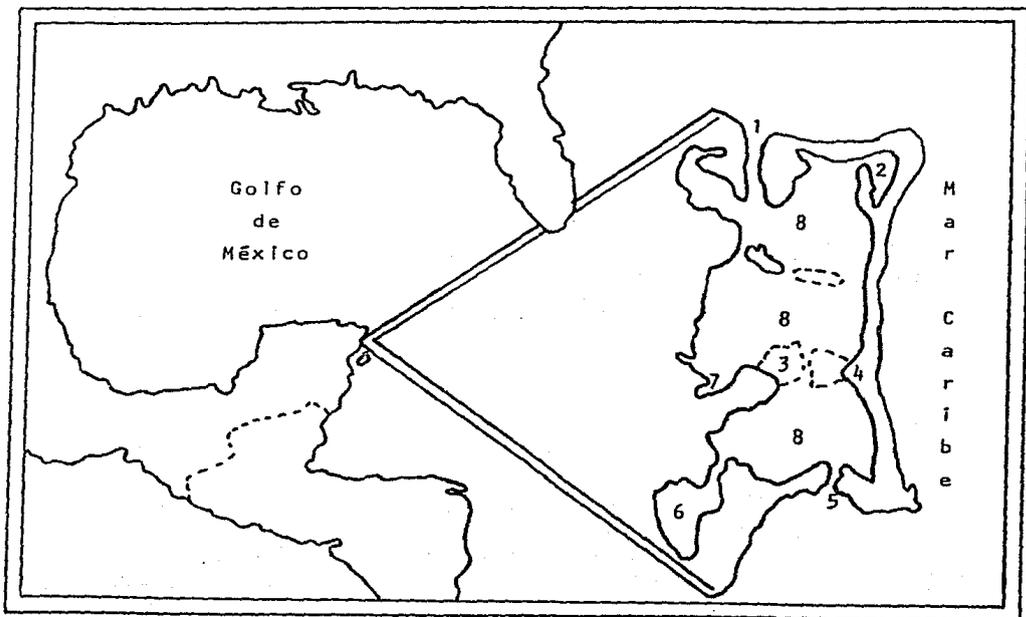


Figura 2. Localización geográfica del Sistema Lagunar Nichupté y Laguna de Bojórquez en Cancún, - Quintana Roo, México.

- | | |
|-------------------------|---------------------|
| 1) Canal Cancún. | 5) Canal Nizuc. |
| 2) Laguna de Bojórquez. | 6) Río Inglés. |
| 3) Bajo Zeta. | 7) Somosaya. |
| 4) Isla Cancún. | 8) Laguna Nichupté. |

(Tomado de Jordán, E., Angot, M. y De la Torre, R., 1978).

Hidrografía.

Una de las principales características del sistema es la baja magnitud de los procesos dinámicos físicos, debido a la escasez de fuerzas motrices naturales que generan movimientos importantes de las masas de agua, por lo que no existen corrientes superficiales de gran magnitud (Merino, 1984).

De acuerdo con García Krasovsky (1984) el rango de mareas en el interior de la Laguna de Bojórquez es del orden de dos centímetros y la velocidad de los canales no rebasa los diez cm/seg., mostrando una oscilación del agua debida a las mareas. Observaciones cualitativas realizadas durante más de un año por la Universidad Nacional Autónoma de México en cuanto a las alteraciones ecológicas de Bojórquez, indican que esta situación se mantiene durante casi todo el tiempo, pudiéndose apreciar un flujo neto de agua a través de los canales de la Laguna de Bojórquez solamente cuando el viento sopla con fuerza de noreste o sureste o durante precipitaciones pluviales muy fuertes (Merino y Gallegos, 1986).

La distribución vertical de la temperatura no muestra una estratificación apreciable en ninguna época del año, por lo que la Laguna de Bojórquez es homogénea casi todo el tiempo. La homogenización interna se debe a la mezcla producida por las oscilaciones térmicas verticales que presenta diariamente, así como a los efectos del viento (Merino y Gallegos, 1986).

Presenta un clima caliente subhúmedo (el más seco de los subhúmedos) con lluvias entre verano e invierno. (García, 1969).

Vientos.

Los vientos y las oscilaciones térmicas verticales son el principal factor que genera mezclas en el sistema. La Laguna de Bojórquez es la que menos mezcla sus aguas debido a que es casi nulo por los dos estrechos canales que conectan con el resto del sistema. Según Jordán *et al.*, (1978), los vientos dominantes son de sur-sureste, excepto cuando sopla el "norte".

Sedimentos.

El sustrato en toda la Península de Yucatán es virtualmente carbonato de calcio, mientras que el sedimento dentro de la Laguna de Bojórquez es lodo aragonítico, probablemente como resultado de la desintegración de foraminíferos, codiáceas y algas rojas (Brady, 1972).

Dentro de la Laguna de Bojórquez se distingue la presencia de dos grandes capas donde una de ellas, la más superficial, es una gruesa capa de materia orgánica que se ha ido depositando siendo el indicador más sólido del proceso de eutroficación que sufre la Laguna de Bojórquez (Merino y Gallegos, 1986).

Granulométricamente la Laguna de Bojórquez presenta grava, arenas y lodos en diferente proporción.

Características Físicas y Químicas.

En la Tabla 2 pueden apreciarse los valores comparativos de las principales variables hidrológicas en la Laguna de Bojórquez y Mar Caribe adyacente.

Principales Comunidades.

Se suele aceptar que los trópicos tienen una diversidad de especies mucho mayor que las regiones más frías. Un gran número de géneros, familias y grupos están casi totalmente confinados a las zonas tropicales.

En la región del Caribe existen tres de los más importantes ecosistemas costeros a saber: los arrecifes coralinos, los manglares y los pastos marinos.

Los corales forman una barrera arrecifal a lo largo de la costa oriental de la Península de Yucatán (Jordán et al., 1980). Esta comunidad guarda relaciones muy importantes con otros organismos proporcionándoles protección y alimento, disipan la energía de las olas favoreciendo el establecimiento de los pastos marinos y manglares, son grandes productores de carbonato y reducen la acción de las corrientes en la zona de costa previniendo la erosión de estas áreas.

También se encuentran organismos de gran valor comercial dentro del Caribe Mexicano como la langosta espínosa (Merino, 1984) y una gran variedad de larvas planctónicas de organismos que viven asociados a la barrera arrecifal coralina (Johnson y Briton, 1963). Otros recursos importantes del Caribe son algunas especies como: Sparus pargus, Serranus guaza, serránidos y algunas especies bentónicas entre los que se encuentran Penaeus setiferus, P. aztecus y P. duorarum (F.A.O., 1972).

Los manglares constituyen un sistema de filtración de nutrientes, sintetizador de materia orgánica y exportador de detritus, muy importante para el mantenimiento de la productividad de la zona costera tropical y por tanto, indispensable para la supervivencia humana (Gallegos, 1986).

Tabla 2. Cuadro comparativo de los valores promedio de las principales variables hidrológicas de la Laguna de Bojórquez y Mar Caribe adyacente - (Merino y Gallegos, 1986).

Variable	Bojórquez somero	Bojórquez profundo	Mar Caribe adyacente
Temperatura °C	29.4 (24.9-35.1)	29.0 (24.8-32.3)	27.71 (25.0-30.5)
Salinidad ‰	35.29 (30.28-39.70)	36.03 (30.57-39.75)	35.70 (34.92-36.51)
Oxígeno ml/l.	5.26 (2.87-9.00)	4.32 (2.50-8.95)	4.99 (3.53-6.45)
Fosfatos µg/l.	1.67	2.29	0.46
Unidad de Amonio	4.38	4.58	4.01
Unidad de Nitratos	1.46	1.08	1.51
Nitritos µg/l.	0.56	0.47	0.06
N. total	6.40	6.12	5.58
Silicatos	7.94	7.33	6.4

- Los valores entre paréntesis corresponden a los intervalos de variación del parámetro.
- Bojórquez somero es el nivel que presenta actualmente.
- Bojórquez profundo corresponde a la zona dragada.

Los pastos marinos si bien mucho menos conocidos, pero igualmente importantes, constituyen uno de los principales ecosistemas del Caribe Mexicano.

Los pastos marinos están sujetos a una fuerte presión ecológica debido al incremento de la utilización de las zonas costeras por el hombre. Son una de las comunidades más productivas excediendo a veces la producción de fitoplancton - (Ryther, 1969; McRoy y McMillan, 1977).

En las zonas someras y protegidas del Caribe, las comunidades del fondo suelen estar dominadas por estas fanerógamas marinas, principalmente por Thalassia testudinum, también pueden encontrarse otros géneros como Halodule wrightii, Ruppia maritima y Syringodium filiforme (género restringido a marismas).

Estas comunidades intervienen de muchas formas para el control y modificación del ecosistema (Wood, 1969) como son:

- Proveen de alimento a cierto número de organismos tales como erizos de mar, nudibranquios y tortugas entre otros.
- Interaccionan con una gran variedad de organismos en los que se incluyen algas epífitas, peces, esponjas, moluscos, medusas, poliquetos y crustáceos entre otros.
- Producen gran cantidad de material detrítico que sirve de alimento para ciertas especies de animales.

Dentro de la Laguna de Bojórquez existe una relación muy estrecha entre las comunidades de pastos y las algas marinas. El fondo se encuentra cubierto en gran parte por algas marinas en las que se incluyen los géneros: Caulerpa, Chaetomorpha, Hypnea, Champia, Acantophora, Cladophoropsis, Lyngbya, Oscillatoria, Cladophora, Acetabularia, Jania, Centroceras, Spyridia y Pollisiphonia, entre otras (Merino y Gallegos, 1986).

Estas especies constituyen en su conjunto grandes tapetes que cubren el fondo de la Laguna de Bojórquez, sin embargo, dado que carecen de un sistema de anclaje eficiente como los pastos, se desprenden con gran facilidad cubriendo la superficie, posteriormente mueren formando grandes masas de materia orgánica en descomposición, lo que contribuye al proceso de eutroficación de la Laguna de Bojórquez.

Merino y Gallegos (1986) sugieren que los pastos han sido desplazados por las algas marinas, ya que en ciertas zonas de la Laguna de Bojórquez, sólo se localizan manchones de pastos aislados considerándose como restos de manchones más grandes y que ahora están siendo eliminados del área por las algas. Esto aumenta las condiciones actuales de eutroficación, siendo favorecidos además, por la escasa circulación que presenta la Laguna de Bojórquez.

METODOLOGIA

Metales Pesados en Sedimentos.

Las muestras para la región del Caribe Mexicano se colectaron durante dos cruceros a bordo del Barco Oceanográfico "Justo Sierra" en abril y septiembre de 1985, los viajes a la Laguna de Bojórquez se realizaron en junio de 1985 y enero y julio de 1986 y los de la estación de Puerto Morelos fueron en junio de 1985 y julio de 1986. Las muestras se obtuvieron con ayuda de una draga tipo Van Veen de un litro de capacidad, colocándose en bolsas de polietileno y congelándose para su posterior procesamiento en el laboratorio.

Metales Pesados Totales.

La metodología seguida para la determinación de metales pesados en sedimentos fué la sugerida por Buckley y Cranston (1977) Ageiman y Chaw (1976) y de Loring y Rantala (1977). Consistió básicamente en la digestión de los sedimentos con ácido nítrico 2N (HNO_3 2N) llevándose a sequedad total a una temperatura constante de $100^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, una segunda digestión con ácido nítrico concentrado, llevado a sequedad total con la misma temperatura y presión constante. Posteriormente se centrifugó por 30 min. a 2500 (r.p.m.), recogiendo el sobrenadante en frascos de plástico y realizándose la lectura en un espectrofotómetro de absorción atómica modelo Varian AA-475.

La Figura 3 muestra en detalle la metodología para la determinación de metales pesados totales en sedimentos.

Metales Pesados Biodisponibles.

En este caso se siguió la metodología sugerida por Loring y Rantala (1977). Se pesaron dos gramos de sedimento colocado en matraces Erlenmeyer de 250 mililitros de capacidad con 20 mililitros de ácido acético al 20% (CH_3COOH 20%), dejándose reposar durante 24 hrs.; posteriormente se filtraron y se colocaron en frascos de plástico para la lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica del mismo modelo.

Metales Pesados en Pastos Marinos

Los pastos marinos se colectaron durante el mes de julio de 1986 en la Laguna de Bojórquez y en la estación de Puerto Morelos, colocándose en bolsas de polietileno y congelándose para su procesamiento en el laboratorio.

- 1) Secado del sedimento.
- 2) Pulverización en mortero.
- 3) Pesar dos gramos de sedimento.
- 4) Primera digestión con 12 ml. de ácido nítrico 2N, llevado a sequedad total a $100^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$.
- 5) Segunda digestión con 12 ml. de ácido nítrico concentrado llevado a sequedad total en las mismas condiciones.
- 6) Traslado del sedimento en bombas PTEE de digestión con 12 ml. de ácido nítrico concentrado a una temperatura - ($100^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$) y presión constante durante 18 hrs.
- 7) Primera centrifugación a 2500 r.p.m. por 30 min.
- 8) Colecta del sobrenadante en frascos - de plástico.
- 9) Segunda centrifugación con 18 ml. de agua bidestilada en las mismas condiciones.
- 10) Colecta del sobrenadante en el frasco de plástico correspondiente.
- 11) Lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica.

Figura 3. Diagrama de la metodología utilizada para la determinación de metales pesados totales en sedimentos.

Se utilizó la metodología sugerida por Pulich (1976, 1980) con modificaciones de Mora (comunicación personal); consistió básicamente en el lavado de los pastos con agua bidestilada para eliminar cualquier tipo de adherencia seguido de un secado por 24 hrs. a 70°C. Únicamente en la especie Thalassia testudinum se analizó por separado hojas y rizomas con el fin de establecer alguna relación entre la concentración de metales pesados en cada una de las estructuras y compararlos con otros estudios realizados en esta especie. Los pastos se digirieron con ácido nítrico concentrado y posteriormente un calcinamiento durante 24 hrs. a 550°C aproximadamente. Las cenizas se disolvieron con ácido nítrico 2N, centrifugándose a 2500 r.p.m. durante 30 minutos. El sobrenadante se colocó en frascos de plástico y leídos en el espectrofotómetro de absorción atómica (Figura 4).

Materia Orgánica.

La determinación de carbono orgánico en sedimentos se efectuó según el método volumétrico de Gaudette et.al., (1974) y consistió en la oxidación de una porción de la muestra con dicromato de potasio en ácido sulfúrico concentrado, utilizando el calor exotérmico del ácido; posteriormente el exceso de dicromato se tituló con una solución de sulfato ferroso.

Carbonatos.

La metodología utilizada para la determinación de carbonatos consistió en la modificación del Calcímetro de Bernard, siguiendo la técnica usada por Alvarez (1983). Los sedimentos son atacados con ácido clorhídrico, produciendo un desprendimiento de gas carbónico. Se midió el volumen desplazado a la presión atmosférica de una bureta que contenía una solución saturada de cloruro de sodio. Por diferencia de volúmenes se obtuvo la proporción de carbonatos.

Granulometría.

El análisis granulométrico que se presenta para la Laguna de Bojórquez consistió básicamente en la separación por tamices. Estos datos fueron tomados del informe final del convenio de Asesoría Técnica PIADISA-UNAM en cuanto a la evaluación del impacto ambiental generable sobre el sistema lagunar Nichupté, por el dragado para rellenar el lote 18-A (Merino y Gallegos, 1986).

- 1) Lavado con agua bidestilada para quitar cualquier tipo de adherencia.
- 2) Secado durante 24 hrs. a 70°C aproximadamente.
- 3) Moler en morteros.
- 4) Pesar dos gramos colocados en vasos de precipitado de 50 ml. de capacidad.
- 5) Añadir 10 ml. de ácido nítrico concentrado. Llevar a sequedad total a una temperatura de 100°C ± 10°C (Repetición de este paso por triplicado).
- 6) Calcinamiento de la muestra en mufla a 550°C durante 24 hrs.
- 7) Disolver las cenizas con 10 ml. de ácido nítrico 2N.
- 8) Primera centrifugación a 2500 r.p.m. durante 30 min.
- 9) Colecta del sobrenadante en frascos de plástico.
- 10) Segunda centrifugación con 15 ml. de agua bidestilada en las mismas condiciones y colectar en su frasco correspondiente.
- 11) Lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica.

Figura 4. Diagrama de la metodología utilizada para la determinación de metales pesados en pastos marinos.

RESULTADOS

Metales Pesados en Sedimentos.

De los nueve metales analizados, únicamente tres de ellos (zinc, níquel y fierro) mostraron valores apreciables, tanto para la región del Caribe Mexicano incluyendo Puerto Morelos, como para la Laguna de Bojórquez. Los seis metales restantes (cobre, cobalto, cromo, cadmio, plomo y manganeso) están por abajo del límite detectable por el espectrofotómetro (Tabla 3); los valores obtenidos están expresados en partes por millón en peso seco (p.p.m./peso seco).

Caribe Mexicano.

En la Tabla 4 se reportan las concentraciones de zinc, níquel y fierro para cada una de las estaciones muestreadas (Figura 5) durante abril y septiembre de 1985.

Los valores de zinc (Zn) para esta región del Caribe Mexicano van de no detectable (nd) hasta 63.57 p.p.m. En este caso puede apreciarse que no existe una distribución uniforme de las concentraciones, sino que varían notablemente en algunos casos de una estación a otra (Figura 6).

El níquel (Ni) en comparación con el zinc, presentó concentraciones más altas con valores que van de 11.43 p.p.m. a 149.12 p.p.m. Al igual que en el caso anterior, se observa una variación de la concentración por estación (Figura 7).

En cuanto al fierro (Fe) la concentración registrada fue de no detectable (nd) a 261.23 p.p.m. En la Figura 8 están representadas las concentraciones de fierro, que al igual que el zinc y níquel, la distribución de los valores cambia para cada estación.

Puerto Morelos.

En la estación de Puerto Morelos se llevaron a cabo dos muestreos, uno en junio de 1985 y el otro en julio de 1986, detectándose concentraciones de zinc, níquel y fierro. Los seis metales restantes, al igual que para la región del Caribe Mexicano, están por abajo del límite detectable por el espectrofotómetro de absorción atómica.

Tabla 3. Cuadro comparativo de la concentración mínima detectable expresada en p.p.m./peso seco de las soluciones patrón utilizadas para la lectura de los metales pesados en un espectrofotómetro de absorción atómica modelo Varian AA-475.

<u>Metal</u>	<u>Concentración</u>
Zinc (Zn)	0.4
Níquel (Ni)	2.0
Fierro (Fe)	1.0
Cobre (Cu)	2.0
Cobalto (Co)	2.0
Cromo (Cr)	0.4
Cadmio (Cd)	4.0
Plomo (Pb)	0.4
Manganeso (Mn)	0.4

Tabla 4. Concentración de metales pesados totales (p.p.m.) en sedimentos recientes de la región del Caribe Mexicano.

Fecha	Estación	Zn	Ni	Fe	Cu, Co, Cr, Cd, Pb, Mn.
Abril 1985	04	13.61	49.72	88.29	nd
	07	7.52	76.65	50.86	nd
	09	nd	80.23	45.73	nd
	19	38.65	104.49	nd	nd
	20	nd	136.15	240.52	nd
	25	13.87	68.78	14.50	nd
	26	7.58	74.54	98.56	nd
	28	1.87	28.01	87.37	nd
	33	nd	48.95	nd	nd
	38	63.57	149.12	261.23	nd
	41	33.44	67.94	1.98	nd
	50	4.99	34.61	12.21	nd
	52	5.94	59.08	9.44	nd
	56	7.25	111.87	53.09	nd
	68	1.50	59.34	34.06	nd
	Sept. 1985	09'	14.02	14.05	134.16
15		54.34	11.43	164.16	nd
37		62.86	75.47	107.57	nd
85		10.51	87.52	53.11	nd
89		2.13	12.31	45.16	nd
98		29.52	20.31	175.49	nd
Promedio total		20.73	65.26	79.87	
Rango de a		nd 63.57	11.43 149.12	nd 261.23	

nd - No detectable.

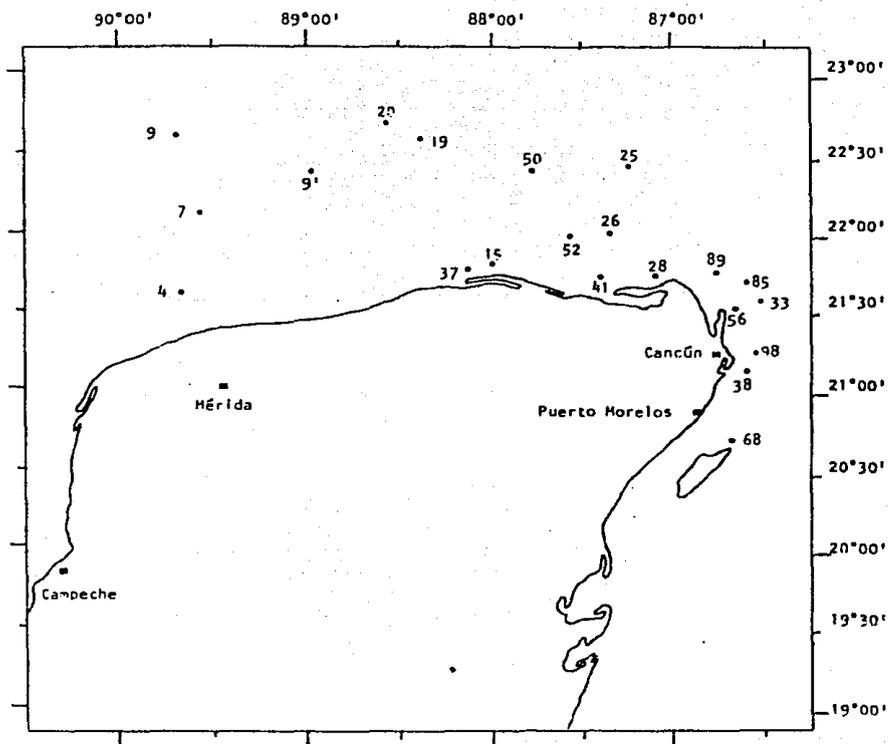


Figura 5. Estaciones de muestreo en la región del Caribe Mexicano, durante abril y septiembre de 1985 y la estación de Puerto Morelos en junio de 1985 y julio de 1986.

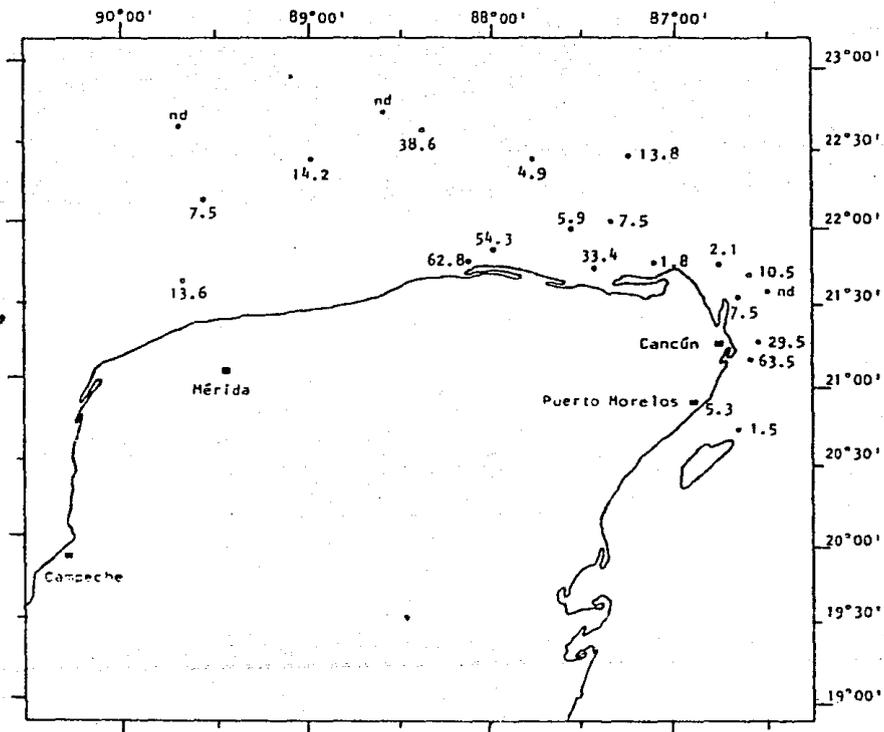


Figura 6. Concentración total de zinc (p.p.m.) en sedimentos recientes de la región del Caribe Mexicano (abril y septiembre de 1985) y la concentración promedio en la estación de Puerto Morelos (junio de 1985 y julio de 1986).

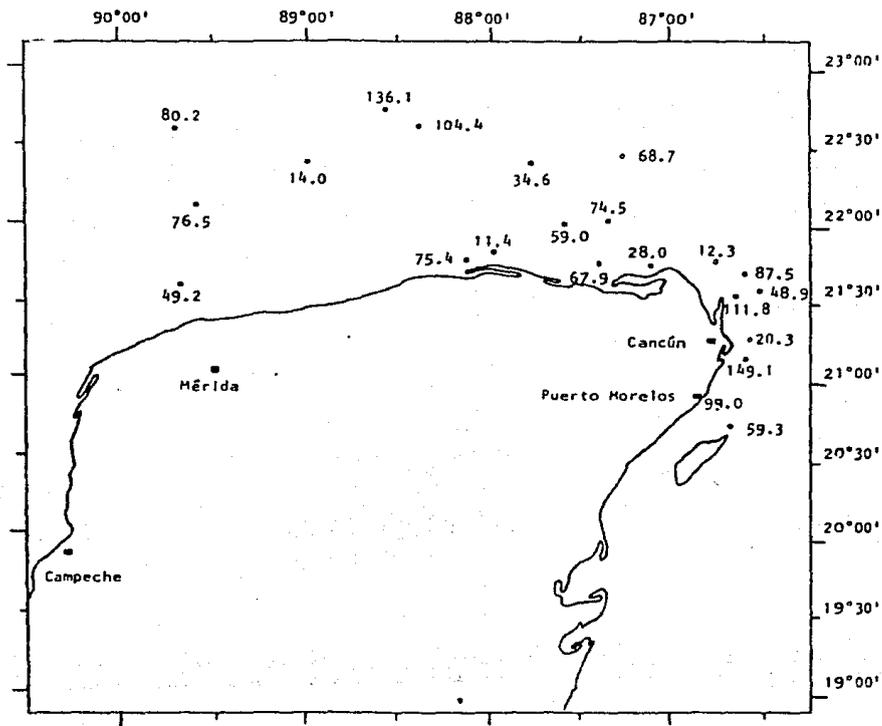


Figura 7. Concentración total de níquel (p.p.m.) en sedimentos recientes de la región del Caribe Mexicano (abril y septiembre, 1985) y la concentración promedio en la estación de Puerto Morelos (junio de 1985 y julio de 1986).

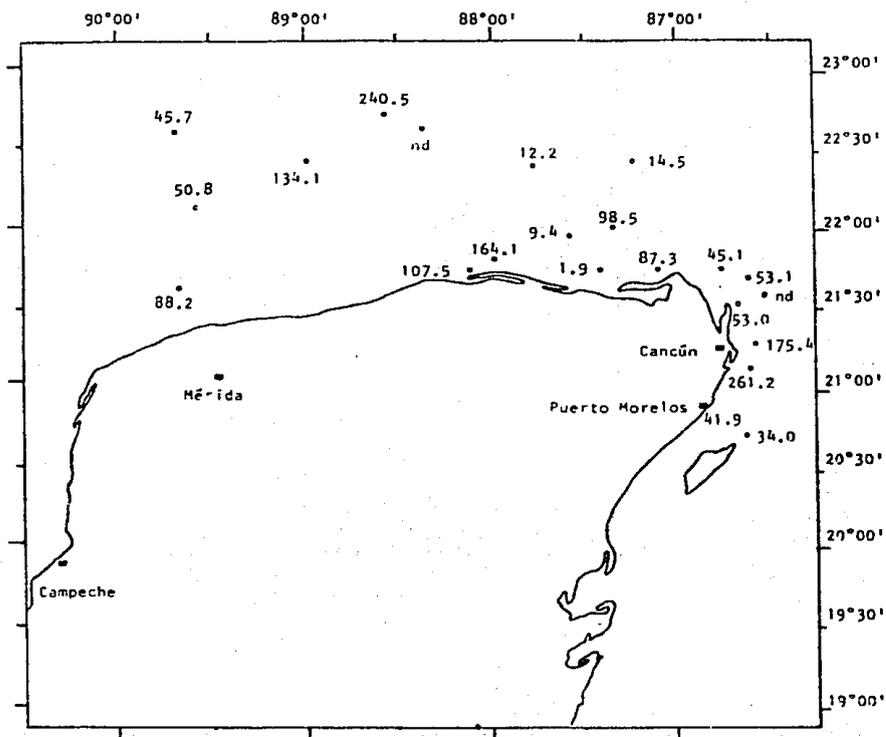


Figura 8. Concentración total de hierro (p. p.m.) en sedimentos recientes de la región del Caribe Mexicano (a a bril y septiembre de 1985) y la concentración promedio en la estación de Puerto Morelos (junio de 1985 y julio de 1986).

El zinc (Zn) presentó concentraciones que fueron de - 5.29 p. p. m. para junio de 1985 a 5.33 p.p.m. en julio - de 1986 (Tabla 5) con una concentración promedio de 5.31 p.p.m. (Figura 6).

El níquel (Ni) por su parte aumentó su concentración - variando de 90.07 p.p.m. para junio de 1985 a 107.95 p.p.m. en julio de 1986 (Tabla 5) con una concentración promedio - de 99.01 p.p.m. (Figura 7).

Por último el fierro (Fe) disminuyó su concentración - de 53.63 p.p.m. en junio de 1985 a 30.17 p.p.m. para julio de 1986 (Tabla 5), mostrando una concentración promedio de - 41.90 p.p.m. (Figura 8).

Tabla 5. Concentración de zinc, níquel y fierro (p.p.m.), materia orgánica (%C) y carbonatos (%CO₃) en sedi_lmentos recientes de la estación de Puerto Morelos Quintana Roo.

Fecha	Zn	Ni	Fe	% C	%CO ₃
Junio 1985	5.29	90.07	53.63	0.3	9.65
Julio 1986	5.33	107.95	30.17	0.3	9.62
Promedio	5.31	99.01	41.90	0.3	9.63

Laguna de Bojórquez.

En esta zona, aparte de registrar concentraciones de zinc, níquel y fierro, también se obtuvieron concentraciones de cobre.

En la Tabla 6 se presentan las concentraciones de zinc, níquel, fierro y cobre durante junio de 1985 y enero y julio de 1986. En la Figura 9 están representadas las estaciones analizadas durante las mismas fechas.

La concentración de zinc (Zn) por estación mostró poca variación a excepción de las estaciones número 9 y 13 (Figura 9), las cuales registraron valores promedio de 43.64 p.p.m. y 31.94 p.p.m. (Tabla 6A y Figura 10) durante enero y julio de 1986. No obstante, se aprecia un aumento espacio-temporal, esto es, para junio de 1985 se tuvo un promedio de 5.29 p.p.m., mientras que para enero y julio de 1986 se registraron valores promedio de 10.32 p.p.m. y 25.06 p.p.m., respectivamente.

El níquel (Ni), al contrario que el zinc, varía más su concentración en cada estación (Figura 11), sin embargo, el promedio por temporada no cambió notablemente, ya que para junio de 1985 se registraron 81.69 p.p.m., en enero de 1986 79.91 p.p.m. y en julio del mismo año 97.11 p.p.m.

El fierro (Fe) también mostró variación en cuanto a la concentración por estación (Figura 12), sobre todo en la estación número 9 (Figura 9), la cual registró el valor promedio más alto, siendo de 411.42 p.p.m. (Tabla 6A y Figura 12) al igual que la concentración espacio temporal oscilando de 168.51 p.p.m. en junio de 1985 y 197.97 p.p.m. y 245.53 p.p.m. para los meses de enero y julio de 1986 respectivamente (Tabla 6).

Metales Biodisponibles.

El análisis de metales biodisponibles de zinc, níquel, fierro, cobre, cobalto, cromo, cadmio, plomo y manganeso no arrojó ningún dato tanto para la región del Caribe Mexicano, como en la Laguna de Bojórquez y la estación de Puerto Morelos.

Materia Orgánica.

La materia orgánica juega un papel importante en la distribución de los metales pesados. En el medio acuático exis-

Tabla 6. Concentración de metales pesados totales (p.p.m.) en sedimentos recientes de la Laguna de Bojórquez, Quintana Roo.

Fecha	Estación	Zn	Ni	Fe	Cu	Co, Cr, Cd, P, Mn.
Junio 1985	01	5.47	102.08	161.90	nd	nd
	02	6.93	75.36	126.18	nd	nd
	03	8.18	78.90	182.77	nd	nd
	04	3.43	51.96	224.28	nd	nd
	05	2.45	100.15	147.41	nd	nd
	Promedio	5.29	81.69	168.51		
Enero 1986	02	10.92	73.95	331.43	nd	nd
	04	7.34	88.86	297.52	nd	nd
	06	9.66	123.45	150.32	nd	nd
	07	2.15	79.48	104.59	nd	nd
	09	41.53	116.90	406.05	46.05	nd
	10	6.49	53.09	113.73	nd	nd
	13	6.72	28.38	230.85	nd	nd
	15	5.61	72.16	119.84	nd	nd
	16	2.43	82.94	27.27	nd	nd
	Promedio	10.32	79.91	197.97		
Julio 1986	01	19.52	109.42	109.41	nd	nd
	03	8.11	93.95	183.33	nd	nd
	04	19.56	103.23	240.04	nd	nd
	05	10.53	117.33	245.69	nd	nd
	09	45.74	90.63	416.67	22.30	nd
	12	14.84	51.11	216.53	nd	nd
	13	57.15	114.46	307.02	nd	nd
	Promedio	25.06	97.16	245.53		
Promedio total	14.04	86.09	206.81	34.18		
Rango de a		2.43	28.38	27.27	22.30	
		57.15	123.45	416.67	46.05	

nd - No detectable

Tabla 6A. Promedio de la concentración total de zinc, níquel y fierro (p.p.m.) en sedimentos recientes de la Laguna de Bojórquez, Quintana Roo.

Estación	Zn	Ni	Fe
01	12.50	105.75	135.66
02	8.93	74.66	228.81
03	8.15	86.43	183.05
04	10.11	81.35	253.95
05	6.49	108.74	196.55
06*	9.66	123.45	150.32
07*	2.15	79.48	104.59
09	43.64	103.77	411.42
10*	6.49	53.09	113.73
12*	14.84	51.11	216.53
13	31.94	71.42	268.94
15*	5.61	72.16	119.84
16*	2.43	82.94	27.27

* Valores totales.

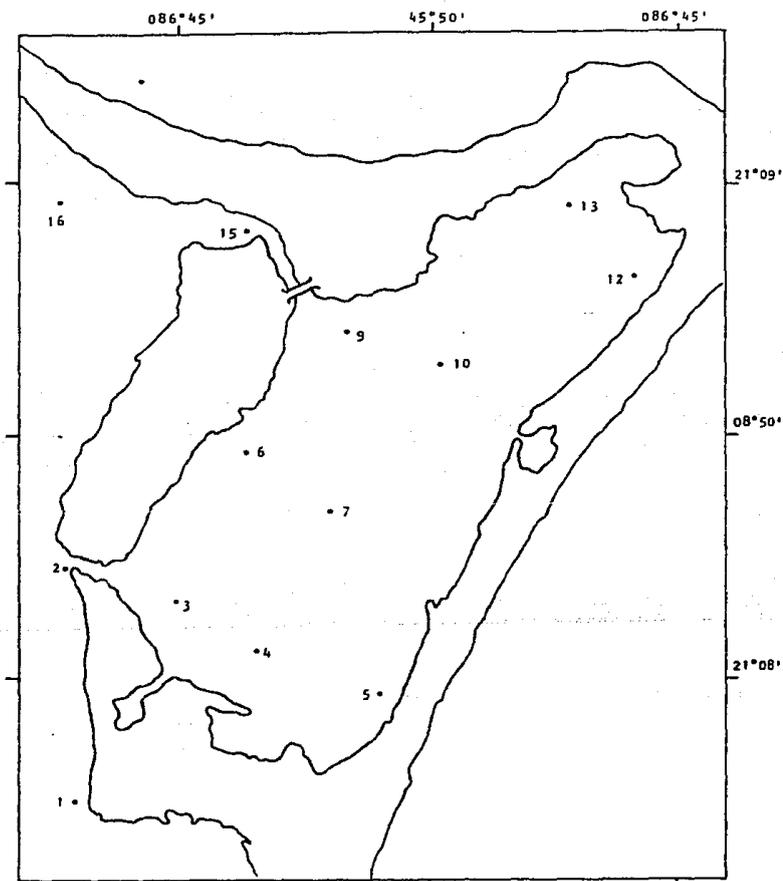


Figura 9. Estaciones de muestreo en la Laguna de Bojórquez, Quintana Roo, durante junio de 1985 y enero y julio de 1986.

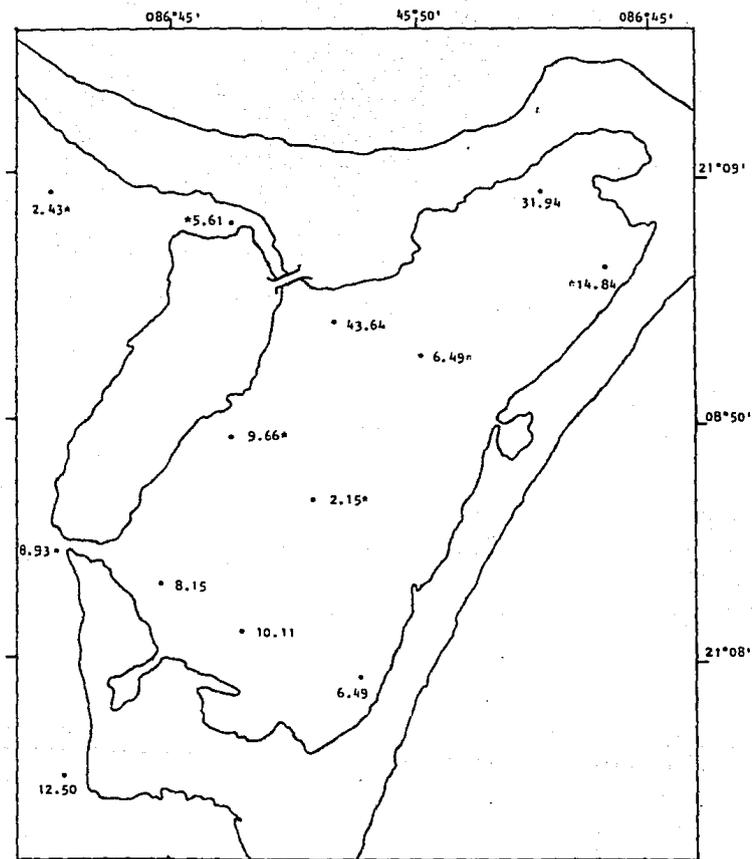


Figura 10. Concentración promedio de zinc (p.p. m.) en sedimentos recientes de la Laguna de Bojórquez durante junio, 1985 y enero y julio, 1986.

(*) Valores totales.

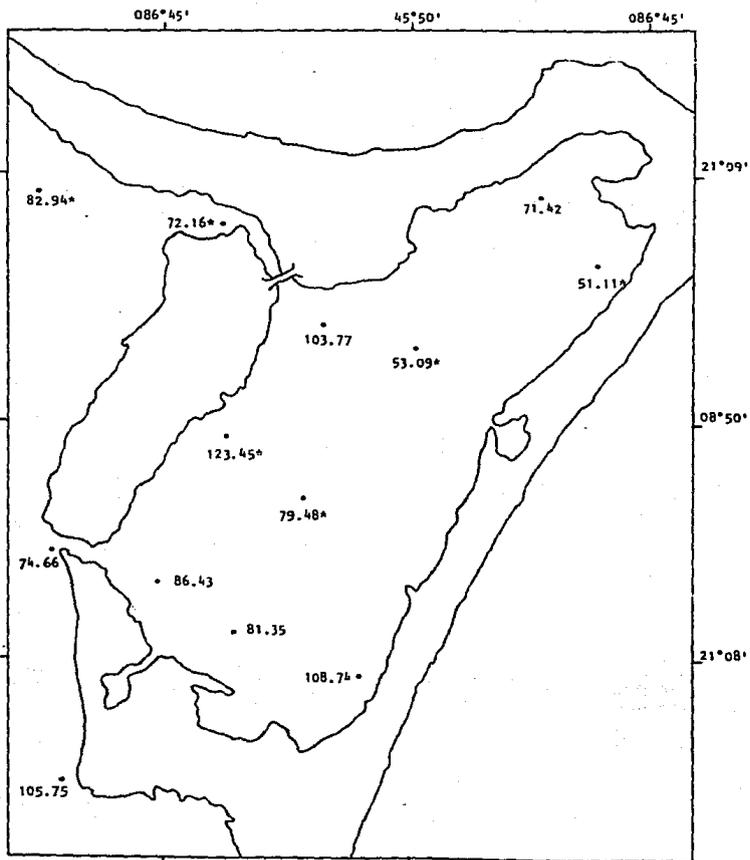


Figura 11. Concentración promedio de níquel (p. p.m.) en sedimentos recientes de la Laguna de Bojórquez durante junio de 1985 y enero y julio de 1986.

(*) Valores totales.

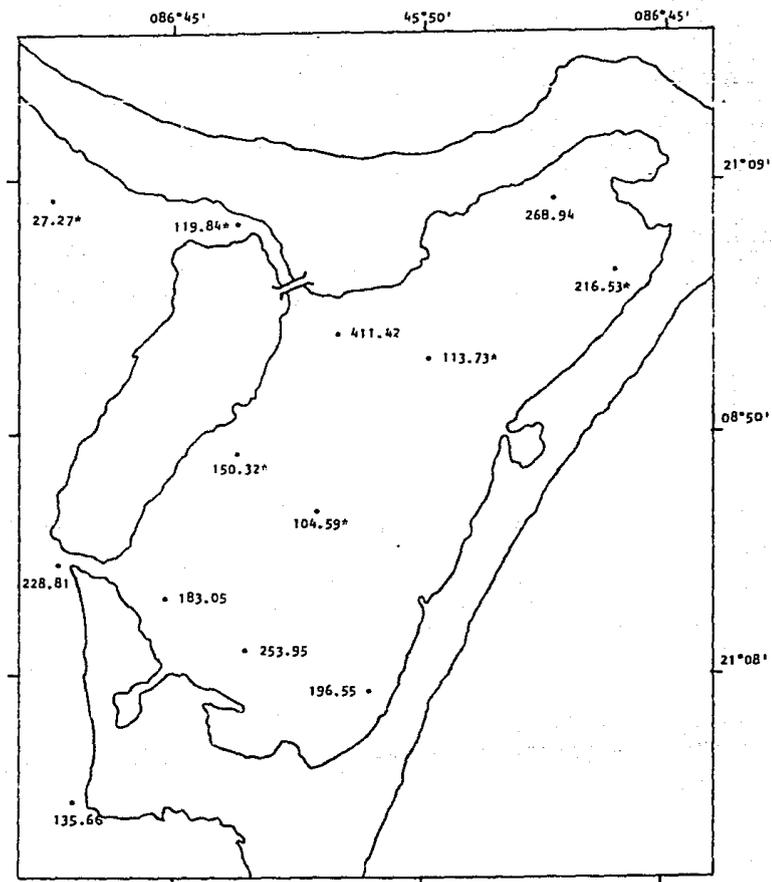


Figura 12. Concentración promedio de fierro (p.p.m.) en sedimentos recientes de la Laguna de Bojórquez durante junio, 1985 y enero y julio, 1986.

(*) Valores totales.

te una gran variedad de compuestos orgánicos capaces de formar grandes complejos con los metales modificando su comportamiento (Mandelli, 1979).

Los valores obtenidos de esta parámetro fueron mayores en la Laguna de Bojórquez con un promedio de 4.41 (%C) (Tabla 8) seguida de la región del Caribe Mexicano con 0.39 (%C) (Tabla 7) y por último la estación de Puerto Morelos con un promedio de 0.3 (%C) (Tabla 5).

Carbonatos.

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

Al contrario que la materia orgánica, los valores más altos de carbonatos estuvieron registrados en la estación de Puerto Morelos con un promedio de 9.63 (%CO₃), después la región del Caribe Mexicano con 9.09 (%CO₃) y por último la Laguna de Bojórquez con un valor promedio de 6.98 (%CO₃). En las Tablas 5, 7 y 8 están representados los valores de cada área estudiada.

Granulometría.

El tamaño del grano puede darnos una idea de la cantidad de metales que pueden estar asociados a ellos. Los sedimentos de grano fino retienen con mayor facilidad a los metales que aquéllos de grano grueso (Waldichuk, 1985).

En la Tabla 8 están representados los valores porcentuales de gravas, arenas y lodos para ciertas estaciones de la Laguna de Bojórquez.

Para establecer hasta qué punto los parámetros antes mencionados están interactuando con los metales y éstos entre sí, se realizó un análisis de correlaciones. En la Tabla 9 se presentan de manera general los coeficientes de correlación en la región del Caribe Mexicano y en la Laguna de Bojórquez.

En el caso del Caribe Mexicano sólo se aprecia una ligera correlación entre el zinc (Zn) y el fierro (Fe), ya que se considera una interacción cuando los valores son mayores de 0.5 y entre estos dos metales existió un coeficiente de 0.666.

Tabla 7. Concentración de materia orgánica (%C) y carbonatos (%CO₃) en sedimentos recientes de la región del Caribe Mexicano.

Fecha	Estación	% C	% CO ₃
Abril 1985	04	0.2816	9.27
	07	0.3603	8.95
	09	0.6386	9.20
	19	0.4009	8.57
	20	0.5264	8.73
	25	0.3045	9.58
	26	0.2260	9.11
	28	0.3606	8.50
	33	0.2527	9.74
	38	0.4633	9.27
	41	0.5098	9.11
	50	0.3345	9.04
	52	0.3827	9.52
	56	0.4658	9.01
68	0.3075	8.95	
Sept. 1985	09 ¹	0.3428	8.89
	15	0.4764	8.85
	37	0.4228	8.82
	85	0.4193	9.55
	89	0.4398	9.01
	98	0.4667	9.14
Promedio		0.39	9.09

Tabla 8. Concentración de materia orgánica (%C), carbonatos (%CO₃) y granulometría (% de grava, arena y lodo) en sedimentos recientes de la Laguna de Bojórquez, Quintana Roo.

Fecha	Estación	%C	%CO ₃	Grava	Arena	Lodo
Junio 1985	01	1.9	6.38			
	02	4.9	6.57			
	03	8.0	6.57			
	04	2.7	7.33			
	05	2.9	6.98			
Promedio		4.08	6.77			
Enero 1986	02	4.1	6.74	0.0	51.33	48.46
	04	6.7	6.69			
	06	4.7	7.08			
	07	7.3	6.98	1.49	51.15	47.35
	09	6.2	5.90			
	10	5.4	6.95	13.07	69.15	17.77
	13	3.9	8.06			
	15	1.9	8.09			
	16	0.5	9.01			
Promedio		4.52	7.28			
Julio 1986	01	3.0	8.00	9.83	75.33	14.83
	03	4.0	6.79	20.48	57.29	22.20
	04	5.5	6.54	45.90	41.69	12.40
	05	4.9	6.44	1.38	75.11	23.49
	09	6.2	5.58	1.24	52.09	46.66
	12	4.9	6.54	8.24	75.95	15.79
	13	3.1	7.33			
	Promedio		4.51	6.75		
Promedio total		4.41	6.98	12.70	61.01	27.66

Tabla 9. Cuadro comparativo del coeficiente de correlación de zinc (Zn), níquel (Ni) y fierro (Fe) con materia orgánica (MO), carbonatos (CO₃), gravas, arenas y lodos en la región del Caribe Mexicano y en la Laguna de Bojórquez.

Fecha	Parámetros	M.O.	%CO ₃	Fe	Ni	Gravas	Arenas	Lodos
<u>Caribe Mexicano</u>								
Abril y Sept. 1985	Zn	0.470	0.201	0.666*	0.326			
	Ni	0.313	0.033	0.307				
	Fe	0.218	0.314					
<u>Laguna de Bojórquez</u>								
Junio 1985	Zn	0.780*	0.628*	0.205	0.060			
	Ni	0.270	0.010	0.512				
	Fe	0.446	0.682*					
Enero 1986	Zn	0.306	0.641*	0.744*	0.493			
	Ni	0.206	0.429	0.219				
	Fe	0.465	0.729*					
Julio 1986	Zn	0.263	0.339	0.735*	0.130	0.202	0.284	0.355
	Ni	0.374	0.371	0.128		0.112	0.270	0.046
	Fe	0.794*	0.856*			0.190	0.330	0.376

* Coeficientes de correlación por arriba de 0.5.

En la Laguna de Bojórquez se presentó un comportamiento distinto del Caribe Mexicano, como por ejemplo entre el fierro (Fe) y la proporción de carbonatos. Durante las tres estaciones de muestreo, la relación existente entre éstos fué en aumento presentándose coeficientes de 0.682 en junio de 1985 y 0.729 y 0.856 para enero y julio de 1986. Parece ser que a pesar que la proporción de carbonatos se mantiene casi estable para las tres estaciones, el fierro sí aumenta (aunque en poca proporción) con respecto al tiempo, lo cual se refleja en el incremento de la correlación.

También dentro de la Laguna de Bojórquez se observó una relación del fierro con la materia orgánica de 0.794 en el mes de julio de 1986.

El zinc por su parte, presentó una correlación de 0.780 con la materia orgánica durante junio de 1985, con los carbonatos 0.628 (junio de 1985) y 0.641 (enero de 1986) y por último con el fierro en enero y julio de 1985 de 0.744 y 0.735 respectivamente.

El tipo de sedimento en la Laguna de Bojórquez y la relación con los metales pesados zinc, níquel y fierro, no presentó alguna interacción entre ambos que pueda considerarse, dado que los valores obtenidos en este caso están por abajo de 0.5.

Otros estudios realizados de metales pesados dentro de la zona del Caribe Mexicano son los que corresponden al área del Golfo de México. Comparando los resultados de dichas zonas con los de este estudio, como lo muestra la Tabla 10, puede observarse lo siguiente:

- El zinc (Zn) se encuentra dentro de los valores reportados para el Golfo de México a excepción de Río Blanco y Río Coatzacoalcos, los cuales presentan concentraciones más altas, 90.0 p.p.m. y 85.7 p.p.m. respectivamente.
- El níquel (Ni) cae dentro de los valores reportados para casi toda el área, menos para Río Blanco, Río Coatzacoalcos y Laguna de Términos (Bottello, 1983) con valores más bajos de 35.9 p.p.m., 34.8 p.p.m. y 25.9 p.p.m. en cada caso.
- Tanto la Laguna de Bojórquez, el Caribe Mexicano y la estación de Puerto Morelos, las concentraciones de fierro están por abajo del resto de las áreas del Golfo de México, presentando valores de 206.81 p.p.m., 79.87 p.p.m. y 41.90 p.p.m. respectivamente.

Tabla 10. Cuadro comparativo de la concentración promedio de metales pesados (p.p.m.) en sedimentos de la región del Caribe Mexicano, Laguna de Bojórquez y la estación de Puerto Morelos con diferentes áreas del Golfo de México.

Localidad	Zn	Ni	Fe	Cu	Co	Cr	Cd	Pb	Mn	Referencias
Caribe Mexicano	20.73	65.26	79.87	nd	nd	nd	nd	nd	nd	Este estudio.
Laguna de Bojórquez, Q. Roo	14.04	86.09	206.81	34.18	nd	nd	nd	nd	nd	Este estudio.
Puerto Morelos, Q. Roo	5.31	99.01	41.90	nd	nd	nd	nd	nd	nd	Este estudio.
Laguna de Términos, Camp.	20.4	50.9		7.4	12.3	47.2	1.3	34.0		Ponce, 1987.
Laguna de Términos, Camp.	21.09	25.99	3038						nd	Botello, 1983.
Laguna de Atasta, Camp.						3.77	1.08	1.52		Rosas <u>et.al.</u> , 1983.
Laguna del Carmen, Tab.						4.60	7.09	3.04		Rosas <u>et.al.</u> , 1983.
Río Tonelá, Ver.	66.5	98.4	1200	22.2	17.6	nd	nd	nd	157	Villanueva, 1987.
Río Coatzacoalcos, Ver.	85.7	34.8	3840	25.7	21.6	71.9	1.6	43.5		Villanueva, 1987.
Laguna del Ostión, Ver.	62.1	50.7	4000	39.9	35.8		140.7	nd		Villanueva, 1987.
Río Blanco, Ver.	90	35.9	38450	27.1	25.4	83	1.64	31.6	827	Villanueva, 1987.
Laguna de Mandinga, Ver.						2.24	1.54	3.03		Rosas <u>et.al.</u> , 1983.
Laguna de Tampachoco, Ver.						0.89	2.56	1.86		Rosas <u>et.al.</u> , 1983.

- El cobre está representado en la Laguna de Bojórquez con un valor promedio de 34.18 p.p.m. para los meses de enero y julio de 1986, siendo este valor similar con el resto de las áreas del Golfo de México. Cabe mencionar sin embargo, que los valores de cobre en la Laguna de Bojórquez, sólo corresponden a la estación número 9 (Figura 9).

Metales Pesados en Pastos Marinos.

Estos resultados corresponden al área de la Laguna de Bojórquez durante el mes de julio de 1986. Las especies colectadas fueron Thalassia testudinum, Halodule wrightii y Ruppia maritima. En la estación de Puerto Morelos la especie colectada fue Thalassia testudinum durante la misma fecha.

Al igual que los nueve metales analizados para sedimentos, únicamente tres de ellos zinc, fierro y manganeso fueron detectados en los pastos marinos.

Laguna de Bojórquez.

En la Tabla 11 están representadas las estaciones de colecta. Sólo en Thalassia testudinum se analizaron por separado hojas y rizomas, en las demás especies fué la muestra completa.

Los valores promedio de zinc (Zn) en Thalassia testudinum tanto de hojas como de rizomas en las estaciones 1, 3 y 12 (Tabla 11) mostraron concentraciones que van de no detectable (nd) para la estación número 1 y un promedio de hojas y rizomas de 8.96 p.p.m. para la estación 3 y 9.25 p.p.m. en la estación 12.

En la estación número 5 correspondiente a los pastos Halodule wrightii y Ruppia maritima, los niveles de zinc son símilares, con concentraciones de 2.85 p.p.m. y 2.66 p.p.m. en cada caso; sin embargo para la estación 13 los valores de zinc en Ruppia maritima aumentaron alrededor de siete veces con respecto a la otra especie de Ruppia maritima (estación 5) registrando 16.20 p.p.m.

El fierro (Fe) se mantiene casi estable en todos los pastos con valores que van de 65.62 p.p.m. en Ruppia maritima (estación 13) a 45.14 p.p.m. en Thalassia testudinum (valor promedio entre hojas y rizomas) de la estación número 1.

- El cobre está representado en la Laguna de Bojórquez con un valor promedio de 34.18 p.p.m. para los meses de enero y julio de 1986, siendo este valor similar con el resto de las áreas del Golfo de México. Cabe mencionar sin embargo, que los valores de cobre en la Laguna de Bojórquez, sólo corresponden a la estación número 9 (Figura 9).

Metales Pesados en Pastos Marinos.

Estos resultados corresponden al área de la Laguna de Bojórquez durante el mes de julio de 1986. Las especies colectadas fueron Thalassia testudinum, Halodule wrightii y Ruppia maritima. En la estación de Puerto Morelos la especie colectada fue Thalassia testudinum durante la misma fecha.

Al igual que los nueve metales analizados para sedimentos, únicamente tres de ellos zinc, fierro y manganeso fueron detectados en los pastos marinos.

Laguna de Bojórquez.

En la Tabla 11 están representadas las estaciones de colecta. Sólo en Thalassia testudinum se analizaron por separado hojas y rizomas, en las demás especies fué la muestra completa.

Los valores promedio de zinc (Zn) en Thalassia testudinum tanto de hojas como de rizomas en las estaciones 1, 3 y 12 (Tabla 11) mostraron concentraciones que van de no detectable (nd) para la estación número 1 y un promedio de hojas y rizomas de 8.96 p.p.m. para la estación 3 y 9.25 p.p.m. en la estación 12.

En la estación número 5 correspondiente a los pastos Halodule wrightii y Ruppia maritima, los niveles de zinc son similares, con concentraciones de 2.85 p.p.m. y 2.66 p.p.m. en cada caso; sin embargo para la estación 13 los valores de zinc en Ruppia maritima aumentaron alrededor de siete veces con respecto a la otra especie de Ruppia maritima (estación 5) registrando 16.20 p.p.m.

El fierro (Fe) se mantiene casi estable en todos los pastos con valores que van de 65.62 p.p.m. en Ruppia maritima (estación 13) a 45.14 p.p.m. en Thalassia testudinum (valor promedio entre hojas y rizomas) de la estación número 1.

Tabla 11. Concentración total de metales pesados (p.p.m./peso seco) en pastos marinos de la Laguna de Bojórquez, - Quintana Roo, durante julio de 1986.

Estación	Pasto marino	Zn	Fe	Mn	Cu, Co, Cr, Cd, Pb, Ni.
01	<u>Th. testudinum</u>				
	hoja	nd	12.5	nd	nd
	rizoma	nd	77.79	nd	
	promedio		45.14		
03	<u>Th. testudinum</u>				
	hoja	5.18	44.51	21.13	nd
	rizoma	12.75	77.85	13.00	
	promedio	8.96	61.18	17.06	
05	<u>H. wrightii</u>	2.85	59.83	54.29	nd
05	<u>R. maritima</u>	2.66	60.73	39.36	nd
12	<u>Th. testudinum</u>				
	hoja	6.16	57.34	57.36	nd
	rizoma	12.34	43.22	19.57	
	promedio	9.25	50.28	38.46	
13	<u>R. maritima</u>	16.20	65.62	245.15	

nd - No detectable.

Por último el manganeso (Mn) mostró una mayor concentración en Ruppia maritima de la estación 13 con 245.15 p.p.m. - seguida de Halodule wrightii (estación 5) con 54.29 p.p.m., - Ruppia maritima de la misma estación con 39.36 p.p.m. y finalmente Thalassia testudinum con promedios de 38.46 p.p.m. (estación número 12) y 17.06 p.p.m. en la estación número 3.

Puerto Morelos.

Las concentraciones de zinc (Zn) en Thalassia testudinum de la estación de Puerto Morelos fueron de 0.70 p.p.m. en hojas y 1.20 p.p.m. en rizomas (Tabla 12).

El fierro (Fe) mostró una concentración en la misma especie de 51.69 p.p.m. en hojas y 129.11 p.p.m. en rizomas (Tabla 12).

Las concentraciones de manganeso (Mn) fueron de 18.65 p.p.m. en hojas y 14.39 p.p.m. en rizomas también en Thalassia testudinum (Tabla 12).

Tabla 12. Concentración de zinc, fierro y manganeso en Thalassia testudinum de la estación de Puerto Morelos, - Quintana Roo durante julio de 1986.

	Zn	Fe	Mn
Hoja	0.70	51.69	18.65
Rizoma	1.20	129.11	14.39

El mayor número de estudios realizados en diferentes áreas referentes a metales pesados en pastos marinos han sido en la especie Thalassia testudinum como los reportados por Pulich (1976), Burrell (1977) y Botello (1983). La Tabla 13 muestra una comparación entre los resultados obtenidos por estos autores y los del presente estudio.

Como puede apreciarse, las concentraciones obtenidas para este estudio caen dentro de los valores en comparación; el zinc (Zn) para la Laguna de Bojórquez y la estación de Puerto Morelos son bajos al igual que en Laguna Madre, observándose en el resto de las áreas concentraciones superiores.

Tabla 13. Cuadro comparativo de la concentración de zinc, hierro, níquel, cobre y manganeso (p.p.m.) en *Thalassia testudinum* de la Laguna de Bojórquez y la estación de Puerto Morelos, Quintana Roo, con otras áreas.

Localidad	Zn		Fe		Ni		Co		Mn	
	H	R	H	R	H	R	H	R	H	R
Laguna de Bojórquez, Q. Roo. Este estudio.	nd- 6.1	nd- 12.7	12.5- 57.3	44.2- 77.8	nd	nd	nd	nd	nd- 57.3	nd- 19.5
Puerto Morelos, Q. Roo. Este estudio.	0.70	1.20	51.6	129.11	nd	nd	nd	nd	18.6	14.3
Laguna de Términos, Camp. Botello, 1983.	5.3- 45.8	7.28- 56.14	105.8- 495.5	201.4- 1617.1	2.8- 17.5	4.20 16.0	3.1- 26.3	6.0- 37.8	17.5- 33.2	8.6- 72.3
Bahía Biscain, Fl. Burrel, 1977.	1	0	250 - 720		2	0	7.2 - 72		49 - 240	
Laguna Madre, Tex. Pulich, 1976.	0.18- 2.0	4- 37	7.2- 13	50	nd	nd	5.7	3.7	10- 97	20- 63

H - Hoja

R - Rizoma

nd - No detectable

El fierro en general se encuentra por abajo de las concentraciones reportadas para las demás regiones en comparación.

Por último el manganeso (Mn) tanto para la Laguna de Bojórquez como para la estación de Puerto Morelos, presentan concentraciones bajas en comparación con el resto de las áreas.

Las concentraciones reportadas para este estudio pueden considerarse niveles naturales, encontrándose dentro de un rango de tolerancia (Botello y Mandelli, 1979). El límite de tolerancia es un rango de concentración que, si bien no favorece el crecimiento, tampoco lo disminuye.

DISCUSION

Metales Pesados en Sedimentos.

A pesar de que las dos áreas de estudio, Caribe Mexicano y Laguna de Bojórquez, están consideradas como ecosistemas distintos, el comportamiento de la concentración de zinc, níquel y fierro siguió un mismo patrón: primero el fierro fué el que registró siempre una mayor concentración, lo cual era de esperarse por ser uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre. Estas concentraciones son debidas a la presencia de minerales detríticos que se encuentran unidos a las partículas de textura arenosa, o bien a la coprecipitación de metales en forma de óxidos de fierro por la presencia de carbonatos y materia orgánica.

El segundo fué el níquel que, aunque no es tan abundante en la corteza terrestre como el fierro, es un metal esencial para el metabolismo de los seres vivos y al parecer, no tiene efectos tóxicos en el ambiente acuático (Botello y Páez, 1986).

Por último, el zinc con valores más bajos. A pesar que es un elemento esencial que se encuentra en abundancia en el cuerpo humano, es generalmente de baja toxicidad en la vida acuática, aunque algunas especies son sensibles a leves concentraciones de zinc (Botello y Páez, 1986).

El comportamiento en la distribución de las concentraciones no puede considerarse como una característica general en cualquier caso, debido a que las condiciones geológicas, físico químicas, biológicas y antropogénicas en todo el mundo guardan una condición específica. Un ejemplo de ello se muestra en la Tabla 14 con respecto a las concentraciones de algunos metales pesados en sedimentos de diferentes áreas del mundo.

Como puede apreciarse, otros elementos aparte del zinc, níquel y fierro logran concentraciones superiores, mostrando un comportamiento distinto al mencionado para este estudio.

No obstante en la similitud del comportamiento de la concentración de zinc, níquel y fierro en la región del Caribe Mexicano y la Laguna de Bojórquez, esta última mostró concentraciones por arriba que el Caribe Mexicano con respecto al níquel y fierro (Figura 13); en cambio el zinc se mantiene más alto en la región del Caribe Mexicano con un promedio de 20.73 p.p.m., mientras que la Laguna de Bojórquez registró un promedio de 14.04 p.p.m.; la diferencia entre ambas regiones fué del orden de 6 p.p.m.

Tabla 14. Cuadro comparativo de la concentración promedio de metales pesados (p.p.m.) en sedimentos de la región del Caribe Mexicano, Laguna de Bojórquez y la estación de Puerto Morelos con diferentes áreas del mundo.

Localidad	Zn	Ni	Fe	Co	Cr	Cd	Pb	Referencias
Caribe Mexicano.	20.73	65.26	79.87	nd	nd	nd	nd	Este estudio.
Laguna de Bojórquez, Q. Roo.	14.04	86.09	206.81	34.18	nd	nd	nd	Este estudio.
Puerto Morelos, Q. Roo.	5.31	99.01	41.90	nd	nd	nd	nd	Este estudio.
Bahía Casco.	65.4	17.6		15.5	34.5	0.47	26.8	Larsen <i>et.al.</i> , 1983.
Costa de Kuwait.	43	97	1.5	21	69	1.5	23	Anderlini <i>et.al.</i> , 1983.
Puerto de Bombay.	155	110	95.0	110	125	11.0	53	Patel <i>et.al.</i> , 1983.
Golfo Arabe de Kuwait.	44.6	96.9	1500	2.59		1.5	22.7	Al-Hashimi <i>et.al.</i> , 1985.
Bahía Machias.	35			9	16		13	Lyons <i>et.al.</i> , 1983.
Japón.	51	14	3.3	27	30	0.2	55	Yamamoto, 1968.
Golfo de Paria.		31		19	100		20	Hist, 1962.
Borde del Océano Atlántico.	95	55	6.0	48	100		20	Wedepohl, 1960.

nd = No detectable.

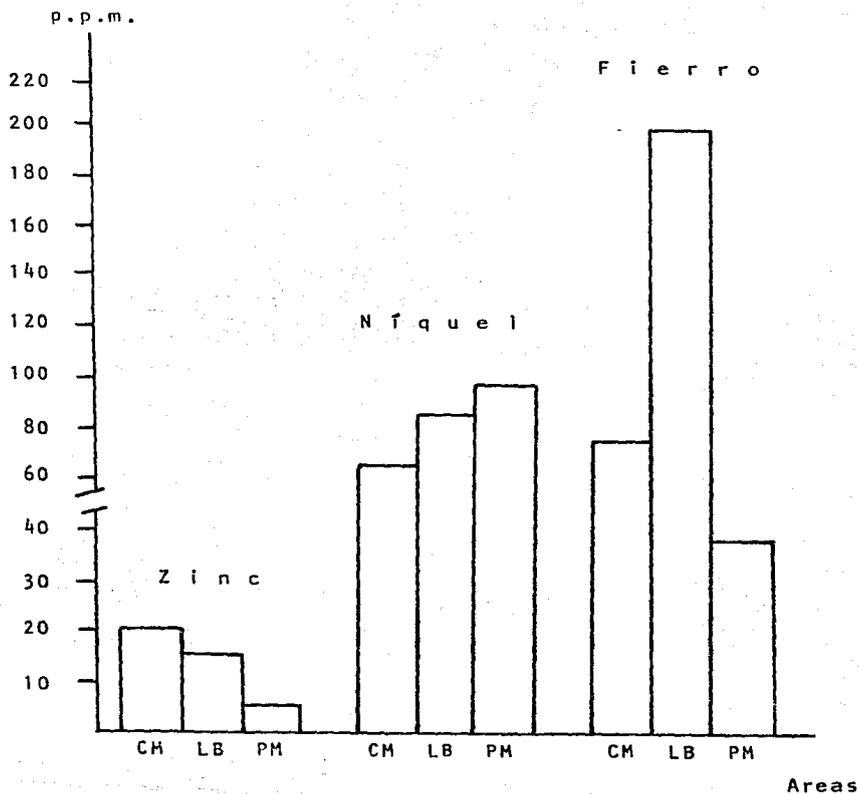


Figura 13. Comparación de la concentración promedio de zinc, níquel y fierro (p.p.m.) en sedimentos recientes del Caribe Mexicano (CM), Laguna de Bojórquez (LB) y la estación de Puerto Morelos (PM).

La Laguna de Bojórquez presentó variaciones notables del contenido de metales pesados durante junio de 1985 y enero y julio de 1986. Estas diferencias en cuanto a la concentración de zinc, níquel y fierro se atribuyen a que la Laguna de Bojórquez está sometida (al menos hasta el momento en que se realizó este estudio) a un proceso de eutroficación, debido en gran parte a las descargas de una planta de tratamiento de aguas residuales, este proceso de eutroficación no implica necesariamente un incremento en la concentración de metales pesados, sino más bien las descargas de aguas residuales, lo cual se ve reflejado, en particular en el área que corresponde a la estación número 9, donde se registraron las más altas concentraciones de zinc, níquel y fierro; además que es la única estación donde se detectaron niveles de cobre, aportados posiblemente por la planta de tratamiento.

Otra estación en la que se registraron altas concentraciones de estos tres metales pesados fué la número 13 durante enero y julio de 1986. El zinc aumentó de 6.72 p.p.m. a 57.15 p.p.m., el níquel de 28.38 p.p.m. a 114.46 p.p.m. y el fierro de 230.85 p.p.m. a 307.02 p.p.m. Este aumento tan notable indica que en dicha estación las condiciones bioquímicas, como los procesos de óxido-reducción de la materia orgánica, están aportando una mayor cantidad de metales o por otra parte, que las condiciones físicas de la Laguna de Bojórquez como los vientos sureste podrían estar favoreciendo la concentración de los metales en esta zona.

Una comparación en cuanto a la concentración de metales pesados en la región del Caribe Mexicano y la Laguna de Bojórquez fué la estación de Puerto Morelos, considerada como la línea costera con poca actividad y por lo tanto, casi nulo el aporte de metales pesados. A pesar de que la región del Caribe Mexicano y la estación de Puerto Morelos presentan características geológicas similares, son parte integral del Mar Caribe y están consideradas como zonas no impactadas, las concentraciones de metales pesados varían de una área a otra.

Un ejemplo de ello lo constituyen los valores registrados de zinc y fierro en las cuales la región del Caribe Mexicano presentó concentraciones superiores a la estación de Puerto Morelos, sin embargo, en el caso del níquel, éste mostró una mayor concentración en la estación de Puerto Morelos que en la región del Caribe Mexicano.

Lo mismo sucede comparando la Laguna de Bojórquez y la estación de Puerto Morelos. En el caso del zinc y el fierro, la Laguna de Bojórquez está por arriba de la estación de Puerto Morelos, no obstante, el níquel presentó una concentración superior a la concentración de la Laguna de Bojórquez. Esto lle-

va a concluir que la concentración de metales pesados en cada área depende de las características geológicas, fisicoquímicas, biológicas y antropogénicas prevaletentes en cada una de ellas.

Materia Orgánica.

El hecho de que la Laguna de Bojórquez haya registrado los valores más altos de este parámetro, se debió a que recibía con siderables aportes de materia orgánica provenientes del material detrítico producido por la descomposición de praderas de pastos marinos, así como de las algas y por las descargas de la planta de tratamiento que vertía sus aguas en ésta. Aunado a esto, el contenido de materia orgánica se ve incrementado por la escasa circulación que presenta la Laguna de Bojórquez, la cual no favorece la dispersión de la materia orgánica.

Wood et.al. (1969) señala que el sedimento de las praderas de pastos marinos presentan un enriquecimiento de dos a tres veces mayor en el contenido de materia orgánica que en las áreas vecinas a ellas; esto pone en evidencia una contribución de materia orgánica proveniente de las hojas y rizomas de los pastos marinos (De la Lanza y Arenas, 1978). Al descomponerse éstos, el flujo de materia orgánica al sedimento es acompañado por un enriquecimiento de fierro, manganeso y cobre (Pulich et. al., 1976).

Los valores de materia orgánica en la región del Caribe - Mexicano y la estación de Puerto Morelos se debieron al material detrítico producido en estas zonas; además cabe mencionar que en dichas áreas no se presenta un aporte externo de materia orgánica que provoque un incremento en su concentración.

Carbonatos.

Inversamente, los carbonatos registraron valores superiores en la región del Caribe Mexicano y la estación de Puerto Morelos, en comparación con la Laguna de Bojórquez. Esto se debió principalmente a las características geográficas en las cuales se encuentra una extensa zona de arrecifes coralinos altamente productores de carbonatos y al tipo de sedimento constituido en su mayoría por arenas.

Granulometría.

Aunque sólo en unas cuantas estaciones de la Laguna de Bojórquez se efectuó el análisis granulométrico, éste constituida en su mayoría por arenas (61.01%), lodos (27.66%) y en me-

nor proporción por gravas (12.70%). Este hecho puede ser referido al origen y clasificación que da Lankford (1976) sobre las lagunas costeras de México.

Correlaciones.

Por los coeficientes de correlación existentes entre los metales pesados zinc, fierro y níquel, éstos entre sí y la materia orgánica, carbonatos y granulometría (ésta última únicamente en la Laguna de Bojórquez) se observó lo siguiente:

- En la región del Caribe Mexicano, la distribución de las concentraciones de zinc, níquel y fierro no están influenciadas por la presencia de materia orgánica y carbonatos, debido a que los coeficientes de correlación estuvieron por abajo de 0.5; sin embargo, se presentó una ligera correlación entre metales, esto es, en el caso del zinc y el fierro con 0.666, por lo que existe una pequeña relación en cuanto a la presencia de estos dos metales en la región del Caribe Mexicano.
- La Laguna de Bojórquez mostró correlaciones más significativas. La primera fué la relación entre la materia orgánica y el zinc en junio de 1985 con un valor de 0.780, lo cual demuestra que hay una fuerte asociación de los metales con la materia orgánica, debido a que una gran variedad de compuestos orgánicos que se producen al degradarse los organismos forman uniones con los metales, dando lugar a complejos relativamente estables.

La segunda relación significativa fué entre los metales zinc y fierro, durante enero y julio de 1986, con valores de 0.744 y 0.735 respectivamente. Este caso sugiere que aunque las concentraciones de los elementos varían entre sí, diferentes materiales sedimentarios contienen proporciones de algunos metales que varían sinérgica o antagónicamente.

La tercera relación fué entre el fierro y los carbonatos, durante enero y julio de 1986 con 0.729 y 0.856 en cada caso; esto es porque los carbonatos al combinarse con los metales pesados forman complejos relativamente estables, precipitándose y quedando almacenados en los sedimentos.

Metales Pesados en Pastos Marinos.

Las concentraciones de zinc y fierro en Thalassia testudinum de la Laguna de Bojórquez y la estación de Puerto Morelos, fueron en general mayores en rizomas y menores en hojas; por el contrario, el manganeso presentó un comportamiento distinto, en contrándose una mayor concentración en las hojas que en los rizomas de ambas regiones (Figura 14).

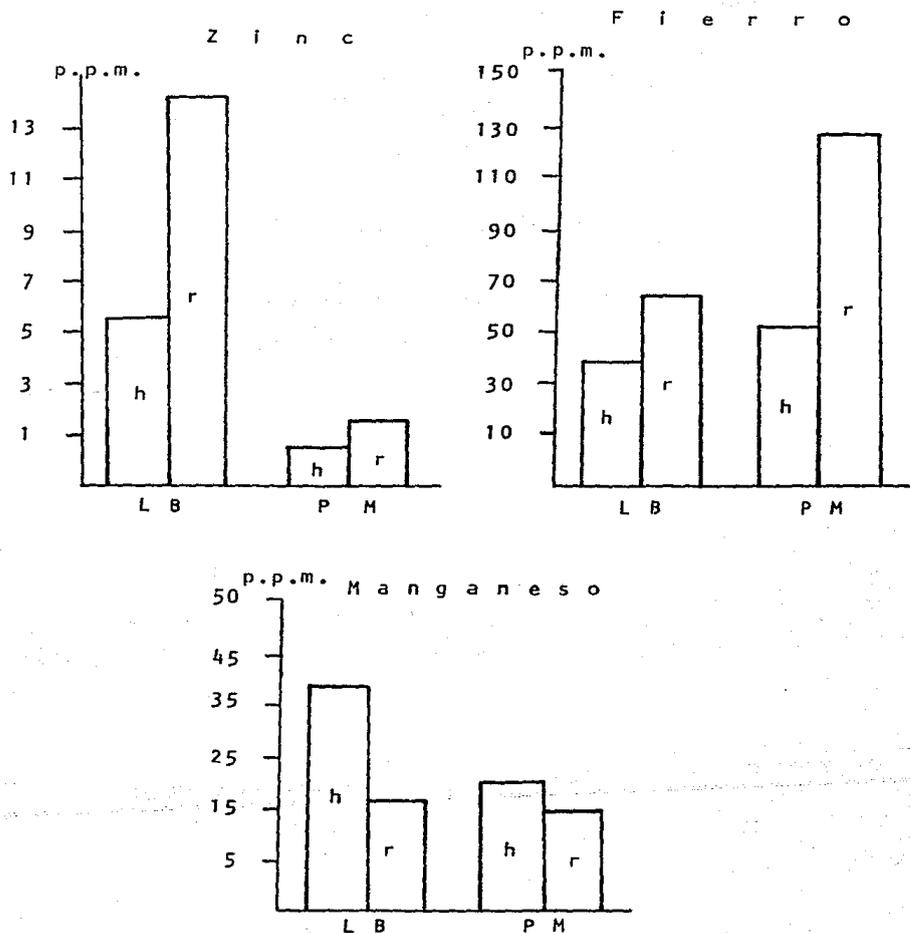


Figura 14. Concentración promedio de zinc, fierro y manganeso (p.p.m.) de *Thalassia testudinum* en hojas (h) y rizomas (r) de la Laguna de Bojórquez (LB) y la estación de Puerto Morelos (PM) durante julio, 1986.

Botello (1983) reporta también para Thalassia testudinum concentraciones superiores de manganeso en hojas y menores en rizomas. Este autor supone que el manganeso es requerido mayormente en las hojas que en los rizomas.

El mismo comportamiento en la distribución de la concentración de manganeso lo reportan Walsh y Grow (1973), encontrando una mayor concentración en las hojas que en los rizomas de la misma especie. Ellos sugieren que la variación de los elementos está asociada con la edad y los aspectos funcionales del material analizado.

Aunque la estación de Puerto Morelos no se encuentra dentro del área de la Laguna de Bojórquez, los metales registrados en Thalassia testudinum fueron los mismos, (zinc, fierro y manganeso), sin embargo, las concentraciones variaron de una zona a otra. Esta diferencia puede estar relacionada con la fisiología y la edad del pasto marino (Walsh y Grow, 1973).

Ruppia maritima mostró concentraciones superiores de manganeso y fierro, mientras que el zinc se mantuvo por abajo de éstos (Figura 15).

Esto mismo coincide con lo reportado por Walsh y Grow - (1973), donde las concentraciones de manganeso y fierro en Ruppia maritima estuvieron por arriba de los valores registrados para el zinc.

Al igual que la especie anterior, Halodule wrightii presentó mayores concentraciones de manganeso y fierro, mientras que el zinc se mantuvo con niveles más bajos (Figura 15).

Esta variación tanto en la distribución como en la concentración de metales pesados en los pastos marinos no se encuentra bien establecido aún.

En muchas macrofitas acuáticas, las concentraciones de algunos elementos declinan con la edad. Por ejemplo, las concentraciones de nitrógeno, fósforo, azufre, calcio y potasio, declinan con el tiempo en Typha latifolia y en Scripus americanus (Boyd, 1970).

Concentraciones de zinc, manganeso y fierro son menores - en Spartina alterniflora maduras (Williams y Murdock, 1969). Estos autores sugieren que el decremento puede ser debido a la disminución de la actividad de crecimiento de los tejidos.

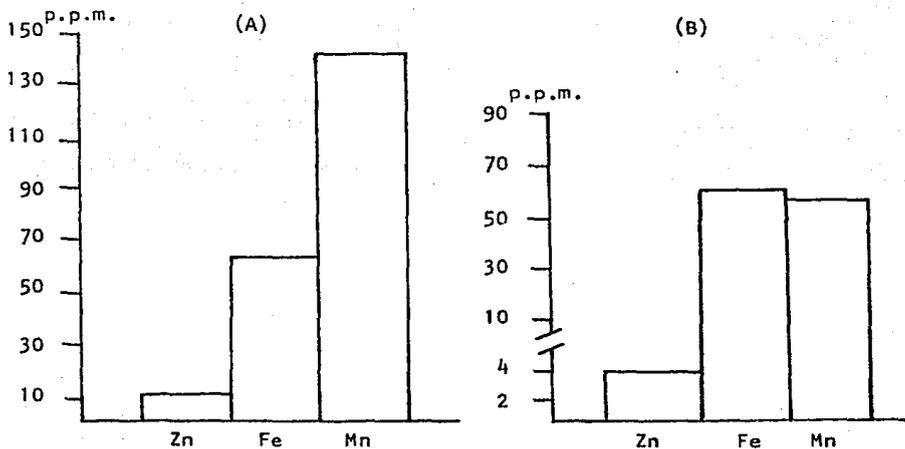


Figura 15. Comparación de la concentración de zinc (Zn), hierro (Fe) y manganeso (Mn) en p.p.m. de:

A) Ruppia maritima (concentración promedio),

B) Halodule wrightii (concentración total),

en la Laguna de Bojórquez, Quintana Roo, durante julio de 1986.

CONCLUSIONES

La razón por la cual sólo se hayan detectado tres metales pesados (zinc, níquel y fierro) en sedimentos de las zonas de estudio, es que son metales que se presentan en mayor grado sobre la corteza terrestre. Esto no quiere decir sin embargo, que el resto de los metales analizados (cadmio, cobre, cromo, cobalto, manganeso y plomo) no estén presentes, sino que están en concentraciones menores del límite detectable por el espectrofotómetro utilizado para el análisis de los metales pesados.

La materia orgánica y los carbonatos por su parte, son variables, que al combinarse con los metales pesados forman complejos relativamente estables, influyendo significativamente en la distribución de los mismos.

Estas variables contribuyeron de manera directa en la distribución del zinc y el fierro en los sedimentos de la Laguna de Bojórquez. En cambio, el tipo de sedimento en esta misma área no influyó en la distribución de la concentración de estos dos metales.

Por otro lado, en la región del Caribe Mexicano no se observó, por el momento, alguna relación entre la concentración de zinc, níquel y fierro con el contenido de materia orgánica y los carbonatos, por lo que su concentración puede que no dependa de la presencia de estos dos parámetros.

Dado que los pastos incorporan nutrimentos por medio de sus rizomas, los metales podrían ser absorbidos por este conducto; sin embargo, en el caso de la Laguna de Bojórquez y la estación de Puerto Morelos, no se registraron metales biodisponibles que pudieran ser tomados por los pastos, además no se detectaron concentraciones de manganeso en sedimentos, mientras que en los pastos sí. Esto conduce a deducir que las concentraciones registradas de zinc, fierro y manganeso en los pastos marinos son metales esenciales que forman parte de su metabolismo y que las diferencias en cuanto a la concentración, depende de la edad, de la fisiología y de las condiciones ambientales en que se desarrollan.

Las diferencias en cuanto a la concentración de zinc, níquel y fierro entre las áreas de estudio, puede deberse a las condiciones biogeoquímicas prevalecientes en cada una de ellas.

Cabe mencionar también, que la Laguna de Bojórquez, aparte de las características biogeoquímicas que presenta, estaba sometida (durante la realización del estudio) al impacto antrop

pogénico debido a las descargas de aguas residuales provenientes de una planta de tratamiento, pudiendo este hecho contribuir a las diferencias en cuanto a la distribución de la concentración de metales pesados y a la variación del contenido de materia orgánica.

Se concluye de manera general que la región del Caribe Mexicano (incluyendo la estación de Puerto Morelos) y la Laguna de Bojórquez no se encuentran aún impactadas por la presencia de metales pesados, tanto en sedimentos como en las praderas de pastos marinos.

LITERATURA CITADA

- AGEMIAN, H. y CHAW, A., 1976. Evaluation of extraction techniques for the determination of metals in aquatic sediments. *Analyst*. 101 (1207): 761-767.
- AL-HASHIMI, H.A. y SALMAN, H.H., 1985. Trace metals in the sediments of the north-western coast of the Arabian Gulf. *Mar. Poll. Bull.* 16 (3): 118-120.
- ALVAREZ, U., 1983. Metales pesados en sedimentos del Rfo Blanco, Veracruz. Tesis Maestría. U.A.C.PyP. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. U.N.A.M. México.
- ANDERLINI, U., MOHAMMAD, O., MANZIN, A., ZARBA., FOWLER y MIRAMAD, P., 1982. Trace metals in marine sediments of Kuwait. *Bull. Environment Contam. Toxicol.* 28: 75-80.
- ATWOOD, D.K., 1977. Regional oceanography as it relates to present and future pollution problems and living resources Caribbean. Collect contributions of invited lecturers and authors to the IOC/FAO/UNEP international workshop on marine pollution in the Caribbean and adjacent regions. IOC workshop report No. 11. Supplement. Paris. U.N.E.S.C.O.
- BOTELLO, A y MANDELLI, F., 1979. Distribution of normal paraffins in the leaves of Thalassia testudinum from the Gulf of México. *Bull.Mar.Sci.* 29 (3): 346-440.
- BOTELLO, A., 1983. Variación estacional del contenido de metales pesados en Thalassia testudinum y sedimentos en una zona costera del Golfo de México. Informe presentado al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la U.N.A.M.
- BOTELLO, A. y PAEZ, F., 1986. El problema crucial: La contaminación. Series medio ambiente en Coatzacoalcos, Vol. 1. Centro de Ecodesarrollo. México. 180p.
- BOYD, C., 1970. Amino acid, protein and caloric content of vascular aquatic macrophytes. *Ecology*. 51: 902-906.
- BRADY, M., 1972. Sedimentology and diagenesis of carbonate muds in coastal lagoons of NE Yucatán. Doctoral Thesis. Rice University of Houston. Texas.

- BRYAN, G.W., 1971. The effects fo heavy metals (other than mercury) on marine and estuarine organisms. Proc. R. Soc. London. Ser. B. 177: 389.
- BUCKLEY, D. y CRANSTON, R., 1971. Atomic absortion analysis of 18 elements from a single descomposition of aluminosilicates. Chem. Geol. (7): 273-284.
- BURREL, D. y SCHUBEL, J., 1977. Seagrass ecosystem oceanography. In: McRoy and C. Helfferich (Ed). Seagrass ecosystems: A scientific perspective. Marcel Dekker. New York.
- CONTRERAS, F., 1985. Las lagunas costeras mexicanas. Centro de Ecodesarrollo. Secretarfa de Pesca, México. 253p.
- CUNNINGHAM, P. y TRIP, M., 1973. Accumulation and depuration of mercury in the American oyster Crassostrea virginica. Mar. Biol. 20: 14.
- DE LA LANZA, E. y ARENAS, V., 1978. Naturaleza química de las hojas y rizomas de los pastos marinos y su ambiente sedimentario. Rev. Biol. Trop. 26 (2): 227-289.
- DUNSTAN, W. y WIDOM, H., 1974. The influence of environmental changes in heavy metals concentration on Spartina alterniflora. 2nd. Int. Estuarine conference.
- EMERY, K. y STEVENSON, R., 1958. Estuaries and lagoons 1. Physical and chemical characteristics. In: J.W. Hedgpeth - (eds). Treatise on marine ecology and paleoecology. Vol. 1 Ecology. Geol. Soc. Amer. Mem (67): 673-693.
- EMILSSON, I., 1976. Oceanografía regional relacionada con problemas de contaminación presentes y futuros recursos vivos del Golfo de México. Contribución enviada a la conferencia de contaminación marina del Caribe y áreas adyacentes. IOC. Trinidad y Tobago.
- FAO., 1972. Atlas of living resources of sea. U.N.E.S.C.O., París. 76p.
- FRORSTNER, U. y WITTMAN, G., 1979. Metal pollution in the aquatic environment. Charper B. Springer Verlag. Germany. 486p.
- FLORES, M. y MAZA, J., 1971. Estudio en modelo hidráulico de la zona de Cancún, Quintana Roo. Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. Informe a INFRATUR. México.
- GALLEGOS, M., 1986. Petróleo y Manglar. Series Medio Ambiente en Coatzacoalcos. Vol. 3. Centro de Ecodesarrollo. México. 102p.

- GARCIA, E., 1969. Distribución de la precipitación en la República de México. U.N.A.M. Bol. Inst. Geogr. (1): 2-30.
- GARCIA KRASOVSKY, R., 1984. Saneamiento ambiental de la Laguna Bojórquez y Caleta Cancún, Quintana Roo. Contrato realizado entre Ingeniería del Medio Ambiente, S.A. y la Dirección de Planeación Urbana y Regional de FONATUR. 200p.
- GAUDETTE H., et.al., 1974. An inexpensive trititation method for determination of organic carbon in recent sediments. Jour. Sedim. Petrol. 44(1): 253-492.
- GOLDBERG, E., 1976. The health of the oceans. The U.N.E.S.C. O. Press. Paris. 172p.
- HARDING, J. y NOWLIN, W., 1966. El estado de la contaminación marina en la región del Gran Caribe. Mares Regionales del - PNUMA. No. 36. 51p.
- HIRST, D., 1962. Trace metals in marine sediments of Gulf of Paria. Geoch. Cosm. Act. 26. 1174. In: Anderlini, V., et.al. (eds). Trace metals in marine sediments of Kuwait. Bull. Environm. Contam. Toxicol. 1982. (28): 75-80.
- HODGSON, R., 1973. The American Mediterranean: One Sea. One Region? Gulf and Caribbean Marine Papers. (7): 12.
- JOHNSON, E. y BRITON, E., 1963. Biological species, water masses and currents. The Sea: ideas and observations and progress in the study of the sea. (2): 381-414. Interscience Publ. London.
- JORDAN, E., ANGOTY DE LA TORRE, R., 1978. Prospección biológica de la Laguna Nichupté, Cancún, Quintana Roo, México. Nota Científica. Anales del I.C.M. y L. U.N.A.M. 5 (1): 179-188.
- ., 1980. Community structure of coral reef in the Mexican Caribbean. Proceedings of the IV International Coral Reef Symposium. Manila. Filipinas.
- JORDAN, D.E., MARTIN, CH y THOME, P., 1983. Circulación e hidrología del sistema lagunar Nichupté. Convenio celebrado entre la U.N.A.M. a través del ICMYL y el Fondo Nacional de Fomento al Turismo. 72p.
- LANKFORD, R., 1976. Coastal lagoons of México. Their origin and classification. In: Willey M. (Eds). Estuarine Processes. Academic Press. Inc. New York. (2): 182-215.

- LARSEN, P., ZDANOWICS, V., y JOHNSON, A., 1983. Trace metal distribution in the superficial sediments of Penoscobot Bay. Mar. Bull. Environm. Contam. Toxicol. (31): 566-573.
- LORING, D. y RANTALA, R., 1977. Geochemical analysis of marine sediments and suspended particulate. Fisheries and Marine Services Technical, Canada. Report 700. 58p.
- LYONS, et.al., 1985. Sedimentary trace metal concentration in northern New England estuaries. In: Larsen, P., Zdanowics, V. and Johnson, (Eds). 1983. Bull. Environm. Contam. Toxicol. 1983 (31): 566-573.
- MANDELLI, E., 1975. The effect of desalination brines on Crasostrea virginica (Gmelin). Water Res. (9): 287p.
- ., 1979. Contaminación por metales pesados. Rev. Com. Perm. Pacífico Sur (10): 209-228.
- McROY, C. y McMILLAN, C., 1977. Production ecology and physiology of seagrasses. 53-58 pp. In: McRoy, C. and Helfferich, C. (Eds). Seagrasses Ecosystems: a Scientific Perspective. Marcel Dekker, New York.
- MERINO, M., 1984. Aspectos de la circulación costera superficial del Caribe Mexicano con base en observaciones utilizando tarjetas de deriva. Trabajo aceptado para su publicación en los Anales de ICMYL. U.N.A.M. México.
- y GALLEGOS, M., 1986. Evaluación del impacto ambiental generable sobre el sistema lagunar Nichupté por el dragado programado para rellenar el lote 18-A en Cancún, Quintana Roo. ICMYL., PIADISA-UNAM, México.
- y OTERO, L., (en prensa). Marco ambiental base de la zona costera de Puerto Morelos, Quintana Roo. Trabajo enviado a las publicaciones del ICMYL., U.N.A.M. México.
- MROZEK, E. y FUNICELLI, N., 1982. Effect of zinc and lead on germination of Spartina alterniflora Loisel seeds at various salinities. Environm. and Exper. Bot. 22 (1): 23-32.
- OEA-CONACyT., 1986. Impacto ambiental de los hidrocarburos fósiles en dos sistemas costeros del Caribe Occidental (México-Costa Rica). Primer informe anual. OEA/CONACyT. U.N.A.M. México. 73 p.
- PATEL, B., VASANTI, S., BANGERA, SHAKUNT y BALANI, M., 1985. Heavy metals in the Bombay Harbour Area. Mar Poll. Bull. 16 (1): 22-28.

- PONCE, G., 1987. Evaluación de metales pesados en sedimentos recientes y tejidos del ostión Crassostrea virginica (Gmelin, 1971) de la Laguna de Términos, Campeche, México. Tesis Licenciatura. Fac. de Ciencias. U.N.A.M. México.
- PULICH, W., BARNES, S. y PARKER, R., 1976. Trace metal cycle in seagrass communities. Estuarine Processes. Vol. 1. Uses, stress and adaptation to the estuary. Academic Press. 493-506.
- _____, 1980. Heavy metals accumulation by selected Halodule wrightii asch. populations in the Corpus Christi Bay area. Contrib. Mar. Sci. (23): 89-100.
- ROMERIL, M., 1971. The uptake and distribution of Zn65 in oysters. Mar. Biol. (9): 347.
- ROSAS, I., BAEZ, A., BELMONT, R., 1983. Oyster (Crassostrea virginica) as indicator of heavy metal pollution in some lagoons of the Gulf of México. Water, Air and Soil Pollution. (20): 127-135.
- RYTHER, J., 1969. Geographic variations in productivity in the sea: Ideas and Observations on Progress in the Study of the Sea. Vol. 2. John Wiley and Sons. New York.
- SCHULZ-BALDES, M., 1974. Lead uptake from sea water and food, and lead loss in the common mussel Mytilus edulis. Mar. Biol. (25): 177.
- SECRETARIA DE LA PRESIDENCIA, 1970 a. Carta de climas Cozumel 16Q-IV. Comisión de Estudios del Territorio Nacional, Dirección de Planeación de la Secretaría de la Presidencia e Instituto de Geografía U.N.A.M. México.
- _____, 1970 b. Carta de climas Chetumal 16Q-V. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. Dirección de Planeación de la Secretaría de la Presidencia e Instituto de Geografía U.N.A.M. México.
- TUREKIAN, K., 1972. River, tributaries and estuaries. Impingement of Man on the Ocean. D.W. Hood (Eds). Wiley Interscience New York.
- U.N.E.S.C.O., 1977. Report of the IOC/FAO/UNEP International Workshop on Pollution in the Caribbean and adjacent Regions. IOC Workshop Report No. 11. Port of Spain, Trinidad. Paris. UNESCO. E/CEPAL/PROY/3/t. Inf. 6.
- VIARENGO, A., 1985. Biochemical effects of trace metals. Mar. Poll. Bull. 16 (4): 153-158.

- VILLANUEVA, S., 1987. Evaluación de metales pesados en los sedimentos y organismos del estuario de Coatzacoalcos y áreas adyacentes, Veracruz, México. Tesis Licenciatura. E.N.E.P., - Zaragoza. U.N.A.M. México. 105p.
- WALDICHUK, M., 1985. Biological availability of metals to marine organisms. Mar. Poll. Bull. 16 (1): 7-11.
- WALSH, G. y GROW, T., 1973. Composition of Thalassia testudinum and Ruppia maritima. Quarter. Journ. of the Florida Acad. Sci. 35 (2): 97-108.
- WEDEPOHL, K., 1960. Trace metals in marine sediments of the nearshore Atlantic. Geochem. Cosmochem. Act. 18. 200 pp. In: Anderlini, V., et.al. (Eds). Trace metals in marine sediments of Kuwait. Bull. Environm. Contam. Toxicol. 1982. (28): 75-80.
- WILLIAMS, R., MURDOCK, M., 1969. The potential importance of Spartina alterniflora in conveying zinc, manganese and iron, into estuaries food chains. D.J. Nelson and F.C. Evans (Eds) Symposium on Radioecology, 2nd. Nat. Symp., Ann Arbor. Michigan. 431-439.
- WOOD, E., ODUH, W. y ZIEMAN, 1969. Influence of seagrasses - on the productivity of coastal lagoons. Lagunas Costeras, un simposium. Mem. Simp. Inter. Lag. Cost. U.N.A.M., U.N.E.S.C. O., 495-502p. México.
- WUST, G., 1964. Stratification and Circulation in the Antillean-Caribbean Basins. New York. Colombia University Press.
- YAMAMOTO, Y., 1968. Trace metals of shallow water sediments of Japan. Oceanography. Soc. Japan. (24). 160 pp. In: Anderlini, V., et.al., (Eds). Trace metal in marine sediments of Kuwait. Bull. Environm. Contam. Toxicol. 1982 (28): 75-80.

LITERATURA DE APOYO

- BRIX, H. LYNGBY, J. y SCHIERUP, H., 1983. The productibility in the determination of heavy metals in marine plant material-an interlaboratory calibration. *Mar. Chem.* (12): 69-85.
- BRUMSACK, H.J. GIESKES, J.M., 1983. Interstitial water trace metal chemistry of laminated sediments from the Gulf of California, México. *Mar. Chem.* (14): 89-106.
- CIFSA, 1971. Prospección hidrológica de la Laguna de Nichupté. Informe elaborado por INFRATUR. México.
- COPELAND, B.J. y DICKENS, F., 1974. Systems resulting from dredging spoil. III. 151-167. In: Odum, H.T., Copeland, B.J. and McMahan, E.A. (Eds). *Coastal Ecological Systems of United States*. Pub. of the Conservation, Foundation, Washington, D. C.
- GESAMP, 1985. Cadmium, Lead and Tin in the marine environment. UNEP. Regional seas reports and studies. No. 56.
- GINSBURG, R. y LOWENSTAN, H.A., 1958. The influence of marine bottom communities on the depositional environment of sediments. *J. Geol.*, (66): 310-318.
- GOLDBERG, E.D. 1979. La salud de los océanos, UNESCO. España 194.
- HARBISON, P., 1986. Diurnal variation in the chemical environment of a shallow tidal inlet, Gulf St. Vincent, South Australia: Implications for water quality and trace metal migration. *Mar. Environm. Res.* 20 (3).
- HARTOG, C.D., 1979. Seagrasses and seagrass ecosystem. An appraisal of the research approach. *Aquat. Bot.* 7(2): 105-117.
- HINES, M.E., 1984. Seasonal metal remobilization in the sediments of Great Bay, New Hampshire. *Mar. Chem.* (15): 173-187.
- HIRAO, Y., MATSUMOTO, E., TODOROKI, H., IMAMURA, T., FUKUDA, E. y KIMURA, K., 1983. Record of lead pollution in sediments of the Tokyo Bay, Japan. *Geoch. Jour.* (17): 19-27.
- KRAUS, M. et.al., 1986. The excretion of heavy metals by the salt marsh cord grass, Spartina alterniflora and Spartina's role in mercury cycling. *Mar. Environm. Res.* 20 (4).

- McROY, C., 1983. Nutrient cycle in Caribbean seagrass ecosystems. In: Coral reefs, seagrass beds and mangroves; their interaction in the coastal zones of the Caribbean. UNESCO - reports in Mar. Sci. No. 23.
- OGDEN, J.C., 1976. Some aspects of herbivore-plant relationship on Caribbean reefs and seagrass beds. Aquat. Bot. 2(2) 103-116.
- PAEZ, F., FONG-LEE, M., PEREZ, H., 1984. Comparación de tres técnicas para analizar materia orgánica en sedimentos. An. Inst. Cienc. Mar. y Limnol. II (1): 257-264.
- PIOTROWICZ, S., HARVEY, G., BORAN, D., WEISEL, C. y SPRINGER M., 1984. Cadmium, Cooper and Zinc interactions with marine humus as a function of ligand structure. Mar. Chem. (14): 333-346.
- PNUMA., 1984. El estado de la contaminación marina en la región del Gran Caribe. Mares Regionales del PNUMA No. 36.
- RENFRO, W.C. y B. OREGIONI, 1974. Activities of the International Laboratory of Marine Radioactivity, Monaco. Report. Tech. Doc. IAEA, Viena.
- RODRIGUEZ, A., 1981. Marine and Coastal Environmental Stress in the Wider Caribbean Region. AMBIO 10 (6): 283-294.
- SAWDIS, Th., y VOULAGARPOULOS, A.N., 1986. Seasonal bioaccumulation of iron, cobalt and cooper in marine algae from Thermaikos Gulf of the Northern Aegean Sea, Greece. Mar. Environm. Res. 19 (1).
- SECRETARIA DE MARINA, 1980. Contribución al conocimiento de las características físico-químicas de las aguas del Caribe Mexicano. Editado por la Dirección General de Oceanografía. México 96p.
- THIJS, A., DE ROY, G., VANSANT, E.F., GLASBY, G.P. y THIJSSSEN, T., 1982. Mossbauer effect studies of iron in manganese nodules and associates marine sediments in five areas in the equatorial and SW Pacific. Geoch. Journ. (17): 25-37.
- THORHAUG, A., 1985. Large-scale seagrass restoration in a damaged estuary. Mar. Poll. Bull. 16 (2) 55-62.
- UNEP, 1982. Survey of tar, oil, chlorinated hydrocarbon and trace metal pollution in coastal waters of the Sultanate of Oman. UNEP. Regional Seas Reports and Studies No. 5.

- _____, 1982. The health of the oceans. UNEP. Regional Seas Re-
ports and Studies No. 16.
- _____, 1985. Ecological interactions between tropical coastal
ecosystems. UNEP. Regional Seas Report and Studies. No. 73.
- U.N.E.S.C.O., 1983. Coral reefs, seagrassbeds and mangroves:
Their interaction in the coastal zones of the Caribbean. Re-
ports in Marine Science No. 23. Report of a Workshop held
at West Indies Laboratory. St. Croix, U.S. Virgin Islands -
May, 1982.
- VAN VALIN, R., 1982. An investigation of methods commonly -
used for the selective removal and characterization of tra-
ce metals in sediments. Mar. Chem. (11): 535-564.
- WETZEL, R.G., y P.A. PENHALE, 1979. Transport of carbon and
excretion of dissolves organic carbon by leaves and roots/rhi-
zomes in seagrasses and their epiphytes. Aquat. Bot. 6 (3):
149-158.
- ZIEMAN, J., 1975. Seasonal variation of turtle grass Thalas-
sia testudinum König, with reference to temperature and sa-
linity effects. Aquat. Bot. 1(2): 107-123.
- _____, 1975. Tropical seagrass ecosystems and pollution
in: E.J.F. Wood and R.E. Johannes (Eds). Tropical Marine Pol-
lution. Elsevier Oceanography. Series 12. 63-76.
- _____, 1976. The ecological effects of physical damage
from motor boats on turtle grass beds in southern Florida.
Aquat. Bot. (2): 127-139.
- _____, 1983. Food webs in tropical seagrass systems.
in: Coral reefs seagrass beds and mangroves: Their interac-
tions in the coastal zones of the Caribbean. UNESCO report -
in Marine Science No. 23.