

VOLUMEN 1

EL PROBLEMA CRUCIAL: LA CONTAMINACION

Responsables del Estudio: Alfonso Vázquez Botello
Federico Páez

Con la colaboración de: Cristina Bárcenas
Neri Becerra
Laura Celis
Juan M. Cortés
Gilberto Díaz
Moisés Mendelewicz
Susana Villanueva

TITULOS DE ESTA SERIE

- VOL. I: El problema crucial: la contaminación.
- VOL. II: La calidad del aire.
- VOL. III: Petróleo y manglar.
- VOL. IV: Las aves,
- VOL. V: La riqueza del pantano.
- VOL. VI: La vegetación.
- VOL. VII: La fauna acuática del Río Tonalá.
- VOL. VIII: La fauna acuática del Río Coatzacoalcos.
- VOL. IX: La fauna acuática de la Laguna del Ostión.
- VOL. X: El langostino: un alimento en peligro.
- VOL. XI: Otros recursos alimenticios.
- VOL. XII: El pantano: una riqueza que se destruye.
- VOL. XIII: El niño y el medio ambiente.
- VOL. XIV: La fauna acuática del litoral.
- VOL. XV: Petróleo y medio ambiente: una visión global.

SERIE MEDIO AMBIENTE EN COA TZA COAL COS

EL PROBLEMA CRUCIAL:
LA CONTAMINACION

CENTRO DE ECODESARROLLO

PROYECTO GENERAL:

**EVALUACION DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES
Y SOCIALES DE LA INDUSTRIA PETROLERA
EN EL SURESTE Y GOLFO DE MEXICO.**

ESTUDIO:

**PETROLEO Y 'MEDIO AMBIENTE EN LA REGION
DE LOS RIOS COATZACOALCOS Y TONALA.**

Director:	Alejandro Toledo
Coordinador:	Francisco Morosini
Responsable de Area:	
Evaluación Geoquímica:	Alfonso Vázquez Botello
Evaluación Atmosférica:	Armando Báez
Estudios de ambientes críticos	Francisco Contreras Margarita Gallegos
Las aves:	Mónica Herzig
La fauna acuática:	Lorenzo Bozada Margarito Páez
La vegetación:	Miguel Cházaro
Apoyos en trabajos de campo:	Elpidio Toledo
Apoyo bibliográfico:	Margarita Escobedo Elizabeth Garibay
Composición y organización del material:	Nicolás Flores Alicia Pichardo Ma. de la Paz Pizaño
Dibujo:	Alfredo Legorreta
Mecanografía:	Esthela Espinoza Martha Rosas
Estilo:	Alberto Vital

Primera edición, 1987

Portada: Viviana Rojas

**© 1987 Centro de Ecodesarrollo.
Altadena 8, México, 03810, D.F.**

IMPRESO EN MEXICO

INDICE

PRESENTACION	11
RESUMEN	13
1. INTRODUCCION	15
<i>Distribución de contaminantes tóxicos en ecosistemas costeros</i>	17
a) <i>Metales pesados</i>	
b) <i>Compuestos orgánicos sintéticos y petróleo</i>	19
II, DESCRIPCION DEL AREA	23
1. <i>Hidrología</i>	
2. <i>Río Coatzacoalcos</i>	24
3. <i>Río Tonalá</i>	26
4. <i>Laguna del Ostión</i>	29
III. METODOLOGÍA	31
1. <i>Microorganismos</i>	
2. <i>Esteroles</i>	32
3. <i>Metales pesados</i>	
4. <i>Hidrocarburos fósiles</i>	34
5. <i>Plaguicidas</i>	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	39
1. <i>Microorganismos</i>	
2. <i>Esteroles</i>	54
3. <i>Metales pesados</i>	62
<i>Organismos</i>	63
<i>Sedimentos</i>	64

<i>Agua .</i>	
<i>Mdt les pesados y toxicida%</i>	65
<i>Sedimentos del río Coatzacóalcos</i>	70
<i>Sedimentos de la Laguna del Ostión</i>	71
<i>Sedimentos del río Tonalá</i>	74
<i>Comparación con otras regiones</i>	75
<i>Organismos de la Laguna del Ostión</i>	77
<i>Organismos del río Coatzacoalcos</i>	81
<i>Comparación con otras regiones</i>	83
4. Consideraciones	84
V. HIDROCARBUROS FOSILES	87
1. Hidrocarburos en sedimentos marinos recientes	89
2. Hidrocarburos en organismos marinos	105
3. Retención, metabolismo y disposición de hidrocarburos	106
VI. PLAGUICIDAS	119
1. Fuentes y destino de los plaguicidas en el ambiente marino	120
2. Degradación y biodegradación de los plaguicidas	122
3. Efectos en los organismos	
4. Plaguicidas en sedimentos.	127
5. Plaguicidas en organismos	162
VII. CONCLUSIONES	167
BIBLIOGRAFIA	171
Esteroles	
Hidrocarburos fósiles	
Metales pesados	175
Plaguicidas	177

PROLOGO

Con el patrocinio del Ayuntamiento Constitucional de Coatzacoalcos y el Patronato de la Universidad Veracruzana en dicha ciudad, el Centro de Ecodesarrollo ofrece esta serie de 15 publicaciones que dan cuenta de importantes trabajos de investigación realizados en los ríos Coatzacoalcos y Tonalá, así como en sus áreas de influencia.

Polo industrial ligado a la explotación, la transformación y el transporte de los hidrocarburos prácticamente desde los inicios de la historia moderna del petróleo en México, esta amplia región ofreció a diversas instituciones e investigadores, las condiciones ideales para reflexionar sobre las significaciones más profundas y duraderas de los impactos ecológicos, sociales y políticos ocasionados por el proceso de transformación que sufren los ambientes naturales y la sociedad que habita las áreas petroleras. Todo ello, bajo la influencia de los rígidos sistemas tecnológicos que caracterizan al sistema energético de los hidrocarburos. Los estudios que ahora se divulgan brindan precisamente un panorama global de estos problemas.

La serie es el producto de un ambicioso trabajo que reunió bajo la coordinación del Centro de Ecodesarrollo a un grupo de investigadores que laboran en prestigiadas instituciones mexicanas. Por varias razones, este esfuerzo plantea caminos diferentes para el mejor logro del trabajo científico en el país. En efecto, es el fruto de un esfuerzo coordinado entre instituciones nacionales y locales de investigación y de formación académica; coloca entre sus principales objetivos la formación de recursos humanos locales, como vía para el sostenimiento de líneas permanentes de estudio que permitan mayores conocimientos acerca del medio ambiente y de los problemas que presenta el control de los efectos de las actividades humanas pflr parte 09 19 población. Pero además, establece un mecanismo de trabajo multidisciplinario que vincula a los centros de investigación con

diversos sectores de la sociedad, haciéndola participante activa en el conocimiento y la búsqueda de soluciones a los problemas que la afectan. Estoy convencido de que si en el futuro han de alcanzarse estados de equilibrio entre nuestras necesidades energéticas, el medio ambiente y el bienestar de la población, los mecanismos para lograrlo tendrán que explorarse a fondo, pues se trata de cuestiones de importancia vital.

El Centro de Ecodesarrollo desea dejar constancia de su agradecimiento a todas las personas e instituciones que prestaron su cooperación en los numerosos trabajos de campo que por espacio de varios años, se han efectuado en la región de estudio. De un modo especial a los pescadores de la Isla de Capoacán, del Río Calzadas, de la Barra del Río Tonalá, del poblado de Cuauhtemotzin, de las Barrillas, del Jicacal y de Allende; a la Gerencia de Relaciones Públicas de PEMEX; a la Dirección de Oceanografía de la Secretaría de Marina; a los Servicios Portuarios del Istmo de Tehuantepec, S.A. (SPITSA); a los Servicios Marítimos Especiales de Coatzacoalcos, S.A.; su valioso apoyo hizo posible la realización de un trabajo científico plenamente integrado a la problemática ecológica y social que viven las comunidades locales.

Finalmente deseo expresar un amplio reconocimiento a don Pompeyo Figueroa Mortera por su apoyo para efectuar estos trabajos en campo y publicarlos. Lo hizo tanto cuando era presidente del Patronato de la Universidad Veracruzana, que hoy como máxima autoridad del municipio de Coatzacoalcos.

Distrito Federal, junio de 1986

IVAN RESTREPO
Director del
Centro de Ecodesarrollo

PRESENTACION

Patrocinar la publicación de esta serie, consagrada a dar cuenta de los trabajos científicos efectuados entre 1982 y 1985 en la región del río Coatzacoalcos por un selecto grupo de especialistas, significa un esfuerzo de gran importancia para la vida de nuestra comunidad.

En primer lugar, porque es una labor colectiva, que conjuntó a instituciones e investigadores de reconocido prestigio y a un equipo de jóvenes científicos de la Universidad Veracruzana, en el análisis de los problemas ecológicos y sociales más críticos que padecemos.

En segundo lugar, porque divulgar los hallazgos encontrados es la culminación de un esfuerzo que contó permanentemente con la participación activa de diferentes actores sociales de nuestra sociedad: pescadores, organismos públicos y privados y, de un modo destacado, la Universidad Veracruzana.

Se trata, además, de un compromiso contraído con la comunidad: el de difundir los resultados obtenidos. Así, los 15 volúmenes que integran la serie, constituyen documentos destinados a promover la discusión abierta y democrática de los problemas que nos aquejan a fin de encontrar, también, soluciones colectivas. Estimo por todo ello que es un paso más en el rudo esfuerzo de transitar por los sinuosos caminos que nos conduzcan a un auténtico desarrollo.

POMPEYO FIGUEROA MORTERA
Presidente Municipal
de Coatzacoalcos

RESUMEN

En el presente trabajo se encuentran reportadas las actividades de investigación desarrolladas por investigadores del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, a partir de 1982, las cuales condujeron a la evaluación geoquímica del río Coatzacoalcos y áreas adyacentes, y de cuyos resultados se pudo hacer una estimación del estado de salud que actualmente mantiene el área de estudio.

Esta evaluación forma parte del proyecto integral que sobre las actividades petroleras en el sureste de México conduce desde 1980 el Centro de Ecodesarrollo. Tal y como se observa por los resultados obtenidos, el área presenta un "estado crítico" en cuanto a salud se refiere ya que la presencia de microorganismos patógenos y esteroides de origen fecal humano pueden poner en riesgo la salud pública.

La presencia de ciertos metales en sedimentos y organismos también revelan concentraciones que exceden con mucho a los niveles naturales y por ende al balance geoquímico de dichos elementos.

Las concentraciones de hidrocarburos fósiles en sedimentos y organismos son de igual manera muy elevadas, lo cual nos muestra el alto impacto que las actividades petroleras han tenido sobre las áreas estudiadas.

De singular importancia se considera la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH'S) sobre especies comestibles analizadas, debido principalmente a su potencialidad como productos carcinógenos, lo cual representa un serio riesgo para la salud humana.

El gradual aumento de breas y alquitranes depositados sobre las playas cercanas a las áreas de estudio, nos muestra la estrecha correlación del incremento de las actividades humanas e industriales con el, impacto que éstas tienen sobre los ecosiste-

mas que de manera directa o indirecta están involucradas con las mencionadas actividades.

Finalmente, la presencia de plaguicidas organoclorados en sedimentos y organismos, aunque no en concentraciones elevadas, nos indica la continua introducción de estos compuestos orgánicos por el empleo masivo de ellos en uso doméstico, actividades agrícolas y erradicación del paludismo; pudiendo llegar a considerarse un peligro potencial para la salud humana de los habitantes que actualmente conurban las áreas de estudio.

I. INTRODUCCION

Los océanos cubren aproximadamente el 71 % de la superficie del planeta, con 2.7 km de espesor y 1 400 000 km³. Esta inmensidad contribuye considerablemente al mito de que tienen una capacidad de dilución infinita y que, por lo tanto, pueden considerarse como un gigantesco vertedero para todos los desperdicios del hombre.

Pero evidentemente no se les puede utilizar indiscriminadamente con fines de dilución, debido a la naturaleza del mar, al carácter de las sustancias introducidas por el hombre y a la forma de desecharse éstas. Los materiales se concentran en el agua e impiden su propia dispersión y dilución totales, y así se convierten en voces de advertencia, antes de que se produzca un grado peligroso de contaminación.

Los océanos deben concebirse como un recurso disponible en beneficio de la humanidad. Convenientemente administrado, éste satisface las numerosas demandas de que es objeto. Utilizado de modo irracional o irreflexivo, sólo asimila un volumen limitado de desechos de origen doméstico e industrial.

Ahora bien, desde el punto de vista espacial y temporal, los océanos deben considerarse de un modo bastante específico: con arreglo a cada tipo de contaminación. Análogamente, los problemas locales o costeros deben tratarse de un modo distinto que los mundiales. Así, aquéllos pueden afectar sin duda un recurso, pero son éstos los que tienen consecuencias graves a largo plazo.

Se calcula que las aguas costeras, hasta el borde de la plataforma continental, constituyen el 10% de la superficie de los océanos del orbe. Sin embargo, el 99% de la captura mundial de peces procede de esas aguas costeras y de las zonas de surgencia relativamente pequeñas (0,1 %),

Por eso, para la protección de los recursos vivos marinos (consideración esencial en la lucha contra la contaminación) de-

be prestarse primordial cuidado a la zona costera. Una más baja contaminación en estas aguas puede también aliviar o al menos retrasar la de los océanos del orbe.

Los graves problemas de la contaminación costera se manifestaron primero sobre naciones muy industrializadas y con concentraciones urbanas considerables a lo largo de la costa.

Los estuarios se encuentran en las primeras zonas acuáticas que sucumben a los abusos del hombre, y si bien la productividad de éstos, medidos por la biomasa, no parece haber disminuido, en cambio la estructura comunal de la flora y la fauna ha variado considerablemente. Mucho antes de que el océano abierto presente un grado peligroso de contaminación, el medio costero se habrá contaminado de una manera intolerable en muchos lugares, a menos que las prácticas actuales de evacuación de desechos en el mar se modifiquen sustancialmente. Sin embargo, el medio costero es sumamente variable, pues está afectado por las características locales del mar y por los procesos continentales. Los cambios que ocurren en él en cada estación y de un año a otro cambian mucho según el lugar.

Las aguas costeras, especialmente en los estuarios, pueden considerarse como un filtro para el agua dulce que llega al mar procedente de la tierra. Una importante masa de las sustancias en disolución y en suspensión es separada por la actividad biogeoquímica, y es depositada por último en los sedimentos.

Uno de los problemas vivos de los sistemas fluviales del mundo, consiste en el alto grado de contaminación urbana, agrícola e industrial. En nuestro país, el acelerado auge demográfico e industrial, en las áreas costeras, es causa de serias alteraciones del medio ambiente, como en el río Coatzacoalcos (Ochoa *et al.*, 1972; Cadena, 1977; Rosas, 1974; IPN, 1976).

En su mayoría, los sistemas estuarinos y de aguas costeras de México no se han estudiado detalladamente, a fin de entender los procesos predominantes y los mecanismos que se alteran con la presencia de sustancias contaminantes en estos sistemas.

Con el fin de reducir el impacto de las actividades industriales sobre el medio ambiente, son necesarios estudios que describan y predigan el "estado de salud" de la zona, así como la liberación y el modo de transporte de los contaminantes a través del ecosistema.

En el río Coatzacoalcos, en Veracruz, las alteraciones por los abundantes drenes de industrias (la mayoría de éstas son del

grupo petroquímico), así como por los emisores de aguas residuales, provocan sin duda fuertes mutaciones sobre las comunidades acuáticas y sobre las características físico-químicas del área.

Por ello, el aspecto más importante en el estudio de todo tipo de alteraciones en un ecosistema, consiste en conocer la extensión de dichos daños, además de la evolución temporal de los factores físicos, químicos y biológicos.

Desde el punto de vista biológico, diversas vías se emplean para identificar el grado de deterioro de un ecosistema: entre otros el uso de indicadores biológicos, como en el caso de las bacterias coliformes. De cualquier forma, los distintos tipos de contaminación tienden a incidir sobre la estructura de la comunidad, reduciendo su productividad, su biomasa y diversidad.

Desde el punto de vista bioquímico, los niveles de contaminación pueden evaluarse a través de los flujos de carbono orgánico y nitrógeno en los diversos componentes del ambiente, principalmente organismos y sedimentos.

Distribución de contaminantes tóxicos en ecosistemas costeros

a) Metales pesados:

Los océanos contienen concentraciones susceptibles de medirse de casi todos los elementos estables. Más de 30 de esos elementos son metales o metaloides presentes en cantidades traza en el agua de mar, en los sedimentos y la biota. Estos elementos traza llegan a ser tóxicos si se presentan en altas concentraciones, aunque muchos de ellos son absolutamente esenciales para el crecimiento y el metabolismo de plantas y animales. Así, la "no disponibilidad" de ciertos elementos traza en algunas partes del océano limita el crecimiento del plancton (Strickland, 1965); otros elementos (Cu, Zn, Cr) tóxicos o inhibitorios para los organismos marinos, son en cambio esenciales para la vida de otros incluyendo al hombre.

Tres elementos se han investigado consistentemente por su gran importancia para la salud humana: cadmio, mercurio y plomo (Cd, Hg y Pb). Otros, como el zinc y cobre (Zn y Cu), se emplean continuamente como indicadores de contaminación, debido a su relativa facilidad de análisis en muestras del medio ambiente.

En los sedimentos marinos las concentraciones de metales son más fáciles de determinar que las concentraciones disueltas en la columna de agua: los sedimentos actúan como una carga integral del contaminante.

Muchos otros factores pueden afectar las concentraciones de los metales en sedimentos marinos de una localidad específica en el océano o la zona costera. Así, los sedimentos de grano más fino (limo y arcillas) contienen o retienen concentraciones de metales más altas que aquellos de grano grueso (arenas). En las regiones costeras, las concentraciones más bajas de metales se reportan en arenas; las más altas, en los sedimentos de grano más fino. De igual manera, estas regiones son las más sensibles a los aportes antropogénicos; además, en ellas los sedimentos son por naturaleza de grano fino, como las tierras bajas, marismas y estuarios.

La concentración de metales en sedimentos se controla por procesos naturales, aportes antropogénicos y por la dinámica del transporte de los sedimentos finos. Así en los sitios donde los sedimentos contienen altas concentraciones de metales, los aportes de contaminantes son elevados; y los pocos lugares con sedimentos de alta concentración de metales -pero sin una elevada población o grandes descargas municipales- son generalmente el resultado de los aportes de una industria específica.

En la mayoría de los casos, esta industria es la de tipo cloroalcali, cuyo contaminante primario es el mercurio, y su dispersión en sedimentos y en la biota se limita a una pequeña área cerca del punto de la descarga.

Los metales pesados, las sustancias nutrientes y el material orgánico (exceptuando algunos productos orgánicos sintéticos) son introducidos de manera natural por los ríos y a través de la atmósfera hacia el océano costero. A pesar de las considerables cargas de compuestos orgánicos generados de manera antropogénica, éstas son pequeñas en comparación con las cantidades movilizadas naturalmente o ya presentes en los océanos.

Por ejemplo, los aportes naturales al océano de algunos metales (como Hg, Zn y Cu) exceden sustancialmente a los aportes antropogénicos (Goldberg, 1976), los cuales -bajo condiciones propicias de dilución- pueden acomodarse en los sedimentos sin causar efectos significativos al ecosistema marino.

Las concentraciones de metales en organismos, particularmente peces y moluscos empleados para consumo humano, son de gran relevancia para los ecosistemas y la salud humana.

Resulta muy difícil comparar datos de concentración de metales en organismos marinos de diferentes áreas oceánicas, debido a la gran variedad de factores que inciden sobre la bioconcentración de ciertos metales en las especies. El mercurio recibe atención especial por su bioconcentración en la cadena trófica marina; es el único metal del cual se sabe que ha causado problemas a la salud humana a través del consumo de alimentos contaminados (Smith y Smith, 1975).

De igual manera, muchos estudios sobre la concentración de este metal analizan especies marinas. Con excepción de pequeñas áreas sujetas a grandes aportes de mercurio biodisponible, las concentraciones en organismos marinos son comparables en especies similares a través del mundo oceánico.

b) Compuestos orgánicos sintéticos y petróleo:

Los estudios de la distribución de compuestos orgánicos sintéticos e hidrocarburos del petróleo en el medio marino son mucho más limitados que los de metales pesados.

O'Connor y Stanford (1979) agrupan así a los compuestos orgánicos que causan daño severo a los sistemas costeros:

- Hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAH's).
- Hidrocarburos clorinados (aldrín, dieldrín, clordano, DDT y SUS metabolitos, PCB's hexaclorobenzeno, heptaclor, endosulfan, heptacloro, etc.)
- Clorofenoles y éteres halogenados.
- Hidrocarburos saturados.

De estos compuestos, sólo los hidrocarburos clorinados (plaguicidas) y los PCB's se determinan ya en una gran variedad de muestras de diferentes regiones; en contraste, escasea la información sobre los hidrocarburos del petróleo y los PAH's, principalmente por el alto costo de su estudio, por el método analítico complejo y por la composición del petróleo, lo cual hace difícil su interpretación.

Existe una considerable variación en las fracciones de hidrocarburos medidos en estudios aislados; por lo tanto, no es posible hacer comparaciones detalladas de la concentración de hidrocarburos o PRH's a partir de la información disponible en los diferentes regiones oceánicas. Los efluentes municipales y las descargas de refinerías, complejos petroquímicos y otras in-

dustrias, constituyen los mayores aportes a la contaminación por hidrocarburos en las áreas costeras; una fuerte proporción de la carga total de hidrocarburos son sin duda PAH's. En suma, se debe prestar una mayor atención a los aportes crónicos de petróleo hacia el medio marino, más que a los eventuales derrames ocurridos en alta mar o cerca de las costas.

Los PCB's y los plaguicidas, como el DDT se determinan fácilmente en muestras ambientales, y existe una abundante literatura relacionada con la concentración de estas sustancias en agua de mar, en organismos y sedimentos marinos; se nota una gran variación de concentraciones de una región a otra, y tal vez el Báltico, las costas de California, el Puerto de Nueva York, Japón y el Mediterráneo se encuentran más altamente contaminados que otras áreas estudiadas.

Estos compuestos orgánicos, al ser consumidos por los organismos, se almacenan en los tejidos grasos debido a su afinidad lipofílica. Así las concentraciones tienden a ser mayores en aquellas especies que ocupan la cúspide de la trama alimenticia, como los mamíferos y las aves, los cuales concentran fácilmente estos compuestos. Puesto que la capacidad para concentrar orgánicos sintéticos varía en las diferentes especies, es difícil comparar concentraciones en la biota de regiones oceánicas cuya composición específica es enteramente distinta.

Efectos de contaminantes tóxicos en ecosistemas marinos costeros

Los anteriores compuestos orgánicos sintéticos y metales traza son de gran importancia en las áreas costeras, pues son introducidos a éstas en cantidades significativas. Si son ingeridos y retenidos en altas concentraciones por los organismos marinos, pueden ocasionarles serios trastornos, inclusive la muerte. Si se encuentran en bajas concentraciones, causan efectos subletales, como la reducción del tiempo de vida de ciertas especies o el incremento de la susceptibilidad a ciertas enfermedades; causan también efectos mutagénicos y teratogénicos.

De suma importancia se considera el conocimiento de la concentración de los contaminantes en el organismo y no sólo en el medio. La mayoría de los estudios de laboratorio reporta concentraciones en el ambiente, en tanto que los programas de vigilancia tienden a medir concentraciones en el organismo (Edgle,

1981). En resumen, los organismos poseen una resistencia variable al contaminante, según el grado de aclimatación al tóxico. Algunos mamíferos marinos, aves, peces, crustáceos, moluscos y microorganismos son capaces de acoplar y disminuir o anular la toxicidad de algunos metales pesados (Fischer, 1980), que se convierten en proteínas de bajo peso molecular (metalotioneínas); éstas pueden atraparse en compartimientos tisulares y se vuelven relativamente inertes, lo que limita la transferencia del metal en la cadena alimenticia (Hodson, 1980). De esta manera, una variedad de compuestos orgánicos potencialmente tóxicos puede ser inmovilizada gracias a oxidasas como el citocromo P-450, cuyas enzimas aparecen en una mayor concentración en organismos marinos de ambientes muy contaminados.

Así, el presente estudio se encaminó específicamente a evaluar biológica y geoquímicamente los niveles de contaminación actual en los ríos Coatzacoalcos y Tonalá y en las áreas adyacentes, además de caracterizar e identificar ciertos contaminantes de origen biológico, orgánico e inorgánico (microorganismos y esteroides, hidrocarburos saturados, hidrocarburos aromáticos polinucleares, hidrocarburos disueltos y dispersos y algunos metales pesados), el tiempo de residencia de éstos en el ecosistema, sus flujos y destino final, así como sus posibles impactos sobre la biota y el hombre mismo.

II. DESCRIPCION DEL AREA

Como este texto no pretende describir exhaustivamente el área de estudio, remitimos al lector a trabajos anteriores (Ochoa *et al.*, 1972; Rosas, 1974; IPN, 1976); aquí sólo se ofrece una localización y una caracterización someras de los sitios donde se efectuaron los análisis correspondientes al periodo de operaciones 1982-1983.

1. Hidrología

Acaso es el elemento más importante en el análisis del medio natural de esta región. En efecto, una parte importante de ésta se forma de tierras inundables o inundadas, y la cruzan importantes vías fluviales.

El sistema hidrológico de la zona pertenece a la región hidrológica número 29 (SRH, 1975) y se encuentra en la vertiente del Golfo de México. La vía fluvial más importante es el río Coatzacoalcos; éste y sus afluentes dividen la región en dos, cerca de la desembocadura, y la disectan y fraccionan a medida que se remontan.

El límite oriental de la región es el río Tonalá, la otra vía mayor de la región, el cual es también el límite entre Veracruz y Tabasco.

En la parte noroeste de la región se localiza un sistema fluvial menor, formado por pequeños ríos y arroyos que se originan en la Sierra de Santa Martha y desembocan en tierras inundadas de la planicie costera o en la Laguna del Ostión, el principal de los cinco cuerpos lagunares de importancia en la zona. Esta laguna tiene una superficie aproximada de 12.7 km², y la alimentan pequeños ríos y arroyos que provienen de las faldas del Volcán San Martín; entre ellos están los arroyos Huazuntlán y Xochiapa.

Segunda en extensión, con 12.2 km² de superficie, la Laguna de Mezcalapa se sitúa entre Cuichapa y río Uxpanapa, en el sur de la región de estudio. Desgraciadamente, esta laguna tiene

pobre comunicación con los asentamientos humanos principales, ya que podría ser un recurso turístico y de esparcimiento importante.

En este sentido, la Laguna de Tortuguero, con una superficie de aproximadamente 1.5 km^2 , presenta mayores posibilidades. Está situada cerca de la costa, entre las desembocaduras de los ríos Coatzacoalcos y Tonalá, y se halla relativamente bien comunicada con Agua Dulce, Allende y Coatzacoalcos.

Casi en la desembocadura del Coatzacoalcos, en la ribera derecha está la Laguna de Pajaritos, en cuyas orillas se localiza el complejo industrial del mismo nombre. Es relativamente pequeña (1.5 km^2) y tiene serios problemas de contaminación industrial.

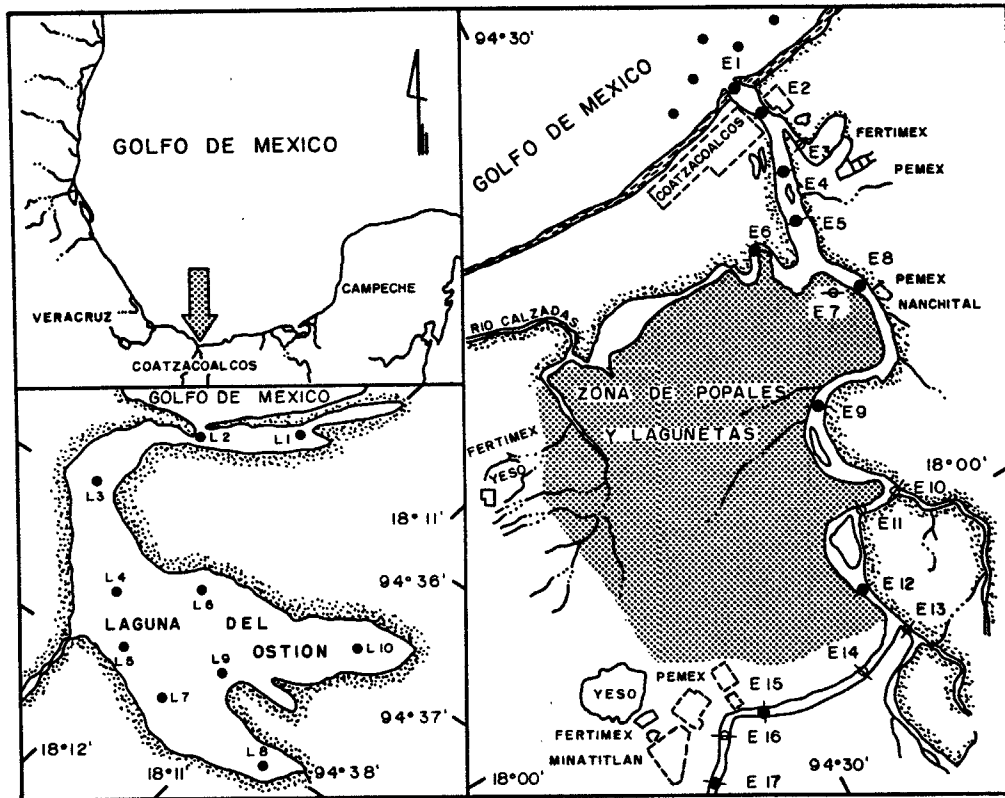
Finalmente, el río Calzadas (en su ensanchamiento próximo al puerto de Coatzacoalcos, pero de difícil acceso) forma la Laguna de Tepache, con una superficie aproximada de 2 km^2 .

2. Río Coatzacoalcos

Nace en el estado de Oaxaca, en la Sierra Atravesada, a más de 2 mil metros de altura. En la primera parte de su recorrido atraviesa una zona montañosa de topografía complicada, y recibe numerosos pequeños afluentes difíciles de identificar. Se trata de una zona poco conocida y poco poblada. Más adelante se le llama río del Corte y recibe muchos afluentes, especialmente en su margen izquierdo, los cuales descienden desde el parteaguas hasta la Sierra Madre de Oaxaca (vertiente del Golfo).

A la altura de Santa María Chimalapa, su rumbo oeste cambia en dirección norte. En este tramo toma como afluentes, por su margen izquierdo, a los ríos Chichihua, Almoloya, Malatongo y Sarabia. Al cruzar Sochiapa en Veracruz, adquiere una dirección NNE, que conserva hasta la desembocadura. Allí recibe un afluente de importancia: por la ribera izquierda, el río Jaltepec; a la altura de la Estación Hidrométrica Jesús Carranza 1, éste dreña una olla hidrográfica de $3,331 \text{ km}^2$. Un poco más adelante está la Estación Hidrométrica Las Perlas, única sobre el cauce principal y más cercana a la costa (a unos 140 km de distancia). A esta altura, la cuenca drenada por el Coatzacoalcos y afluentes es de $9,224 \text{ km}^2$.

A partir de este punto, el cauce se vuelve divagante, con numerosos meandros, y forma varias lagunetas y esteros e incluso un doble cauce a la altura de Hidalgotitlán, Ver. (mapa 1).



MAPA 1. AREA DE ESTUDIO Y ESTACIONES DE MUESTREO DE LA LAGUNA DEL OSTION Y EL RIO COATZACOALCOS, VERACRUZ; MEXICO.

Pese a ello, recibe algunos afluentes importantes, especialmente por su margen derecho: el Solosúchil, el Coachapa y el Uxpanapa. Este último entra al cauce principal 5 km abajo de Minatitlán. Se trata de un río notable, que nace en Oaxaca, tiene una longitud aproximada de 185 km y drena una cuenca de 4,803 km², cerca de la desembocadura; el Coatzacoalcos recibe por su margen derecho al río Calzadas, el cual viene desde la serranía de San Andrés Tuxtla, donde se le conoce como río Huazuntlán. Es. un afluente de menor importancia que drena una cuenca de unos 180 km², con un gasto medio de 7 m³/S.

Los datos disponibles del gasto del Coatzacoalcos son poco significativos: corresponden a los medidos en la Estación Hidrométrica de Las Perlas, situada a 24 km de Jesús Carranza, Ver., y a unos 140 km aguas arriba de la desembocadura. Por lo tanto, estos datos no toman en cuenta la cuenca drenada aguas abajo y el aporte de los afluentes, en especial del Uxpanapa, del cual no se conocen datos de gasto.

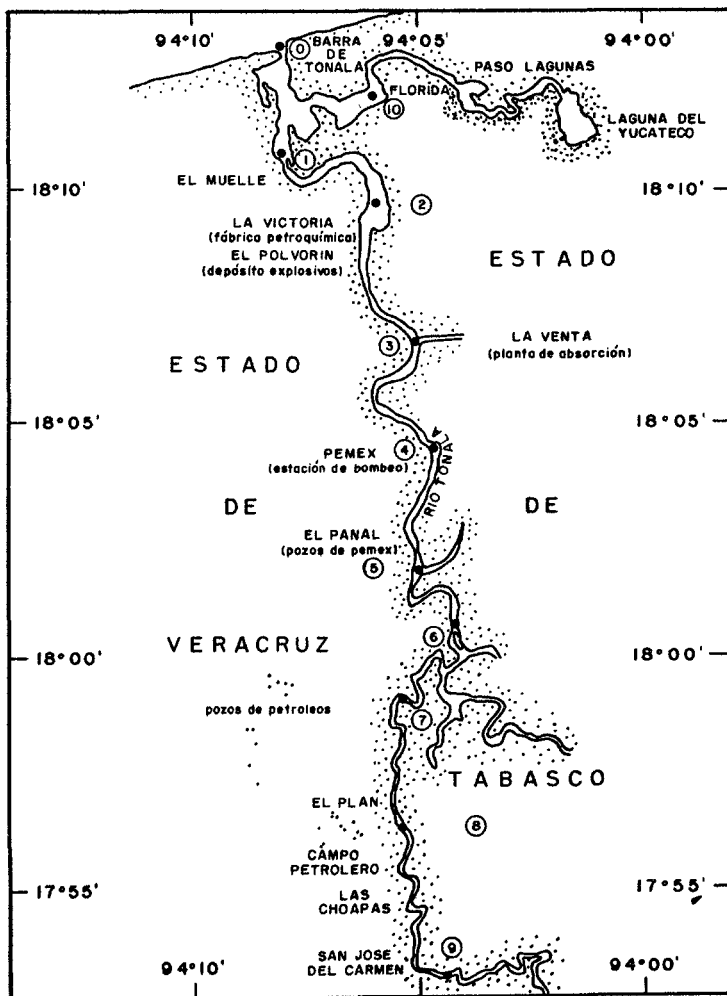
En Las Perlas, el gasto medio del Coatzacoalcos es ya de 410 M³/S., lo que da una idea de la importancia de esta vía. Por las tormentas tropicales y la extensa cuenca drenada, el gasto es muy variable, y en la temporada de lluvias alcanza valores de 2 mil a 3 mil m³/S. Este gasto alcanzó en esta estación la cifra excepcional de 7,061 M³/S, el 24 de septiembre de 1963 (SARH, Boletín Hidrológico N°. 37, 1975).

3. Río Tonalá

Esta corriente nace en los límites de los estados de Veracruz, Tabasco y Chiapas, en la Sierra Madre de Chiapas, a unos 100 metros de altitud. Prácticamente en todo su recorrido sirve como división política entre Veracruz y Tabasco. En el tramo original se llama río Pedregal. El cauce principal sigue una dirección general NN0, de modo que hacia la orilla izquierda el área drenada total (2,344 km²) pertenece a Veracruz. Hacia la ribera derecha el área es de 3,335 km², indicio de la gran importancia de esta corriente, que también es navegable en estiaje en más de 300 km de su recorrido total, incluidos sus afluentes.

En su recorrido, el río toca poblaciones como Francisco Rueda, Las Choapas y Tonalá.

La longitud total del cauce principal es de 150 km; de éstos, 120 se desarrollan abajo de los 200 metros de altitud, lo que da



MAPA 2. AREA DE ESTUDIO Y ESTACIONES DE MUESTREO DEL RIO TONALA, VERACRUZ; MEXICO.

Los afluentes izquierdos, citados de aguas arriba hacia abajo son: el río Playas o Xocoapan, que nace en el cerro del Mono Pelado, tiene dirección general hacia el noreste, pasa por Pueblo Viejo y San Pedro y entra al Tancochapa, nombre del Tonalá en su curso superior, a 10 km aguas arriba de Francisco Rueda, Tabasco. En la parte baja de su recorrido, el Tancochapa recibe la aportación de los arroyos Pesquero y Piedras.

Por la derecha, como afluentes tabasqueños, entran en sucesión los ríos Zanapa, Blasillo y el Chico Zapote. De ellos el más importante es el primero, que tiene como afluentes izquierdos los arroyos Mosquitero, Hondo Chico y Hondo Grande; estas tres corrientes siguen una dirección hacia el noreste y forman una laguna alargada, Laguna Rosario, cuyo desfogue es una aportación izquierda al río Zanapa, que se origina al suroeste de Huimanguillo con el nombre de río Coacojapa y cuenta con un afluente, el arroyo El Limón.

No obstante la importancia de este río, no ha sido posible instalar en él ninguna estación hidrométrica, principalmente porque las mareas lo afectan en una gran longitud arriba de su desembocadura.

Vegetación ¹

Hacia el nacimiento del Coatzacoalcos, el tipo de vegetación dominante es de bosque; también lo es hacia el origen del Jaltepec. Aguas abajo de la unión de las dos corrientes principales, el río atraviesa por una zona en que hay cultivos de temporal en las vegas de una y otra orilla (zona Las Perlas). Aguas abajo, abunda el manglar y empiezan las primeras zonas inundables. A la altura de Minatitlán hay muchos pastizales y terrenos que se aprovechan en siembras de temporal. Finalmente, en la zona cercana a la desembocadura existen regiones pantanosas que se inundan periódicamente. Algo semejante ocurre en la cuenca del río Tonalá, recorrido hacia aguas abajo.

Climatología

Lluvia.- Hacia la zona alta, dentro de Oaxaca, se registraron láminas medias anuales de precipitación pluvial hasta de 2,733

Un examen más amplio de las principales comunidades vegetales de la región, puede consultarse en el trabajo de Miguel Cházaro, *La región de los ríos Coatzacoalcos y Tonalá: la vegetación*, publicado por CECODES en esta misma serie.

mm. Este es un valor máximo que disminuye a medida que se consideran puntos más meridionales de la cuenca: 2,230 mm en Jaltepec, Oaxaca; 1,310 mm en Matías Romero y un mínimo de 1,117 mm en Santiago Chivela.

En general la estación más lluviosa es el verano, pues los meses de máxima precipitación son de junio a septiembre, y prácticamente ocurren lluvias en todos los meses del año, con valores mínimos en invierno

Temperatura.- Varía entre extremos muy amplios. Se tiene registrado un mínimo de 4°C en enero y un máximo de 48°C. El promedio de la temperatura media resulta muy poco variable a través de toda la región: desde 23.5°C en Puxmecatán hasta 26.9 ° C en Jesús Carranza. Su clasificación corresponde a "clima cálido sin estación invernal bien definida".

Evaporación.- El mínimo registrado es el valor de 1,047 mm en Mosquitero, Tabasco; el máximo es en Coatzacoalcos: 2,510 mm. Salvo el valor promedio calculado para Coatzacoalcos (2,068 mm), todos los demás muestran una relativa uniformidad: alrededor de 1,170 mm. Se exceptúa también el de Santiago Chivela, la estación más al sur de la región.

4. Laguna del Ostión

Posee una superficie de 12.7 km²; y se ubica en las inmediaciones de la cuenca hidrológica del Coatzacoalcos y la vertiente del Golfo de México, entre los 118 ° 11' " latitud norte y 92° 37" longitud oeste.

Este ecosistema acuático tiene una profundidad promedio de 3.0 metros y posee marcadamente dos tipos de agua: una salobre y otra salina, La primera se distribuye mayormente del centro a la ribera sur de la Laguna; la segunda, del centro al noroeste. Esta distribución se debe principalmente al aporte del agua dulce suministrada por los ríos Huazuntlán, Minzapan y Temoapan en la parte sur y sur-oeste, con un gasto máximo promedio aproximado de 350 m³/s durante la época de lluvia, el cual se reduce a 6 m³ en la época de estiaje. Por la parte noreste se comunica con el mar, a través del Golfo de México, y da lugar al flujo y reflujo del agua salina, de los nutrientes y de la fauna marina (figura 3).

La temperatura predominante de esta región es de 15 ° C; la máxima está cercana a los 27°C y la mínima a los 22 ° C. La hu-

medad relativa típica es de 80%, y la precipitación pluvial es de 1,595 mm.

La Laguna del Ostión cuenta con un elevado índice de producción y una amplia diversidad de especies acuáticas; sin embargo, su desarrollo pesquero es sólo del tipo artesanal y en baja escala. La captura de especies con importancia comercial dentro de la laguna y en la zona marina se concentra en peces como sierra (*Scomberomurus maculatus*), peto (*Scomberomus balla*), jurel (*Caranx hippos*), huachinango (*Lutjanus campechanus*), tiburón (*Carcharhinus sp.*), ostión (*Crassostrea virginica*) mojarra (*Fam, Gerridae*).

Sin embargo, las especies aborígenes de mayor relieve comercial que sólo se explotan ampliamente son el camarón blanco (*Penaeus setiferus*), el ostión y la mojarra, entre otros. La temporada de mayor captura corresponde a los meses de febrero a mayo y de septiembre a diciembre. La producción total de este ecosistema se distribuye en la localidad para su consumo. Destaca la abundante presencia de manglares y aves marinas, sobre todo en la parte sur de la laguna.

III. METODOLOGIA

Para la realización del presente estudio se utilizó una red de estaciones de muestreo en el río Coatzacoalcos, el río Tonalá y la Laguna del Ostión, las cuales aparecen en los mapas 1 y 2.

1. *Microorganismos*

La metodología en los análisis bacteriológicos siguió las recomendaciones de la American Public Health Association, y los índices de microorganismos se estimaron por el número más probable (NMP). En el aislamiento y la caracterización del grupo de coliformes fecales, se emplearon respectivamente medios de cultivo para enriquecimiento y medios selectivos.

Una primera parte del trabajo se hizo en los laboratorios de la SARH, establecidos en las cercanías de Coatzacoalcos, Veracruz; el resto se efectuó en la ciudad de México.

Para considerar la importancia de los análisis bacteriológicos en la valoración de la calidad del agua, se eligió al grupo coliforme fecal. Éste es el más fácil de detectar en muestras de agua y en sedimentos: las pruebas que se realizan son muy sensitivas y proporcionan datos cuantitativos, con los cuales es posible establecer promedios microbianos de la calidad del agua para diferentes usos. Esto es de gran importancia para la salud pública de ciudades dotadas con agua potable y para los cuerpos de agua (ríos, lagunas, playas), en los que los bañistas corren el riesgo de contraer enfermedades que afectan piel, ojos, oídos, nariz, garganta o bien el aparato digestivo. Por otra parte, microorganismos inconvenientes en el agua pueden contribuir a la destrucción o descomposición de alimentos, en procesos industriales y también a la corrosión de equipo.

Las bacterias coliformes son típicas de la contaminación fecal en el ambiente acuático, y se considera entonces a la *Escherichia conde* gran utilidad en aquellas zonas cercanas a la fuen-

tes de contaminación. En sedimentos, las poblaciones bacterianas son más estables que en la lámina de agua. Los géneros *Escherichia*, *Klebs/ella* y *Enterobacter* constituyen el grupo bacteriano denominado "coli-aerogenes". Asimismo, se ha investigado la presencia de algunas bacterias patógenas, tales como *Sal/mone/la*, *Staphy/ococcus aureus* y *Vibrio parahaemolyticus*.

En marzo de 1982, se inició el primer muestreo de sedimentos en el río Coatzacoalcos y de agua en la zona del litoral (tablas 1 y 2); en junio se hizo un segundo muestreo de sedimentos y agua en el río Coatzacoalcos (tabla 3) y de agua en la red de distribución de la ciudad de Coatzacoalcos (tabla 4)

2. Esteroles

Las muestras de sedimentos se colectaron a lo largo del estero del río Coatzacoalcos (marzo y junio de 1982), en la Laguna del Ostión (septiembre de 1982) y en el río Tonalá (abril de 1984).

Se congelaron los sedimentos para su transportación, y posteriormente fueron secados y molidos, y se extrajeron los esteroides durante 4 horas con solventes orgánicos; a continuación se realizó una purificación y una evaporación a sequedad. Después se analizó el producto por cromatografía de gases.

3. Metales pesados

Las muestras de sedimentos se colectaron de los sitios referidos en las figuras 1 y 2, extrayéndose con una draga tipo Van Veen de un litro de capacidad; siendo de inmediato transferidas a bolsas de polietileno y se congelaron en hielo seco para su posterior análisis en el laboratorio.

Los organismos colectados manualmente y los adquiridos con los pescadores de la región (peces, almejas, jaibas y ostiones), se preservaron también en hielo seco.

Análisis.- Una vez descongelado el sedimento, se dividió en tres porciones: una para carbono orgánico y humedad; otra para metales pesados, tomando los cuidados necesarios para no contaminar el sedimento; y finalmente la restante para el análisis granulométrico.

Carbono orgánico.- Se determinó el carbono orgánico total en las muestras de sedimento, usando la metodología descrita por Gaudette *et al.* (1974).

Se pesaron entre 0.3 y 0.5 g de sedimento seco y tamizado, por medio de la fracción retenida en la malla de 0.2 mm; todo se colocó en un matraz Erlenmeyer de 500 ml, al que se agregó con una pipeta volumétrica, 10 ml de la disolución IN de dicromato de potasio ($K_2 Cr_2 O_7$) y se mezcló. Después se añadieron 20 ml de ácido sulfúrico concentrado y se mezcló durante un minuto, agitando suavemente el matraz para asegurar la completa mezcla de los reactivos con el sedimento; se dejó reposar durante 30 minutos. Posteriormente se diluyó con agua destilada a 200 ml y se añadió 10 ml de ácido fosfórico ($H_3 PO_4$) al 85%, además de 0.2 g de fluoruro de sodio (NaF) y 15 gotas de indicador de difenilamina ($C_{12} H_{10} NH$). Finalmente se tituló con una disolución de sulfato ferroso ($FeSO_4$): el color cambió de café verdoso, verde a azul y en el punto de equivalencia pasó a verde brillante.

Las muestras se compararon con un blanco, con el que se usó la misma metodología, sólo que éste no tenía sedimento. Una vez hecha la titulación se calculó el porcentaje de carbono, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{de carbono orgánico} = 10 (1 - T/S) IN (0.003)(1001w)$$

donde:

T = ml de sol. $FeSO_4$ en la titulación de la muestra.

S = ml de sol. $FeSO_4$ en la titulación del blanco.

0.003 = 121400 = peso meq. del carbono.

IN = normalidad del $K_2 Cr_2 O_7$, en ml.

W = peso de la muestra de sedimento en gramos.

Granulometría.- El análisis granulométrico se realizó según el método de tamices y pipetas descrito por Folk (1951); las muestras se trataron previamente con H_2O_2 (25%), para eliminar el material orgánico, y con hexametáfosfato de sodio (calgon) como solución dispersante de los sedimentos.

La fracción fina se analizó empleando la Ley de Stokes, sobre la velocidad de sedimentación de las partículas.

Metales pesados.- Todo el material para estos análisis se preparó de acuerdo a las recomendaciones dadas por Bertini *et al.* (1976) y Moody y Lindstrom (1977).

Los sedimentos secos (90°C) y homogeneizados (1.5-2 gl se dirigieron con HNO_3 , $HClO_4$, HF, HCl , de acuerdo con las

técnicas descritas por Bruland *et al.*, 1974; Jones & Jordan, 1979.

Las mediciones de los metales se realizaron mediante el espectrofotómetro de absorción atómica Varian Techtron, modelo 1200, con lámparas de cátodo hueco y según las instrucciones del manual del equipo (Varian Techtron, 1972).

Los metales disponibles para la biota desde el sedimento se analizaron por una adaptación de las metodologías de Loring y Rantala (1977) y Skei y Paus (1979).

Organismos.- Una vez descongelados y clasificados hasta el género y la especie de acuerdo con sus características morfológicas (peces, 3-4 individuos; bivalvos 8-10 individuos por especie), se extrajo el tejido blando (músculo) de todo el cuerpo. La digestión con ácido nítrico concentrado para obtener los metales, se realizó con un gramo del tejido, calcinando a 450°C (Polprasert, 1982) y disolviendo las cenizas con HNO₃ concentrado. Las concentraciones de las muestras se leyeron por espectroscopia de absorción atómica de la misma forma que en los sedimentos.

4. Hidrocarburos fósiles

Para realizar el análisis de hidrocarburos fósiles en el presente estudio, se fijó una red de estaciones de muestreo que comprenden el Bajo río Coatzacoalcos, río Tonalá y Laguna del Ostión; en cada una se colectaron muestras de sedimentos recientes, agua y organismos (mapas 1 y 2); aquéllos se reunieron con una draga Van Veen. Durante la primera y segunda campañas se determinó el pH al momento de la extracción. Se traspasaron las muestras en frascos de vidrio previamente tratados; se agregó metano) y se conservaron en congelación hasta su análisis en el laboratorio.

La colecta de muestras de agua se realizó de acuerdo con la técnica descrita en el *Manual de CaR/POL*, para la vigilancia de la contaminación por petróleo (IOCARIBE, 1980). Se sometieron aquéllas a un proceso de extracción a bordo de la lancha, y se conservaron en congelación para la posterior determinación de hidrocarburos disueltos.

En forma adicional, se colectaron muestras de organismos, de los cuales se analizó el contenido de hidrocarburos poliaromáticos (PAH's) en tejidos musculares de 23 especies de importancia comercial y económica como peces, crustáceos y algu-

nos moluscos bivalvos provenientes del estuario del río Coatzacoalcos y de la Laguna del Ostión.

Para la cuantificación de breas y alquitranes se siguieron los procedimientos descritos en el *Manual de CARIPOL* (10CARIBE, 1980), colectándose en transectos de playas seleccionadas para tal propósito y localizadas en Veracruz, Tabasco o Campeche.

La determinación de hidrocarburos fósiles en organismos y sedimentos se realizó según la metodología descrita por Botello (1978), la cual se describe en términos generales en el Diagrama 1.

El análisis de las muestras se hizo empleando la técnica de la cromatografía de gases en un cromatógrafo Hewlett-Packard, modelo 5840A, y se efectuó antes y después de la adición de un estándar interno de n-parafina desde C_{t6} hasta C_{32} , además de los isoprenos pristano y fitano. La abundancia de cada componente fue determinada por su correspondiente área bajo cada cromatograma por medio de un integrador electrónico acoplado al sistema. Se utilizó un detector de ionización de flama, un programador lineal de temperatura y una columna capilar de sílica fundida de 30 m de longitud empacada con metil-silicón.

5. Plaguicidas

Procedimiento químico para la extracción de plaguicidas organoclorados en sedimentos

El método para la extracción de plaguicidas organoclorados se basó en el de Rosales (1983), que aparece en el esquema del Diagrama 2.

Todo el material de cristalería se lavó de la manera descrita. En el laboratorio las muestras se deshidrataron en una liofilizadora Virtis 10-100 por 24 horas. Posteriormente fueron maceradas y pasadas por un tamiz de Mesh 60; de aquí se tomaron 100 g; después se colocaron en el soxhlet dentro de un cono de papel filtro y se extrajeron con 250 ml de hexano Baker para análisis de residuos, por espacio de 4 horas, a partir del primer reflujo, esto se realizó con refrigerantes espirales de 50 cm de largo a 5 ° C de temperatura, interconectadas a un baño de temperatura y circulación constante tipo Lauda. Transcurrido el tiempo, se evapora el hexano y se concentraba la muestra de ml en un aparato Kuderna-Danish en baño maría.

DIAGRAMA 1. METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DE HIDROCARBUROS

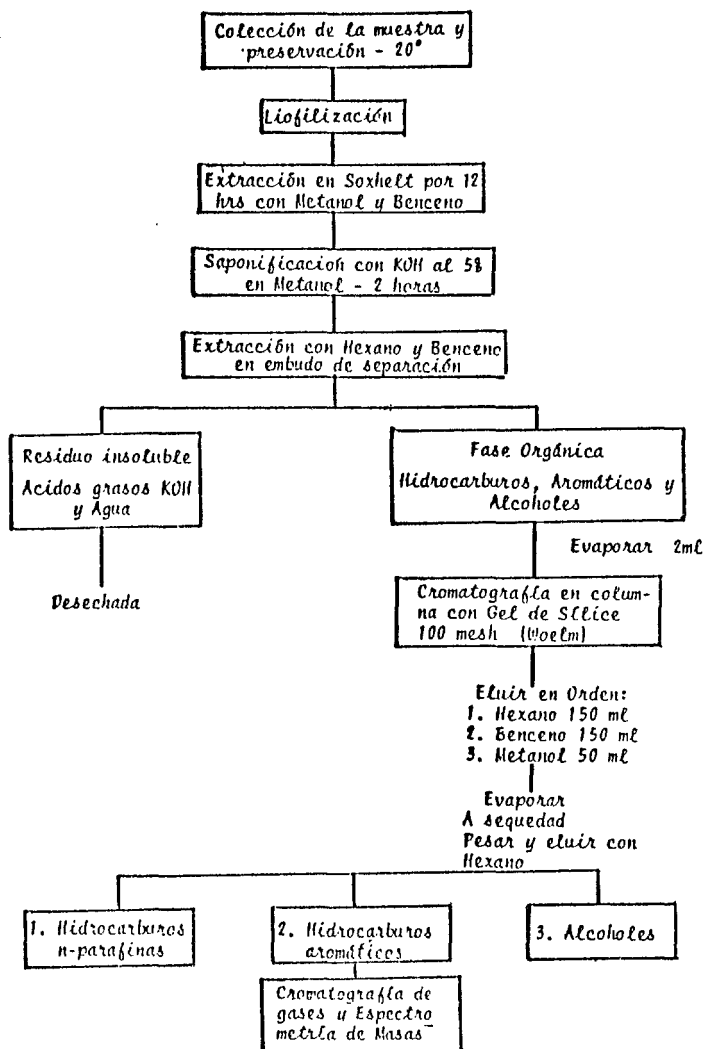
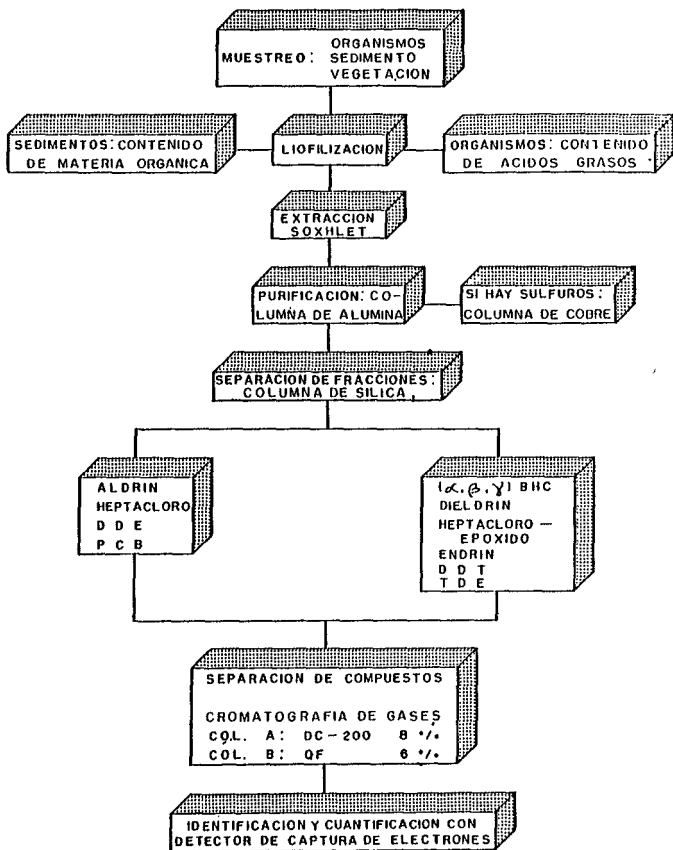


DIAGRAMA 2
 PLAGUICIDAS: METODO ANALITICO



Eliminación de sulfuros

Muy frecuentemente en los sedimentos se detectan sulfuros, por lo que se eliminaron tales impurezas por medio de una cromatografía en columna de cobre granulado Beker de 20-30 mallas. El cobre se activó con ácido clorhídrico al 50%, en punto de ebullición; finalmente se lavó con agua destilada. Se usaron columnas de 5 cm de largo y 0.5 cm de ancho, y la elución fue con 1 2 ml de hexano; otra vez la muestra se evaporó a un volumen de 3 ml, con una corriente de aire o nitrógeno.

Purificación por cromatografía en columna

En este momento los extractos de sedimento, ya libres de sulfuros y concentrados en 3 ml, quedaban listos para purificarse en columna de alumina de 2 g desactivada parcialmente al 5% con agua destilada. La alumina se purificó previamente en una mufla Blue M, Misa-1 A, durante dos horas a 800¹ C.

La elución fue hecha con 12 ml de hexano, y una vez más se evaporó la muestra con el mismo tipo de corriente, hasta dejar un volumen de 3 ml. A continuación se corrieron las muestras en una columna de sílica de 3 g desactivada al 5% con agua destilada. La sílica se purificó anteriormente a 600°C por dos horas en la misma clase de mufla. La elución se hizo con 1 2 ml de hexano.

Concentración de los plaguicidas organoclorados

Cuando las muestras pasaron por cromatografía en columna de sílica, se les concentró a un volumen de 1 .5 ml y se les colocó en cápsulas de vidrio, previamente lavadas y pesadas. La concentración de los plaguicidas organoclorados de cada muestra se obtuvo gravimétricamente con una balanza analítica.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

1. *Microorganismos*

En marzo de 1982, se inició el primer muestreo de sedimentos en el río Coatzacoalcos y de agua en la zona del litoral (tablas 1 y 2); en junio se hizo un segundo muestreo de sedimentos y agua en el río Coatzacoalcos (tabla 3) y de agua en la red de distribución de la ciudad de Coatzacoalcos (tabla 4).

En la tabla 1, los resultados de los análisis de sedimentos indican en la mayoría de las muestras, un nivel uniforme de coliformes totales (más de 11 000/gramo) y un nivel variable de coliformes fecales y de estafilococos. Se hace notar la presencia de *Salmonella* en 3 de las muestras y la ausencia completa de *Vibrio*. No se determinaron coliformes fecales en la muestra 01.

En la tabla 2, se destacan los resultados de los análisis de 5 muestras de agua colectadas en el litoral: se observan poblaciones muy constantes de coliformes totales y de fecales. Respecto a las otras bacterias, llama la atención la existencia de *Salmonella* en todas las muestras y de *Vibrio sp.* en 2 de ellas.

En la tabla 3, las 9 estaciones muestreadas en el río Coatzacoalcos, demostraron la presencia de niveles de coliformes totales más altos (hasta 2.4×10^3 por mililitro o por gramo), en aguas y sedimentos, comparándolos con el primer muestreo.

En esta ocasión, estuvieron ausentes las salmonellas y los estafilococos, y apareció *Vibrio parahaemolyticus* en las estaciones 03 y 06.

En la tabla 4, se señalan los resultados de los análisis de agua considerada de calidad potable, obtenida de 10 estaciones representativas de la ciudad de Coatzacoalcos. Los niveles de contaminación coliforme fecal fueron superiores a 16 bacterias por cada 100 ml de muestra, y los coliformes fecales fueron muy variables: desde menos de 2.2 hasta más de 16 bacterias por 100 ml. Esta diferencia denuncia tuberías dañadas en la red

TABLA N° 1
ESTUDIO BACTERIOLOGICO DE SEDIMENTOS EN EL RIO COATZACOALCOS

MARZO, 1982

MUESTRA	CT	CF	ES x gr.	SA x gr.	VB	OD ml/l.	SL ‰	pH	PF
01	+ 1,100	0	500	4	0	0.0	4.0	5.8	15
02	+ 1,100	39	210	0	0	3.1	5.0	6.5	14
03	93	3.6	5	2	0	3.5	4.0	5.0	8
04	+ 1,100	9.1	24	0	0	0.0	2.0	6.1	8
05	+ 1,100	43	15	0	0	0.0	4.0	6.2	15
06	+ 1,100	20	8	0	0	3.3	3.0	6.1	14'
07	+ 1,100	93	27	0	0	0.0	2.0	5.2	16
08	+ 1,100	93	17	0	0	2.8	1.75	6.2	7.5
09	75	43	3	1	0	5.3	1.0	6.1	7
00	93	93	9	0	0	4.7	5.0	6.4	-

CT : *Coliformes totales por gramo*
 CF : *Coliformes fecales por gramo*
 ES : *Estafilococos*
 SA : *Salmonella*
 VB : *Vibrio por gramo*
 OD : *Oxígeno disuelto*
 SL : *Salinidad*
 PF : *Profundidad en metros*

TABLA N° 2

ANALISIS BACTERIOLOGICO DE MUESTRAS DE AGUA COLECTADAS

EN EL LITORAL - MARZO, 1982

MUESTRA	CT	CF	ES	SA	VB	SL
1.- De la bocana entre las dos bocanas.	" + 240	240	34	14	19	-
2.- A la derecha de la bocana.	" + 240	240	3	2	0	-
3.- Frente a la bocana.	" + 240	240	23	59	6	-
4.- Frente al tanque de la SARH (una milla).	" + 240	240	21	12	0	-
5.- Junto al barco encallado.	" + 240	240	15	21	0	-

CT : COLIFORMES TOTALES POR MILILITRO
 CF : COLIFORMES FECALES POR MILILITRO
 ES : ESTAFILOCOCOS
 SA : SALMONELLA Sp
 VB : VIBRIO Sp
 SL : SALINIDAD

TABLA No. 3

ESTUDIO BACTERIOLOGICO DE AGUA Y SEDIMENTOS EN EL RIO COATZACOALCOS,
JUNIO 1982

MUESTRA	A G U A					SEDIMENTOS				
	CT	CF	S	V	F	CT	CF	S	V	E
01	2400	380	0	0	0	2400	210	0	0	0
02	2400	2400	0	6	0	2400	880	0	0	0
03	2400	2400	0	0	0	2100	500	0	8	0
04	2400	2400	0	0	0	2400	380	0	0	0
05	2400	2400	0	3	0	2400	200	0	0	0
06	2400	2400	0	0	0	1200	220	0	9	0
07	2400	2400	0	0	0	2400	380	0	0	0
08	2400	2400	0	0	0	2400	220	0	0	0
09	2400	2400	0	0	0	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns

- CT : Coliformes Totales por gramo o por ml.
 CF : Coliformes Fecales por gramo o por ml.
 S : Salmonellas por gramo o ml.
 V : Vidrio por gramo o ml.
 E : Estafilococos por gramo o ml.
 Ns : No se hicieron determinaciones

Cabe señalar que las cepas de la bacteria Vidrio que se han aislado han sido identificadas mediante pruebas bioquímicas y serológicas, como pertenecientes a la especie parahaemolyticus.

TABLA N° 4

ANALISIS BACTERIOLOGICO DE MUESTRAS DE AGUA COLECTADAS EN LA
CIUDAD DE COATZACOALCOS, JUNIO 1982

M U E S T R A	C. T.	C. F.
1. Agua de llave	+ 16	.2.2
2. Agua de llave	+ 16	+ 16
3. Agua de manatíal	+ 16	+ 16
4. Agua de noria	+ 16	5.1
5. Agua de noria	+ 16	-2.1
6. Agua de noria	+ 16	16
7. Agua de llave	+ 16	-2.2
8. Agua de garrañón	+ 16	+ 16
9. Noria de la SARH	+ 16	+ 16
10. Agua de llave	+ 16	2.2

C.T. : Coliformes totales por 100 ml.

C.F. : Coliformes fecales por 100 ml.

TABLA N° 5

NIVELES DE CONTAMINACION COLIFORME EN EL AGUA POTABLE

MUESTRA	CT	CF
1 Colonia Coatzacoalcos	240	38
2 El Penal	38	5
3 Los Playeros	240	21
4 Noria Revolución	240	15
5 Palma Sola	240	12
6 El Mirador	2.2	2
7 Esperanza A.de Hdez.	240	96
8 Pozo 5 Cánticas	4.4	2
9 Pozo 7 Cánticas	4.4	2

CT - Coliformes totales x 100 ml

CF - Coliformes fecales x 100 ml

TABLA N° 6

NIVELES DE CONTAMINACION COLIFORME EN LAGUNA DEL COSTION

Muestra No.	Agua		Sedimentos	
	CT	CF	CT	CF
1	2,400	2,400	24,000	3,800
2	380	150	500	440
3	380	150	1,500	1,200
4	2,400	960	1,500	880
5	2,400	2,400	24,000	9,600
6	2,400	2,400	1,500	1,200
7	2,400	960	24,000	3,800
8	380	210	24,000	9,600
9	2,400	1,500	88	1,200
10	120	88	880	760

CT - Coliformes totales x 100 ml

CF - Coliformes fecales x 100 ml

TABLA N° 7

ANALISIS BACTERIOLOGICO DE MUESTRAS DE AGUA Y SEDIMENTO

COSOLEACAQUE			
Muestra	CT	CF	Bacterias
C-1	0	0	
C-2	0	0	
C-3	0	0	
C-4	38	2.2	<i>Escherichia coli</i> tipo 1 y <i>Enterobacter aerogenes</i> .
MINATITLAN			
1	240	2.2	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
25	240	15	<i>E. coli</i> tipo I
39	0	0	
32	240	240	<i>E. coli</i> tipo I
35	240	21	<i>K. pneumoniae</i>
18	240	2	<i>K. pneumoniae</i>
14	0	0	
10	0	0	
6	240	240	<i>K. pneumoniae</i>
Playón	38	0	
COATZACOALCOS			
1	15	2.2	<i>K. pneumoniae</i>
2	240	240	<i>Enterobacter cloacae</i>
3	12	5	<i>Citrobacter</i> spp.
4	21	8.8	<i>K. pneumoniae</i>
5	0	0	
6	2.2	2	<i>K. pneumoniae</i>
7	0	0	
8	240	21	<i>K. pneumoniae</i>
9	0	0	
10	15	2.2	<i>Citrobacter</i> spp.

tiempo aun en aguas con alto grado de salinidad. Como no hay métodos confiables de rutina para el análisis directo de bacterias patogénicas en el agua, las pruebas para *Escherichia coli* (habitante común del tracto intestinal humano), permiten indicar su presencia, además de la contaminación con aguas negras a que están expuestos estuarios, lagunas, playas y ríos.

De acuerdo con los datos de los análisis bacteriológicos en muestras de agua, sedimento y ostiones, hay una alta y constante contaminación bacteriana del grupo coli-aerógenos. La tipificación de las bacterias aisladas en cultivo puro por medio de las pruebas conocidas como **WiC** (indol, rojo de metilo, Voges-Proskauer y citrato), demostró la presencia del indicador de contaminación fecal *Escherichia colitipo 1*. Se detectó esta misma bacteria en las muestras de agua supuestamente potable colectada en las ciudades de Cosoleacaque, Minatitlán, Coatzacoalcos, Agua Dulce, Las Choapas y Nanchital.

Son importantes los niveles de estafilococos, procedentes también de las descargas urbanas.

El *Vibrio parahaemolyticus*, causante de gastroenteritis en humanos, aparece en muestras de sedimentos del río Coatzacoalcos colectados en junio y en muestras de agua del litoral en marzo.

Por otra parte, existen salmonellas en muestras de sedimento del río Coatzacoalcos y en muestras de agua procedentes del litoral y del río Tonalá. Aún no se descubren salmonellas en muestras de ostiones. En conclusión, los niveles bacterianos estudiados en tales cuerpos de agua, así como en muestras de ostiones y de agua potable, exhiben marcadas fluctuaciones. Algunos de los factores que probablemente afectan las densidades, sobre todo de bacterias coliformes, no explican de manera alguna esta fluctuación. Tal vez los aumentos de coliformes por ligeros cambios de temperatura en las lagunas costeras mexicanas, se igualen con la actividad predatoria o con agentes tóxicos, más efectivos a temperaturas mayores.

Por otra parte, hay mayor contaminación del agua superficial y de los sedimentos durante la época de lluvias, debido al mayor aporte del caudal de los ríos y de los escurrimientos del suelo.

Si se trataran las aguas negras antes de descargarse en los ríos o lagunas, seguramente los niveles de contaminación fecal y de bacterias causantes de infecciones purulentas, cómo MM los estafilococos, se reducirían a niveles tolerables (2200 coli-

TABLA No. 8

MUESTREO DE AGUA EN AGUA DULCE, VERACRUZ MARZO 24, 1984

	CT	CF	
Agua de pozo filtrada-Fábrica de hielo "Alaska" Av. Obrera 247 (Centro)	240	12	<i>K. pneumoniae</i>
Agua de pozo Callejón Manuel Acopa Col. Alvaró Obregón	38	7.6	<i>E. coli</i> y <i>K. pneumoniae</i>
Agua de garrafón purificada paletería "La Guadalupeana"	240	5	<i>K. pneumoniae</i>
Agua de pozo paletería "La Guadalupeana"	240	21	<i>E. coli</i>
Agua purificada "El Oasis" Nanchital # 371	0	0	
Agua entubada, filtrada y tratada; Factoría Pemex	7.6	0	
Muestra de agua surtida por Pemex, almacenada en tinaco Centro Cruz Roja	38	7.6	<i>Proteus sp.</i>
Agua entubada surtida por Pemex, restorán "La Pirriá"	7.6	2.2	<i>K. pneumoniae</i>

CT y CF = NMP/100 ml.

TABLA No. 9

MUESTREO DE AGUA EN AGUA DULCE, VERACRUZ ABRIL 23, 1984

	CT	CF	
Agua de Pemex almacenada en tinaco Centro Cruz Roja	0	0	<i>K. pneumoniae</i>
Agua de pozo filtrado fábrica de hielo "Alaska"	240	38	<i>K. pneumoniae</i>
Agua de pozo Callejón Manuel Acopa Col. Alvaró Obregón	38	38	<i>E. coli</i>
Agua purificada y filtrada Factoría Pemex	0	0	
Agua de pozo palettería "La Guadalupana"	240	2.2	<i>K. pneumoniae</i>
Agua de garrafón "Ludi" palettería "La Guadalupana"	38	5	<i>K. pneumoniae</i>
Agua filtrada "El Oasis" Nanchital # 371	2.2	0	
Agua entubada-Insurgentes #396 Col. Los Pingüinos	0	0	
Agua de pozo; restorán "La Pirria"	240	15	<i>E. coli</i>

CT y CF = NMP/100 ml.

TABLA No. 10

MUESTREO DE AGUA EN LAS CDAPAS, VERACRUZ MARZO 24, 1984

	CT	CF	
Agua entubada en casa particular atrás del Centro de Salud SSA	15	5	<i>E. coli</i>
Agua de pozo de la palettería La Tropical	15	5	<i>Citrobacter sp.</i>
Agua entubada en la calle Justo Sierra # 17	240	12	<i>K. pneumoniae</i> y <i>Citrobacter sp.</i>
Agua entubada de la palettería La Fragua	38	8.8	<i>Proteus sp.</i>
Agua de garrañón "La Nacional" restorán en el centro	5	2.2	<i>K. pneumoniae</i>
Agua entubada de casa particular Independencia # 702	2.2	0	
Agua entubada de casa particular Comalcalco # 100	38	2.2	<i>Citrobacter sp.</i>
Agua entubada de las oficinas generales de Pemex	240	0	
Agua entubada de la caseta de vigilancia, Colonia Huapacal	8.8	0	
Agua del pozo No. 1 "Los Soldados"	8.8	0	

CT y CF = NMP/100 ml.

TABLA No. 11

MUESTREO DE AGUA EN LAS CHOAPAS, VERACRUZ ABRIL 23, 1984

	CT	CF	
Agua entubada de la palettería "Amarito"	15	5	<i>K. pneumoniae</i>
Agua entubada de la Escuela Antonio Bermúdez	240	38	<i>K. pneumoniae</i>
Agua entubada Taller Mecánico atrás de SSA	8.8	5	<i>E. coli</i>
Agua entubada casa particular Independencia 203	15	15	<i>K. pneumoniae</i>
Agua de garrafón "La Nacional" restorán "La Fogata"	0	0	
Agua del tanque de almacenamiento de distribución	0	0	
Agua entubada casa particular Blvd. México	5	5	<i>K. pneumoniae</i>
Agua entubada Col. Huapacal empleados de Pemex	8.8	0	
Agua del pozo "Los Soldados"	5	2.2	<i>K. pneumoniae</i>
Agua entubada de la Super-Intendencia de Pemex	5	0	

CT y CF = NMP/100 ml.

TABLA No. 12

MUESTREO DE AGUA EN MANCHITAL, VERACRUZ JUNIO 6, 1984

	CT	CF	
Agua entubada colectada en la comandancia	5	5	<i>E. coli</i>
Agua entubada en Mendoza # 8; Col. 1o. de Mayo	8.8	5	<i>E. coli</i>
Agua entubada en México # 30; Col. Lázaro Cárdenas	5	5	<i>E. coli</i>
Agua entubada Super-pollo Loncheria; Calle 20 de noviembre	20	20	<i>E. coli</i>
Agua del pozo No. 1; Col. Tepeyac	20	0	
Agua del pozo No. 2 Taller Mecánico; Col. La Noria	5	0	
Agua entubada en Lázaro Cárdenas No. 86; Col. Cangrejera	38	4.4	<i>E. coli</i>
Agua entubada en Tamaulipas No. 8; Centro parte alta	96	8.8	<i>E. coli</i>
Agua entubada en Colonia Obrera # 14	12	7.6	<i>E. coli</i>
Agua entubada en Revolución No. 2	15	5	<i>E. coli</i>

CT y CF = NMP/100 ml.

TABLA No. 13

MUESTREO DE AGUA EN LOS POZOS DE ABASTECIMIENTO DE LA CIUDAD DE
MINATITLAN, VERACRUZ JULIO 16, 1984

	CT	CF
Pozo 8 Calle Lázaro Cárdenas; Col. Hidalgo-Casino Petrolero	8.8	0
Pozo 9 Calle Tegucigalpa esquina con Río (Rosalinda)	8.8	0
Pozo 5 Atenas y Reforma	0	0
Pozo 10 Managua y París; Col. Nva. Mina	0	0
Pozo 6 Av. Lázaro Cárdenas; Col. Cuauhtémoc	0	0

CT y CF = NMP/100 ml.

2. Esteroles

Durante los últimos años creció la importancia de evaluar las distintas fuentes de contaminación acuática. La contaminación industrial del agua es únicamente uno de los factores en la compleja contaminación orgánica de nuestras corrientes. También las descargas naturales y domésticas y los materiales derivados del ciclo de la vida de las plantas y animales acuáticos, contribuyen con cantidades sustanciales de materia orgánica de origen biológico. Los métodos actuales necesitan descubrir las clases específicas de compuestos que puedan relacionarse cuantitativamente con las fuentes de contaminación.

Se conoce que ciertas pruebas químicas comunes dan una evidencia de contaminación fecal, pero no son indicadores específicos. Estas pruebas incluyen, por ejemplo, amonio, cloruros, carbonatos, nitritos, demanda química de oxígeno y oxígeno disuelto (Albaigés, 1980; Kirchmer, 1971).

Urgen clases específicas de compuestos para vincular éstos con la fuente de contaminación. Los compuestos que ofrecen esta ventaja son los esteroles, pues algunos de ellos son característicos de alguna forma de vida (son constituyentes menores de plantas y animales) y además resisten una degradación microbiana por periodos más prolongados que otros lípidos. Por eso los esteroles pueden emplearse como excelentes marcadores biológicos para periodos grandes de tiempo.

Debido a las técnicas analíticas modernas y a su correcta aplicación, es posible diferenciar si los contaminantes son de origen marino o terrestre o si se deben a descargas antropogénicas. Esta propiedad se usa especialmente en zonas costeras donde la materia orgánica en sedimentos puede ser aportada por muy diversas fuentes (Bergman, 1959; Duursma, 1981; Idler, 1968). En adición a la existencia de restos de plantas y animales, las descargas municipales o industriales contienen derivados de materia fecal de mamíferos, cuyos compuestos surgen de la reducción de esteroles a estanoles por la acción de la flora intestinal de mamíferos.

Los esteroles que el humano excreta son predominantemente colesterol, coprostanol, α -sitosterol metil colesterol y etil colesterol. El colesterol, el α -sitosterol y metil colesterol han sido identificados en el ambiente marino, pero al coprostanol no se le identifica aún en sedimentos no contaminados (Kirchmer, 1971).

El área de estudio está contaminada por hidrocarburos fósiles, metales pesados, materia orgánica y otros compuestos; aún así, la concentración de metabolitos del colesterol no es muy elevada, pues según Murtaugh (1967) se excreta un promedio de 2.2 g de coprosterol por día *per cápita*. Estos bajos niveles de metabolitos encontrados en el río Coatzacoalcos pueden explicarse porque han desaparecido los esteroides en el ambiente acuático, debido a la biodegradación por microorganismos. Ésta decrece cuando se clorinan las aguas residuales, pero en la zona de estudio no existe esa clorinación; por ello la biodegradación ocurre rápidamente, aunque presenta altibajos debidos a las variaciones de la concentración de los microorganismos.

Aunque comúnmente se usan las bacterias del grupo coliforme como indicadores, la validez del método depende de la rapidez del análisis: después de 48 horas de tomada la muestra, los resultados pueden ser cuestionables.

Mientras tanto, el coprosterol puede ofrecer ventajas, pues resulta posible almacenar las muestras por algunos días, mientras se llega al laboratorio.

Aunque el análisis de metabolitos del colesterol no suplanta la prueba de coliformes, sí provee una herramienta adicional muy práctica, para una mejor caracterización de la calidad de agua y una mayor certeza al evaluar la efectividad de un tratamiento de aguas en descargas industriales o domésticas.

En el presente trabajo, además de metabolitos del colesterol, también se hallaron otros esteroides cuyo origen puede ser a través del detrito de la biota (principalmente algas y moluscos); éstos fueron vistos en casi todos los lugares de muestreo, probablemente llevados y dispersados por la corriente del Coatzacoalcos y sus afluentes. Ellos pueden servirnos para saber si la contaminación proviene por mecanismos biogénicos, por descargas antropogénicas o por una mezcla de ambos prodésos.

Ahora bien, la contaminación fecal en el Coatzacoalcos fue muy elevada: los muestreos -hechos uno en la época de secas y otro en la de lluvias- nos revelan una variación estacional en la concentración, tal vez por el aumento en el caudal del río, que absorbía los esteroides en los sedimentos finos y los removería del fondo y los llevaría a la boca del río y posteriormente al mar, principalmente a causa de dos procesos geoquímicos: la remoción y la sedimentación,

Motivos para el muestreo en la Laguna del Ostión -cuerpo de poca profundidad y sin la dinámica del Coatzacoalcos- fueron

el deseo de convertirlo en referencia, además de la posible importancia que podría representar la Laguna como una zona de reserva ecológica.

Los datos obtenidos de la concentración de los metabolitos del colesterol en la Laguna del Ostión, comparándose con los obtenidos en el Coatzacoalcos, nos señalan que la contaminación fecal es mayor que en el río, a pesar de que el asentamiento humano en aquélla es pequeño. La elevada concentración de esteroides puede originarse porque los núcleos de pescadores y sus familias descargan directamente los desechos domésticos en ella. Además, la Laguna no tiene una gran circulación ni alta dinámica, y los metabolitos quedan atrapados en los sedimentos, y por lo tanto el tiempo de residencia de los esteroides es mayor en esta área, lo cual es causa de remoción muy baja. Así, la contaminación fecal de origen humano es más notable que en el estero del río Coatzacoalcos, con el consecuente riesgo para la salud humana: allí existe una actividad pesquera importante, y la captura se consume localmente o bien en sitios cercanos.

La tabla 14 y las figuras de la 1 a la 4 nos muestran los esteroides encontrados en sedimentos del río Coatzacoalcos y la Laguna del Ostión y los cromatogramas de los estándares. Éstos corresponden a los siguientes esteroides:

- a) Coprosterol
- b) Colesterol
- c) Colestano
- d) Ergosterol
- e) Stigmasterol
- f) Lanosterol
- g) a- Sitosterol

De éstos, el coprosterol y colesterol pertenecen al grupo de esteroides que sólo son producidos por el hombre en sus procesos metabólicos y son desechados a través de las heces fecales. Por tanto, la contaminación fecal de las áreas estudiadas es de origen humano, lo cual concuerda con los conteos de bacterias coliformes. También éstas muestran su mayor concentración en la Laguna del Ostión, y se reafirma así la gran utilidad del análisis de esteroides en procesos de contaminación fecal.

Tabla 74 Análisis de Esteroles en los ríos Coatzacoalcos, Tonalá y Laguna del Ostión.

LOCALIDAD COMPUUESTO	RIO COATZACOALCOS MARZO 1982	RIO COATZACOALCOS JUNIO 1982	LAGUNA DEL OSTION SEPTIEMBRE 1982	RIO TONALA ABRIL 1984	PROMEDIO
COPROSTEROL	0.070-0.587	0.013-0.634	0.013-2.284	ND	0.460
COLESTEROL	0.291-7.33	0.054-5.620	0.215-7.594	ND	2.210
COLESTANO	0.151-2.89	0.147-4.840	0.162-7.114	ND	1.880
ERGOSTEROL	0.026-8.43	0.014-4.480	0.023-4.267	ND	1.800
STIGMASTEROL	0.031-0.610	0.009-0.329	0.014-1.169	ND	0.240
LAXIOSTEROL	0.069-0.960	0.023-4.259	0.027-1.516	ND	0.70
B-SITOSTEROL	0.075-0.354	0.011-0.080	0.002-0.159	ND	0.110

ND: NO DETECTADO
SE REPORTA EN mg/kg

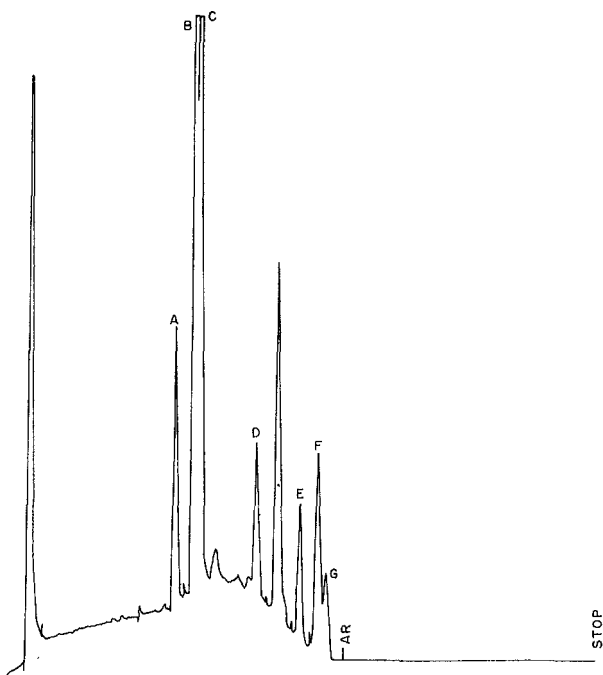


Fig. 1. Cromatograma de los estándares de esteroides

- A. Coprosterol
- B. Colesterol
- C. Colestano
- D. Ergosterol
- E. Stigmasterol
- F. Lanosterol
- G. β -Sitosterol.

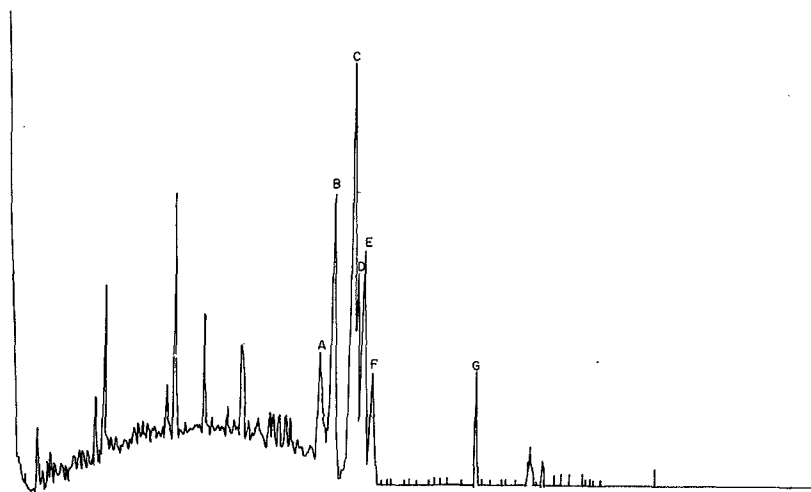


Fig. 2. Cromatograma de los esteroides encontrados en la Estación 05 durante el mes de marzo de 1982 en el Río Coatzacoalcos.

- A. Coprosterol
- B. Colesterol
- C. Colestano
- D. Ergosterol
- E. Stigmasterol
- F. Lanosterol
- G. β -Sitosterol



Fig. 3. Cromatograma de los esteroides encontrados en la Estación 26 durante el mes de junio de 1982 en el Río Coatzacoalcos.

- A. Coprosterol
- B. Colesterol
- C. Colestano
- D. Ergosterol
- E. Stigmasterol
- F. Lanosterol
- G. β -Sitosterol

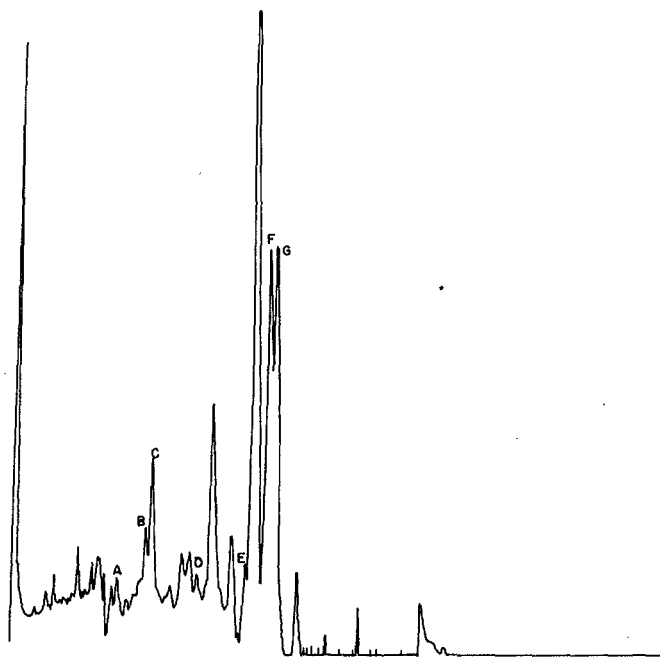


Fig. 4. Cromatograma de los esteroides encontrados en la Estación 02 durante el mes de septiembre de 1982 en la Laguna del Ostión.

- A. Coprosterol
- B. Colesterol
- C. Colestano
- D. Ergosterol
- E. Stigmasterol
- F. Lanosterol
- G. β -Sitosterol

3. Metales pesados

Como consecuencia del continuo desarrollo urbano e industrial, una fuerte variedad de materiales naturales y sintéticos entra en concentraciones crecientes al medio marino. Entre éstos, algunos de los principales agentes de la contaminación de la zona costera son los metales pesados. La actual movilización humana de estos metales ya supera los flujos naturales derivados de procesos geológicos (Mandelli, 1979).

Las industrias petroquímicas, la siderúrgica, la industria del papel y productos químicos, las de plásticos, fertilizantes, cementos y otras, emiten grandes cantidades de desechos contaminantes, entre ellos metales pesados como fierro, zinc, cromo, plomo, mercurio, cadmio, arsénico, aluminio, vanadio y otros (Hammer, 1981).

Durante el transporte de los metales pesados hacia el mar, éstos sufren transformaciones físicas, químicas y biológicas. Cuando llegan a la zona estuarina, se enfrentan a cambios en las características del agua que ocasionan su absorción, precipitación, floculación coloidal, fijación biológica, sedimentación, liberación bioquímica a la columna de agua y otros procesos. El balance final de todos ellos es que sólo una pequeña parte de los metales originalmente introducidos abandonan la zona estuarina en disolución.

De esto se deriva el peligro potencial para la zona costera, por cuya dinámica las tasas de renovación o ciclaje de materiales son rápidas, y así los metales atrapados en estos ecosistemas están continuamente disponibles para los organismos que los bioacumulan o sufren sus efectos tóxicos. La contaminación crónica y en dosis subletales, que frecuentemente es desatendida, permite la bioacumulación y magnificación de estos contaminantes a través de la cadena alimentaria hasta llegar al hombre y afectar su salud.

La estimación de las concentraciones naturales de metales y de los aportes antropogénicos permite evaluar el nivel de peligro que amenaza a una zona. La estimación de las concentraciones de metales pesados en la zona costera se efectúa determinando las cantidades existentes de éstos en los sedimentos, en organismos y en el agua.

Organismos

Éstos acumulan los metales ingeridos con los alimentos en combinación con materiales en suspensión, o bien penetran por absorción a través de las membranas semipermeables (branquias). Los metales pesados en los organismos sufren un fenómeno denominado biomagnificación: aumento de la concentración de metales en los tejidos vivos a través de la cadena trófica, De este modo los metales amenazan la salud pública.

La evaluación de metales pesados en los organismos, especialmente de los filtradores como los moluscos-bivalvos (ostiones, almejas, mejillones), se emplea frecuentemente como índice del estado de salud de los estuarios; durante los últimos veinte años los países de Europa y los Estados Unidos utilizan tales especies como medidores de contaminación ambiental. Tal estrategia ha sido considerada y analizada en el International Mussel Workshop, 1980, y también se usa para otros contaminantes como hidrocarburos y plaguicidas. Tal evaluación es posible porque a causa de las tasas de absorción y excreción de contaminantes por los organismos filtradores, éstos tienen en su cuerpo concentraciones proporcionalmente mayores a las del medio. Los peces en cambio pueden pasar ocasionalmente a salvo a través de la cadena alimenticia.

Si los metales desechados a un estuario llegan a ser tóxicos para los sistemas biológicos, el efecto es evidente en la disminución de las poblaciones de organismos. Sin embargo, en la mayoría de los casos, las concentraciones de elementos tóxicos son subletales: no matan a los organismos, pero probablemente les ocasiona trastornos en el metabolismo, en la reproducción, en la conducta, etc. Los efectos en las poblaciones son detectables a largo plazo; mientras tanto los [metales.se](#) acumulan en la cadena trófica, hasta llegar inadvertidamente al hombre. No se conocen con amplitud los efectos de dosis subletales en los organismos, pues existen muchos parámetros tanto biológicos como ambientales que se deben considerar en los bioensayos. Asimismo, considérese la diversidad de metales y estados químicos de éstos. Sin embargo, este aspecto merece ser investigado más a fondo, sobre todo por sus trastornos a largo plazo en los recursos pesqueros.

Sedimentos

Este segundo aspecto importante se compone de partículas minerales provenientes de la erosión de las rocas terrestres que llegan a depositarse a los estuarios o siguen su camino hacia el océano. Los minerales contienen en su estructura pequeñas cantidades de elementos metálicos liberados al medio por procesos del intemperismo, y sus formas químicas dependen de las características físico-químicas del medio ambiente. Estas pequeñas cantidades de metales participan en el balance biogeoquímico de los elementos.

Además de la importancia relativa como aportadores naturales de metales, los sedimentos son indispensables acarreadores de los metales de origen industrial que se encuentran en forma disuelta o coloidal en el agua. Las arcillas, las partículas más finas del sedimento, pueden absorber sobre su superficie iones metálicos y así acarrearlos hasta los estuarios. Una vez allí, gran parte de la fracción arcillosa de los sedimentos se deposita a causa de sus propiedades cohesivas y de los efectos químicos que ocasionan los factores ambientales del estuario (salinidad, potencial redox, oxígeno disuelto, pH, temperatura). Así, los elementos metálicos atrapados en los sedimentos de un estuario quedan accesibles a los organismos y disponibles para los procesos físicos, químicos y biológicos que determinan la continuidad de los ciclos biogeoquímicos.

Agua

La detección de los metales en el agua es significativa: ésta es el medio de transporte. Sin embargo las bajas concentraciones naturales de metales en el agua hacen difícil su análisis.

Los metales en ésta pueden encontrarse disueltos, en forma coloidal o adheridos a material en suspensión (materia orgánica y sedimentos); asimismo, en formas químicas variadas, según las características físico-químicas predominantes. El comportamiento químico de los metales y los procesos de especiación en el agua se han estudiado muy poco, no se conocen las constantes de equilibrio químico que determinan la presencia de ciertos compuestos metálicos (Goldberg, 1976). Este aspecto del estudio de los metales en el agua es muy importante: las especies

de un metal o sus formas químicas tienen propiedades de toxicidad distintas hacia los seres vivos.

Metales pesados y toxicidad

Los elementos llamados genéricamente metales pesados, metales traza u oligoelementos, existen en forma natural en concentraciones muy bajas, del orden de microgramo por litro, y en su forma elemental tienen pesos específicos mayores de cinco. La mayoría de los metales pesados que se encuentran en los sistemas biológicos (o los potencialmente tóxicos), son miembros de la familia de los elementos de transición de la tabla periódica, tienen propiedades en común y son altamente reactivos. Algunos de estos metales son esenciales para los seres vivos (por ejemplo, el cobre, el cobalto y el hierro); sin embargo, al aumentar las concentraciones naturales (tabla 15) o cambiar su forma química, pueden ser tóxicos.

Otros metales (como el plomo, el mercurio y el cadmio) son potencialmente tóxicos en ciertas formas químicas y en concentraciones específicas.

Florence y Batley (1977) señalan que la toxicidad de los metales hacia los organismos acuáticos, disminuye en el siguiente orden: mercurio, plata, cobre, cadmio, zinc, plomo, cromo, níquel y cobalto; hay excepciones a esta escala. Los metales iónicos utilizados en los sistemas biológicos tienen que ser relativamente abundantes en la naturaleza y disponibles como especies solubles; algunos elementos (como el aluminio y el titanio) son virtualmente no disponibles debido a la baja solubilidad de sus hidróxidos. Además de la disponibilidad de los metales para los organismos, la toxicidad de éstos depende también de otros factores: la presencia de otros metales que ocasionen un sinergismo o antagonismo en su efecto; factores físico-químicos del agua (temperatura, pH, potencial redox, oxígeno disuelto, salinidad, luz, materia orgánica) y los factores biológicos: especie, sexo, tamaño, edad, actividad, estadio de vida, habitat.

Respecto a la salud humana y la contaminación por metales pesados, con la excepción de la enfermedad de Minamata en Japón existe poca evidencia de que los alimentos de origen marino hayan causado alguna forma permanente de envenenamiento por metales. Sin embargo, la gente que vive cerca de zonas estuarinas o costeras asociadas con la industria excede fá-

Tabla No. 15

CLASIFICACION DE ELEMENTOS DE ACUERDO A SU
TOXICIDAD Y DISPONIBILIDAD

NO CRITICOS	TOXICOS PERO MUY INSOLUBLES O RAROS	MUY TOXICOS Y RELATIVAMENTE ACCESIBLES
Na C F	Ti Ga	Be As Au
K P Li	Hg La	Co Se Hg
Mg Fe Rb	Zn Os	Ni Te Tl
Ca S Sr	W Rh	Cu Pd Pb
H Cl Al	Nb Ir	Zn Ag Sb
O Br Si	Ta Ru	Sn Cd Bi
N - -	Re Ba	- Pt -

Fuente: Wood, 1974.

cilmente los límites tolerables de metales en su cuerpo. Las evidencias epidemiológicas advierten que las enfermedades relacionadas con la contaminación por metales pesados sólo aparecen después de una larga exposición a estos elementos (Bryan, 1976).

Los elementos tóxicos más importantes en términos de efectos sobre los sistemas biológicos naturales del medio acuático son el mercurio, el cobre, el plomo, el zinc, el níquel y el arsénico.

El mercurio es un elemento altamente tóxico para los seres terrestres y para la vida acuática, y se distribuye en muy amplia escala en el medio ambiente. Al igual que otros metales pesados tóxicos, se acumula en los organismos, donde se mantiene durante largos periodos y actúa como veneno acumulativo.

El mercurio se utiliza en muchos procesos industriales y puede llegar al medio acuático como material de desecho o conducido por la atmósfera. Los compuestos de mercurio se utilizan como plaguicidas, especialmente para combatir ciertos hongos en la agricultura, y como blanqueador en la industria de la pasta y el papel; también se emplea como elemento tóxico en pinturas anticorrosivas. De tal manera puede ser lixiviado directamente al mar.

Las sales inorgánicas de mercurio son tóxicas; aun así, algunos de sus compuestos orgánicos lo son aún más. En el medio acuático, por medio de la actividad bacteriológica, el mercurio se convierte en mercurio metílico, el cual puede ser acumulado por los peces o los crustáceos y es sumamente tóxico para los seres humanos.

El plomo es otro ejemplo de metal pesado tóxico, altamente distribuido en el medio marino. Por muchos decenios se le ha añadido en forma de tetraetilo de plomo, como antidetonante en la gasolina. El plomo, lo mismo que los demás contaminantes transportados por la atmósfera, puede ser llevado a grandes distancias de su origen y depositado en forma de partículas o disuelto en las lluvias que caen sobre el mar.

Los otros metales pesados tóxicos son también potencialmente peligrosos para el medio ambiente, y aunque no han tenido todavía una repercusión análoga a la del mercurio, no es posible ignorarlos.

A continuación se hace una breve síntesis de los efectos tóxicos de los metales analizados en este trabajo:

Plomo (Pb)

Este metal es no-esencial para los seres vivos; sin embargo, está presente en todos los tejidos y órganos de los mamíferos. El plomo es un veneno acumulativo, que en condiciones normales es retenido en un 90% en el esqueleto, y su efecto en el metabolismo puede no detectarse. Afecta la permeabilidad de la membrana de riñones, hígado, gónadas y células cerebrales, y ocasiona hemólisis y destrucción de esos tejidos. Los efectos por el envenenamiento con plomo se manifiestan en la enfermedad conocida como saturnismo (Fórstner y Wittman, 1979; Bakus, 1980).

No se comprueba aún si el plomo precipitado y depositado sobre los sedimentos es nocivo para los peces (Bakus, 1980); esto se debe seguramente a que el plomo es poco soluble en el agua de mar.

Mercurio (Hg)

Es un metal no-esencial y altamente tóxico para los seres vivos. Aun en bajas concentraciones, el mercurio y sus compuestos son potencialmente nocivos por la magnificación en la cadena trófica. Todas las formas del Hg pueden ser convertidas a metilmercurio ($\text{CH}_3\text{-Hg}$) por las bacterias, y ésta es la forma más tóxica. El envenenamiento con CH_3Hg causa un daño neurológico no específicamente identificado, con daños principalmente en el cerebelo y vías sensoriales, como lesiones en la corteza cerebral del hombre (Fórstner y Wittman, 1979; Bakus, 1980).

Conocido es el caso de la Bahía de Minamata en Japón, donde la gente que consumía pescado y mariscos de la región sufría progresivamente debilitamiento muscular, pérdida de la vista, desequilibrio de funciones cerebrales y en algunos casos parálisis y muerte. Más de 10 años después de intensivos estudios se descubrió que la enfermedad de Minamata se ocasionaba por ingerir productos marinos contaminados con metilmercurio.

Cadmio (Cd)

Elemento no-esencial cuyas propiedades químicas son intermedias al zinc y mercurio. Este elemento altera el metabolismo, es

capaz de sustituir más del 30% del calcio en los huesos, afecta el tracto respiratorio, causa inflamación de riñones y degeneración de grasas en el hígado. En los peces disminuye la capacidad de sobrevivencia de las larvas de algunas especies (F6rstner y Wittman, 1979; Bakus, 1980).

Cobre (Cu)

4

Este es un elemento esencial para los seres vivos que actúa a nivel enzimático en el metabolismo. La toxicidad o la deficiencia de éste en los animales depende de interacciones con otros elementos traza como molibdeno y zinc, sin los cuales el cobre no actúa en el metabolismo ni aumenta su efecto tóxico. La ingestión excesiva de cobre provoca su acumulación en el hígado, y aunque no hay efectos muy bien definidos, se han observado dermatitis, irritación de los ojos y del tracto respiratorio (Fbrstner y Wittman, 1979; Bakus, 1980).

Cromo (Cr)

Es uno de los metales menos tóxicos, y en general los mamíferos pueden tolerar concentraciones relativamente altas en su cuerpo. El plomo hexavalente ($Cr +6$) es cien veces más tóxico que las sales de cromo ($Cr+3$), y puede ocasionar corrosión de las membranas mucosas, cáncer en los pulmones y úlcera. Sin embargo, en el mar el cromo se encuentra en su mayor parte como $Cr+3$, y la acidez estomacal reduce el $Cr+6$ a $Cr+3$.

Zinc (Zn)

Este 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. El resultado de pruebas de laboratorio señala que el metabolismo humano puede ser afectado (balance mineral y enzimático), especialmente en niños y pacientes que sufren de metabolismo irregular. Las emanaciones de zinc en la atmósfera pueden ocasionar daño a los pulmones.

Cobalto (Co) y Níquel (Ni)

Estos elementos son esenciales para el metabolismo de los se-

res vivos, y al parecer no tienen efectos tóxicos en el ambiente acuático. En los humanos el contacto con el cobalto puede causar dermatitis; el níquel puede producir dermatitis y cáncer de nariz y pulmones.

Fierro (Fe) y Manganeso (Mn)

Estos elementos son más abundantes en la naturaleza que los anteriores; también existen en el metabolismo de los seres vivos. En general, no parecen tóxicos.

Los resultados de las concentraciones de materia orgánica y metales pesados en sedimentos y organismos de los ríos Coatzacoalcos y Tonalá y Laguna del Ostión, se presentan en las tablas 15 a 17.

Sedimentos del r% Coatzacoalcos

Las concentraciones de materia orgánica encontradas varían entre 1.1 y 8.5%. Evidentemente, los sedimentos más gruesos presentan las concentraciones más bajas; la muestra de la estación 09, que se encuentra río arriba de Minatitlán (figura 1), es la de menor concentración de materia orgánica y mayor concentración de oxígeno en sus sedimentos. Asimismo, tal estación presenta las concentraciones más bajas de metales, tanto totales como "no detríticos"; por ello se le considera como punto de referencia, aunque la disimilitud de tamaño de grano de los sedimentos y la composición mineralógica pueden influir determinantemente en la concentración de los metales (tabla 16).

Las concentraciones de la fracción disponible, con excepción del cobre, son todas más altas que las de la estación 09. De los diferentes tipos de textura vistos, las arenas son las más útiles para evaluar el impacto de los metales pesados en las diferentes secciones del río; así, se encontró que para todos los metales analizados (excepto Hg) las estaciones localizadas en La Bocana fueron las que presentaron los niveles más elevados; después estuvieron las localizadas frente a Minatitlán. Las de más bajas concentraciones fueron las arenas de la estación 09 en la parte media del estuario y las de la 17, localizada río arriba (fuera de la población de Minatitlán).

En general, jerarquizando la biodisponibilidad de los metales, obtenemos el siguiente orden:

Zn (35.1 %) > Fe (31.5%) > Cd (28.9%) > Co (22.3%) >

Pb (19.1 %) > Cr (16.8%) > Ni (9.2%)

Todas las concentraciones de metales totales y no-detriticos se incrementan con el contenido orgánico y la disminución en el tamaño de grano.

Sedimentos de la Laguna del Ostión

Los porcentajes de materia orgánica determinados en los sedimentos superficiales de la laguna varían de 1.3% (estación 03) a 11% (estación 05); esta última se halla cerca de pequeños poblados de pescadores como el Jicacal y Pajapa (mapa 1). Las estaciones 07 y 08 tienen los niveles de materia orgánica más altos de toda la laguna; a excepción de la estación 01, con un 9.6%, influye en estos valores el tipo de sedimento que existe allí; así, la estación 05, con el nivel más alto, presenta a su vez el tipo de sedimento más fino (lodo) con el 88.06% de toda la laguna; la excepción a esta regla es la estación 07, con 8.9% de materia orgánica en un tipo de sedimento arenoso; sin embargo, el contenido del material fino (57.84%) es mayor que el porcentaje de arena (tabla 16), lo que hace suponer que el material orgánico queda acumulado en la fracción lodosa.

Al presentarse altas concentraciones de materia orgánica en las estaciones 01, 05 y 08, éstas son las más afectadas; por tanto, se evidencia que hay poca capacidad para oxidar la materia orgánica presente en los sedimentos, debido al aporte de los pueblos aledaños a la laguna.

La estación 01 exhibe dichos niveles de material orgánico como un resultado de los fenómenos de floculación y precipitación de los materiales en suspensión que lleva la laguna, los cuales surgen ahí donde se mezclan las aguas dulces de la laguna con la salada del mar. Este fenómeno ha sido bien estudiado (Sholkovitz, 1976), pues mucho material transportado por las aguas dulces se deposita en los fondos de la zona estuarina o zona de mezcla de la laguna. El tamaño gráfico promedio (Mz 0) de los sedimentos, varía de 2.58 a 7.67 para las estaciones 10 y 05, respectivamente; para la desviación estándar (S0) va de 1.59 (estación 10) a 3.86 (estación 09) (tabla 16).

Los rangos anteriores demuestran que existe para COI tipo de sedimento una clasificación bien definida (excepto para el

arcilloso-limoso de la estación 08 y el arcilloso: el Mz es menor a los valores esperados, debido tal vez a que el porcentaje total de lodo es mayor que para las arenas).

El tipo predominante de sedimentos en la Laguna del Ostión son arenas presentes en cuatro de las diez estaciones muestreadas, siguiendo el tipo arcilloso-limoso (tabla 16). El grado de uniformidad existente es muy amplio, ya que el rango de desviación estandar es mínimo.

Los resultados acerca de los metales pesados fueron los siguientes: la estación 09 contiene las más altas concentraciones de todos los metales, a excepción del Cu, que en la estación 05 alcanza 75 ppm, y el Co: en la estación 07, con 57 ppm.

Las altas concentraciones de Fe, principalmente en la estación 09, se deben a que, si bien poco comunes, existen minerales ricos en este metal, muy estables en condiciones sumamente variables de oxidación; en este caso los suelos cercanos a la Laguna son lateríticos, ricos en Fe. Así, las partículas superficiales del suelo acarreadas hacia la Laguna quedan depositadas en el fondo.

Para el Pb y Cd no se obtuvo concentraciones arriba del límite de detección (10 ppm para el Pb y 1 .0 ppm para el Cd) (tabla 16). Para el Mn, no se analizaron las muestras por haberse contaminado el estándar.

Jerarquizando los porcentajes generales sobre la biodisponibilidad de los metales pesados, tenemos:

Co (39.1 % estación 10) > Fe (33.9% estación 04) >

Zn (28.8% estación 10) > Ni (27.0% estación 10)

El Co mostró el mayor porcentaje para la estación 10. que contiene los mayores porcentajes tanto de Co, Zn y Ni. Existe una mayor disponibilidad de Co, Fe, Zn y Ni para los organismos acuáticos, aunque las concentraciones de metales totales son bajas en esos puntos.

Por la conformación geográfica de la Laguna (cuerpo casi cerrado y muy somero), la renovación de las masas de agua es muy lenta, y por ello es más vulnerable a la presencia de los contaminantes.

Por lo anterior, aunque las concentraciones de metales totales son altas, no por ello son totalmente disponibles para los organismos; tampoco éstos las llegan a asimilar en sus tejidos, y por

TABLA N° 15

CONCENTRACION DE METALES PESADOS Y MATERIA ORGANICA PARA DIFERENTES TIPOS DE TEXTURA EN LOS SEDIMENTOS DE LOS RIOS COATZACOALCOS Y TONALA Y LAGUNA DEL OSTION, VERACRUZ, MEXICO

	CONCENTRACION EN PPM (Fe Y MATERIA ORGANICA EN %)																
	Ni		Co		Cu		Zn		Pb		Cr		Cd		Fe		M.O.
	Total	Biodis	Total	Biodis	Total	Biodis	Total	Biodis	Total	Biodis	Total	Biodis	Total	Biodis	Total	Biodis	
RIO COATZACOALCOS																	
Arena	22	1.6	17	2.7	14	0.5	47	8.3	29	2.9	44	1.6	1.09	0.17	2.53	0.74	2.7
Arena-Limosa	43	2.8	23	4.7	23	0.2	87	10	40	5.4	85	3.0	1.73	0.33	4.47	0.61	5.2
Limo-arenoso	48	3.2	29	4.3	44	0.2	118	17	55	5.9	93	5.7	2.11	0.43	5.71	1.30	8.4
Limo	35	2.7	20	2.8	21	0.2	117	19	39	5.7	71	3.4	1.62	0.27	3.68	0.69	6.9
Limo-arcilloso	42	3.7	25	4.7	35	0.5	108	25	51	6.3	90	6.9	2.10	0.38	5.20	0.86	6.8
Arcilla-Limosa	50	4.4	26	4.5	39	0.6	131	41	73	10	107	11	2.14	0.61	4.76	0.85	8.4
LAGUNA DEL OSTION																	
Arena	28	4.2	22	<10	7.0	<0.2	32	4.9	<7	<1	59	<1.9	<0.4	-	2.95	0.76	2.4
Arena-Limo-arcillosa	62	3.0	57	11	61	0.3	80	6.8	<7	<1	200	<1	<0.4	-	6.04	1.44	8.9
Arena-arcillosa	85	<2	49	6.3	70	0.4	91	8.4	<7	<1	305	3	<0.4	-	6.40	0.84	7.8
Limo-arcilloso	44	4.6	40	12	25	<0.2	68	13	<7	<1	101	4.6	<0.4	-	3.40	1.16	5.6
Arcillo-arenoso	48	4.6	40	11	35	<0.3	61	9.7	<7	<1	119	5.1	<0.4	0.42	4.32	1.13	6.1
Arcilla-Limo-arenosa	56	<2	40	8	72	<0.3	69	10	<7	<1	175	4.2	<0.4	0.31	3.26	0.95	10.7
Arcilla-Limosa	64	<2.5	33	<5	58	<0.3	78	9.7	<7	<1	165	<1	<0.4	0.39	3.95	0.65	10.3
RIO TONALA																	
Arena	25	-	13	-	7	-	30	-	<1	-	<1	-	<1	-	0.84	-	1.5
Limo	120	-	17	-	29	-	105	-	<1	-	<1	-	<1	-	1.5	-	3
Limo-arcilloso	142	-	52	-	24	-	70	-	<1	-	<1	-	<1	-	1.6	-	2
Arcillo-Limosa	195	-	22	-	43	-	76	-	<1	-	<1	-	<1	-	1.2	-	2

lo tanto son más tóxicas. Por ejemplo, la estación 05 muestra la mayor concentración de metales totales y no aparece en el porcentaje de biodisponibilidad. Mientras, la 10 se ubica lo más lejos de los poblados de la zona y de la boca de la laguna y tiene un tipo de sedimento arenoso y un relativamente bajo porcentaje de materia orgánica; presenta por eso el mayor porcentaje de disponibilidad de metales.

Las concentraciones más bajas de todos los metales totales se dan en las estaciones 02 y 03; estos valores son los esperados, debido a la ubicación de éstas cerca de la desembocadura de la laguna y con una baja profundidad, así como al tipo de sedimento predominante (arenas) y al bajo contenido de materia orgánica.

Por estos valores y por las relaciones de los metales con el material orgánico y el tamaño de partículas sedimentarias, se corrobora una tendencia en la Laguna: la de aumentar la concentración de los metales pesados al disminuir el tamaño del sedimento y al crecer el contenido del material orgánico. En suma, la concentración de los metales pesados es inversamente proporcional al tamaño del grano sedimentario y directamente proporcional al contenido de materia orgánica.

Sedimentos del río Tonalá

Las concentraciones obtenidas de carbono orgánico en los sedimentos del Tonalá, varían de 0.32 a 5.8%. Este rango se produce porque los sedimentos de grano grueso tienen porcentajes más bajos en contenido de materia orgánica y viceversa; así las concentraciones de carbono orgánico son altas en sedimentos de material fino (arcillas y limos).

Las estaciones 00, 01 y 07 contienen un porcentaje de arena de 71.4, 94.8 y 91.8%, respectivamente. Se localizan dichas estaciones cerca de la boca del río. Estos porcentajes se deben a que en ellas hay un arrastre y flujo de corriente, que impide una alta sedimentación y retención de materia orgánica y partículas finas sedimentarias.

La estación 11 ofrece una situación diferente al patrón establecido a lo largo del río: tiene un alto porcentaje de arena (80.4%) y contiene el porcentaje más alto de carbono orgánico de todo el río (5.8%) (tabla 16)

Las concentraciones detectadas de metales pesados en todo el trayecto del río, tienen variaciones significativas, y en compa-

ración con las áreas muestreadas se observa que los valores más altos corresponden a las estaciones 02, 03, 05, 08, 09, 11 y 12, zonas donde se ubican industrias petroquímicas y petroleras. Ahí son muy significativas las concentraciones de Ni, cuyas descargas al medio ambiente acuático incrementan de manera singular los volúmenes naturales de este metal.

En tanto, las estaciones 00, 01, 04 y 07 presentan las concentraciones más bajas de los metales analizados. Por lo tanto, las zonas críticas en el Tonalá son las estaciones 02, 03, 05, 08, 09, 11 y 12. Existe una tendencia general de los metales pesados a incrementar su concentración de acuerdo con el aumento del contenido de carbono orgánico y el decrecimiento de la fracción del sedimento.

Comparación con otras regiones

Generalizando, las concentraciones de los metales analizados no son significativamente altas si se les compara con otros lugares, como California (Bruland *et al.*, 1974), Bahía de Chesapeake (Goldberg *et al.*, 1978) y Lago Michigan (Goldberg *et al.*, 1981), entre otros.

Sin embargo, es dudosa la validez de una comparación si no se considera el carácter textural de los sedimentos. Por tal motivo, se compararon los datos de este trabajo con los de sedimentos de otros lugares con su carácter textural equivalente. Los niveles de Zn, Pb, Cr y Cu de Los Angeles Harbour (Lu y Chen, 1977) y Narraganset Bay son mucho mayores que cualquiera de los cuerpos aquí estudiados (tabla 17).

Cd y Fe aparecen más altos en los sedimentos de Coatzacoalcos; aun así, sus valores son comparables a los de Laguna Chautengo, México (Páez Osuna *et al.*, 1984), área no afectada por actividades externas a ella. Por su parte, el cobalto existe en concentraciones ligeramente mayores en Laguna del Ostión que en el estuario de Coatzacoalcos, río Tonalá y Laguna de Chautengo. Las concentraciones de Ni en los sedimentos se produjeron en orden de mayor a menor como sigue: río Tonalá, Laguna del Ostión, Laguna Chautengo, río Coatzacoalcos y, en menores concentraciones, las regiones de Los Angeles y Narraganset Bay. Notablemente, las concentraciones en el Tonalá superan tres veces o más a las de Laguna de Chautengo (México) o los sedimentos de la Bahía Narraganset Bay y el puerto de Los Angeles, EUA.

TABLA 17

CONCENTRACION DE METALES PESADOS PARA DIFERENTES TIPOS DE SEDIMENTOS EN LAS
AREAS DE ESTUDIO Y OTRAS REGIONES

	Fe	Ni	Co	Cu	Zn	Pb	Cr	Cd
<u>Estuario de Coatzacoalcos (Méx.)</u>								
Arena-limosa	3.4	29	21	19	75	40	63	1.4
Limoso	8.5	43	23	31	94	47	82	1.8
Arena, limos y arcillas	2.6	21	15	15	40	27	44	1.0
Arcillo-limoso	5.1	50	26	41	130	91	120	2.1
<u>Río Tonala</u>								
Arena-limosa	2.3	86	13	22	98	10	10	1.0
Arenosa	0.7	11	--	3.4	27	10	10	1.0
Arcillo-limoso	2.2	202	29	34	88	10	10	1.0
Limoso	2.3	91	28	27	198	10	10	1.0
<u>Laguna del Ostión</u>								
Arenoso	1-3	24-51	14-38	1-5	23-85	10	51	1.0
Arcilla-limosa	3.4	44-94	40-53	25-75	68-146	10	101	1.0
Arcillosa	4.1	73-83	47-59	75-82	85-150	10	202	1.0
<u>Laguna Chautengo (Méx.)^{a/}</u>								
Arena-limosa	2.0	25	21	15	41	9	26	1.1
Arcilla-limosa	5.0	61	36	42	109	9	60	3.1
<u>Los Angeles Harbour (EUA)^{b/}</u>								
Arena-limosa	1.5	20	--	46	115	65	114	0.63
Arcilla-limosa	3.2	42.8	--	152	415	177	187	1.87
<u>Narraganset Bay (EUA)^{c/}</u>								
Limoso	3.3	28	8	190	250	140	155	--
(Núcleo 7408-2813, periodo 1973-1973)								

a/ Palz-Osuna *et. al.* (en preparación)

b/ Lu and Chen (1977)

c/ Goldberg *et. al.* (1977)

las cercanías donde son vertidos directamente desechos provenientes de las industrias cercanas al Coatzacoalcos. De igual manera y como lo proponen diversos autores (Cranston y Buckley, 1972), existe una clara correlación directa entre la concentración de mercurio y el contenido de carbono orgánico y el tipo de sedimento: aquélla es mayor en sedimentos con alto contenido de material orgánico y con tamaño de partícula más fino (limos y arcillas).

Las concentraciones determinadas son comparables con las obtenidas por Bainbridge *et al.*, 1973, para sedimentos recientes del río Red Cedar en Michigan, donde los autores determinan un rango de concentraciones de 0.04 a 0.40 ppm (peso seco), pero sensiblemente menores a las reportadas por Ochoa *et al.*, cuyos valores promedio de concentraciones fueron de 1.407 y 0.585 ppm, respectivamente (Ochoa *et al.*, 1976).

Aunque en niveles bajos, la sola presencia del mercurio representa un daño potencial para los organismos del área y para el hombre mismo: al ser vertido al medio ambiente, 'de inmediato hay incorporación a cadenas tróficas, y aunque no existe un acuerdo sobre los niveles de mercurio tóxicos para el hombre y otros organismos (pues cada país fija los límites permisibles según sus leyes ambientales) un hecho claro es que los únicos compuestos peligrosos para la salud humana son los de alquilmercurio, dentro de los cuales los de metilmercurio son los más tóxicos. La falta de control y regulación sobre el vertimiento de este y otros metales hace que la zona de estudio se considere como "área crítica", dada la concentración de metales pesados (Ochoa *et al.*, 1976: "los valores más altos del contenido estomacal y animal entero se aproximan peligrosamente a los fatales de Minamata. Puede, por lo tanto, hablarse de una seria contaminación por mercurio dentro del estuario del río Coatzacoalcos, especialmente hacia su margen este, *área que debía ser inmediatamente vedada a todo tipo de pesca*").

En suma, desde 1976 se alerta sobre el riesgo del mercurio y sus efectos en los ecosistemas tropicales del sureste mexicano, a los cuales no se presta atención.

Organismos de la Laguna del Ostión

Las concentraciones en los organismos acuáticos de la Laguna aún se encuentran en un nivel permisible para evitar en cierto grado la toxicidad.

Las concentraciones de Cu, Zn, Fe y Mn son altas en los organismos bentónicos, principalmente en los de hábitos filtradores como almejas y ostiones y en algunos crustáceos como las jaibas; para los peces, los niveles detectados son bajos. Las concentraciones de Ni son altas en todos los casos, y se da una bioacumulación de este metal en el músculo (tabla 1 8a).

La acumulación de los metales pesados en los sedimentos se refleja en el contenido de(metal en los organismos, principalmente en los de vida bentónica, con hábitos filtradores: al consumir detritus, también ingieren material fino del sedimento, y por ello aumenta la concentración de los metales en las diferentes partes del organismo. Éste bioacumula los metales como un reflejo de la remoción de éstos a través de procesos biogeoquímicos.

Los ostiones y las almejas denuncian las concentraciones más altas de los metales pesados, en tanto que los valores obtenidos para los peces son bajos con respecto a los organismos bentónicos. Además, en la columna de agua las concentraciones de metales son muy bajas: debido a su solubilidad tienden a sedimentarse, y sólo se detectan iones metálicos, como sales, a modo de complejos o unidos a otros elementos.

Los niveles de Cu son similares para los ostiones (*Crassostrea virginica* y *Crassostrea rhizophora*) en concentraciones altas. Con respecto a los peces (*Gerres cinereus*, *Centropomus undecimalis*, *Diapterus olisthostomus*, *Eugerres plumieri*) no se detectó concentración alguna, por lo que la absorción del Cu no ocurre en niveles detectables o el metal es de inmediato movilizado de los organismos nectónicos por procesos metabólicos. Además, puede enmascarse el funcionamiento por la interacción del cobre con otros metales, como el Zn y el Mo.

Sin embargo, existe quizás cierto nivel de bioacumulación de Cu por parte de los organismos bentónicos: son altas las fluctuaciones encontradas en los sedimentos del río, con concentraciones que van de 1 .1 a 90.4 ppm. Los ostiones tienen un promedio de 48.8 ppm y se hallan dentro del rango detectado para los sedimentos del río.

Varía mucho la distribución de estos elementos en los organismos. Por ejemplo, los niveles de Ni y Cr son altos para los ostiones y almejas.

El Ni ofrece niveles altos en todos los casos, a excepción del robalito (*Centropomus undecimalis*) con 5.6 ppm; hay una importante bioacumulación en ostiones y almejas. Sin embargo,

TABLA No. 18

CONCENTRACION DE ALGUNOS METALES PESADOS EN ORGANISMOS COLECTADOS EN EL SISTEMA
FLUVIAL-ESTUARINO DEL RIO COATZACOALCOS Y LAGUNA DEL OSTION, VERACRUZ, MEXICO

TABLA 18a.
LAGUNA DEL OSTION

NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	Cu ppm	Ni ppm	Cr ppm	Zn ppm
Ostion	<i>Crassostrea virginica</i>	38	84	< 2	144
Ostion	<i>Crassostrea rhizophora</i>	59	147	< 2	138
Almeja	<i>Mercenaria campechiensis</i>	< 1	110	50	44
Jaiba	<i>Callinectes bocourti</i>	4	70	< 2	38
Trompeta	<i>Gerres cinereus</i>	< 1	45	< 2	64
Robalito	<i>Centrocnemus undecimalis</i>	< 1	6	< 2	< 2
Mojarra blanca	<i>Diapterus olisthostomus</i>	< 1	78	< 2	36
Mojarra rayada	<i>Eugerres plumieri</i>	< 1	26	< 2	< 2

TABLA 18b.
RIO COATZACOALCOS

NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	Cu ppm	Zn ppm
Mojarra	<i>Cichlasoma mecki</i>	< 1	17
Mojarra	<i>Cichlasoma mecki</i>	< 1	14
Mojarra negra	<i>Cichlasoma fenestratum</i>	< 1	16
Mojarra negra	<i>Cichlasoma fenestratum</i>	< 1	2.4
Mojarra rayada	<i>Eugerres plumieri</i>	5	66
Ronco amarillo	<i>Conodon nobilis</i>	< 1	1.7
Ronco amarillo	<i>Conodon nobilis</i>	< 1	18
Ronco blanco	<i>Bairdiella ronchus</i>	< 1	13
Sábalo	<i>Tarpon atlanticus</i>	< 1	12
Ratón	<i>Hemicirrhus americus</i>	< 1	19
Lebranca	<i>Mugil curema</i>	< 1	14
Almeja chica	<i>Polymesoda caroliniana</i>	6.4	56
Almeja grande	<i>Rangia flexuosa</i>	17	31
Muyacaste chico	<i>Macrobrachium acanthurus</i>	53	55
Muyacaste grande	<i>Macrobrachium carcinus</i>	80	75
Jaiba	<i>Callinectes bocourti</i>	39	66

las altas concentraciones de Ni no parecen tener efectos tóxicos en los organismos acuáticos. Segar *eta/*. (1971) encontró una extraordinaria concentración de Ni de 850 ppm en el gasteropodo *Crepidula fornicata*, sin reportar alteraciones en dicha especie.

Las concentraciones de Cr se detectaron únicamente para la almeja (*Mercenaria campechiensis*), con 50 ppm, volumen alto, pero que no afecta al organismo, el cual puede tolerar concentraciones de 100 a 300 ppm. Levine (1961) apuntó un valor de 144 ppm en la ascidia *Eudistoma ritteri*. El cromo es un nutriente esencial para los organismos vivos (National Academy of Sciences, 1974), y se acumula en la biota acuática y marina en niveles mucho más grandes que en la columna de agua.

Pearson and Vertrees (1961) determinaron que el Cr es el menos tóxico de los metales pesados en el medio ambiente acuático: algunas especies toleran concentraciones altas cuando aparece como cromo trivalente. Sin embargo, otros autores (Rosas, 1984) infieren que la bioacumulación y bioconcentración del Cr hacen a éste ser muy tóxico, sobre todo en su estado hexavalente.

Debido a las condiciones de la Laguna, libre de industrias y zonas petroquímicas que pudieran afectar los niveles de concentración de los metales pesados en el ecosistema, las concentraciones de los elementos se consideran como propias de los organismos acuáticos que habitan esa zona. Sólo hay un alto contenido de níquel, quizá de origen antropogénico; el níquel al ponerse en contacto con la Laguna, se acumula en los sedimentos.

Concentraciones de metales tóxicos para los organismos (Pb y Cd) no pudieron detectarse en ninguna de las especies analizadas; tal vez la Laguna está libre de esos metales en niveles detectables.

Por consiguiente, si se promedian los niveles de metales detectados en los organismos, aquéllos se dan en el siguiente orden:

Bivalvos: Ni (113 ppm) > Zn (109 ppm) > Fe (105 ppm) >

Mn (93 ppm) > Cu (49 ppm)

Peces: Fe (72 ppm) > Ni (51 ppm) > Zn (33 ppm)

Crustáceos: Fe (94 ppm) > Ni (70 ppm) > Mn (59 ppm)>
Zn (38 ppm)> Cu (4 ppm)

El Ni es el elemento de mayor concentración para los organismos bivalvos. Pero, tomando a los ostiones como especies separadas de las almejas, el Zn es el metal de mayor concentración, lo que corrobora lo enunciado por Schlske (1964), según el cual el Zn es el metal pesado que más tienden a bioacumular los ostiones, con un promedio de 141 ppm.

Para los peces y crustáceos las concentraciones más altas fueron de Fe y Ni.

Organismos del río Coatzacoalcos

Los resultados de las concentraciones de metales en los organismos del río son muy bajos con respecto a los detectados para la Laguna del Ostión.

El Coatzacoalcos es un sistema fuertemente influido por las actividades humanas e industriales; aun así, sólo se detectaron concentraciones de metales pesados esenciales para la fisiología de los organismos acuáticos, en cantidades mínimas o no detectables (como en los casos del Cu, Zn, Fe y Mn). (tabla 1 8b).

Se pueden proponer dos hipótesis para explicar las concentraciones relativamente bajas en el Coatzacoalcos: la primera, que los organismos no toman del medio los metales potencialmente disponibles; la segunda, que no existen concentraciones disponibles en las aguas de esos metales debido también a la dinámica del sistema estuarino. Esto último parece apoyarse en los resultados de metales descubiertos en los sedimentos, muy similares a los de Laguna Chautengo.

Al igual que en la Laguna del Ostión, los niveles de los metales pesados en los organismos son mayores en los de hábitos bentónicos y menores en los organismos nectónicos de la zona, conforme a factores metabólicos y fisiológicos propios de las especies.

El mayacaste grande (*Macrobrachium CarQ nuS*) G9ntignv IQ mayor concentración de Cu de todos los organismos analizados en Coatzacoalcos: 80.2 ppm. El menor contenido de Cu en los

organismos bentónicos fue en la almeja chica (*Polymesoda caroliniana*) con 6.5 ppm. En cambio, en los peces no se detectó ninguna concentración, excepto en la mojarra rayada (*Eugerres plumieri*) con 5.4 ppm. La absorción de los metales pesados en los peces es un proceso muy pasivo, principalmente el Cu, el cual depende de la cantidad concentrada de Zn (Korringa, 1952).

Los niveles de Zn son muy bajos en todos los organismos, salvo en los bentónicos, los cuales exhiben concentraciones más elevadas, sin duda relacionadas con las funciones metabólicas de estas especies.

Las concentraciones de Fe van de 7.10 a 213.9 ppm en los distintos organismos analizados: ronco blanco (*Bairdie/la ronchus*), mojarra rayada (*Eugerres plumieri*), mayacaste chico (*Macrobrachium carcinus*), sábalo (*Tarpon atlanticus*), mojarra (*Cich/osoma meeki*) de río Colorado, las cuales delatan el contenido más bajo de Fe. La biodisponibilidad de los metales pesados en los organismos es muy variable; por ejemplo, el Mn se da con altas concentraciones en la almeja grande (*Rangia flexuosa*): 148.4 ppm; en cambio la jaiba (*Callinectes bocourti*) contiene la más baja concentración, con 6.7 ppm; en los peces sólo se detectó en la mojarra negra (*Cich/osoma fenestratum*) de río San Antonio, y en ronco amarillo (*Conodon nobilis*), con concentraciones de 18.9 ppm en ambas especies.

La bioacumulación de los metales pesados lleva una secuencia en la concentración detectada en los distintos organismos:

Bivalvos: Mn > Fe > Zn > Cu

Peces: Fe > Mn > Zn > Cu

Crustáceos: Zn > Fe > Cu

Solamente el mayacaste (*Macrobrachium carcinus*) ofreció una bioacumulación significativamente alta de Cu (80.2 ppm), con relación al resto de los metales.

La diferencia de los niveles de Fe en los tejidos de los distintos organismos sugiere la presencia de porfirinas relacionadas con este metal en acción rápida en el músculo estriado. Por este papel fisiológico del Fe, no es sorprendente que existan altas con-

centraciones en los ostiones y las almejas; en los peces el metabolismo de dicho metal no está en relación fisiológica con su bioacumulación.

La capacidad de la sangre para enlazar el Mn y producir una concentración favorable en el gradiente, está en íntima relación con procesos bioquímicos y fisiológicos de la especie, y sólo se nota su existencia en la jaiba (*Callinectes bocourti*) con >5,9 ppm y en la almeja (*Mercenaria campechiensis*) con 93 ppm.

Con respecto al Zn, se produjeron concentraciones altas en las dos especies de ostiones (*Crassostrea virginica* y *Crassostrea rhizophora*) con 144 y 138 ppm, respectivamente. Schlske (1964) demostró que los ostiones tienden a bioacumular el Zn, y consideró posiblemente que éste es importante en algunos sistemas bioquímicos.

El orden de enriquecimiento anterior puede explicarse por la secuencia tan similar encontrada en los sedimentos de los metales disponibles para la biota; tienen éstos la siguiente secuencia: Zn > Fe > Cd > Co > Pb > Cr > Ni. Como se ve, los dos metales de mayor biodisponibilidad para la biota acuática son Zn y Fe, coincidentemente los que más acumulan los organismos del estuario de Coatzacoalcos.

Comparación con otras regiones

Con el objeto de comparar los niveles del contenido metálico de los organismos bivalvos, se hizo la tabla donde se cotejan las concentraciones con las de otras zonas ya estudiadas. Se puede observar de dicha tabla lo siguiente:

a) Tanto el Zn como el Cu son mayores en las especies del ostión de la costa estadounidense que en la Laguna del Ostión, Esto es mucho más evidente para el Zn.

b) Ni y Fe tienen en cambio más altas concentraciones en los ostiones de la Laguna, que los valores de las costas del Atlántico estadounidense (esto es mucho más notable para el Ni, el cual es en promedio unas cien veces mayor).

c) *Mercenaria campechiensis*, comparada con *Mercenaria mercenaria* de la costa atlántica norteamericana, resulta tener concentraciones más altas en Zn, Fe y Ni. En este último la concentración es cuatrocientas veces más alta.

Consideraciones:

1. Las estaciones con más metales potencialmente biodisponibles en el estuario de Coatzacoalcos son 00, 02, 05, 08 y 23; casi todas se localizan en La Bocana. Solamente 08 se halla río arriba, cerca de la refinería de Minatitlán.

2. Considerando los porcentajes de metal disponible para la biota, se verificó en el estuario el siguiente orden: $Zn > Fe > Cd > Co > Pb > Cr > Ni > Cu$.

3. En los sedimentos del río Tonalá, en Laguna del Ostión y en el estuario de Coatzacoalcos, se anotó una fuerte tendencia a asociar las concentraciones de cada uno de los metales y el contenido de material orgánico con el tamaño del grano sedimentario más fino.

4. Las concentraciones de metales en los sedimentos de las tres áreas estudiadas ofrecen valores comparables, con excepción del Ni, el cual se produjo en mayores proporciones en el río Tonalá y en la Laguna del Ostión que en el estuario del Coatzacoalcos.

5. Considerando los porcentajes de metal biodisponible, para la laguna se obtuvo el siguiente orden: $Co > Fe > Zn > Ni$.

6. Cuando se comparan los niveles de concentración de los metales pesados del área estudiada con el carácter textural equivalente de los sedimentos de otras regiones, surgen las siguientes observaciones:

- a) Cd y Fe es comparable a regiones aparentemente no afectadas por contaminación (por ejemplo: Laguna de Chautengo, México).
- b) Zn, Pb, Cr y Cu son inferiores en sus concentraciones a las de las áreas influidas por las actividades del hombre (por ejemplo, Narraganset Bay y Los Angeles Harbour).
- c) Las concentraciones de Ni de los sedimentos del Tonalá y la Laguna del Ostión, son mucho mayores a las reportadas en áreas con actividades antropogénicas o sin ellas.

7. De todos los organismos colectados (crustáceos, peces y bivalvos) en Laguna del Ostión y en el estuario Coatzacoalcos, los bivalvos muestran las más altas concentraciones de los metales que se pudieron cuantificar.

8. Del total de organismos colectados en el estuario de Coatzacoalcos, se describió el siguiente orden de bioacumulación:

Bivalvos: Mn > Fe > Zn > Cu

Peces: Fe > Mn > Zn > Cu

Crustáceos: Zn > Fe > Cu >

Esta secuencia concuerda con la descubierta en los porcentajes de metal disponible para la biota (indicados en el inciso 2).

9. Al comparar las concentraciones de algunos metales medidos en *Crassostrea virginica* de la Laguna del Ostión y las de los de la costa del Atlántico estadounidense, se encontró:

a) Tanto Zn como Cu son inferiores en el ostión de la laguna mexicana.

b) Ni y Fe en cambio tienen más altas concentraciones; el Ni llega a ser hasta más de cien veces superior en los ostiones de la Laguna que en los de las costas norteamericanas.

a) Tanto Zn como Cu son inferiores en el ostión de la laguna mexicana.

b) Ni y Fe en cambio tienen más altas concentraciones; el Ni llega a ser hasta más de cien veces superior en los ostiones de la Laguna que en los de las costas norteamericanas.

10. En los organismos de la Laguna del Ostión se obtuvieron las siguientes secuencias en el grado de concentración de metales pesados:

Bivalvos: Ni > Zn > Fe > Mn > Cu

Peces: Fe > Ni > Zn >

Crustáceos: Fe > Ni > Mn > Zn > Cu

Estos valores concuerdan con porcentajes de metales pesados en los sedimentos de esta laguna; los biodisponibles para la biota se asemejan a esta secuencia.

11. Cuando se comparan las concentraciones de Zn, Fe y Ni de la almeja *Mercenaria campechiensis* de la Laguna del Ostión, con la almeja de la costa del Atlántico *Mercenaria mercenaria* la primera exhibe concentraciones más altas en Zn, Fe y Ni; en este último es más evidente la superioridad.

V. HIDROCARBUROS FOSILES

Las zonas costeras y otras áreas relativamente protegidas como bahías, ríos, estuarios y lagunas, constituyen uno de los principales recursos naturales de las naciones ribereñas. En estas zonas se da una importante y poco conocida interacción entre varios ecosistemas, bajo un amplio margen de condiciones físicas, químicas y biológicas. Tales zonas juegan o jugarán en el futuro inmediato un papel determinante en el desarrollo económico y social de las regiones costeras: producción de alimentos (pesquerías y acuicultura), transporte, construcción y administración de puertos, industria y más recientemente crecimiento de polos de expansión urbanística y recreativa.

Cada día se usan más las zonas costeras para satisfacer necesidades esenciales de nuestra sociedad. Así, la rápida penetración del hombre en estas regiones conlleva el reto de ocupar y aprovechar nuevas áreas sin que haya un efecto excesivo sobre el medio ambiente y los recursos.

El impacto de las actividades humanas sobre los ecosistemas costeros se ha entendido poco y, hasta tiempos recientes, se ha subestimado. Existe consenso, sin embargo, en que las aguas costeras tienen capacidad finita para absorber las presiones del hombre y de sus actividades. También se admite que, en la mayoría de los casos, el impacto resultante es sumamente complejo. Los recursos vivos y minerales, las vías acuáticas y las tierras bajas de la costa no pueden considerarse disponibles para un uso indiscriminado.

El hombre ha alterado ya los componentes físico, químico y biológico de estas regiones. ¿Cuál es el impacto de estos cambios? ¿Los procesos son reversibles? ¿Cuál será su efecto con el tiempo? Pueden reconocerse tres aspectos significativos relacionados con la intervención del hombre en el ambiente marino costero:

- a) Los cambios ambientales pueden desencadenarse en un periodo relativamente corto.
- b) Mediante modificaciones cuidadosamente diseñadas puede evitarse el deterioro o la destrucción de los ecosistemas costeros.
- c) Mediante la generación de conocimiento pueden derivarse importantes beneficios para el medio ambiente costero y marino.

Paralelamente, en los últimos veinte años creció de una manera dramática la importancia del petróleo como el principal recurso energético. Hoy se deben considerar seriamente sus perjuicios actuales y futuros, y al mismo tiempo conservar esta incalculable riqueza para las generaciones futuras. El petróleo crudo y sus productos de refinación son mezclas extremadamente complejas de compuestos orgánicos, de los cuales los hidrocarburos son los más abundantes (más del 85%).

En años recientes, análisis detallados de agua de mar, así como de especies marinas desde microorganismos hasta vertebrados, revelan la presencia de hidrocarburos, alifáticos y aromáticos, similares en naturaleza a los del petróleo o sus derivados. También se dan otros hidrocarburos característicos de los organismos y que son de origen biogénico. En el mar abierto las concentraciones de hidrocarburos son generalmente bajas, y el origen de estos componentes no siempre es fácil de determinar. En contraste, en las áreas costeras, bahías y estuarios, los hidrocarburos pueden tener altas concentraciones por la contaminación del petróleo derramado natural o accidentalmente.

Los efectos que sobre la biota marina ejercen los grandes derrames de petróleo, así como el uso de dispersantes, han sido ampliamente publicados y documentados; sin embargo, muy poco se conoce sobre los efectos biológicos y fisiológicos resultantes de la contaminación por hidrocarburos provenientes del petróleo en aguas costeras o sistemas estuarinos.

La actividad biológica o bioquímica ejercida por componentes del petróleo se relaciona con los siguientes parámetros: a) los niveles a los cuales los hidrocarburos son acumulados, b) el tiempo de residencia de los hidrocarburos en los organismos, c) la composición de la mezcla de hidrocarburos en el agua y subsecuentemente en el organismo. Asimismo, en los organismos marinos estos parámetros se modifican por factores biológicos,

como el contenido de lípidos, la eficiencia para el consumo de hidrocarburos y la ruta de entrada y desecho de éstos.

Actualmente, la contaminación marina por petróleo y sus derivados despierta el interés de la comunidad científica, sobre todo después de los grandes derrames de petróleo de buques-tanques, como el Torrey Canyon en Inglaterra; el Tampico Maru, en las costas de Baja California; el Amoco Cádiz, en las Costas de Bretaña en Francia, y recientemente el Pozo Ixtoc 1, en el Golfo de México. Además, la presencia de hidrocarburos fósiles en el medio marino es ya evidente -no es difícil encontrar breas y alquitranes en las playas o flotando en las capas superficiales del mar- y se debe sin duda al abuso del petróleo como principal fuente de energía.

1. Hidrocarburos en sedimentos marinos recientes

Los sedimentos son el receptáculo de materiales y sustancias dispersas en la columna de agua, por lo que su análisis químico es de gran utilidad para detectar algunos contaminantes en ecosistemas acuáticos. Los hidrocarburos de origen biológico se encuentran en gran parte de los organismos marinos y en todos los sedimentos recientes. Afortunadamente existen diferencias de composición y estructura entre estos hidrocarburos indígenas y los derivados del petróleo, y así es posible distinguirlos claramente (Clark y Blumer, 1967).

Los hidrocarburos en los sedimentos marinos recientes pueden tener varios orígenes: a partir de disoluciones intersticiales entre la columna de agua y sedimentos; a partir de microorganismos; por descomposición de plantas marinas y terrestres, y por erosión de rocas sedimentarias en las cuales fueron generados previamente.

En zonas costeras no contaminadas, las concentraciones de hidrocarburos biogénicos en sedimentos recientes son menores a 70 ppm (Blumer y Sass, 1972; NAS, 1975). Esta diferencia se debe a la mayor cantidad de materia orgánica en zonas costeras que la existente en cuencas profundas: ello demuestra que gran cantidad de hidrocarburos son aportados por los detritos de organismos.

En los sedimentos de las zonas contaminadas, las concentraciones de hidrocarburos de origen fósil pueden variar en un amplio rango, según el origen de la contaminación y las características del ecosistema. Incluso llegan a ser mucho ma-

yores que las concentraciones de hidrocarburos biogénicos; asimismo la composición de los hidrocarburos fósiles en sedimentos puede ser muy variada, en función del tiempo que éstos tengan en los sedimentos y desde luego de la composición original del petróleo de donde provengan.

Los tiempos de residencia de los hidrocarburos fósiles en los sedimentos pueden ser de 3 a 10 años, según la velocidad de degradación de éstos (Moore y Dwyer, 1974). En las zonas costeras tropicales la velocidad de degradación debe ser mucho mayor por la presencia de nutrientes, luz, temperatura, oxígeno y sustrato, lo cual permite altas tasas de biodegradación por bacterias y oxidación fotoquímica,

En la tabla 1 9 se representan las concentraciones en ppm (peso seco) de los hidrocarburos totales (alifáticos y aromáticos), pertenecientes a los diferentes núcleos de sedimentos de la Laguna del Ostión, el Bajo Coatzacoalcos y el Tonalá.

La relación de hidrocarburos aromáticos/saturados para el caso de Laguna del Ostión tiene un valor promedio de 1 .09, similar a la relación 1 :1 para tales compuestos en lagunas costeras.

En el Coatzacoalcos dicha relación aumenta a valores de 1 .67, lo cual implica ya un ligero dominio de los compuestos aromáticos sobre los saturados. Y como la mayoría de este tipo de compuestos no puede ser bíosintetizada por los organismos, su origen en los sedimentos es de tipo antropogénico: debido principalmente a las descargas de plantas petroquímicas y otras industrias relacionadas con el petróleo, las cuales operan en dicha área. Asimismo, las concentraciones de hidrocarburos totales en el citado río exceden desde 3 a 26 veces los valores normales para áreas costeras "no contaminadas" (NAS, 1 975).

Del análisis de las tablas 20 a 22 (las cuales corresponden a las concentraciones de hidrocarburos totales, para los tres muestreos hechos en el Coatzacoalcos), se nota que en relación al primer muestreo de marzo de 1982, solamente las estaciones 01, 09 y 00 exhiben valores equiparables con sedimentos no contaminados: denuncian una concentración entre 30 y 1 00 ppm que según Burns y Teal (1971), Blumer y Sass (1 972) y NAS (1 975) corresponde a zonas inalteradas. En tanto, las estaciones 1 5 a 23 delatan concentraciones que rebasan en mucho las consideradas para sedimentos no contaminados.

En febrero de 1983 las estaciones 01 y 09 -que antes presentaban valores entre 30 y 100 ppm- muestran ahora **392 y**

TABLA NO. 19
 CONCENTRACION DE HIDROCARBUROS FOSILES EN SEDIMENTOS RECIENTES DEL RIO COATZACOALCOS,
 RIO TONALA Y LAGUNA DEL OSTION (DETERMINADOS POR GRAVIMETRIA)

LOCALIDAD	RANGO DE VALORES DE HIDROCARBUROS (ppm)			CONCENTRACION TOTAL - Promedio (ppm)
	Saturados	Aromáticos	T o t a l e s	
<u>RIO COATZACOALCOS</u>				
Marzo, 1982	11- 597	47-1025	184-1053	457
Junio, 1982	73-1048	107- 635	443-1544	780
Febrero, 1983	113-1562	41-1067	179-2623	802
<u>LAGUNA DEL OSTION</u>				
Octubre, 1982	27- 513	23- 87	81- 576	154
Marzo, 1983	11- 76	5- 223	16- 287	85
<u>RIO TONALA</u>				
Agosto, 1983	3-1356	17-1466	17-1829	1148

TABLA N° 20

CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS FOSILES EN SEDIMENTOS RECIENTES DEL
RIO COATZACOALCOS (MARZO, 1982)

Estación	Saturados ppm	Aromáticos ppm	Totales ppm
00	10.60	86.00	-
01	38.60	56.00	-
02	416.00	538.00	954.00
03	129.30	201.00	330.30
04	84.00	166.60	250.60
05	465.30	1025.30	-
06	72.00	54.60	-
07	205.30	238.60	443.90
08A	105.30	78.60	183.90
08B	188.00	182.60	370.60
08C	597.30	456.00	1053.30
09	42.60	46.60	-
Valor Promedio	196.19	260.82	457.00

TABLA N° 21

CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS.FUSILES EN SEDIMENTOS RECIENTES DEL RIO COATZACOALCOS (JUNIO, 1982)

Estación	Saturados ug/g	Aromáticos ug/g	Totales ug/g
15	302.6	140.0	442.6
16	565.3	437.3	1002.6
17	73.3	305.3	-
18	352.0	297.3	649.3
19	600.0	634.6	1234.6
21	353.3	402.6	-
22	133.3	106.6	-
23	1048.0	496.0	1544.0
Valor Promedio	428.0	352.46	780.93

TABLA N° 22

CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS FOSILES EN SEDIMENTOS RECIENTES DEL
RIO COATZACOALCOS (FEBRERO, 1983)

Estación	Saturados ug/g	Aromáticos ug/g	Totales ug/g
01	208.0	184.0	-
02	-	-	-
03	137.0	42.0	179.0
04	356.0	357.0	713.0
05	596.0	508.0	-
06	113.0	41.0	-
07	186.0	69.0	255.0
08	1562.0	1061.0	2623.0
09	760.0	228.0	988.0
10	828.0	582.0	1410.0
11	125.0	85.0	-
Valor Promedio	487.09	315.7	802.8

ción de la 05: todas ellas coinciden ya sea con lugares de descarga u operación de actividades petroleras o bien con sitios donde se ha derramado o introducido petróleo de manera continua.

Con relación a la presencia y los niveles de hidrocarburos aromáticos, sólo algunos de estos compuestos orgánicos se producen por ciertos microorganismos, y su elevada concentración en los sedimentos del Coatzacoalcos denuncia un proceso de contaminación crónica por rutas antropogénicas (Farrington y Quinn, 1975; Bravo *et. al.*, 1978; Neff, 1979; Farrington, 1983).

El contenido de hidrocarburos aromáticos se midió ya en gran número de sedimentos dulceacuícolas y marinos, principalmente en algunos países europeos, y las concentraciones determinadas varían ampliamente. Algunos ríos que atraviesan por ciudades densamente pobladas o de alta industrialización contienen sedimentos con concentraciones elevadas de benzo-a-pireno (BaP): algunas veces alcanzan hasta 15 ppm; en tanto, los sedimentos provenientes de áreas más remotas contienen una menor concentración de PAH'S, incluidos los benzopirenos; éste es el caso del Coatzacoalcos.

Los sedimentos marinos, la mayoría de ellos colectados en áreas costeras y zonas estuarinas en Europa por Mallet y sus colaboradores, contienen concentraciones de benzopirenos que varían muy ampliamente, y, al igual que en los ríos, los más altos niveles sedimentarios de estos contaminantes ocurren en áreas adyacentes a localidades densamente pobladas o de intensa actividad industrial. También las concentraciones de hidrocarburos aromáticos en sedimentos marinos pueden variar por un factor de 1,000 o más dentro de una pequeña bahía o estuario, posiblemente a causa de los diferentes rangos de deposición de los sedimentos o bien a causa de los grados de anoxia dentro de la columna sedimentaria en las distintas regiones donde se analizan estos compuestos.

Esta variabilidad se observó muy claramente en los sedimentos analizados, los cuales pertenecían a tres áreas con procesos geoquímicos diferentes, como son la disolución y la sedimentación, los grados de anoxia en los sedimentos, el contenido de materia orgánica y la remoción sedimentaria. Esta opera de modo distinto en el río Coatzacoalcos, el río Tonalá y la Laguna del Ostión.

En cuanto a la concentración de hidrocarburos totales registrados para la Laguna del Ostión y el río Tonalá, se observa una baja muy notable en las muestras de la Laguna del Ostión, con valores promedio de 154 y 85 ppm para los dos muestreos realizados (octubre de 1982 y marzo de 1983); en tanto, para el río Tonalá estas concentraciones se elevan casi en 10 veces, con un valor promedio de 1 148 ppm en el muestreo de agosto de 1983; éste es también considerablemente mayor a los valores promedio del Coatzacoalcos, los cuales fueron de 457 ppm en marzo de 1982, 780 ppm en junio de 1982 y de 802 ppm en febrero de 1983 (tabla 19).

La elevada concentración de hidrocarburos totales en el Tonalá está en vínculo directo con las actividades petroleras practicadas en sus márgenes desde hace varias décadas, principalmente por las petroquímicas de "La Venta" y "Cinco Presidentes", lugares donde se obtuvieron las más elevadas concentraciones de hidrocarburos fósiles del Tonalá: 1,794 y 1,829 ppm, respectivamente.

En la Laguna del Ostión las concentraciones se mantuvieron bajas y muy estables, y el predominio de hidrocarburos saturados/aromáticos es muy claro, lo cual revela que, en su mayoría, los hidrocarburos en los sedimentos recientes de esta laguna son de origen biogénico, producidos naturalmente a través de biosíntesis por microorganismos y organismos de ese ecosistema. Las aseveraciones anteriores se confirman con los resultados de los análisis correspondientes a los hidrocarburos disueltos/dispersos, cuya concentración en la columna de agua es inversamente proporcional a su concentración en los sedimentos recientes; esto puede observarse fácilmente en la tabla 23, donde se anotan las concentraciones de hidrocarburos disueltos/dispersos para las tres áreas estudiadas. Sus valores promedios son de 8.75 ppb para el Coatzacoalcos, 11.8 ppb para el Tonalá y 18.4 ppb para la Laguna del Ostión; eso confirma la importancia de la dilución y la sedimentación en el flujo de los hidrocarburos en los sistemas estuarinos. Como se advierte, el área más dañada por actividades petroleras es el río Tonalá; le sigue el río Coatzacoalcos. En cambio, la Laguna del Ostión puede considerarse como un ecosistema aún no perturbado por hidrocarburos de origen petrogénico.

De igual manera, si comparamos los valores promedio de hidrocarburos en los sedimentos con los de otras áreas costeras del Golfo de México y otras partes del mundo (tabla 24), se

TABLA N° 23

CONCENTRACION DE HIDROCARBUROS DISUELTOS/DISPERSOS EN LA COLUMNA DE AGUA DE LOS RIOS COATZACOALCOS, TONALA Y LAGUNA DEL OSTION (ul/l) o ppb.

Estación	Rlo Coatzacoalcos ppb	Rlo Tonalá ppb	Laguna del Ostión ppb
01	27	18	9
02	62	7	11
03	3	N.D.	7
04	6	2	7
05	10	0.2	65
06	3	11	8
07	7	13	44
08A	4	19	11
08B	4	-	-
08C	7	-	-
09	-	18	11
10	4	18	11
11	7	-	-
12	3	-	-
13	4	-	-
14	4	-	-
15	2	-	-
16	4	-	-
17	2	-	-
22	5	-	-
23	7	-	-
Valor Promedio	8.75	11.8	18.4

TABLA N° 24

Concentraciones de Hidrocarburos Totales en sedimentos recientes de áreas costeras del Golfo de México y otras áreas del mundo (ppm peso seco).

LOCALIDAD	RANGO DE VALORES	VALOR PROMEDIO	REFERENCIA
Laguna Madre, Tamaulipas	10 - 40	26	Botello y Macho, 1982
Laguna Pueblo Viejo, Veracruz	17 - 80	53	Botello y Macho, 1982
Laguna Tamiahua, Veracruz	15 - 62	31	Botello y Macho, 1982
Laguna Alvarado, Veracruz	10 - 30	18	Botello y Macho, 1982
Laguna Carmen-Machona, Tabasco	6 - 150	45	Botello y Macho, 1982
Laguna Mecoaán, Tabasco	10 - 1060	88	Botello y Macho, 1982
Laguna de Términos, Campeche	10 - 50	37	Botello y Macho, 1982
Laguna Cancún, Q. Roo	8 - 18	12	Botello y Macho, 1982
Río Coatzacoalcos, Veracruz, Marzo 1982	89 - 1490	457	El presente estudio
Río Coatzacoalcos, Veracruz, Junio 1982	239 - 1544	781	
Río Coatzacoalcos, Veracruz, Febrero 1983	210 - 2623	802	
Río Tonala, Veracruz, Agosto 1983	18 - 1829	1189	El presente estudio
Laguna del Ostión, Veracruz, Octubre 1982	62 - 575	154	El presente estudio
Laguna del Ostión, Veracruz, Marzo 1983	16 - 113	85	El presente estudio
Puerto de Nueva York, U.S.A.	1 - 2900	324	Parker, 1974
Omán, Arabia Saudita	42 - 835	226	Burns, et. al., 1982
Puerto Oeste y Puerto Phillip, Australia	6 - 1516	210	Burns y Smit, 1982

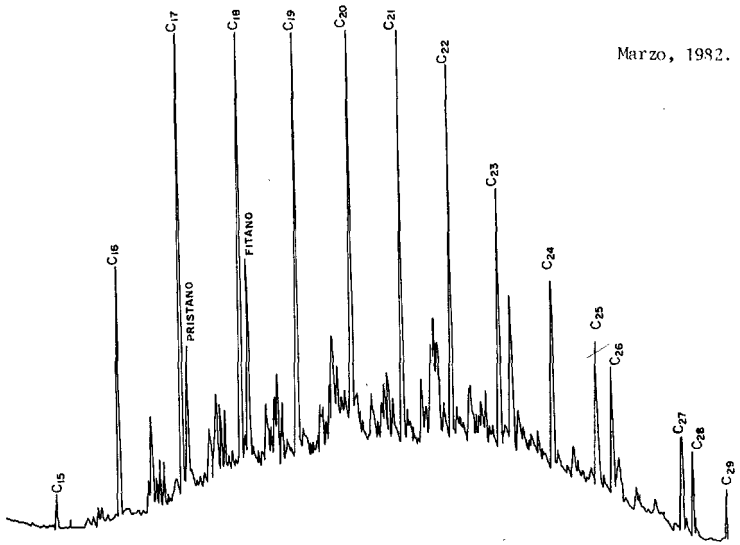
asentamiento de plantas y complejos petroquímicos y otras industrias colaterales, realizan aportes considerables de hidrocarburos fósiles, gran parte de los cuales se sedimenta.

Finalmente se realizó el análisis por cromatografía de gases de los diversos extractos obtenidos en los núcleos de sedimentos; de ese modo, la utilidad de los cromatogramas obtenidos se relaciona directamente con la naturaleza y el origen de los hidrocarburos presentes en los sedimentos de las áreas de estudio.

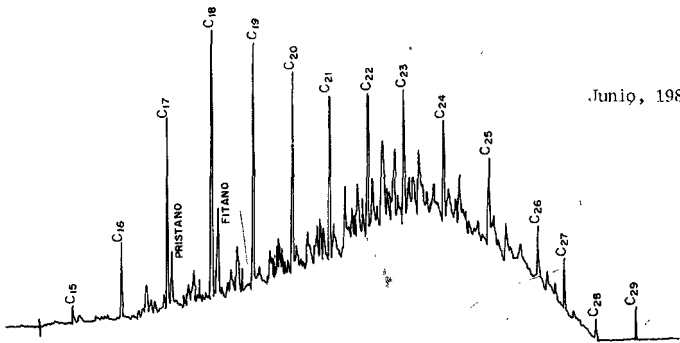
En la mayor parte de los cromatogramas analizados, existe una ligera predominancia de hidrocarburos con número de carbono impar, lo cual implicaría que se trata de hidrocarburos biogénicos; sin embargo, las concentraciones rebasan con mucho los valores normales o de sedimentos de áreas no contaminadas, además de que los cromatogramas presentan un área compleja de hidrocarburos no resueltos (HUMP) con hidrocarburos cíclicos no saturados, olefinas y compuestos aromáticos simples. Todo esto nos hace pensar en una mezcla de hidrocarburos biogénicos con hidrocarburos fósiles, cuyos orígenes y rutas de entrada al ecosistema se deben a influencias antropogénicas (figuras 5 y 6).

Como complemento al estudio y con apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, se produjo un proyecto de investigación, con los objetivos centrales de realizar mediciones de breas/alquitranes flotantes, hidrocarburos disueltos/dispersos y breas/alquitranes presentes en playas de algunas localidades del Golfo de México y el Caribe, así como el de establecer observaciones periódicas que permitan relacionar el aumento gradual de las concentraciones de estos compuestos con el incremento en las actividades de explotación, refinación y movilización del petróleo en las áreas costeras del Golfo de México y el Caribe. Los sitios elegidos para la medición de breas y alquitranes se muestran en el mapa 3.

Estas mediciones complementarias a los análisis químicos se realizan ya de manera periódica en algunos países que tienen costas con un intenso tráfico de buques petroleros, o en países productores que necesitan de la movilidad de grandes volúmenes de petróleo crudo y cuyas observaciones sirven como datos básicos para un futuro balance de masas de los hidrocarburos fósiles en *los océanos* (Jeffrey, 1974; Knap, 1980; Romero et al., 1981; Golik, 1982; Burns et al., 1982; Corredor, et al., 1983; Georges y Oostdam, 1983).



Marzo, 1982.



Junio, 1982.

Fig. 5. Cromatogramas de hidrocarburos saturados presentes en núcleos de Sedimentos del Río Coatzacoalcos, Ver.; colectados en marzo y junio de 1982.

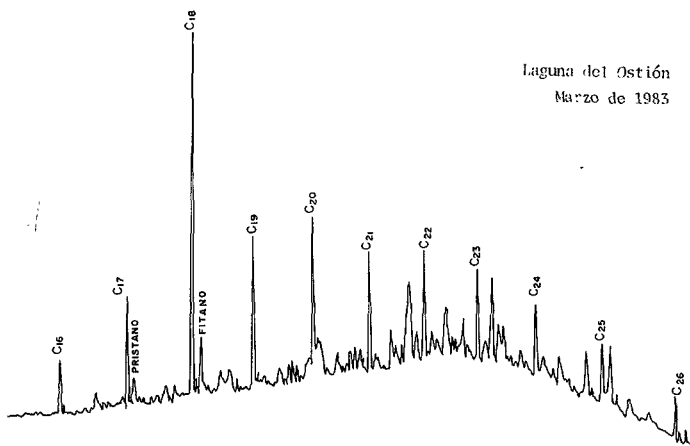
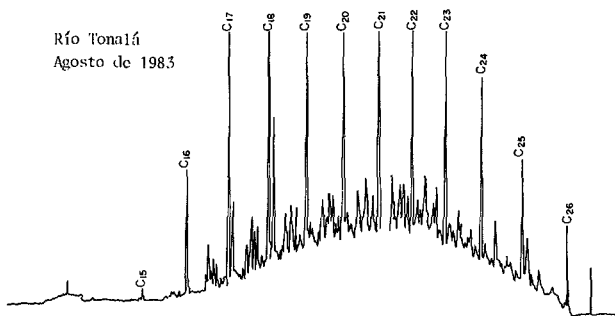
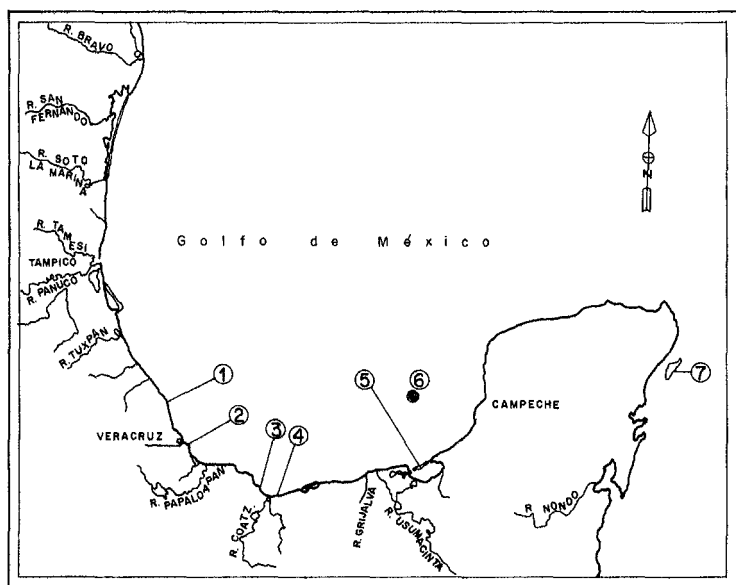


Fig. 6. Cromatogramas de Hidrocarburos saturados presentes en núcleos de Sedimentos del Río Tonalá, Ver.; y Laguna del Ostión, colectados

Mapa 3. Localización geográfica de los sitios de muestreo para alquitranes y breas.

1. Chachalacas, Veracruz.
2. Arbolillo, Veracruz.
3. Playa Linda, Veracruz.
4. Barra de Tonalá, Tabasco.
5. Isla del Carmen, Campeche.
6. Arrecife Cayo Arcas
7. Isla Cozumel



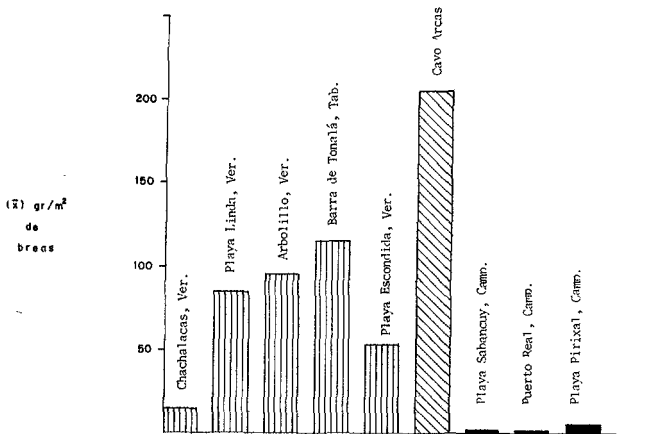


Fig. 7. Concentración promedio de breas y alouitranes depositados en las playas del estado de Veracruz, Cayo Arcas y Campeche; expresados en gr/m^2 de superficie.

TABLA N° 25

Concentración de breas y alquitranes (g/m^2) depositadas sobre las playas del Estado de Veracruz.

Nombre de la Playa	Fecha	Transecto 1	Transecto 2	Transecto 3	Transecto 4	Transecto 5	Transecto 6	Promedio
Chachalacas	26-8-83	3.22	9.97	15.92	8.36			9.36
Chachalacas	27-1-84	1.66	1.58	16.58	4.83	3.91	2.38	5.15
Chachalacas	22-3-84	19.5	5.32	61.36	7.56	21.82		23.11
Linda	22-8-83	3.83	18.61	20.46	18.70			15.4
Linda	20-2-84	11.26	9.27	2.11	4.97			6.90
Linda	27-4-84	126.13	212.30	234.84	350.31			230.89
Arbolillo	22-2-84	32.87	30.66	62.39				41.97
Arbolillo	23-3-84	77.72	292.05	76.78				148.85
Tonalá	18-2-84	0.489	3.93	1.25	6.30			2.99
Tonalá	28-4-84	92.94	158.59	495.25	162.4			227.29

centraciones de hidrocarburos fósiles en nuestros ecosistemas costeros, principalmente los localizados cerca de complejos industriales, puertos petroleros o terminales de embarque.

2. Hidrocarburos en organismos marinos

Los resultados de los análisis de organismos marinos expuestos a derrames petroleros demuestran la capacidad de tales organismos para asimilar y almacenar hidrocarburos. Los bentónicos provenientes de áreas costeras con un alto grado de contaminación por hidrocarburos, delatan por lo general concentraciones de hidrocarburos con órdenes de magnitud más elevados que los del agua que los rodea (Farrington, 1983).

En peces adultos, el petróleo parece tener efectos de tipo mecánico, pues al depositarse sobre las branquias cubre éstas y no les permite el intercambio de gases: los peces mueren por asfixia, Mironov (1970). También el grado de toxicidad de estos contaminantes es muy variable, según la especie; pero por lo general, en concentraciones de 0.5 a 10 ppm, dañan los órganos de los sentidos y además causan erosión y destrucción de las células del epitelio branquial. De igual manera, la vida sedentaria de la mayoría de los moluscos bivalvos filtradores hace a éstos extremadamente vulnerables a la exposición aguda y crónica de los contaminantes del medio ambiente.

Así, algunos de los hidrocarburos ingeridos con el alimento o tomados del agua se almacenan en los diferentes tejidos de los animales marinos. Quizá por su alto contenido de lípidos, el hígado en los peces y el hepatopáncreas de los invertebrados son sitios donde se acumulan hidrocarburos (Lee *et. al.*, 1972). Existen algunas evidencias de que los hidrocarburos poseen diferente tiempo de retención en los organismos; por ejemplo, ostras expuestas a aguas contaminadas por petróleo acumulan hidrocarburos aromáticos en un mayor grado que aquellos de tipo parafínico. Un factor difícil en el estudio de la bioacumulación marina de hidrocarburos es el grado de asimilación de estos compuestos. La gran mayoría de los vertebrados y algunos invertebrados poseen un sistema de detoxificación que facilita la eliminación de compuestos extraños, al involucrar sistemas enzimáticos diferentes, encargados de ejecutar reacciones de hidroxilación y conjugación.

3. Retención, metabolismo y disposición de hidrocarburos

En algunos casos, la biota marina puede ser afectada severamente por la presencia de petróleo o componentes de éste en su habitat. Sin embargo, las especies marinas sólo pueden actuar como sitios de almacenamiento temporal o bien puntos de transferencia de los hidrocarburos, por lo cual las especies no se consideran factores principales que influyan en los patrones de distribución del petróleo en los ambientes costeros.

Después de que un organismo incorpora los hidrocarburos, éstos pueden ser excretados sin ninguna alteración, o bien metabolizados o almacenados en sus tejidos por cierto tiempo.

Se demostró ya el metabolismo de hidrocarburos ingerido por organismos marinos, al cual le sigue la incorporación de aquéllos en los tejidos o la subsecuente excreción; igualmente, algunas especies de peces poseen un mecanismo eficiente de detoxificación, el cual permite la eliminación casi total de hidrocarburos policíclicos aromáticos de los tejidos donde aquéllos se incorporaron (Lee, *et. al.*, 1972).

A pesar de estos trabajos, el metabolismo de los hidrocarburos en especies marinas no está totalmente comprendido; se supone tan sólo que los mecanismos involucran oxidasas y otras enzimas altamente específicas, importantes en la degradación y la transformación de los compuestos aromáticos y los parafínicos.

Efectos. - Un gran número de factores, los cuales pueden actuar solos o en combinación, gobiernan los efectos del petróleo o los derivados de éste sobre la vida marina. Así, los daños biológicos dependen principalmente de:

- a) El tipo de petróleo derramado, su composición y características; en especial su contenido de compuestos aromáticos.
- b) La concentración a la cual los organismos se encuentran expuestos y la duración de la exposición.
- c) El grado de intemperismo del petróleo.
- d) La forma en que se halle: ya sea en solución, en emulsiones, en suspensión o bien disperso o adsorbido a materia orgánica.
- e) La especie o grupo de individuos de que se trate (plancton, necton o bentos).

- f) El estadio de vida de las especies, ya sean formas larvarias, juveniles o adultas.
- g) Presiones ambientales naturales, impuestas por condiciones climáticas o fluctuaciones en la temperatura del agua, salinidad y otros parámetros oceanográficos, principalmente corrientes y acción de las olas.
- h) Los procedimientos de limpieza del petróleo, principalmente si durante éstos se emplean dispersantes.

En general, el daño biológico del petróleo o sus componentes es mucho más severo si éste se presenta en una zona costera o un ambiente estuarino; entonces la zona intermareal es la más afectada, pues en ella hay una mayor diversidad y abundancia de especies, así como también existen aquí los estadios juveniles de muchas especies oceánicas (Evans y Rice, 1974).

Las respuestas biológicas que acompañan a la presencia del petróleo son:

1. Efectos tóxicos letales, donde los componentes del petróleo interfieren procesos celulares y provocan la muerte de las especies.
2. Efectos subletales que alteran actividades fisiológicas o de conducta, pero no causan una muerte inmediata.
3. Ingestión e incorporación de petróleo o sus componentes, con provocación de carcinogénesis.
4. Interferencia en la búsqueda del alimento o escape a predadores.
5. Alteración del habitat de las especies, con cambios consecuentes en la composición y diversidad de las especies.

Los efectos más obvios del petróleo sobre los peces son los de tipo letal, que alteran el funcionamiento de las branquias; estos efectos parecen encontrarse sólo en las cercanías de un gran derrame o bien cuando éste ocurre en áreas muy restringidas. Aunque menos evidentes, pero quizá más significativos, son los efectos subletales, los cuales pueden ocasionar cambios en los hábitos alimenticios, en la migración de las especies y en la reproducción.

Son bajos los efectos del petróleo crudo sobre poblaciones de peces pelágicos; en cambio, los derrames de productos refinados sí generan efectos deletéreos considerables sobre las pesquerías de las áreas donde suceden, como en Alaska, en

1970; el del barco "Tampico Maru", en las costas de California en 1951, y el del buque-tanque "Florida", en West Falmouth, Massachusetts en 1969 (North et. al., 1964; Hampson y Sanders, 1969).

Durante el presente estudio, se analizaron ejemplares de peces, crustáceos y moluscos de importancia económica y comercial, los cuales se obtuvieron con la ayuda de pescadores locales en la desembocadura y el estuario del Coatzacoalcos, así como en la Laguna del Ostión. En el río Tonalá no se efectuaron análisis de hidrocarburos en organismos, pues a pesar de los esfuerzos, la pesca fue nula. Las especies capturadas y analizadas se muestran en el siguiente listado:

E S P E C I E	NOMBRE COMUN
<i>Bairdiella ronchus</i>	Ronco Blanco
<i>Callinectes bocourti</i>	Jaiba
<i>Centropomus undecimalis</i>	Robalito
<i>Cichlasoma fenestratum</i>	Mojarra negra
<i>Cichlasoma meckii</i>	Mojarra
<i>Conodon nobilis</i>	Ronco amarillo
<i>Crassostrea virginica</i>	Ostión
<i>Crassostrea rhizophora</i>	Ostión
<i>Diapterus olisthostomus</i>	Mojarra blanca
<i>Eugerres plumieri</i>	Mojarra rayada
<i>Gerres cinereus</i>	Pez trompeta
<i>Mercenaria campechinensis</i>	Almeja
<i>Macrobrachium acanthurus</i>	Mayacaste chico
<i>Macrobrachium carcinus</i>	Mayacaste grande
<i>Menticirrus americanus</i>	Ratón
<i>Mugil curema</i>	Lebrancha
<i>Tarpon atlanticus</i>	Sábalo
<i>Rangia flexuosa</i>	Almeja grande
<i>Polymesoda caroliniana</i>	Almeja chica

Con el propósito de confirmar la presencia de hidrocarburos petrogénicos en los tejidos de las especies, se condujeron análisis por cromatografía de gases en todas ellas.

Las mayores concentraciones de n-parafinas se detectaron en la almeja grande (*Rangia flexuosa*), la almeja chica (*Polymesoda*

CONCENTRACION DE HIDROCARBUROS SATURADOS Y AROMATICOS POLINUCLEARES EN ORGANISMOS DEL RIO COATZACALCOS
Y LAGUNA DEL OSTIÓN, VERACRUZ, MEXICO (DETERMINADA POR CROMATOGRAFIA DE GASES)

TABLA NO. 26

ESPECIE	NOMBRE COMUN	LOCALIDAD DE CAPTURA	CONCENTRACION TOTAL DE HIDROCARBUROS	
			Saturados (ppm)	PAH's (ppm)
<u>Raivatelala nanchus</u>	Ronco Blanco	Isla Pajaritos	0.88	0.017
<u>Callinectes bocourti</u>	Jaiba	Río Coatzacoalcos	1.78	0.016
<u>Centropomus undecimalis</u>	Robalito	Laguna del Ostión	0.55	-
<u>Cichlasoma fenesistratum</u>	Hojana negra	Río San Francisco	1.17	-
<u>Cichlasoma meeki</u>	Hojana	Arroyo Teapa	3.00	-
<u>Conodon nobiliss</u>	Ronco amarillo	Puerto Comercial	1.84	-
<u>Chassostrea virginica</u>	Ostión	Laguna del Ostión	2.05	-
<u>Chassostrea blizophora</u>	Ostión	Laguna del Ostión	1.75	-
<u>Dicasterus olivathostomus</u>	Hojana blanca	Laguna del Ostión	0.42	-
<u>Eugenes plumieri</u>	Hojana rayada	Laguna del Ostión	0.84	0.011
<u>Genes cinereus</u>	Pez trampeta	Laguna del Ostión	0.37	-
<u>Mercenaria campechinensis</u>	Almeja	Laguna del Ostión	1.93	-
<u>Macrobryachium acanthiurus</u>	Mayacaste chico	Santa Alejandrina	0.70	0.380
<u>Macrobryachium carolinus</u>	Mayacaste grande	Santa Alejandrina	1.55	0.017
<u>Menticirrhus americanus</u>	Ratón	Litoral	0.28	0.002
<u>Murol curvata</u>	Lebrancha	Isla Pajaritos	1.52	0.004
<u>Tarpon atlanticus</u>	Sibolo	Río Coatzacoalcos	1.07	0.380
<u>Rangia flexuosa</u>	Almeja grande	Río Coatzacoalcos	5.21	0.123
<u>Polymesoda caroliniana</u>	Almeja chica	Isla Pajaritos	2.00	0.127

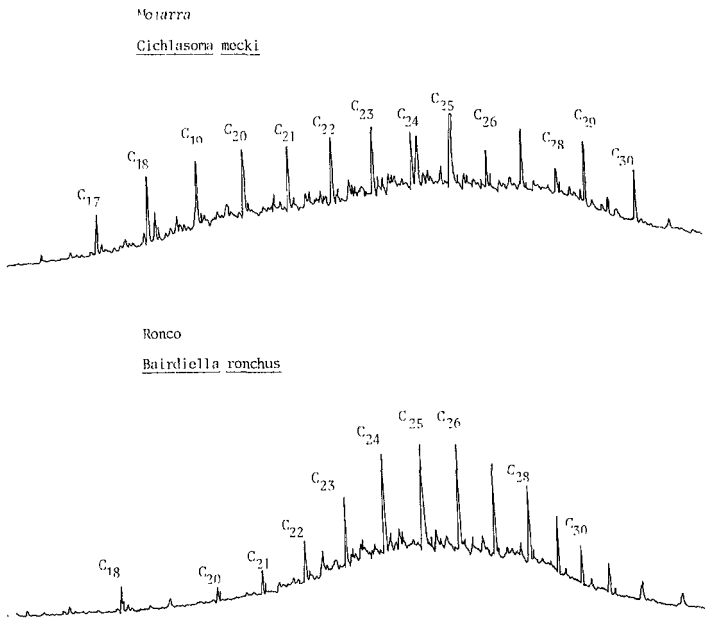


Fig. 8. Distribución de Hidrocarburos saturados en Cichlasoma mecki y Bairdiella ronchus del Río Coatzacoalcos, Veracruz; México.

TABLA 27

CONCENTRACION DE COMPUESTOS ORGANOCLORADOS EN SEDIMENTOS RECIENTES DEL RIO
COATZACOALCOS *

COMPUESTO	E-1	E-2	E-4	E-5	E-6	E-8	E-9	E-12	E-15	E-16	E-17
BHC		0.62	0.34	1.10	0.52	0.79	0.62	0.26	0.32	0.40	
ALDRIN	0.33		0.21		0.12					0.28	0.18
DIELDRIN	1.36				0.36		0.22		0.20	0.64	
ENDRIN	0.24	0.36	0.26		0.22					0.28	
HEPTACLORO		2.06	1.04	0.23		0.26				0.62	
LINDANO	0.27	0.77	0.56				0.32	0.36		0.36	0.14
O'P' DDT											
P'P' DDT											
CONCENTRACION TOTAL	2.17	3.81	2.41	1.33	1.22	1.05	1.16	0.62	0.52	2.58	0.32

* ppb ó ug/kg peso seco.

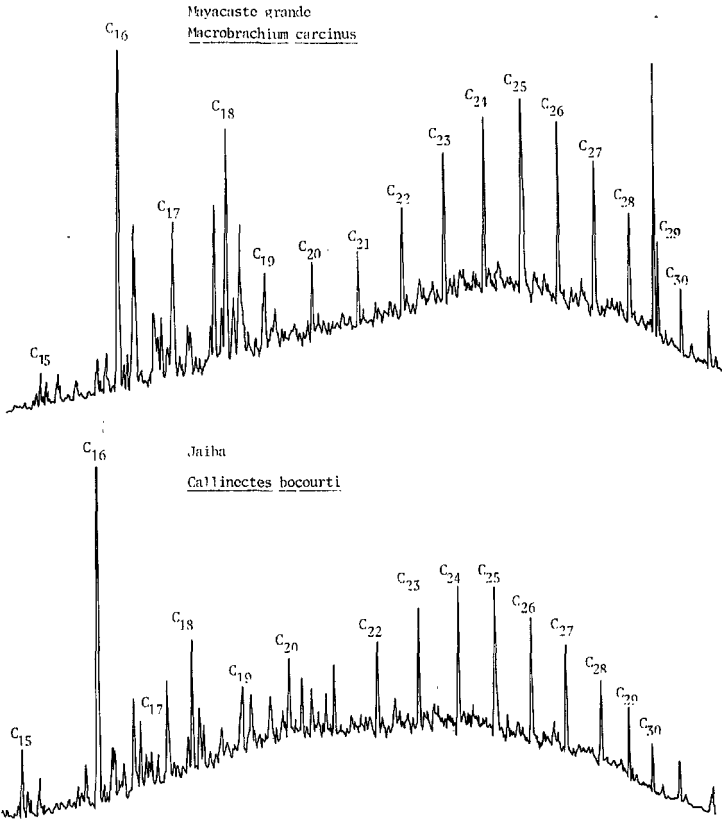
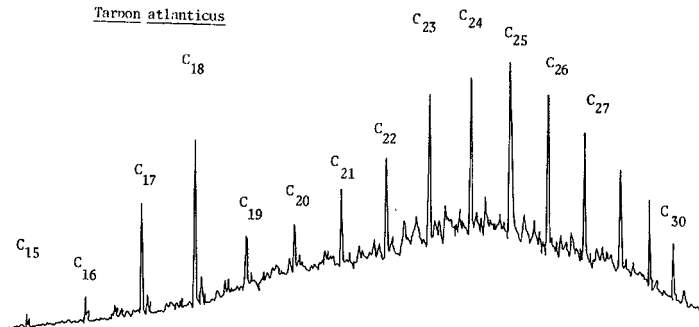


Fig. 9. Distribución de hidrocarburos saturados en Macrobrachium carinus v Callinectes bocourti del Río Coatzacoalcos, Veracruz; México.

Sábalo

Tarmon atlanticus



Almeja

Polymasoda caroliniana

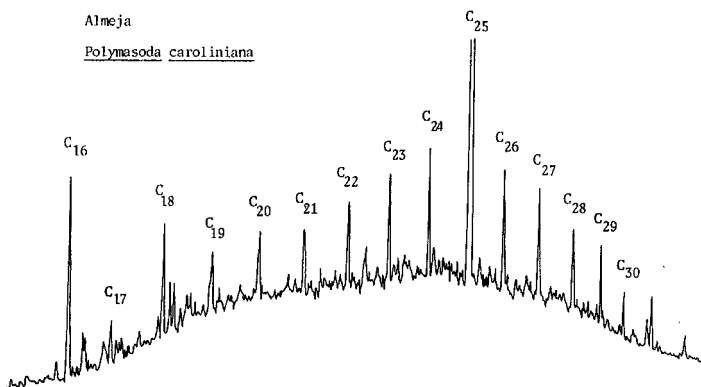


Fig. 10. Distribución de Hidrocarburos saturados en Tarmon atlanticus y Polymasoda caroliniana del Río Contzacoalcos, Veracruz; México.

En las siguientes especies de importancia comercial no se detectó la presencia de algún hidrocarburo aromático:

Mojarra negra	<i>Cich/asoma fenestratum</i>	del Río San Francisco
Mojarra	<i>Cich/asoma meecki</i>	del Arroyo Teapa
Ronco amarillo	<i>Conodon nobilis</i>	del Puerto Comercial
Ronco amarillo	<i>Conodon nobilis</i>	del Litoral
Mojarra negra	<i>Cich/asoma fenestratum</i>	del Río San Francisco

En otro grupo de especies se detectaron hidrocarburos aromáticos y PAH's en un rango de concentración de 2 a 1 7 ppb (partes por billón):

Ratón	<i>Menticirrhus americanus</i>	del Litoral
Lebrancha	<i>Mugil curema</i>	de Isla Pajaritos
Ronco	<i>Bairdie/la ronchus</i>	de Isla Pajaritos
Mojarra rayada	<i>Eugerres plumieri</i>	del Río San Antonio
Jaiba	<i>Ca/linectes bocourti</i>	del Río Coatzacoalcos
Mayacaste grande	<i>Macrobrachium carcinus</i>	de Santa Alejandrina

El tercer grupo de especies revela un rango de concentraciones elevadas de PAH's, lo cual tiene gran significación para la salud pública: todos los compuestos detectados se reportan como nocivos y algunos como cancerígenos: el benzo (a) antraceno, el benzofluoranteno, el benzo (a) pireno y el benzo (ghi) perileno. El rango de concentración va de 77 a 877 ppb, y las especies son:

Mojarra	<i>Cich/asoma meecki</i>	del Río Colorado
Mojarra negra	<i>Cich/asoma fenestratum</i>	del Río San Antonio
Sábalo	<i>Tarpón atlanticus</i>	del Río Calzadas
Almeja	<i>Rangia flexuosa</i>	del Río Coatzacoalcos
Almeja	<i>Polymesoda caroliniana</i>	de Isla Pajaritos
Mayacaste chico	<i>Macrobrachium acanthurus</i>	de Santa Alejandrina

Las figuras 1 1 y 12, nos muestran los cromatogramas de las fracciones aromáticas pertenecientes a las especies analizadas; se nota claramente que las almejas (*Rangia flexuosa* y *Rangia caroliniana*), el mayacaste chico (*Macrobrachium acanthurus*) y el sábalo (*Tarpón atlanticus*) poseen una gran variedad de hidrocarburos aromáticos, desde los más sencillos (con 2 anillos benzoícos, como los naftalenos) hasta los más complicados (con

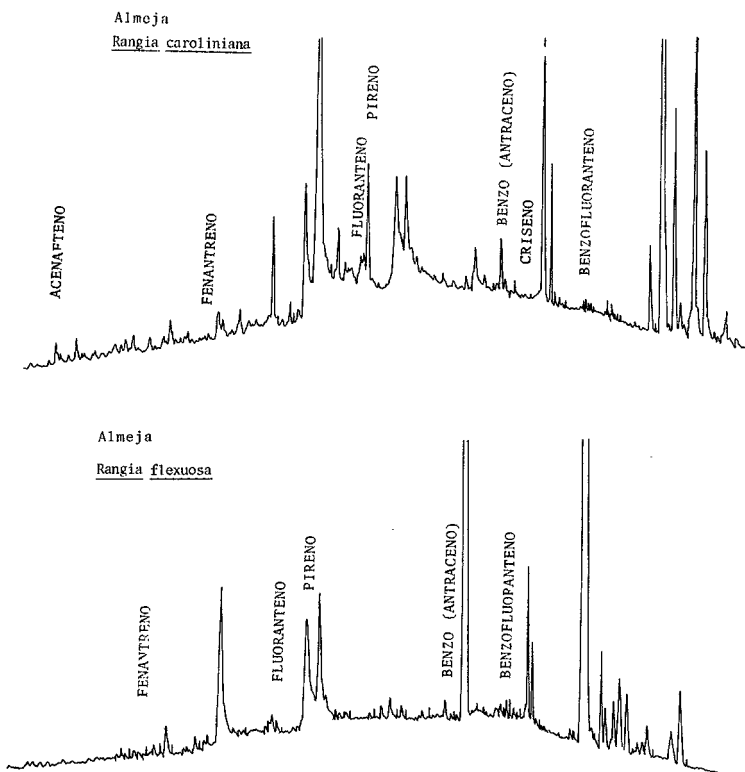
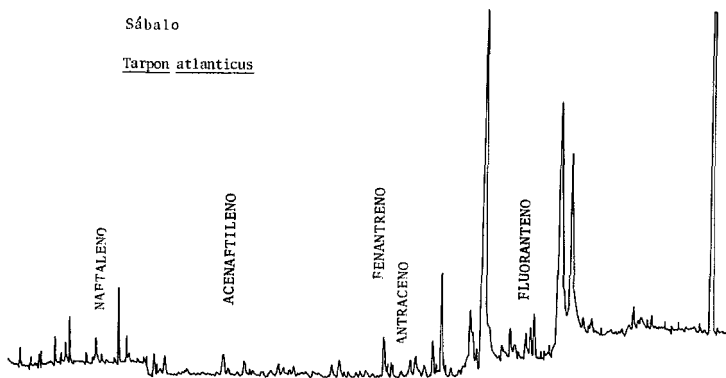


Fig. 11. Presencia de PAH's en Rangia caroliniana y Rangia flexuosa del Río Coatzacoalcos, Veracruz, México.

Sábalo

Tarpon atlanticus



Mayacaste chico

Macrobrachium acanthurus

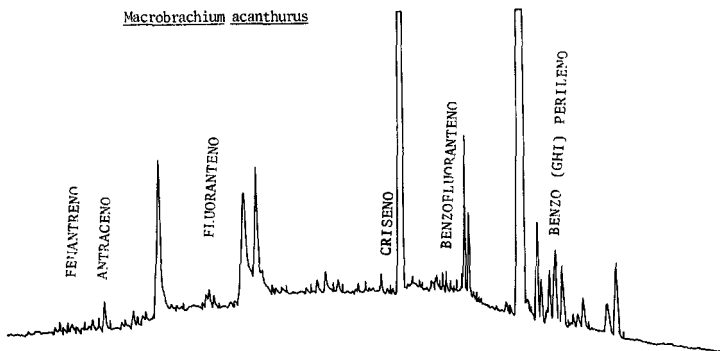


Fig. 12. Presencia de PAH's en Tarpon atlanticus y Macrobrachium acanthurus del Río Coatzacoalcos, Veracruz; México.

centran en áreas, con una alta productividad biológica, como son las zonas costeras. En algunas partes del mundo, estas comparten su alta productividad con las actividades de la industria petrolera: tal es el caso de México, donde la producción de petróleo en la plataforma continental alcanza volúmenes considerables. Por ello, las pesquerías del área estarán sujetas a una contaminación crónica y a derrames de petróleo intermitentes por muchos años. El 90% de la captura total de esta área se hace sobre especies costeras o estuarinas (ostras, almejas, mejillones, peces, etc.), las cuales viven en áreas someras como estuarios y lagunas costeras, y en donde los efectos de la contaminación sin duda serán mayores.

VI. PLAGUICIDAS

Nada ilustra mejor el gran poder de la tecnología en este siglo que la historia de los plaguicidas. Diversos estudios a partir de 1965 demostraron que la presencia del DDT y sus metabolitos afectaba enormemente el poder de reproducción de las aves, la mortandad de peces y ostras en áreas costeras con la existencia de Endrín (Rowe *et. al.*, 1971; Odum, 1968), debido a lo cual muchos países limitaron el empleo masivo de plaguicidas.

Con el análisis continuo de ejemplares biológicos se demostró la presencia de otros hidrocarburos clorinados (aparte del DDT) denominados PCB's o bifenilos policlorinados. En la actualidad un gran número de países los produce para múltiples usos industriales (Eidelman, 1963; Jensen *et. al.*, 1969; Holmes *et. al.*, 1967; Koeman *et. al.*, 1969), considerándose contaminantes del medio ambiente. Los hidrocarburos clorinados como los PCB's alcanzaron ya el medio marino (Frost, 1969).

Estudios de vigilancia en el medio acuático, han permitido obtener las siguientes consideraciones:

- a) Los plaguicidas más persistentes como el DDT y Dieldrín se detectan frecuentemente en aguas oceánicas.
- b) Otros plaguicidas sólo se observan en las áreas inmediatas al lugar de empleo.
- c) Los plaguicidas casi siempre aparecen en el material de suspensión.
- d) Estos compuestos se almacenan en los sedimentos del fondo, los cuales al ser removidos contribuyen a la continua contaminación de los estuarios. Se sabe que la adsorción de DDT aumenta según la cantidad de humus en la materia orgánica contenida en el sedimento (Weber, 1972). Existe sin embargo, muy poca información disponible sobre la concentración de estos compuestos en sedimentos de lagunas costeras, ríos y estuarios: el problema del muestreo presenta serias dificultades.

tades, pues tales compuestos se depositan en la capa superficial.

Fuentes y destino de los plaguicidas organoclorados en el ambiente marino

Fuentes

Los plaguicidas pueden entrar al medio marino a través de diferentes vías (Westlake & Günther, 1966): primero, por la aplicación de estos productos en las zonas agrícolas; en México, en los distritos y unidades de temporal o de riego, *cuyos drenes* contengan -por escurrimiento de los suelos agrícolas- residuos de algunos compuestos que finalmente se llevan a través de los ríos a las lagunas costeras y de ahí al mar, aunque también pueden llegar por transporte atmosférico de partículas (Albert, 1977). Sin embargo, no es despreciable la cantidad de desechos vertidos por las agroindustrias en los ríos y por lo tanto en los demás ecosistemas. En segundo lugar, su estancia en el medio obedece contradictoriamente a razones de salud pública: en México, la Secretaría de Salud tiene a su cargo un "Programa para la Erradicación del Paludismo" esta campaña se realiza con aplicación de DDT en las casas habitación de las zonas establecidas por la propia dependencia; también incluye la aplicación del mismo compuesto en cuerpos de agua para controlar el mosquito transmisor del paludismo y las larvas de insectos que contaminan el ambiente marino y costero. Por último, la contaminación puede deberse a desechos y accidentes en el momento de la aplicación o el almacenamiento de compuestos.

Destino

El destino y los efectos de los plaguicidas dependen de la dinámica del área, la frecuencia de los aportes continentales, el tipo y concentración del plaguicida, de las características biológicas del ambiente y de los organismos así como de la presencia de otro xenobiótico (Rosales, 1979; Hart, 1977). Las características ecológicas de las lagunas costeras y su cercanía a las descargas continentales demandan un mayor cuidado de estas áreas; los procesos químicos, físicos y biológicos se resumen en la figura 13.

RUTAS Y PROCESOS QUE INFLUYEN SOBRE LA DISPERSION DE LOS PLAGUICIDAS
EN EL AMBIENTE MARINO

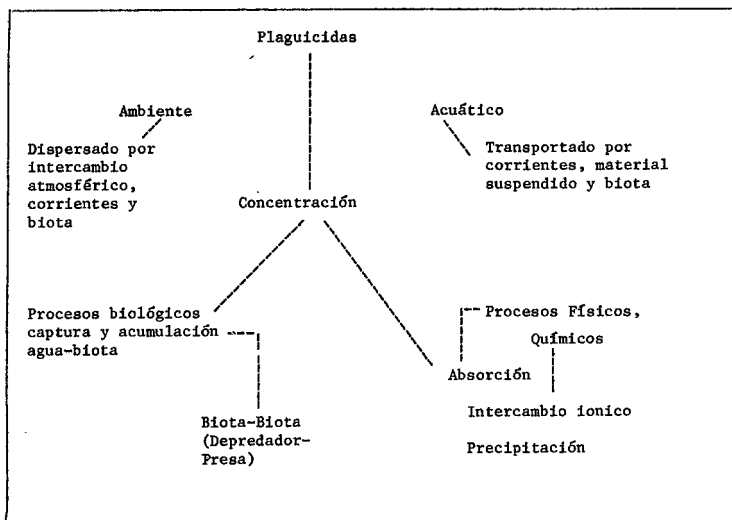


FIG. 13

(Ketchum, 1967)

gucidas. Diversas investigaciones ecotoxicológicas demuestran que los insecticidas del grupo de DDT son actualmente de una significativa contaminación en los peces marinos, y se estima que la concentración media de toda la fauna ictiológica marina se comprende entre 0.1 y 2.0 ppm para el DDT y DDE (Risbrough, 1971). En consecuencia, la Food and Drug Administration ha retirado y destruido en California lotes de peces con concentración de 10 ppm (Jones, 1971).

Existe necesariamente el efecto de amplificación de la contaminación conforme se asciende la cadena alimenticia; así pues las comunidades más afectadas por los plaguicidas en el medio acuático son el plancton y el bentos.

Degradación y biodegradación de los plaguicidas

Los plaguicidas organoclorados dispersos en el agua se exponen a cambios químicos como es la oxidación.

El tipo y el tamaño de las partículas, especialmente en el suelo y en el fango, pueden causar una amplia fluctuación, y así se localizan cambios en las concentraciones del sustrato, pH, contenido de minerales y de agua. Asimismo, la presencia o ausencia de depredadores y parásitos puede causar una gran fluctuación en las poblaciones microbianas (Dart, 1977).

Los factores limitantes para la oxidación fotoquímica son precisamente el oxígeno y la luz; aquél es muy importante en el inicio de la degradación de los plaguicidas sin embargo, ni uno ni otro son limitantes en las lagunas costeras, la degradación de DDT produce DDE por medio de microorganismos o reacciones fotoquímicas (Patil *et al.*, 1972).

La oxidación de hidrocarburos policíclicos o aromáticos produce frecuentemente reactivos intermedios epóxidos u óxidos de arenas, los cuales se cree son carcinogénicos, mutagénicos o citotóxicos (Hart, 1977).

Efectos en los organismos

La contaminación ambiental por compuestos organoclorados es un aspecto de gran importancia, pues tales compuestos se exhiben en casi todas las muestras biológicas analizadas, demostrando la presencia de otros hidrocarburos clorinados (aparte del DDT y los *PcB's*) (Giam *et al.*, 1973). De igual manera, estos organoclorados son altamente persistentes en el medio am-

biente, y poseen capacidad para bioconcentrarse, bioacumularse y biomagnificarse y producir de esta manera una toxicidad aguda sobre organismos acuáticos (Johnson, 1968; Hamelink *et. al.*, 1971).

Investigaciones del Gulf Breeze Environmental Research Laboratory proporcionan información sobre los factores de concentración de ciertos plaguicidas por organismos estuarinos (cuadro 1).

Los compuestos organoclorados que masivamente emplea la agricultura, merecen una especial atención. Diversos trabajos exhiben una inhibición en la actividad fotosintética del fitoplancton por el DDT, el Dieldrín y el Endrín (Menzel *et. al.*, 1970; Ukeles, 1962; Wurster, 1968).

Estos compuestos provocan un nefasto efecto sobre el crecimiento de los organismos y aumentan la mortalidad más allá de cierto umbral; su fijación en el fitoplancton parece ser extremadamente rápida; bastan algunos minutos para hacer desaparecer de un medio de cultivo para fitoplancton del 16 al 54% del DDT añadido. Muy someramente pueden desprenderse de estos estudios conclusiones de dos órdenes:

- La concentración en compuestos organoclorados se realiza por dos vías: una rápida, por efecto de baño; la otra, más lenta, por la cadena trófica.
- La concentración es tanto mayor cuanto menor es la talla, y ello corresponde al predominio de la concentración por absorción directa.

Se debe, no obstante deplorar la escasez de datos fisiotoxicológicos relativos a los invertebrados marinos, en particular en el caso de intoxicaciones crónicas.

Con lo que respecta a los peces se pueden resumir algunos efectos; la toxicidad aguda daña primariamente el sistema nervioso central con un resultado de inestabilidad, dificultades respiratorias y movimientos lentos o inactividad; algunos efectos crónicos son la acumulación de residuos en las grasas, daño en el hígado y riñones, la disminución en la reproducción, la reacción más lenta a los estímulos externos, pérdida del apetito, crecimiento restringido, baja resistencia a las enfermedades (Johnson, 1968).

De la mayoría de las aguas contaminadas por plaguicidas, se observa que a estos los absorbe la materia particulada, y hay la tenden-

CUADRO 1
FACTORES DE CONCENTRACION DE COMPUESTOS ORGANOCLORADOS, BIFENILOS POLICLORADOS Y HERBICIDAS PARA ORGANISMOS ESTUARINOS

COMPUESTO	ORGANISMO	CONCENTRACION DE EXPOSICION	FACTOR DE CONCENTRACION	TIEMPO	REFERENCIAS
PLAGUICIDAS ORGANOCLORADOS:					
Chloroan	<u>Pseudomonas sp.</u>	10 ppm	0.83	10 días	Bourquin (datos no publicados)
DDT	<u>Brachionetes recurvus</u>	1 ppb	24,000	1 semana	Butler, 1960
	<u>Mercenaria mercenaria</u>	1 ppb	6,000	1 semana	Butler, 1986
	<u>Ava arenaria</u>	0.1 ppb	8,800	5 días	Butler, 1971
	<u>Crassostrea ginas</u>	1 ppb	20,000	7 días	Butler, 1966
	<u>Panaeus quorarius</u>	0.14 ppb	1,500	3 semanas	Nimmo et al, 1970
Dieldrin	<u>Mercenaria mercenaria</u>	0.5 ppb	760	5 días	Butler, 1971
Nirex	<u>Panaeus quorarius</u>	0.1 ppb	2,600	3 semanas	Lowe, et al, 1971
	<u>Callinectes sandius</u>	0.1 ppb	1,100-5,200	3 semanas	Lowe, (datos no publicados)
	<u>Thalassia testudinum</u>	0.1 ppb	0 hojas	10 días	Walsh y Hollister (datos no publicados)
			0.36 rizomas		
BIFENILOS POLICLORADOS (PCB's)					
Aroclor 1254	<u>Falcomentes dupio</u>	0.62 ppb	2,065-26,580	1-5 semanas	Nimmo (datos no publicados)
	<u>Panaeus quorarius</u>	2.5 ppb	1,800-7,600	2-9 días	Nimmo et al, 1941
	<u>Lademon rhomboides</u>	5 ppb	2,800-21,800	2-15 semanas	Mansen et al, 1971
	<u>Thalassia testudinum</u>	5820 ppb	0 hojas y rizomas	10 días	Walsh y Hollister (datos no publicados)
HERBICIDAS					
Toreon 101	<u>Phragmites australis</u>	14.4 ppb	1.28 tallos	20 días	Walsh et al, 1972
	<u>Thalassia testudinum</u>	5 ppb	0 hojas	10 días	Walsh y Hollister (datos no publicados)

cia continua para que tal materia se vaya al fondo de los ecosistemas acuáticos; por ello, una cantidad de residuos aparece probablemente en los sedimentos, si bien, no necesariamente ahí se presentan las concentraciones más altas /Edwards, 1977).

Una vez en el sedimento, un plaguicida puede permanecer por largo tiempo, cuando las aguas sean tranquilas y según el tipo de compuesto. Las condiciones anaeróbicas usuales en los sedimentos favorecen la degradación de muchos insecticidas organoclorados, particularmente DDT Y BHC (Hill y Mc Cartey, 1967; Castro y Yoshida, 1971; Guenzi y Beard, 1967). Por otra parte, al ser removidos los sedimentos contribuyen a la continua contaminación de los estuarios (Rosales, 1979).

Estudios realizados en México sobre el contenido de plaguicidas en sedimento, en el Golfo de México (Rosales, 1979), encontraron niveles de concentración relativamente bajos, que oscilaban entre los 0.3-2.27 ppb; en cambio en la bahía de Nueva York se encontró DDT en concentraciones desde 0.05 hasta 120.0 ppb en el punto de descarga de fangos activados (West, 1976); estos cálculos se hicieron en base seca.

Por medio de las investigaciones realizadas en el fondo de lagunas saladas litorales Odum, Woodwell y Wurster (1969) pudieron concluir que las partículas orgánicas asociadas a las bacterias y otros microorganismos en los sedimentos constituían un importante reservorio de DDT susceptible de contaminar toda la red trófica bentónica.

Es importante que los sedimentos bajen sus niveles de concentración de plaguicidas, porque mientras más rápido descienden, decrecerán también rápidamente las posibles concentraciones en los organismos bentónicos, como algunos peces que se alimentan en el fondo; de lo contrario pueden causar la persistencia en estos organismos, aún cuando las aplicaciones hayan concluido (Young *et. al.*, 1977).

A pesar de lo anterior, en las zonas costeras la velocidad de degradación debe ser mayor, por la existencia de nutrientes, luz, temperatura, oxígeno y sustrato, que permiten altas tasas de biodegradación por bacterias y oxidación fotoquímica.

Recientemente, los patrones del uso de los plaguicidas están cambiando en muchos países, y estos cambios se reflejan en las cantidades fabricadas anualmente. Así, por la alta persistencia y los efectos negativos sobre los organismos, hoy en día se aplican sólo pequeñas cantidades de plaguicidas organoclorados; a estos los reemplazan

en su mayoría organofosfatados y carbamatos, los cuales se hidrolizan rápidamente en la columna de agua y por lo tanto no son bioacumulados en el mismo grado que aquéllos.

Sin embargo, muchos compuestos organofosfatados son extremadamente tóxicos para la vida acuática en corto tiempo (Coppage, 1972).

En el cuadro 2 se enlistan las principales categorías de plaguicidas de uso corriente y cuyos residuos aparecen en muchas especies habitantes de las zonas costeras del Golfo de México.

La información obtenida a través de programas de investigación es de un gran valor para las personas interesadas en el manejo y administración de la zona costera, pero debe interpretarse de manera correcta. Experimentos en el laboratorio y pruebas de campo han demostrado que los moluscos-bivalvos (ostiones y mejillones) son excelentes bioindicadores de la existencia y los niveles de los plaguicidas en ambientes costeros. Estos organismos, por sus hábitos filtradores y su vida sedentaria, bioacumulan en sus tejidos varios órdenes de magnitud de los plaguicidas presentes en la columna de agua, y al mismo tiempo poseen la capacidad de detoxificación y liberación de estos compuestos cuando se les coloca en sistemas de agua limpia. Como los patrones de uso de los plaguicidas están cambiando, las técnicas para estudios de vigilancia de estos compuestos también deben transformarse. Así, los organofosfatos y carbamatos no pueden evaluarse de la misma manera que los organoclorados y otros compuestos químicos persistentes; por lo tanto, para detectar y reconocer un plaguicida es necesario evaluar también cambios naturales en los sistemas biológicos, como una herramienta de trabajo complementaria de los análisis químicos de los organismos y otros componentes del ecosistema; además, debe haber una evaluación de los efectos de los residuos de plaguicidas sobre los organismos y los sistemas.

Así, puede considerarse que un plaguicida tiene efectos adversos si de manera temporal o permanente altera el estado basal de un sistema biológico, en particular si este sistema desarrolla un mecanismo homeostático de compensación o bien es incapaz de mantener su propio estado basal.

Cuadro No. 2

COMPUESTOS ORGANICOS TOXICOS USADOS COMO PLAGUICIDAS Y PRESENTE EN ORGANISMOS MARINOS DE LAS AREAS COSTERAS DEL GOLFO DE MEXICO

{Duke, 1978}

Plaguicidas Organoclorados	Plaguicidas Organofosfatados	Carbamatos	Herbicidas
DDT y sus metabolitos	Diazinon	Carbaryl	2,4-D
Clordano	Guthion	Carbofuran	Ficloram
Dieldrin	Malathion		Triazinas
Endrin	Naled		Urea
Metoxyclor	Parathion		
Mirex	Forato		
Toxafeno			

senta un contenido de limo de más del 40% y solamente 2 estaciones presentan un contenido de arcilla de más del 40%; por lo tanto, en este caso el tamaño del grano no representa un parámetro importante para la concentración y la distribución de los hidrocarburos organoclorados.

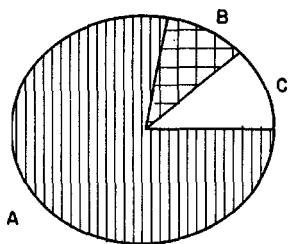
En cambio, el contenido del carbono orgánico parece ser el parámetro que está en íntima relación con la presencia y concentración de los compuestos organoclorados, ya que el valor promedio de las 17 estaciones analizadas es de 5.35% considerándosele un valor alto para zonas costeras y estuarinas y siendo similar a otras áreas estuarinas con un gran aporte de material orgánico de origen continental como son la laguna de Términos en Campeche y la laguna de Nichupté en Quintana Roo; cuya primordial fuente de materia orgánica la constituye el detritus del manglar y la vegetación terrestre (Day, 1983; Bortello, 1983).

En la tabla 27 se encuentran representadas las concentraciones de los compuestos organoclorados detectados en los sedimentos recientes del bajo río Coatzacoalcos, notándose que las más altas concentraciones corresponden a las estaciones 1, 2, 4, 5 y 16 cuyo valor promedio de carbono orgánico presente en los sedimentos es de 7.5%; existiendo por lo tanto, una alta correlación entre ambos parámetros (concentración de plaguicidas-contenido de carbono orgánico).

Es de notar que estas estaciones se encuentran localizadas en el área de influencia de las ciudades de Coatzacoalcos, recibiendo también descargas considerables de las plantas de FERTIMEX que operan adyacentes a las ciudades antes mencionadas.

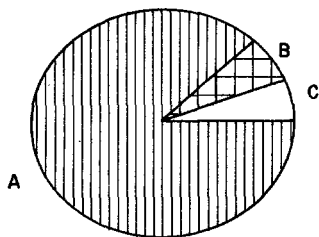
En cuanto a los compuestos organoclorados detectados en las muestras del río Coatzacoalcos, el BHC estuvo presente en un 85% de ellas, siguiéndole el Aldrín, el Dieldrín y el Lindano con un 60%, como los compuestos más abundantes, tal y como lo muestran los cromatogramas correspondientes (figuras 22 y 23).

ESTACION 09



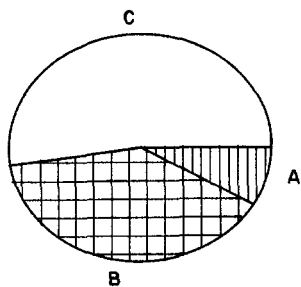
A	00-AR	78%
B	00-LI	10%
C	00-AC	11%
1		

ESTACION 01



A	01-AR	87%
B	01-LI	7%
C	01-AC	5%
1		

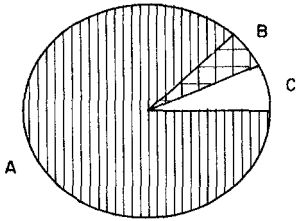
ESTACION 02



A	02-AR	8%
B	02-LI	39%
C	02-AC	53%
1		

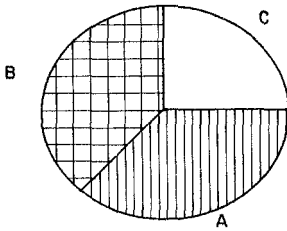
FIG. 14 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL RIO COATZACOALCOS, VER.

ESTACION 03



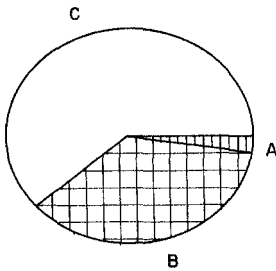
A	03-AR	87%
B	03-LI	5%
C	03-AC	7%
1		

ESTACION 04



A	04-AR	36%
B	04-LI	39%
C	04-AC	25%
1		

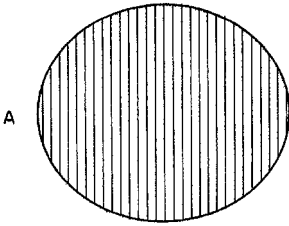
ESTACION 05



A	05-AR	2%
B	05-LI	36%
C	05-AC	62%
1		

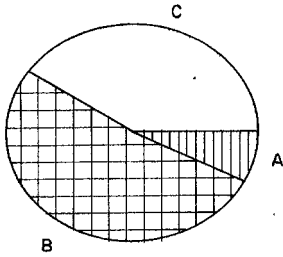
FIG. 15 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL RIO COATZACOALCOS, VER.

ESTACION 06



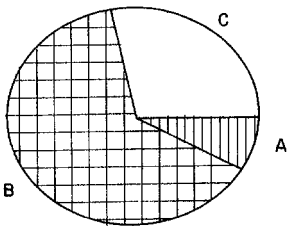
A	06-AR	100%
B	06-LI	0%
C	06-AC	0%
I		

ESTACION 07



A	07-AR	9%
B	07-LI	52%
C	07-AC	40%
I		

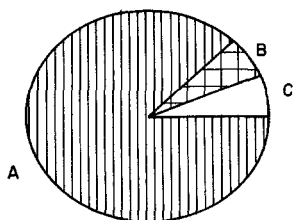
ESTACION 08



A	08-AR	8%
B	08-LI	64%
C	08-AC	28%
I		

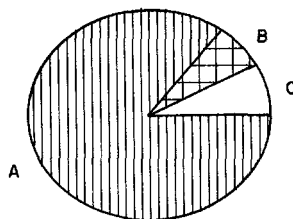
FIG. 16 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL RIO COATZACOALCOS, VER.

ESTACION 09



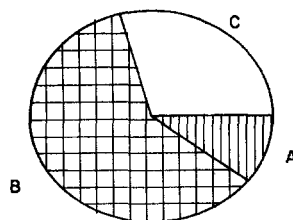
A	09-AR	88%
B	09-LI	7%
C	09-AC	6%
l		

ESTACION 10



A	10-AR	85%
B	10-LI	8%
C	10-AC	7%
l		

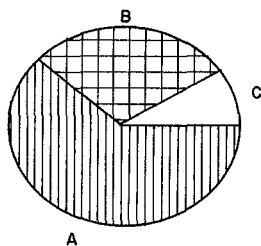
ESTACION 11



A	11-AR	10%
B	11-LI	61%
C	11-AC	29%
l		

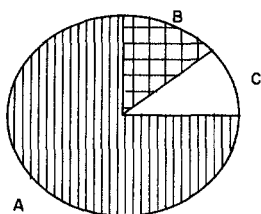
FIG. 17 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL RIO COATZACOALCOS, VER.

ESTACION 12.



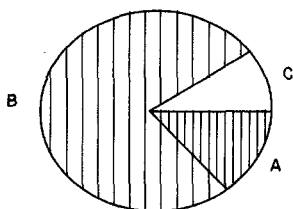
A	12-AR	61%
B	12-LI	29%
C	12-AC	10%
I		

ESTACION 13.



A	13-AR	75%
B	13-LI	14%
C	13-AC	11%
I		

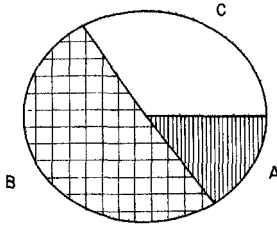
ESTACION 14.



A	14-AR	14%
B	14-LI	77%
C	14-AC	9%
I		

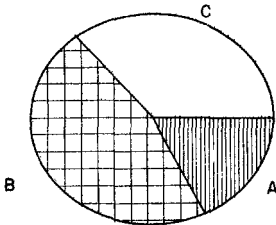
FIG. 18 ANALISIS GRANULOMETRICOS DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL RIO COATZACOALCOS, VER.

ESTACION 15



A	15-AR	15%
B	15-LI	51%
C	15-AC	34%
I		

ESTACION 16



A	16-AR	18%
B	16-LI	47%
C	16-AC	36%
I		

FIG .19 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL RIO COATZACOALCOS, VER.

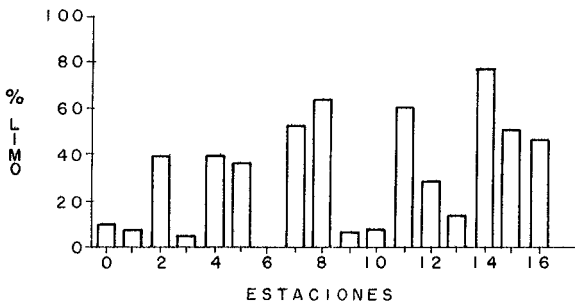
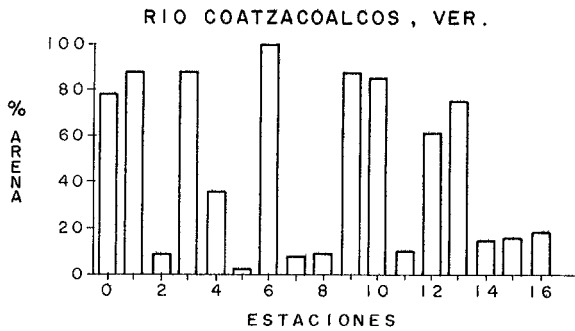


FIG. 20 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES

RIO COATZACOALCOS., VER.

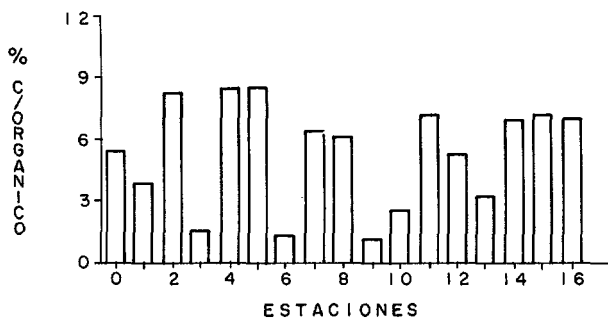
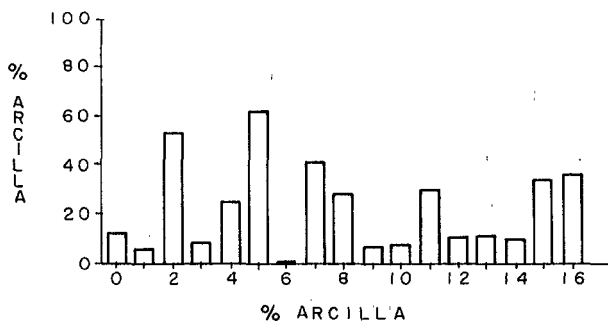


FIG. 21 % DE CARBONO ORGANICO DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES

TABLA 27

CONCENTRACION DE COMPUESTOS ORGANOCORADOS EN SEDIMENTOS RECIENTES DEL RIO
COATZACOALCOS*

COMPUESTO	E-1	E-2	E-4	E-5	E-6	E-8	E-9	E-12	E-15	E-16	E-17
BHC		0.62	0.34	1.10	0.52	0.79	0.62	0.26	0.32	0.40	
ALDRIN	0.33		0.21		0.12					0.28	0.18
DELDRIN	1.36				0.36		0.22		0.20	0.64	
ENDRIN	0.24	0.36	0.26		0.22					0.28	
HEPTACLORO		2.06	1.04	0.23		0.26				0.62	
LINDANO	0.27	0.77	0.56				0.32	0.36		0.36	0.14
O'P' DDT											
P'P' DDT											
CONCENTRACION TOTAL	2.17	3.81	2.41	1.33	1.22	1.05	1.16	0.62	0.52	2.58	0.32

* ppb ó ug/kg peso seco.

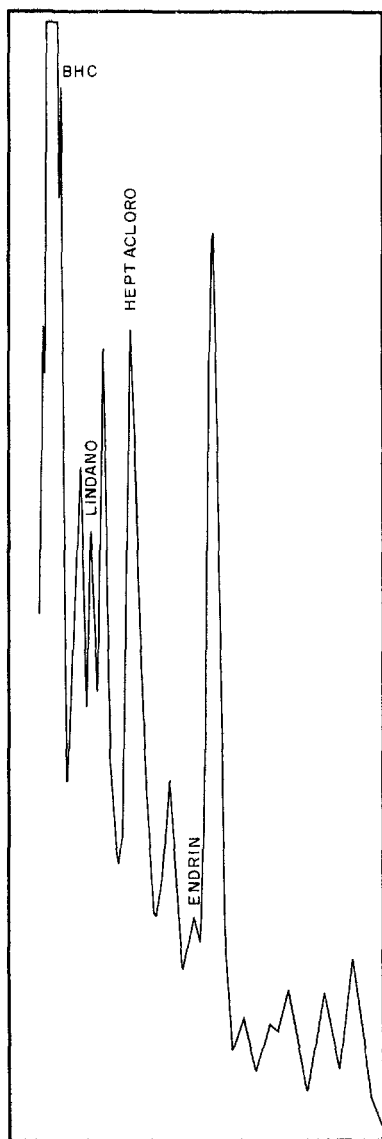


FIG. 22. Cromatograma de los plaguicidas contenidos en sedimentos del Río Coatzacoalcos, Veracruz; México.

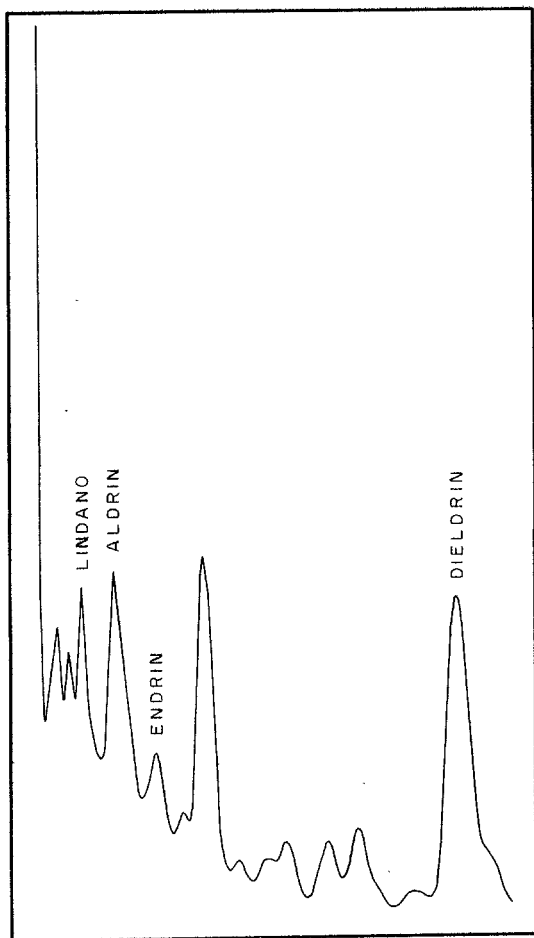
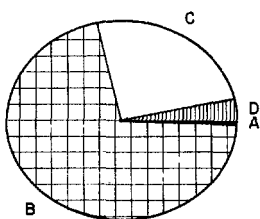


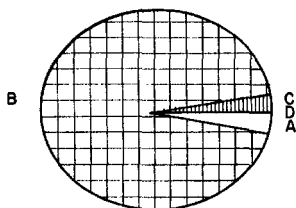
FIG .23. Cromatograma de los plaguicidas contenidos en sedimentos del Río Coatzacoalcos, Veracruz; México.

BARRA DE TONALA



A	00-GR	9%
B	00-AR	71%
C	00-LI	25%
D	00-AC	3%
0		

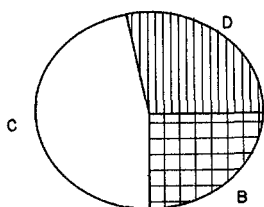
EL MUELLE.



A	01-GR	4%
B	01-AR	94%
C	01-LI	2%
D	01-AC	0%
0		

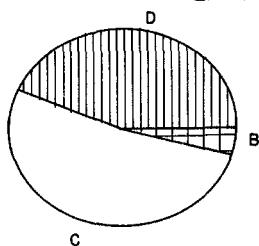
G. 24 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL RIO TONALA, VER.

EL POLVORIN



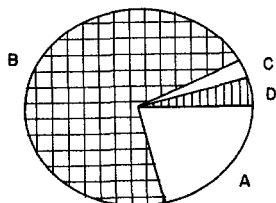
A	02-GR	0%
B	02-AR	25%
C	02-LI	47%
D	02-AC	28%
0		

LA VENTA



A	03-GR	0%
B	03-AR	5%
C	03-LI	52%
D	03-AC	43%
0		

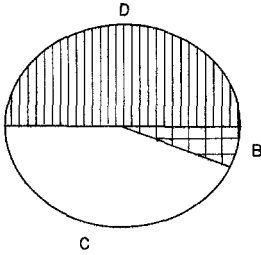
EL PUENTE



A	04-GR	21%
B	04-AR	72%
C	04-LI	2%
D	04-AC	4%
0		

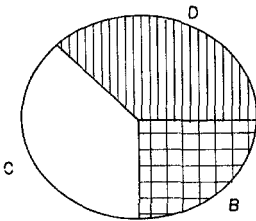
FIG. 25 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL RIO TONALA, VER.

EL PANAL



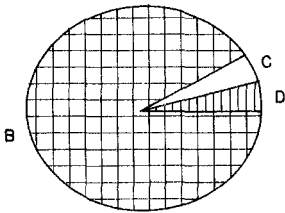
A	05-GR	0%
B	05-AR	7%
C	05-LI	44%
D	05-AC	49%
E	06-GR	0%
0		

LAS VALVULAS



A	06-GR	0%
B	06-AR	24%
C	06-LI	39%
D	06-AC	37%
0		

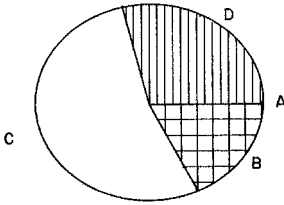
ARROYO PESQUERO



A	07-GR	0%
B	07-AR	92%
C	07-LI	4%
D	07-AC	4%
0		

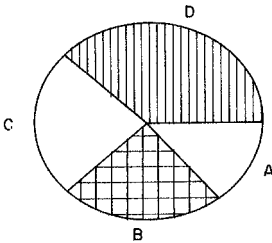
FIG. 26 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL RIO TONALA, VER.

EL PLAN



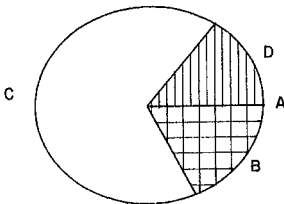
A	08-GR	0%
B	08-AR	18%
C	08-LI	54%
D	08-AC	20%
0		

SAN JOSE DEL CARMEN



A	09-CR	15%
B	09-AR	23%
C	09-LI	25%
D	09-AC	38%
0		

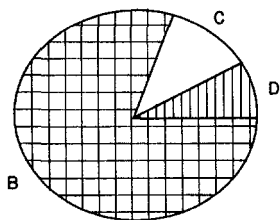
FLORIDA



A	10-GR	0%
B	10-AR	18%
C	10-LI	67%
D	10-AC	15%
0		

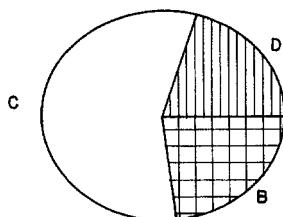
FIG. 27 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL RIO TONALA, VER

PASO LAGUNAS



A	11-GR	0%
B	11-AR	80%
C	11-LI	11%
D	11-AC	8%
0		

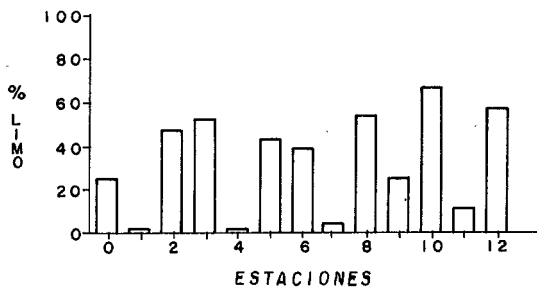
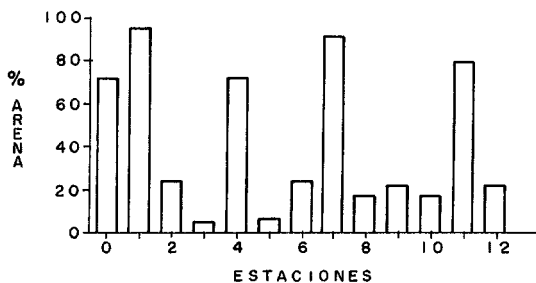
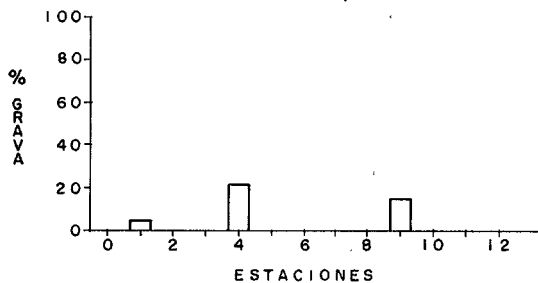
LAGUNA DEL YUCATECO



A	12-GR	0%
B	12-AR	23%
C	12-LI	57%
D	12-AC	20%
0		

FIG. 28 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL RIO TONALA, VER.

RIO TONALA, VER.



IG. 29 ANALISIS GRANULOMETRICO TOTAL DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES

RIO TONALA, VER.

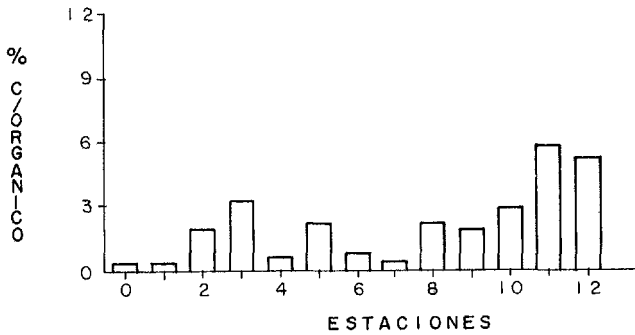
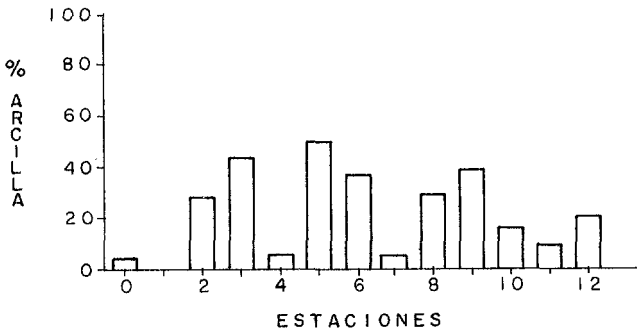


FIG. 30 % DE CARBONO TOTAL DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES

TABLA 28

CONCENTRACIÓN DE COMPUESTOS ORGANOCLORADOS EN SEDIMENTOS RECIENTES DEL RIO
TONALA, VERACRUZ: MEXICO *

COMPUESTO	01	03	05	07	09	10	12
BHC	0.32	0.70	1.14	0.52	0.40	0.22	0.20
ALDRIN				0.36	1.42		
DIELDRIN	0.24				0.32		0.18
ENDRIN		0.16	0.26				
HEPTACLORO				0.22		0.18	
LINDANO	0.12	0.24			0.22		
O'P' DDT							
P'P' DDT							
CONCENTRACION TOTAL	0.68	1.10	1.40	1.10	2.36	0.40	0.38

* ppb ó ug/kg peso seco.

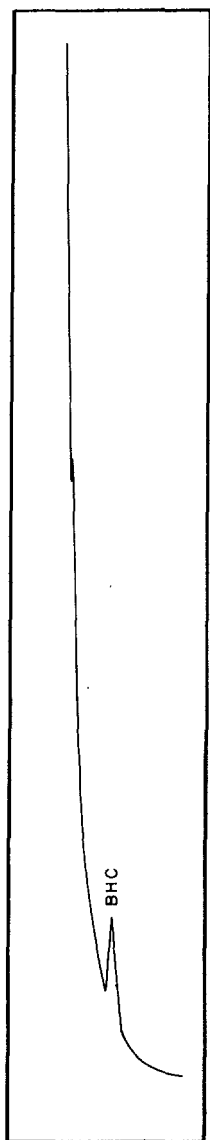


FIG. 31. CROMATOGRAMA DE LOS PLAGUICIDAS CONTENIDOS EN SEDIMENTOS DEL RIO TONALA, VERACRUZ, MEXICO.

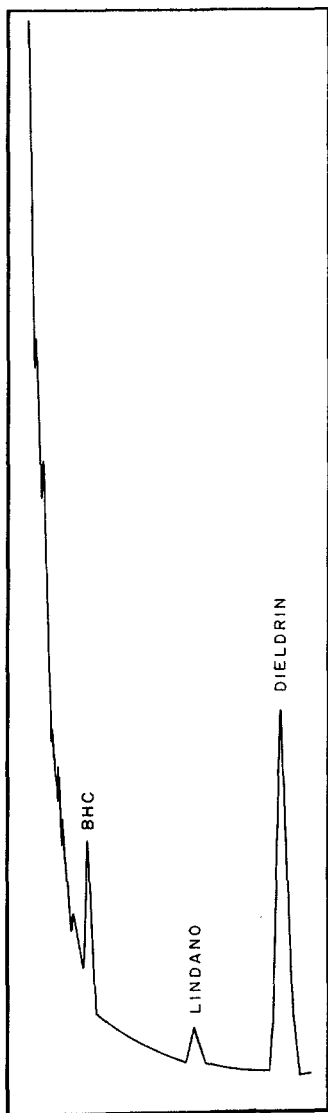


FIG. 32. CROMATOGRAMA DE LOS PLAGUICIDAS CONTENIDOS EN SEDIMENTOS DEL RIO TONALA, VERACRUZ, MEXICO.

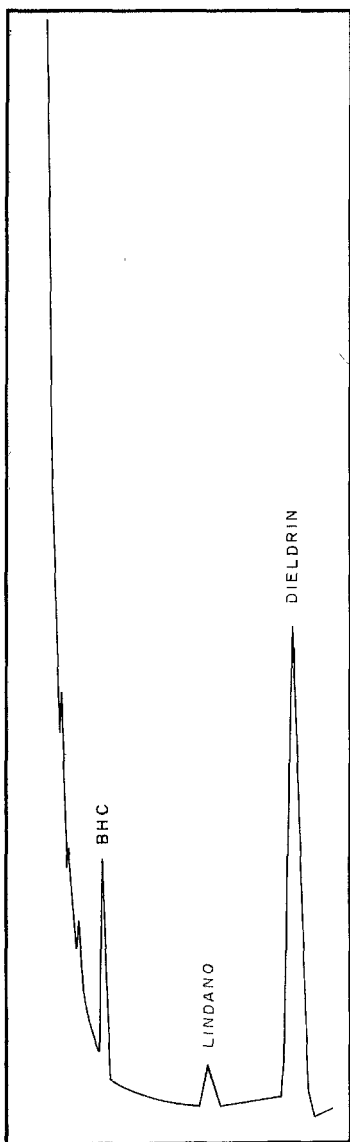
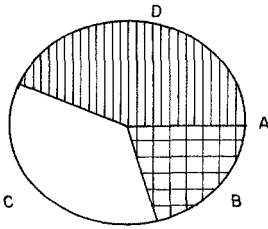


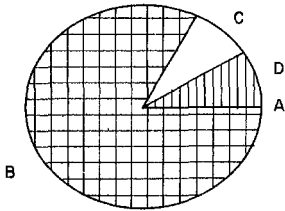
FIG. 33. CROMATOGRAMA DE LOS PLACUICIDAS CONTENIDOS EN SEDIMENTOS DEL RIO TONALA, VERACRUZ, MEXICO.

ESTACION 01



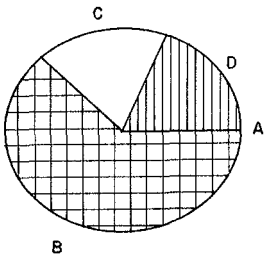
A	01-GR	0%
B	01-AR	21%
C	01-LI	36%
D	01-AC	43%
I		

ESTACION 02



A	02-GR	0%
B	02-AR	83%
C	02-LI	9%
D	02-AC	9%
I		

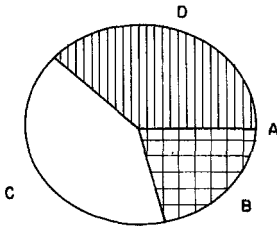
ESTACION 03



A	03-GR	0%
B	03-AR	63%
C	03-LI	19%
D	03-AC	19%
I		

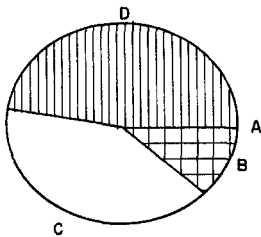
FIG. 34 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LA LAGUNA DEL OSTION, VER.

ESTACION 04



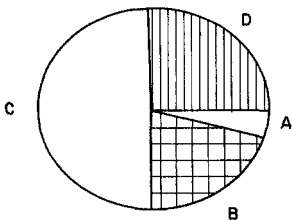
A	04-GR	0%
B	04-AR	21%
C	04-LI	41%
D	04-AC	38%
i		

ESTACION 05



A	05-GR	0%
B	05-AR	12%
C	05-LI	41%
D	05-AC	47%
i		

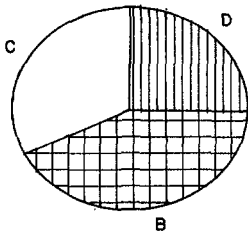
ESTACION 06



A	06-GR	5%
B	06-LI	20%
C	06-AC	50%
D	06-AR	26%
j		

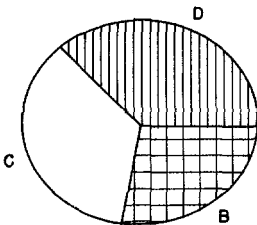
FIG. 35 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LA LAGUNA DEL OSTION, VER.

ESTACION 07



A	07-GR	0%
B	07-AR	42%
C	07-LI	33%
C	07-AC	25%
I		

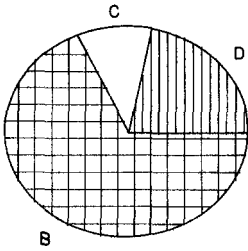
ESTACION 08



A	08-GR	0%
B	08-AR	28%
C	08-LI	36%
D	08-AC	36%
I		

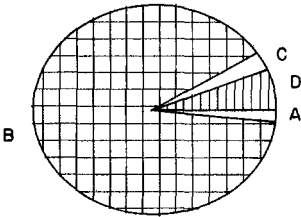
FIG .36 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LA LAGUNA DEL OSTION, VER.

ESTACION 09



A	09-GR	0%
B	09-AR	68%
C	09-LI	11%
D	09-AC	21%
I		

ESTACION 10



A	10-GR	2%
B	10-AR	89%
C	10-LI	3%
D	10-AC	6%
I		

FIG. 37 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LA LAGUNA DEL OSTION, VER.

LAGUNA DEL OSTION, VER.

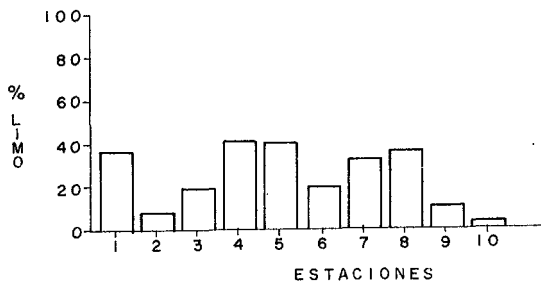
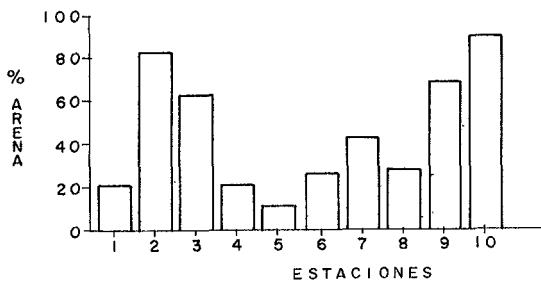


FIG. 38 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES

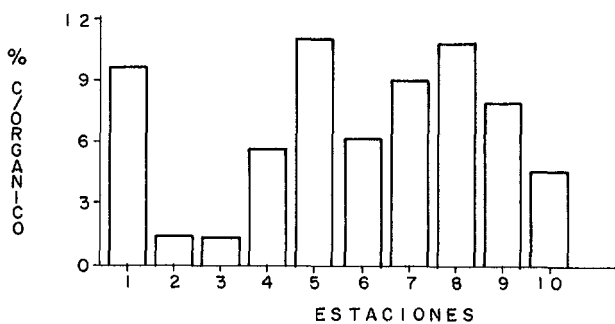
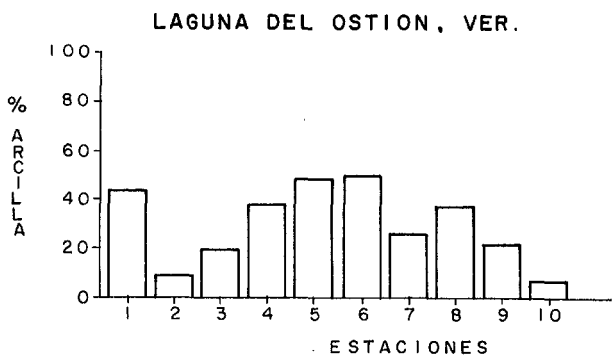


FIG. 39 ANALISIS DE C/ORGANICO TOTAL SEDIMENTOS SUPERFICIALES

TABLA 29

CONCENTRACION DE COMPUESTOS ORGANOCLORADOS EN SEDIMENTOS RECIENTES DE LA LAGUNA DEL OSTION *

COMPUESTO	L-1	L-3	L-5	L-8	L-9	L-10
BHC	0.32	0.18	0.84	0.56	0.24	0.12
ALDRIN	1.46		1.70	1.26		1.10
DIELDRIN	0.66	0.40	1.22	1.32	0.16	
ENDRIN	0.52		0.62	0.54		0.30
HEPTACLORO			0.26	0.42	0.30	
LINDANO	0.60	0.26	0.42	0.36		
O'P' DDT						
P'P' DDT						
CONCENTRACION	3.56	0.84	5.06	4.46	0.70	1.52

* ppb ó ug/kg peso seco.

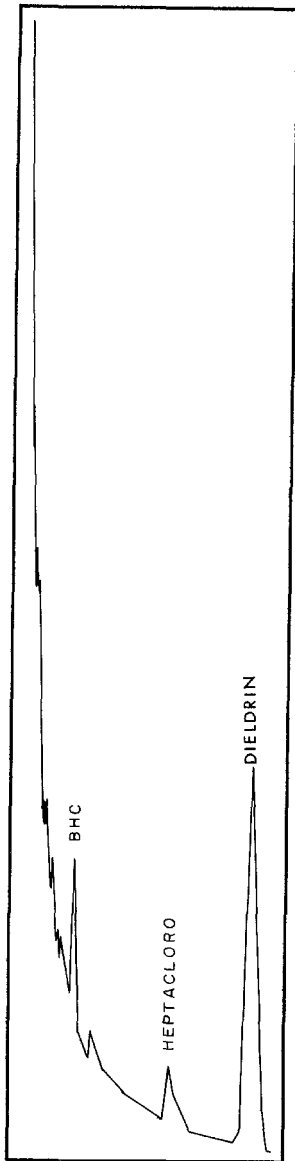


FIG. 40. Cromatograma de los plaguicidas contenidos en sedimentos de la Laguna del Ostión, Veracruz; México.

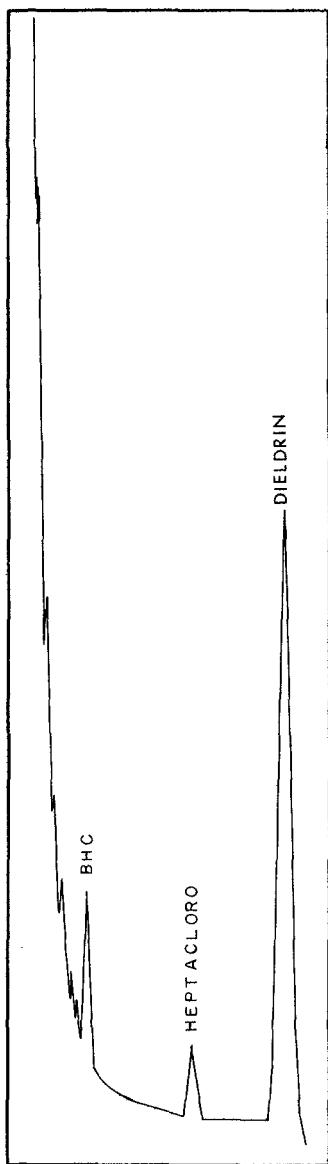


FIG. 41. Cromatograma de los plaguicidas contenidos en sedimentos de la Laguna del Ostión, Veracruz; México.

Es importante resaltar, que en ninguna muestra de sedimentos analizada se logró detectar la presencia de DDT y sus metabolitos, lo cual puede ser debido a:

1. Que durante el proceso de secado de las muestras por la técnica empleada, estos compuestos se evaporaron debido a su gran termolabilidad.
2. Que por su carácter lipofílico y a su insolubilidad en agua, estos compuestos no se adsorbieron en los sedimentos analizados debido al alto dinamismo que presentan los ríos Coatzacoalcos y Tonalá lo cual no permite una alta acumulación en la columna de agua de partículas en suspensión.
3. Que estos compuestos sólo se detectan en áreas inmediatas al lugar de empleo.

Así, la persistencia de los hidrocarburos organoclorados en los sedimentos es muy variable ya que cada tipo de sedimentos es un complicado sistema con características determinadas por su origen, el rango de su tamaño de partícula, el contenido de materia orgánica y material coloidal, así como del tipo de flora y fauna presentes.

Sin embargo, se ha reportado que la adsorción del DDT y sus metabolitos en los sedimentos aumenta en función de la cantidad de humus en la materia orgánica contenida en el sedimento (Weber, 1972). De igual manera, en la literatura se reportan estudios realizados sobre el contenido de hidrocarburos organoclorados en sedimentos de áreas agrícolas o sedimentos cercanos a estas áreas (Carey, 1973; Suzuki, 1973), no obstante en la actualidad existe muy poca información sobre la concentración de estos compuestos en sedimentos de lagunas costeras, ríos y estuarios.

Por lo tanto, los niveles de concentración de compuestos organoclorados encontrados en el presente trabajo son relativamente bajos comparados con los niveles reportados para otras áreas marinas como la Bahía de Nueva York, en donde se encontró DDT en concentraciones desde 0.05 ppb hasta 1 20 ppb en el punto de las descargas de Iodos activados.

Con respecto a los escasos estudios realizados previamente en las costas mexicanas, los valores de plaguicidas de los estuarios de los ríos Coatzacoalcos y Tonalá y la laguna del Ostión, Veracruz; son similares a los reportados por Rosales y Álvarez-

TABLA 30

RESIDUOS DE COMPUESTOS ORGANOCORADOS EN SEDIMENTOS RECIENTES DE
ÁREAS COSTERAS Y ESTUARINAS DEL GOLFO DE MEXICO

LOCALIDAD	CONCENTRACION PROMEDIO DE RESIDUOS DE DDT (ppb)	CONCENTRACION PROMEDIO DE RESIDUOS DE DDT (ppb)	AUTOR
Laguna Alvarado, Ver.	0.87	0.45	Rosales et al. 1979.
Laguna Carmen-Machona, Tab.	2.28	0.32	Rosales et. al. 1979. Botello, 1982.
Laguna Mecoaacán, Tab.	1.70	0.51	Botello, 1982.
Laguna de Términos, Camp.	0.36	0.12	
Laguna de Nichupté, Q. Roo.	N.D.	0.15	Rosales, et.al. 1979.
Rto Coatzacoalcos, Ver.	N.D.	0.27	Este trabajo
Rto Tonala, Ver.	N.D.	0.10	Este trabajo
Laguna del Ostión, Ver.	N.D.	0.30	Este trabajo

Plaguicidas en organismos

Los compuestos organoclorados como son el DDT y sus metabolitos, Dieldrín, Aldrín, BHC y los bifenilos policlorados (PCB's) son productos con un alto grado de persistencia en el medio y además tienen la capacidad para ser bioacumulados y biomagnificados, produciendo una toxicidad aguda a los organismos acuáticos (Johnson, 1968).

Se mencionó anteriormente que los residuos de los plaguicidas presentes en áreas estuarinas son función de varios factores: como las actividades de la agricultura, grado de urbanización e industrialización, precipitación pluvial, características de la cuenca, composición y tipo de los sedimentos, y el contenido graso, el sexo y la madurez sexual, la edad y sobre todo la actividad metabólica (Livingstone, 1978).

Por lo tanto, es de esperarse que las concentraciones de los plaguicidas en los organismos estuarinos varíen ampliamente de lugar en lugar y entre los diferentes grupos taxonómicos que se consideren así como de especie a especie.

Para el presente estudio se analizaron diferentes especies de peces, moluscos y crustáceos colectados en diferentes sitios del río Coatzacoalcos, así como de la laguna del Ostión, Veracruz.

Al igual que en los sedimentos cuyo contenido de plaguicidas se relaciona directamente con el contenido de carbono orgánico en el caso de los organismos, la bioconcentración de plaguicidas se relaciona con el contenido de grasa de la especie debido al carácter lipofílico de los plaguicidas y además al tipo de hábitos alimenticios, siendo reportado previamente que aquellas especies con hábitos filtradores (moluscos-bivalvos) pueden bioconcentrar y bioacumular con mayor facilidad a los compuestos organoclorados (Butler, 1973; Livingstone *et. al.*, 1978).

En la tabla 3 1 se reportan las concentraciones de plaguicidas detectados en peces, moluscos y crustáceos analizados.

Se observa claramente que los compuestos más abundantes son el HCH y Dieldrín ya que se presentaron en el 100% de las muestras siguiéndole en importancia el heptacloro epóxido y el DDT; los cuales se presentan en 98% de las especies analizadas. Debe hacerse mención de este contraste ya que en los sedimentos no se pudo detectar la presencia del DDT. Esto quizás sea debido al tejido graso de los organismos el cual retiene

TABLA 37

CONCENTRACION DE RESTOS DE HIDROCARBUROS ORGANOCLORADOS PRESENTES EN ORGANISMOS DEL RIO
COATZACOALCOS Y LAGUNA DEL OSTION, VERACRUZ: MEXICO
(ppb peso seco)

LOCALIDAD	ESPECIE	NOMBRE COMUN	EXTRACTO GRASO %	HCH	HEPTACLORO EPOXIDO	DIELDRIN	ENDRIN	ALDRIN	DDT
Arroyo Teapa	<u>Cichlasoma mechi</u>	Mojarra	11.1	0.20	0.94	1.20	---	---	0.80
Rio San Antonio	<u>Cichlasoma fenestratum</u>	Mojarra negra	7.5	0.60	0.81	1.80	---	---	1.10
Arroyo Teapa	<u>Eugenes plumieri</u>	Mojarra rayada	8.2	0.79	0.45	1.00	---	0.40	1.20
Puerto Comercial	<u>Conodon nobilis</u>	Ronco	8.9	0.65	0.60	2.60	---	0.52	2.02
Rio Calzadas	<u>Tarpon atlanticus</u>	Sábalo	4.3	0.43	Trazas	1.40	---	---	1.00
Isla Pajaritos	<u>Mugil curema</u>	Lebrancha	3.8	0.40	---	0.58	Trazas	---	0.70
Litoral	<u>Menticirrhus americanus</u>	Ratón	5.2	0.60	0.79	0.65	---	---	Trazas
Rio Coatzacoalcos	<u>Callinectes bocourti</u>	Jaiba	2.1	0.37	0.30	0.60	Trazas	---	0.25
Sta. Alejandrina	<u>Macrobrychium carolinus</u>	Mayacaste	2.5	0.12	0.19	0.37	---	---	0.23
Sta. Alejandrina	<u>Macrobrychium acanthinus</u>	Mayacaste	1.9	0.23	0.21	0.40	---	Trazas	0.42
Isla Pajaritos	<u>Polymesoda caroliniana</u>	Almeja	2.0	1.00	1.20	1.06	0.21	0.68	3.5
Rio Coatzacoalcos	<u>Rangia flexuosa</u>	Almeja	2.8	0.85	1.10	1.20	0.23	0.60	3.8
Laguna del Ostión	<u>Mugil cephalus</u>	Lisa	4.1	0.60	Trazas	1.20	---	---	0.40
Laguna del Ostión	<u>Centropomus nobalito</u>	Robalo	3.9	0.50	0.62	1.60	---	---	0.70
Laguna del Ostión	<u>Callinectes bocourti</u>	Jaiba	1.9	0.30	0.50	1.00	---	Trazas	0.90
Laguna del Ostión	<u>Polymesoda caroliniana</u>	Almeja	2.1	0.85	1.30	1.40	0.30	0.40	3.6
Laguna del Ostión	<u>Eugenes sp.</u>	Mojarra	3.2	0.40	0.30	0.40	---	---	0.80
Laguna del Ostión	<u>Rangia flexuosa</u>	Almeja	2.4	1.2	1.40	1.90	0.60	0.70	3.0

dichos compuestos. Por grupos taxonómicos se observa también una marcada diferencia en cuanto a la capacidad de bioconcentrar a los plaguicidas, siguiéndole una secuencia en el siguiente orden:

Moluscos-bivalvos > Peces > Crustáceos

Siendo claro que en los moluscos-bivalvos tanto del río Coatzacoalcos como de la laguna del Ostión se detectaron todos los plaguicidas analizados y además presentaron las más altas concentraciones de las especies consideradas.

Las concentraciones de plaguicidas detectadas en organismos del río Coatzacoalcos y laguna del Ostión son particularmente bajas cuando se comparan con los resultados de Rosales y Escalona (1983); quienes analizaron organismos de las lagunas del noreste del país (Yavaros y Huizache-Caimanero), las cuales reciben aportes sustanciales de plaguicidas que son empleados en actividades de agricultura que se desarrollan en sus cercanías. De igual manera, las concentraciones reportadas son bajas al compararse con organismos de otros países (tabla 32).

Aunque las comparaciones con grupos taxonómicos diferentes no son del todo válidas, cuando menos nos brindan una idea aproximada de los aportes de plaguicidas en ciertas áreas y el poder de bioacumulación y biomagnificación de ciertas especies. Así, en el estudio realizado por Goldberg *et. al.* (1978); en sus resultados del programa de vigilancia de contaminantes en zonas costeras de Estados Unidos empleando al molusco-bivalvo *Mytilus edulis* como organismo centinela señala elevadas concentraciones de residuos de DDT en las costas de California, ya que en el área de San Pedro-Los Angeles se observaron valores de 17,000 ppb para DDE y 1,200 ppb para el DDD los cuales son dos de los principales productos de degradación del DDT.

Estos valores fueron producidos por descargas municipales y de una planta de manufacturas, estimándose que sólo en 1971 se descargaron en esa área 19 toneladas métricas de DDT.

En contraste con estos datos, Goldberg *etal.* (1978) reporta que para las costas noreste y este de los Estados Unidos, las concentraciones detectadas no son significativamente altas y las cuales son primordialmente un remanente del uso del DDT empleado en el pasado en actividades de la agricultura.

TABLA 32

CONCENTRACIONES PROMEDIO DE RESIDUOS ORGANOCORADOS EN ORGANISMOS DE
DIFERENTES AREAS (ppb peso húmedo)

AREA	ESPECIE	HCH	DIELDRIN	DDT	AUTOR
Inglaterra	<u>Crangon crangon</u>	4.0	9.0	13	Goerke 1979
Alemania	<u>Crangon crangon</u>	4.0	0.5	2.0	Goerke 1973
U.S.A.	<u>Ostrea lurida</u>		26	54	Butler 1973
México	<u>Penaeus stylirostris</u>	0.70	1.7	0.9	Rosales 1983
México	<u>Megapitaria squalida</u>	0.50	7.1	7.0	Rosales 1983
México	<u>Mugil cephalus</u>	1.70	4.7	3.8	Rosales 1983
México	<u>Mugil cephalus</u>	0.60	1.2	0.40	Este trabajo
México	<u>Mugil curema</u>	0.40	0.58	0.70	Este trabajo
México	<u>Macrobrachium</u>				
	<u>carcinus</u>	0.12	0.37	0.23	Este trabajo

N

VII. CONCLUSIONES

El presente estudio se encaminó a evaluar biológica y geoquímicamente los actuales niveles de contaminación en el estuario del Bajo río Coatzacoalcos y áreas adyacentes (Laguna del Ostión y río Tonalá), con el fin de caracterizar e identificar contaminantes de origen biológico, orgánico e inorgánico (microorganismos, esteroides, hidrocarburos saturados, hidrocarburos aromáticos polinucleares, hidrocarburos disueltos y dispersos y algunos metales pesados) así como definir su tiempo de residencia, sus flujos en el ecosistema, su destino final y sus posibles impactos sobre la biota y el hombre.

Como principales conclusiones se pueden mencionar las siguientes:

1. Los análisis microbiológicos sobre muestras de agua, sedimentos y organismos provenientes de las áreas de estudio, evidencian una alta y constante contaminación bacteriana del grupo coli-aerógenos. Asimismo, se detectó un indicador de contaminación fecal: *Escherichia coli* tipo 1, visto también en muestras de agua supuestamente potable colectadas en Cosoleacaque, Minatitlán, Coatzacoalcos, Agua Dulce, Las Choapas y Nanchital. Son importantes también los niveles de estafilococos de las descargas urbanas. Aparte, hay] *ibrio parahemolyticus* en sedimentos del Río Coatzacoalcos.

De igual manera los análisis, revelan que la Laguna del Ostión es la más contaminada por microorganismos; la siguen en orden los ríos Tonalá y Coatzacoalcos.

2. Hay esteroides en sedimentos del río Coatzacoalcos y Laguna del Ostión, donde son mayores las concentraciones. Se pudieron identificar: coprosterol, colesterol, colestano, ergosterol, stigmasterol, lanosterol y b-Sitosterol. De éstos, el coprosterol y el colesterol pertenecen al grupo de esteroides que sólo son producidos por el hombre en sus procesos metabólicos y desecha-

dos a través de las heces fecales: luego, la contaminación fecal de las áreas estudiadas es de origen humano. Dicha información concuerda con los conteos' de bacterias coliformes, las cuales también denuncian su mayor concentración en la Laguna del Ostión.

3. Con referencia al análisis de algunos metales pesados en muestras de sedimentos y organismos, se llegó a las siguientes conclusiones:

- a) Tanto en los sedimentos del río Tonalá, la Laguna del Ostión y el estuario del Coatzacoalcos, se verificó una fuerte tendencia a convivir de las concentraciones de cada uno de los metales con el contenido de material orgánico, así como del contenido de metales pesados con el tamaño del grado sedimentario.
- b) Las concentraciones de metales totales en los sedimentos de las tres áreas expresan valores comparables, con excepción del Ni, el cual se encontró en mayores proporciones en el río Tonalá y en la Laguna del Ostión que en el estuario del Coatzacoalcos.
- c) Zn, Pb, Cr y Cu tienen inferiores concentraciones que las vistas en otras áreas con intensas actividades del hombre (por ejemplo, Narraganset Bay y Los Angeles Harbour, EUA). Las concentraciones de Ni de los sedimentos del Tonalá y la Laguna del Ostión, son mucho mayores que las reportadas en otras áreas con actividades antropogénicas o sin ellas.
- d) De todos los organismos colectados (crustáceos, peces y bivalvos), en Laguna del Ostión y en el estuario Coatzacoalcos los bivalvos presentan las más altas concentraciones entre los metales cuantificados.
- f) Cuando se comparan las concentraciones de Zn, Fe y Ni de la almeja (*Mercenaria campechiensis*) de la Laguna del Ostión, con la almeja de la costa del Atlántico (*Mercenaria mercenaria*), resulta que la primera delata concentraciones más altas en Zn, Fe y Ni. Este último es más evidente.
- g) Los análisis sobre sedimentos para la determinación de mercurio (Hg) indican que las concentraciones se mantienen estables cuando se comparan con estudios anteriores: por tanto, el balance biogeoquímico de este metal no se ha alterado por acciones humanas.

4. Las concentraciones de hidrocarburos totales rebasan hasta en diez veces los límites marcados para áreas costeras no

contaminadas, indicio suficiente del gran impacto de las actividades petroleras en las áreas de estudio, salvo la Laguna del Ostión. Los ríos Coatzacoalcos y el Tonalá muestran concentraciones más elevadas que en cualquier área costera mexicana estudiadas hasta ahora, y pueden calificarse como los sitios más contaminados del litoral mexicano y tal vez del mundo.

5. De singular importancia son los hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAH's), determinados en 19 especies de organismos tales como peces, crustáceos y moluscos. Entre los PAH's que se identificaron en las especies se cuentan: Pireno, Perileno, Acenafteno, Aceraftileno, Fluoreno, Fenantreno, Antraceno, Fluoranteno, Benzo (a) antraceno, Criseno, Benzofluoranteno, Benzo (a) pireno y Benzo (ghi) perileno; estos dos últimos los PAH's más peligrosos, por su potencial carcinogénico y los riesgos para la salud humana.

6. Uno de los aspectos más resaltantes en el presente estudio es la estrecha relación entre la concentración de plaguicidas y el contenido de carbono orgánico y tipo de sedimentos, ya que las mayores concentraciones de plaguicidas se presentaron en las fracciones limo-arcillosas con alto contenido de carbono orgánico.

En orden de importancia la Laguna del Ostión presentó las concentraciones más altas de plaguicidas en sedimentos, siguiéndole el río Coatzacoalcos y por último el río Tonalá. Esto sin duda puede deberse a aspectos hidrodinámicos de las áreas estudiadas además del tipo de escurrimientos.

Las concentraciones determinadas en los sedimentos del área estudiada son hasta diez veces menores a otros sitios cercanos pero en donde se desarrollan importantes actividades de agricultura, en este caso las lagunas de Carmen y Machona en Tabasco, y todavía menores cuando se comparan a otros lugares en donde la agricultura es la actividad primordial.

Para los organismos analizados también se detectó la presencia de plaguicidas altamente persistentes, como el DDT y Dieldrín, pero cuyas concentraciones son mucho menores a los valores de plaguicidas.

Por lo tanto, la presencia de plaguicidas en sedimentos y organismos del río Coatzacoalcos y áreas adyacentes, aunque en niveles detectables, son muy bajos en concentración, pudiéndose inferir que aún no se presentan problemas ambientales en estas áreas propiciadas por los efectos de estos compuestos.

BIBLIOGRAFIA

ESTEROLES

ALBAIGES, J.

Analytical Techniques in Environmental Chemistry, Pergamon Press, 1980.

BERGMAN, W.

Comparative biochemical studies on the lipids on marine invertebrates, with special reference to the sterols. *J. Marine Res.* 8, 137, (1 949).

DUURSMA E.K., R. DAWSON.

Marine Organic Chemistry Elsevier Oceanography Series. 1981.

DUTKA B.J., A.S.Y. CHAN, J. COBURN.

Retationship between bacteria) indicator of water pollution and fecal sterols. *Water Res.* 8, 1047, (1974).

IDLER D. R., A. SAITO, P. WISEMAN.

Sterols in red algae. *Steroids* 11, 465, (1968).

KIRCHMER, C.J.

5-beta Cholestan 3-beta-o1, an indicator of fecal pollution. U. of Florida Ph.V. Thesis, (19 71).

HIDROCARBUROS FOSILES

ANDERSON, J.W., 1973.

Uptake and depuration of specific hydrocarbons from fuel oil by the bivalves *Rangia cuneata* and *Crassostrea virginica* In: Workshop on Petroleum in che Marine Environment. National Academy of Sciences, Washington, D.C. 690-708.

ANDERSON, J. W. y J.M. NEFF, 1974.

Accumulation and release of petroleum hydrocarbons by edible marine animais. Proc. int. Symp. Recent Advances in the assessment of the health effects of environmentalai pollution. Paris 24-28 June.

BARDCH, J.E., M. FUJIYA y A. HOLL, 1965.

Detergents: effects on the chemical senses of the fish *Ictalurus natalis*. *Science* 148: 1605-1607,

BLUMER, M. G. SOUZA y J. SASS. 1970.

Hydrocarbon pollution of edible shellfish by an oii spill. *Mar. Biol.*, 5: 1 95-202.

- BLUMER, M. R.L. GILLARD y T. CHASE, 1971.
Hydrocarbons of marine phytoplankton. *Mar. Biol.* 8: 183-189.
- BLUMER, M. y J. SASS, 1972.
Oil Pollution: Persistence and Degradation of Spilled Fuel Oil. *Science*, 176: 11 20-1122.
- BLUMER, M., P.C. BLOKKER, E. G. COLWELL y D.G. DUCKWORTH, 1973.
Petroleum In: E. D. Goldberg (Ed.). A Guide to marine pollution. Gordon and Breach Science Publishers. New York.
- BOTELLO, A.V. 1978.
Presencia de hidrocarburos fósiles en ecosistemas estuarinos del Golfo de México. *Rev. 8/ol. Trop.*, 26 (Supl. 1): 13 5-1 51.
- BOTELLO, A.V., 1980.
Determinación de los niveles actuales de hidrocarburos fósiles en los sistemas lagunares del Estado de Tabasco, México. Centro de Ciencias del Mar y Limnología. Informe Técnico, 50 p.
- BOTELLO, A.V. y S.A. MACKO, 1982.
Oil pollution and the carbon isotoperatios in organisms and recent sediments of coastal lagoons in the Gulf of México. *Oceanologica Acta. N°. SP:* 56-62.
- BRAVO, H.S. SALAZAR, A.V. BOTELLO y E.F. MANDELLI, 1978.
Polyaromatic hydrocarbons in Oysters from Coastal Lagoons along Eastern Coast of the Gulf of Mexico, México, *Bu/1 Environ. Contam. Toxicol.*, 9 (2): 171-178.
- BRAY, E.E. y E. D. EVANS, 1961.
Distribution of n-paraffins as a clue to recognition of source beds. *Geochem. et Cosmochim. Acta* 22, 2,
- BURNS, K. y J. TEAL, 1971.
Hydrocarbon incorporation into the salt marsh ecosystem from the west fal-mouth oil spill. Woods Hole Oceanographic Institution. *Tech. Rep. N°. 71*, 69 p.
- BURNS, K. A. y J. M. TEAL, 1973.
Hydrocarbons in the pelagic Sargassum community. *Deep sea Res.*, 20: 207-211.
- BURNS, A.K. y J.L. SMITH, 1982.
Hydrocarbons in victorean coastal ecosystems (Australia): Chronic petroleum inputs to Western Port and Port Phillip Bays. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 11: 1 29-140.
- BURNS, A.K. J.P. VILLENEUVE, V.C. ANDERLINI y S.W. FOWLER, 1982.
Survey of Tar, Hydrocarbon and Metal Pollution in the coastal waters of Oman. *Mar. Poll. Bull.* 13 (7): 240-247
- BUTLER, J.N 1975.
Evaporite weathering of petroleum residues: The age of pelagic tar *Marine Chemistry* 3: 9-21

CASTRO, G.S., 1981.

Determinación de los niveles de hidrocarburos en sedimentos recientes y en el ostión *Crassostrea virginica* de la Laguna de Mecocacán, Tabasco, México. Tesis profesional, Fac. de Ciencias, Univ. Nal. Autón. México.

CLARK, R.C. y M. BLUMMER, 1976.

Distribution of n-paraffins in marine organisms and sediments. *Limnol. Oceanogr.* 12: 79-87.

CLARK, R.C. y J. S. FINLEY, 1973.

Techniques for analysis of data to assess oil spill effects in aquatic organisms. In: Proc. Joint. Conf. on Prev. and Control oil spills. American Petroleum Institute, Washington, D.C. 161-172.

CORREDOR, J. E., J. MORRELL y A. MENDEZ, 1983.

Pelagic Petroleum Pollution off the South-west coast of Puerto Rico. *Mar. Pollut. Bull.* 14 (5): 166-168.

DI SALVO, L.H., H.E. GUARD, L. HUNTER y A.B. COBET, 1975.

The microbial degradation of oil pollutants. D. G. Ahearn and S.P. Meyers eds. Center for Wetland Resources, Louisiana State.

FARRINGTON, J.W. y J. C. QUINN, 1973,

Petroleum hydrocarbons in Narragansett Bay: Survey of Hydrocarbons in sediments and clams (*Mercenaria mercenaria*). *Estuarine Coastal Mar. Scr.* 1: 71-79.

FARRINGTON, J. W., 1983.

Bivalves as sentinels of coastal chemical pollution. *Oceanus.* 26 (2): 18-29.

GEORGES, C. y B. L. OOSTDAM, 1983.

The characteristics and dynamics of tar pollution on the beaches of Trinidad and Tobago. *Mar. Pollut. Bull.* 14 (5): 170-178.

GOLIK, A., 1982.

The distribution and behavior of tar balls along the Israeli Coast. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 15: 267-276.

HAMPSON, G. R. y H.L. SANDERS, 1969. Local Oil Spill. *Oceans:* 15: 8-10.

JEFFREY, L. M., W.E. PEQUEGNAT, E. A. KENNEDY, A. VOS y B.J. JAMES, 1974.

Pelagic tar in the Gulf of Mexico and Caribbean sea. In: NBS Spec. Publ. 409, *Marine Pollution Monitoring (Petroleum)*. Proc. Symp. Workshop. Gaithersburg, Maryland, May 13-17, 1974: 233-235.

KNAP, H. A., T. M. ILIFFE y J. N. BUTLER, 1980.

¿Has the amount of tar on the open ocean changed in the past decade? *Mar. Pollut. Bull.* 11: 161-164.

LEE, R.F., R. SAVERHEBER y A.A. BENSON, 1972.

Petroleum hydrocarbons: uptake and discharge by the marine mussel *Mytilus edulis*. Science, N. Y. 177-346.

LEE, R. F. y G. H. DOBBS, 1972.

Uptake and discharge of polycyclic aromatic hydrocarbons by the marine mussel. *Mar. Biol.* 17: 201-208.

LEE, R. F., 1975.

Fate of petroleum hydrocarbons in marine zooplankton. *In: Procds. Conf. Prevent. Control Oil Pollut. Washington, D. C.*

MACKIN, J. G. y S. H. HOPKINS, 1961.

Studies on oyster mortality in relation to natural environments and to oil fields in Louisiana. *Publ. Mar. Sci. Inst. 7: 3-131.*

MIRONOV, O.G., 1970.

The effect of oil pollution on the flora and fauna of the Black Sea. *FAO Tech. Conf. Mar. Poli. Rome. Paper E-92.*

MOORE, S. F. y R. L. DWYER, 1974.

Effects of oil on Marine organisms: A critical assesment of published data. *Water Research, 8: 819-827.*

NAS, 1975.

Petroleum in the marine environment Washington, D.C. National Academy of Science. 107 p.

NORTH, W. J., M. NEUSHUL y K.A. CLENDENING. 1964.

Successive biological changes observed in a marine cove exposed to a large spillage of mineral oil. [Symp. Pollut. Mar. Microorg. Prod. Petrol.](#) Mónaco p. 333-354.

ODUM, E. P., 1972.

Fundamentals of Ecology. Saunders Eds. Philadelphia, U.S.A. 574 p.

PARKER P.L. y D. MENZEL, 1974.

Effects of Pollutants on marine organisms NSFIIODOE. Workshop on Effects of Pollutants on Marine Organisms Sidney. British Columbia, Canada. August 11 - 14, 1974. 46 p.

ROMERO, G.C., G.R. HARVEY y D.K. ATWOOD, 1981.

Stranded tar on Florida beaches: September 1979 -October 1 980. *Mar. Pollut. Bull. 12 (81): 280-284.*

SCHEIER, A. y J. CAIRNS, 1966.

Persistence of gill damage in *Lepomis gibbosus* following a brief exposure to alkyl benzene sulfonate. *Notul, Nat. Phila. 391: 1-7.*

SHAW, D.G., y B. A. BAKER, 1978.

Hydrocarbons in the marine environment of Port Valdez, Alaska. *Environ. Sci. Tech., 12 (10): 1200-1205.*

SIMPSON, A.C., 1968.

The Torrey Canyon disaster and fisheries. *Lab. Leafl. Naff. U.K. (18): 1-43*

SPOONER, M. F. 1969.

Some ecological effects of marine oil pollution. *In: Prevention and Control of Oil Spills. American Petroleum Institute. p. 313-316.*

STEGEMAN, J.J. y J.M. TEAL, 1973.

Accumulation, release and retention of petroleum hydrocarbons by the oyster *Crassostrea virginica*. *Mar S//. 22: 37-44.*

STEVENS, N. P., E. E. BRAY y E.D. EVANS, 1965.
Hydrocarbons in sediments of Gulf of Mexico. *Assoc. Petrol. Geol.* 40: 975-983.

ZOBELL, C. E., 1971.
Sources and biodegradation of carcinogenic hydrocarbons. In: *Proc. Joint. Conf. on Prevent. Control oil Spill*, p. 441-451. Washington, D.C. American Petroleum Institute.

METALES PESADOS

BAKUS, 1980.
Notas del curso sobre Impactos Ambientales en el Medio Marino, impartido en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

BERTINE, K.K.; MARTIN, J.H. y TEAL, J.M., 1976.
Aids to analysis of seawater, in: *Strategies for Marine Pollution Monitoring* (Edited by E.D. Goldberg) J. Wiley and Sons. pp. 217-253.

BRYAN, G.W., 1976.
Heavy Metal Contamination in the Sea. Chap. 3, in: *Marine Pollution*, R. Johnston (ed.) Academic Press, 729 pp.

BRULAND, K.W.; K.BERTINE, M.; KOIDE & E.D. GOLDBERG, 1974.
History of Metal Pollution in Southern California. *Coastal Zone. Environ. Sci. & Tech.* 8:425-432.

CRANSTON, R.E.; BUCKLEY, D.E., 1972.
Mercury pathway in a river-estuary. *Environ. Sci. Technol.* 6, 274-278.

FLORENCE, T.M. and G.E. BATLEY, 1977.
Determinations of the Chemical Forms of Trace Metals in Natural Waters, with special reference to Cooper, Lead, Cadmium and Zinc. *Talanta Mini-Review* 24, 151-158.

FOLK, R.L. 1974.
Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Pub. Co. Austin, Texas, 1951.

FORSTNER, U. and G.T.W. WITTMAN, 1979.
Chaper B., Toxic Metals, in: *Metal Pollution in the Aquatic Environment*, Springer Verlag.

GAUDETTE, H.E.; W.R. FLIGAT, L.; TONER, D.W. FOLGER, 1974.
An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44, (1) 249-253.

GOLDBERG, E.D., 1976.
Heavy Metals, in: *The Health of the Oceans*. The UNESCO Press, Paris.

GOLDBERG, E.D., 1978.
A Pollution History of Chesapeake Bay. *Geochim. et Cosmochim. Acta*. Vol. 42, pp. 1413-1425.

GOLDBERG, E.D. *et al.*, 1978.
The Mussel Watch. *Environmental Conservation*, Vol. 5 N° 2, pp. 101-125.

175

BILDEMAN, T.F. y C.E. OLNEY, 1974.
Chlorinated Hydrocarbons in the Sargasso Sea Atmosphere and Surface Water Science, 183: 516-518.

BLUS *et al.* 1974.
Organochlorine residues in brown pelicans eggs: Surface Water Science, 183: 516-518.

BLUS *et al.* 1974.
Organochlorine residues in brown pelicans eggs: relation to reproductive success. *Environ. Pollut.* (7): 81-91.

BOTELLO, A.V. 1982.
"Niveles actuales de compuestos organoclorados, desechos industriales y bacterias coliformes en los sistemas lagunares costeros del estado de Tabasco". Informe Técnico Final ICMYL. UNAM. Presentado a la Secretaría de Pesca del estado de Tabasco. 70 p.

BUTLER, P.A. 1965.
Commercial fishing investigations in the effects of pesticides on fishes and [wildlife](#). [US](#) circular, 226: 67-77.

BUTLER, P.A. 1966.
Pesticides in the marine. *Environment. J. Appl. Ecol.* 3: 253-259.

BUTLER, P.A. 1973.
Pestic. Monic. J. 6, 238.

177

- GOLDBERG, E.D. *et al.*, 1981.
Impact of fossil fuel combustion on the sediments of Lake Michigan. *Environmental Sci. and Tech.* Vol. 15, pp. 460-470.
- HAMMER, M.J. and K.A. MACKICHAN, 1981.
Hydrology and Quality of Water Resources. John Wiley & Sons. Inc.
- JONES, G.B.; M.E. JORDAN, 1979.
The distribution of organic material and trace metals in sediments from the River Liffey Estuary, Dublin. *Estuarine and Coastal Marine Sci.*, 8:37-47.
- LORING, D.H., 1976.
The distribution and partition of zinc, copper and lead in the sediments of the Saguenay Fjord. *Can. J. Earth Sci.* 13: 960-971.
- LORING, D.H. and RANTALA, 1977.
Geochemical Analysis of marine sediments and suspended particulate matter. Fisheries and Marine Service, Technical Report N^o. 700. Department of Fisheries and the Environment, Canada, 56 pp.
- LU, J.C.S. and K. Y., 1977.
Migration of trace metals in interfaces of seawater and polluted superficial sediments. *Environment Sci. and Technol.* 11: 174-182.
- MANDELLI, E.F., 1979.
Contaminación por metales pesados. *Rev. Com. Perm. Pacífico Sur* 10, 209-228.
- MOODY, J.R. and LINDSTROM R.M., 1977.
Selection and cleaning of plastic containers for storage of trace element sample.
- CALVIN, G.J. 1973.
Chemistry, Man and Environmental Change. Canfield Press, Harper and Row Publishers, Inc. New York, 472 p.
- CASTRO, T.F. 1971.
Degradation of organochlorine pesticides in flooded soils in the Philippines, J. *Agree. Food. Chem.* 19 (6): 1168-1170.
- COPPAGE, 1972.
Organophosphate pesticides: specific leve) of brain AChE inhibition related to death in sheephead minnows. *Trans. Am. Fish. Soc.* 101 : 534-536.
- DART, 1977.
Microbiological aspects of pollution control. Elsevier sc. Publix co., Holanda.
- DAY, J.W.; R.H. DAY; M.T., BARREIRO; F. LEY-LOU; C.J. MADDEN, 1982.
Primary production in the Laguna de Terminos, a tropical estuary in the Southern Gulf of Mexico. *Oceanologica Acta*, N^o. SP: 269-275.
- DUKE, T.W.; J.I. LOWE; A.J. WILSON, 1970.
A polychlorinated biphenyl (Aroclor 1254) in the water, sediment and biota of Escambia Bay, Florida. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, (5): 171-180.
- EDWARDS, C.A. 1977.
Pesticides in Aquatic environment nature and origin of pollution by pesticides. Ed. Plenum Press. U.S.A. 11-39.
- EIDELMAN, M. 1963.
Determination of microquantities of some chlorinated organic pesticides residue in edible fats and oils. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* (46): 182-186.
- FALGER, D.W. 1972.
Texture and organic carbon content of bottom sediments in some estuaries of the United States in Welsin, B.W. Weedd. *Falger Geol. Soc. America Abs. with programs*, Vol. 4 (1) : 16. *Falger Limnol. and Oceanogr.* 17 (3): 394-412.
- GAUDETTE, H.E. y FLIGHT, W.R. 1974.
An inexpensive titration method for the determination of organic carbons in recent sediments. *Sed. Petrol.* 44: 249-253.
- GIAM, C.S.; A.R., HANKS; R.L. RICHARDSON; W.M. SACKETT and M.K. WONG, 1972.
DDT, and Polychlorinated biphenyls in biota from the gulf of Mexico and the Caribbean Sea. *Pestic. Monitor. J.* (6): 139-143.
- GIAM, C.S.; M.K. WONG; A.R. HANKS; W.M. SACKETT and R.L. RICHARDSON, 1973.
Bull Environ. Contam. Toxicol. (9): 376.
- HAMELINK, J.L.; R.C. WAYBRANT and R.C. BALL, 1971.
A proposal: exchange equilibria control the degree chlorinated hydrocarbons are biologically magnified in lentic environments. *Trans. A., Fish. Soc.* 100: 207-214.

- HANSEN, S. and J. WILSON, Jr. 1970.
Significant of DDT residues in the estuary near Pensacola, Florida. *Pestic. Monitor. J.* (4): 51-56.
- HANSEN, D.J. 1972.
PCB's: Effects on accumulation by estuarine organisms. *Environmental Protection Agency. Gulf Breeze, Florida*, 282-283 pp.
- HARVEY. G.R.; H.P., MIKLAS; V.T., BOWEN and W.G. STEINHAEUER, 1974.
J. Mar. Res. (32): 103.
- HILL, D.W. and Mc CARTY P.C. 1967.
Anaerobic degradation of selected hydrology pesticides. *J. Water Pollution Fed.* (39): 1259-1277.
- HOLMES, D.C.; J.H. SIMMONS y J.G..TATTON, 1967.
Chlorinated hydrocarbons in British wildlife. *Nature* (216): 227-229.
- JAMES, M.O.; FOUTS, J.E. y BEND, J.R. 1978.
Pesticides in Aquatic. Environments, Xenobiotic Metabolizing Enzymes in Marine Fish. 171.
- JENSEN, S.A.; JERNELOV, LANG R.; PALMORK K.H. 1970.
Chlorinated byproducts from vinyl chloride production. A new Source of marine pollution. *FAO Technical Conference on Marine Pollution and its effects on living resources and Fishing. Roma. FAO. 1970.*
- JOHNSON, D.W. 1968.
Pesticides and Fishes. A review of selected literature. *Trans. Am. Fish. Soc.*, (97): 398-424.
- JONES, E.P. 1971 .
DDT Stopped, Suit dropped. *Science*, 173, 1971, p. 38.
- KOEMAN, J.H. y R.H. DE VOS, 1969.
Chlorinated biphenyls in fish, mussels and birds from the river Rhine and the Netherlands coastal areas. *Nature*, (221): 1126-1128.
- LIVINGSTONE, R.J.; N.P., THOMPSON; D.A., MEETER, 1978.
Marine Bio. (46): 355.
- MENZEL, D.V.; ANDERSON J. y RANDIKE, A. 1970.
Marine phytoplankton vary in their response to chlorinated hydrocarbons, *Science*, 167, 1970, 1724-1726.
- MODIN, J.C. 1969.
Chlorinated hydrocarbon pesticides in California bays and estuaries. *Pestic. Monitor. J.* 3: 1-7.
- ODUM, E.P. 1972.
Fundamentals of Ecology. 3rd Edition W. Saunders Company. 573 p.
- OMS, 1972.
Review of the U.S.C. and Offtake of DDT in Antimalaria Control Programs.

PATIL, K.C.; MATSUMURA, F., BOUSH C.M. 1972.
Metabolic transformation of DDT, Dieldrin, Aldrin and Endrin by marine microorganisms, Environ. Sci. Technol., Vol, 6, 1061-103 p.

PEAKALL, D.B. 1970.
Pesticides and the reproduction of birds, Sci. Am. Abril; 73-78.

RISEBROUGH, R.W. 1971.
Chlorinated hydrocarbons, in wood. Impigment of man in the ocean. Wiley, 259-286.

ROBINSON RAMADE, F. 1974.
Accumulation des pesticides dans les chaines trophiques, Elements d' Ecologie appliquee, Eciscience, 152 y sigs.

ROSALES, M.T.L. 1979.
Sobre la disposición de compuestos organoclorados en el medio ambiente marino: trabajo presentado en la Primera Reunión Nacional Sobre Zona Económica Exclusiva, La Paz, Baja California, México, 12 al 14 de agosto de 1976.

ROWE, D. R.; CANTER, L.W.; SNYDER, P.J. and MASON, J.W. 1971.
Dieldrin and Endrin concentrations in a Louisiana estuary. Pest. Monitor. J. (4): 117-183.

SMITH J.W. 1968.
In: Adv. Comp. Physiol. Biochem. 3, 232.

URELES, R. 1962.
Growth of pure cultures of marina phytoplankton in the presence of toxicants, Journ. Appl. Microb. (10): 532-537.

WEBER, J. B. 1972.
Interaction of Organic Pesticides with Particulate Matter in Aquatic and Soil Systems. in: Gouff R. F. (Ed.) Advances in Chemistry Series, 111; 55-120.

WOLMAN, A.A. and J. WILSON, Jr. 1970.
Occurrence of pesticides in whales. Pestic. Monitor. J. (4): 8-10.

WOODWELL, G.M.; C.F. WURSTER and P.A., ISAACSON, 1967.
DDT residues in an east coast estuary: a case of biological concentration of a persistent insecticide. Science 156: 821-824.

WURSTER, C.F. 1968.
DDT reduces photosynthesis by marine phytoplankton. Science 159, 3822: 55-120.

ADENDA

GOERKE, H.; G. EDER; K. WEBER; W. ERNST, 1979.
Mar. Poll. Bull. 10: 127.

GOLDBERG, E.D.; J.W. FARRINGTON; P.L. PARKER and ERIC GAMBLE, 1978.
The Mussel Watch. Environmental Conservation. Vol. 5, N°. 2: 101-125.

ROSALES, M.L.T.; A.V. BOTELLO; H. BRAVO y E.F. MANDELLI, 1979.
PCB's and Organochlorine Insecticides in oysters from coastal lagoons of the Gulf of Mexico, Mexico. Bull. Environm. Contam. Toxicol. 21:652-656.