

SER/E MEDIO AMBIENTE EN COATZA COALCOS

VOLUMEN · XII

EL PANTANO: UNA RIQUEZA
QUE SE DESTRUYE

Alejandro Toledo
Alfonso V. Botell'o
Mónica Herzig

CENTRO DE ECODESARROLLO

TITULOS DE ESTA SERIE

- VOL. I. La contaminación: el problema crucial.
- 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 TZACOALCOS

**EL PANTANO: UNA RIQUEZA
QUE SE DESTRUYE**

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

Primera edición, 1987

Portada: Viviana Rojas

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

IMPRESO EN MEXICO

INDICE

PROLOGO	9
PRESENTACION	11
RESUMEN	13
1. LOS PANTANOS DEL BAJO RIO COATZACOALCOS: ¿UNA DESTRUCCION INEVITABLE?	15
1. <i>Algunas razones para cambiar nuestra visión sobre los pantanos.</i>	
<i>Los ciclos globales y el mantenimiento de la estabilidad atmosférica</i>	
<i>La cadena acuática de los alimentos</i>	16
<i>La calidad de las aguas costeras</i>	20
<i>La vida silvestre</i>	22
<i>Una reflexión final acerca de los pantanos</i>	25
2. <i>La destrucción de los pantanos del bajo río Coatzacoalcos: ¿una destrucción inevitable?</i>	26
fi. EVALUACION GEOQUIMICA DEL RIO CALZADAS: LOS IMPACTOS DEL PETROLEO	37
1. <i>Introducción</i>	
<i>Importancia de la zona costera</i>	
<i>Petróleo en el ambiente marino</i>	41
<i>Aportes y fuentes de origen</i>	42
<i>Dispersión y destino de los hidrocarburos</i>	43

2. Metodología	48
<i>Eliminación de sulfuros</i>	49
<i>Purificación por cromatografía en columna</i>	51
<i>Composición isotópica del carbono</i>	
<i>Composición isotópica del nitrógeno</i>	
3. Resultados	52
<i>Los sedimentos como dispositivos de vigilancia de la contaminación</i>	
<i>Hidrocarburos en sedimentos</i>	56
<i>Proporción isotópica de carbono y nitrógeno</i>	80
4. Conclusiones	91
III. UNA POLÍTICA DE CONSERVACION DE LOS PANTANOS: UNA NECESIDAD URGENTE	101
IV. CONCLUSIONES GENERALES	137

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 prestigias 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 por parte de la población. Pero además, establece un mecanismo de trabajo multidisciplinario que vincula a los centros de investigación con diversos sec-

tores 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 Capocacán, 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.

Mención especial quiero hacer de la inapreciable cooperación del doctor Joan Albaigés, Director del Centro de Investigación y Desarrollo del Consejo Superior de la Investigación Científica de Barcelona, España. En sus laboratorios se efectuaron parte de los análisis de algunas fracciones aromáticas, indicadoras de la contaminación por petróleo. Este es un valioso ejemplo de la cooperación internacional en el análisis de los problemas que nos afectan globalmente.

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, como hoy, máxima autoridad del municipio de Coatzacoalcos.

Distrito Federal, agosto de 1987.

I VAN 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 la primera parte se discuten las contribuciones de los pantanos al mantenimiento de la vida en nuestro planeta; y se advierte acerca del peligro que corren estos ecosistemas por causa del desconocimiento de sus funciones ecológicas y de los aprovechamientos inadecuados. Con base en los resultados obtenidos por diferentes grupos de trabajo del proyecto en la planicie de inundación del río Coatzacoalcos, se plantea la necesidad de enfoques multidimensionales, que tomen en cuenta los factores que controlan los flujos de energía en la cuenca y el papel de los pantanos en los procesos que regulan la productividad biológica del área. Con referencia a tales procesos deben evaluarse los impactos de las actividades humanas.

La segunda parte está consagrada a la evaluación geoquímica del río Calzadas: principal canal de drenaje que comunica al pantano estudiado con las zonas del estuario y el litoral. Los análisis de los sedimentos revelan la presencia de hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAH) en todas las estaciones de muestreos; pero las concentraciones son más altas en las Estaciones 5 y Espejo, cercanas a las fuentes de emisión. La presencia de los naftalenos alquil sustituidos (C_1 , C_2 , C_3) confirman que estos compuestos sólo pudieron introducirse al ambiente por descargas del petróleo y sus desechos. Lo que demuestra, de un modo irrefutable, que se trata de una área crónicamente afectada por los desechos de las actividades relacionadas con el procesamiento de los hidrocarburos.

En la parte final se plantea el hecho de que el mantenimiento de los pantanos es un factor crucial para la conservación y el manejo de la vida silvestre. Una estrategia para su protección deberá basarse en un enfoque ecosistemático, que nos haga ver la complejidad de sus interacciones con los ambientes adyacentes.

I. LOS PANTANOS DEL BAJO RIO COATZACOALCOS: ¿UNA DESTRUCCION INEVITABLE?

Alejandro Toledo

1. Algunas razones para cambiar nuestra visión sobre los pantanos

En los próximos años nuestra actitud con respecto a los pantanos tendrá que cambiar de un modo radical si queremos mantener las funciones de estos ecosistemas que, sólo muy recientemente, se nos han revelado como indispensables para el sostenimiento de los delicados equilibrios globales que hacen posible la vida en la tierra; y como bienes singularmente valiosos para el ser humano y para los organismos que comparten con él este mundo diminuto y frágil.

Fundar una nueva relación entre los pantanos y las sociedades modernas -apremiadas por una irrefrenable necesidad de artificialización en sus estilos de producir y consumir- implica superar dos obstáculos enormes: la extrema lentitud de nuestra comprensión de los procesos físico-químicos globales que controlan la vida en la tierra, y el ilimitado optimismo tecnológico que caracteriza a nuestros estilos de aprovechamiento de los recursos finitos del planeta. Un gran esfuerzo social tendrá que realizarse a muy corto plazo por parte de los científicos, los técnicos, los planificadores, los políticos, y por la propia población en general, para precisar y difundir las contribuciones de los pantanos. Destaquemos las fundamentales:

Los ciclos globales y el mantenimiento de la estabilidad atmosférica

Cada día la ciencia genera más información acerca del valor que tienen estos ambientes en la regulación del ciclo hidrológico: como depósitos, como ligas entre aguas superficiales y subterráneas, como moduladores y como filtros. Al atenuar la velocidad de los flujos, los pantanos incrementan el tiempo de residencia del agua en el ecosistema, permiten la recarga de

los acuíferas, amortiguan el efecto de, las inundaciones, desceleran la dinámica de, los procesos erosivos y, crean diferentes nichos ecológicos que hacen posible la proliferación de una abundante y variada vida en la costa '(Carter *et al.*, 1978; figura 1).

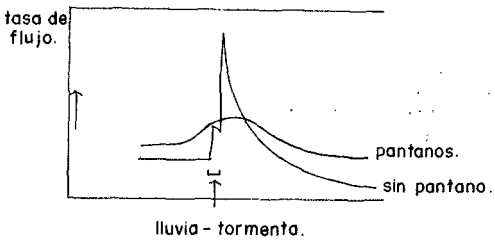
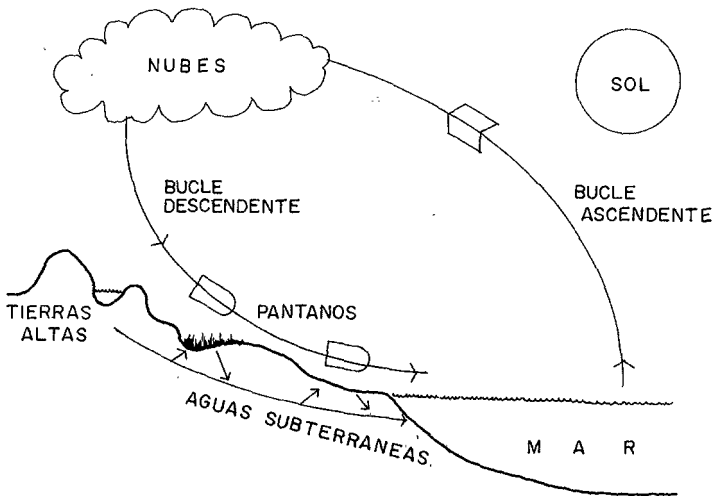
Avances valiosos se han dado en el conocimiento de los procesos de descomposición microbiana que se llevan a cabo en la zona aeróbica (oxigenada) y anaeróbica (no oxigenada) de los pantanos. Ahora sabemos que complejas interacciones microbianas ocurren ahí para hacer de estos ambientes grandes sistemas de reciclaje hacia la atmósfera de algunos gases vitales como el nitrógeno, el carbono, el azufre y el metano (Odum, 1978; y figura 2). Cada vez se documenta mejor esta función de los pantanos como reguladores homeostáticos de la capa atmosférica que permite la vida en la tierra y que nos protege de los efectos mortales de las radiaciones ultravioleta del espacio exterior.

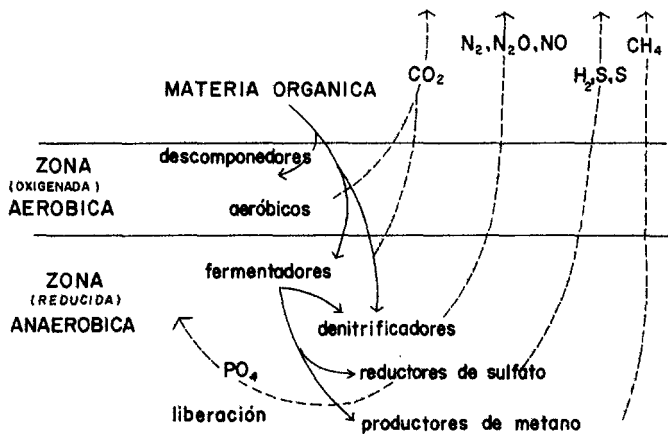
Ecólogos, químicos y microbiólogos han demostrado que esta intensiva actividad microbiana contribuye de una manera igualmente decisiva a la renovación del ciclo de nutrientes, asegurando, con ello, la fertilidad de los ambientes costeros adyacentes (Contreras, 1986; volumen 5 de esta serie).

La cadena acuática de los alimentos

Una de las más perfectas, complejas y delicadas estructuras de organización de la naturaleza combina en los pantanos factores hidroclimáticos (periodos de sequía, intensidad de las lluvias, régimen de mareas, frecuencia de las inundaciones, velocidad y habilidad del agua para transportar sólidos suspendidos) y propiedades físicas y químicas del sustrato (agua, disponibilidad de oxígeno, nutrientes y toxinas) con una intensa y compleja actividad metabólica, para hacer de estos ambientes gigantescas maquinarias naturales que almacenan en su interior materia orgánica, la degradan, la mineralizan y la convierten en elementos nutritivos disueltos y disponibles para una multitud de organismos en la cadena acuática de los alimentos (Gosselink, J.G. y Turner, R.E., 1978).

Esta singular organización productiva -una de las maravillas que explican y sostienen la vida en la tierra- convierte a los pantanos en uno de los mayores productores y exportadores de energía en la tierra, de una importancia tan grande





ja del sistema fluvial Ganges-Bramaputra. Los resultados de estas investigaciones han permitido estimar que por lo menos un 80% de las pesquerías de esta región se encuentran estrechamente ligadas a estos ambientes costeros (Christensen, B., 1983). El papel crítico de los pantanos para las pesquerías de Indonesia, Vietnam, Tailandia, Malasia y Singapur, también han merecido la atención de los científicos y los planificadores locales. Algunas especies como el cangrejo *Scylla serrata* y la almeja *Anadara granosa* se cultivan ampliamente en los manglares asiáticos y forman parte de importantes Industrias alimenticias en la región.

El caso de los pantanos africanos es crítico porque, en este continente, asolado por sequías y hambrunas devastadoras en los últimos años, las pesquerías que se practican son principalmente de aguas interiores (Welcomme, R.L., 1979 y Beadle, L.C., 1974). La extraordinaria longitud de sus ríos y la enorme extensión de sus lagos, favorecen la formación de vastas planicies de inundación. Ahí prolifera una abundante y variada fauna, entre la que científicos africanos han identificado a un número singularmente grande de especies endémicas. Sólo en el lago Tanganyika se han identificado cerca de 200, pero los pantanos africanos apenas empiezan a ser objeto de investigaciones científicas rigurosas. Lo que sí se sabe ya, con certeza, es lo que representa esta riqueza para miles de poblados africanos: la principal, y tal vez la única, fuente de proteínas de origen animal disponible para un amplísimo sector de la población. Es posible que no haya otra región en el mundo donde los pantanos se encuentren tan estrechamente ligados a los problemas de la supervivencia humana.

Con bastante atraso en percatarse del papel que juegan para sus pesquerías, algunos países industrializados revaloran en la actualidad estos ambientes. Tarde. Porque en casos como el de los países bajos del norte europeo (Holanda y Bélgica), las modificaciones a estos ambientes han sido drásticas e irreparables. Y en otros, como los Estados Unidos de Norteamérica, el 54% de sus pantanos (87 millones de hectáreas) ya han desaparecido (Maltby, E., 1986). A pesar de esta devastación, científicos norteamericanos han acumulado desde mediados de los años cincuenta, una abundante y valiosa información sobre la función de los pantanos para el mantenimiento de las pesquerías costeras. Hoy se sabe, por ejemplo, que las riquísimas pesquerías del camarón de la costa atlántica estadu-

nidense no podrían sostenerse sin la existencia de los pantanos. Pero lo mismo sucede con las de cangrejos, almejas y ostiones, hoy valoradas en cientos de millones de dólares. Turner (1986), ha estimado que una pérdida del 1 % en la extensión de los pantanos estadounidenses redundará en una pérdida de 1 .08 billones de dólares en sus pesquerías comerciales.

Aunque muy escasamente documentada, en América Latina también se ha demostrado este papel estratégico de los pantanos para las pesquerías de litoral. Científicos mexicanos, por ejemplo, han estudiado los flujos energéticos que ligan a los riquísimos bancos camaroneos de la Sonda de Campeche con los pantanos del sistema fluvial Grijalva-Usumacinta (Soto, 1981). Sus colegas portorriqueños, jamaicanos, venezolanos y colombianos, han documentado también el papel absolutamente estratégico de los pantanos en las pesquerías caribeñas.

La calidad de las aguas costeras

Como trampa de contaminantes de todas clases: desechos orgánicos municipales, residuos industriales, sustancias químicas procedentes de actividades agrícolas, etc., los pantanos juegan un papel importante en el mantenimiento de la buena calidad de las aguas costeras. Esta función es cada vez mejor conocida y aprovechada por el hombre (Kadlec y Kadlec, 1978).

Hoy se sabe que una multitud de procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en los pantanos son capaces de inmovilizar, transformar, fijar y volver inocuos virus, bacterias coliformes y una amplia gama de sustancias tóxicas, impidiendo con esto que se incorporen a la cadena de los alimentos.

Este poderoso mecanismo natural de autoprotección ha constituido un vasto campo de investigación y experimentación para los científicos y planificadores de diferentes regiones en el mundo.. En la India, el Instituto de Investigaciones del Cuero, realiza en la actualidad trabajos sistemáticos sobre algunas propiedades de plantas que proliferan en las zonas pantanosas, como el conocido jacinto *Eichornia crassipes*, con el propósito de utilizarlas para limpiar las aguas residuales de sus tenedurías.

En los Estados Unidos de Norteamérica, investigadores de

La Universidad de Florida realizaron experiencias exitosas acerca de la capacidad de los pantanos para eliminar excesos de nutrientes y contaminantes. En sus experimentos, el equipo dirigido por Odum y Ewel demostró que los pantanos eran capaces de eliminar los excesos de nitrógeno, el 67% del fósforo y prácticamente la totalidad de los metales pesados. Otro grupo de trabajo, esta vez en el Delta del río Mississippi, comprobaron también la capacidad de los pantanos para eliminar el 92% del nitrógeno, el 60% del fósforo, el 97% de la demanda bioquímica de oxígeno en sólo 7 días de exposición a los contaminantes. El municipio de San Diego, en California, gasta en la actualidad alrededor de 3.5 millones de dólares en el cultivo del jacinto con la finalidad de utilizarlo para el tratamiento de sus aguas negras. Los planificadores se han propuesto la meta de procesar, así, 200 millones de litros de aguas negras para fines del presente siglo. Un ejemplo más lo constituyen los pantanos de Brillon, en Wisconsin. Por décadas, estos ambientes han funcionado como sistemas naturales de tratamiento. En este caso los científicos norteamericanos comprobaron que estos ambientes pudieron eliminar el 80% de la demanda bioquímica de oxígeno, el 86% de bacterias coliformes, el 51 % de los nitratos, el 40% de los carbonatos, el 44% de turbidez, el 29% de sólidos suspendidos y el 13% del fósforo total (Maltby, *op. cit.*).

Bastan estos ejemplos para que nos percatemos del papel que juegan los pantanos en el mantenimiento de la calidad de las aguas costeras y de la jerarquía que deberían ocupar en el marco de un sistema de planificación basado en normas de calidad de los sistemas acuáticos, si se conociera mejor cómo funcionan, cuáles son sus respuestas a las diferentes intervenciones humanas y cuáles sus capacidades para retener, degradar y eliminar sustancias tóxicas.

Ante las crecientes dificultades económicas y sociales de los países pobres, que oponen barreras casi infranqueables para el acceso a costosos y sofisticados métodos de tratamiento de aguas residuales, los pantanos ofrecen posibilidades que aún no se exploran en estas regiones. Experiencias acumuladas por Gosselink y su equipo de trabajo de la Universidad de Luisiana, a lo largo de años de un trabajo científico riguroso, estiman que las funciones de sistemas naturales de tratamiento, basado en los pantanos, tienen una equivalencia de 1 23 mil dólares por hectárea, en comparación con el costo de utili-

zar métodos artificiales. Dinges, biólogo del Departamento de Salud de Texas, ha estimado que un embalse de jacinto necesita cerca de 5 días para limpiar la misma cantidad de aguas de desechos que un sistema de tratamiento convencional haría en 6 horas. Sólo que los costos de uno y otro sistemas resultan incomparables en favor del sistema natural. (*)

Hay que comprender que no se trata de emplear en forma indiscriminada a los pantanos como vertederos de desechos, tal como ha sido una práctica cotidiana en muchas regiones del mundo. Es necesario estudiar rigurosamente y utilizar en forma prudente las capacidades naturales de los pantanos como purificadores de aguas de desechos. Son sistemas complementarios que funcionan con extraordinaria eficacia sólo después de los primeros tratamientos. Se trata de filtros eficaces para asegurar la calidad de las aguas costeras y mantener, así, la productividad biológica de las regiones donde se ubican.

La vida silvestre

La riqueza de los pantanos se basa en la extraordinaria capacidad natural de estos ambientes para producir energía (nutrientes y minerales) y ponerla a la disposición de las grandes poblaciones de organismos que habitan los numerosos nichos ecológicos de la costa. Este excepcional mecanismo sustentador de la vida en las regiones costeras de la tierra, genera en los propios pantanos, y entre éstos y los demás ambientes costeros, intrincadas y sutiles interdependencias al nivel de los organismos vegetales y animales que los pueblan. Para no pocos mamíferos, reptiles, anfibios y peces, los pantanos constituyen el último refugio, la última escala en la ruta de su desaparición definitiva de la faz de la tierra. Para la mayoría de los organismos que viven en los pantanos, se trata de hábitats irremplazables. Junto con su destrucción, desaparecerán también las posibilidades de sobrevivencia de estos organismos.

Por estas circunstancias resulta apremiante incrementar, en el menor plazo posible, la masa de nuestros conocimientos sobre las funciones precisas de cada organismo, vegetal o animal, en el mantenimiento de la productividad global de estos ecosistemas. Alrededor de los pantanos se empieza a desarrollar una ciencia

(*) Citados por Maltby *op. cit.*

fundada en el conocimiento de las interdependencias de los organismos que los habitan. En Florida, estos esfuerzos científicos han rendido sus frutos en el mejor conocimiento de las estrechas relaciones que existen entre reptiles, anfibios, peces, aves y plantas de los pantanos del Parque Nacional de los Everglades. Los biólogos estadounidenses descubrieron, por ejemplo, el papel crítico que juegan los lagartos en el mantenimiento de la diversidad de hábitats para la fauna silvestre. El lagarto americano *Alligator mississippiensis*, el cocodrilo americano *Crocodylus acutus* y el caimán *Caimán crocodilus*, cavan agujeros que se llenan de agua en los periodos lluviosos y que los proveen de un hábitat acuático en las sequías. Además, estos hoyos también los utilizan una multitud de peces, tortugas, caracoles, y otras criaturas acuáticas que comparten el hábitat con estas especies en los periodos secos y que hacen posible la repoblación del área en la siguiente temporada lluviosa. En los montañas de materiales acumulados en torno de estos agujeros crecen helechos, plantas silvestres, árboles y arbustos. Ahí encuentran un lugar ideal para hacer sus nidos numerosas especies de aves acuáticas, tortugas, y un verdadero ejército de pequeños mamíferos. Tan importantes son estos hoyos para el mantenimiento de la diversidad de hábitats, que una ley especial los protege dentro del Parque Nacional de los Everglades (Niering, W.A., 1985).

Trabajos científicos emprendidos en los pantanos adyacentes a los ríos Amazonas, Zaire y Mekong reportaron que estos gigantescos sistemas sostenían a más de mil especies de peces, aparte de un número aún no determinado de reptiles, anfibios, aves y mamíferos. Los científicos africanos que estudian los grandes lagos Victoria, Tanganyika, Nyasa/Malawi, han estimado la existencia de más de 700 especies endémicas, especialmente de cíclidos (Maltby, *op.cit.*, 1986).

Manglares y planicies de inundación de diferentes regiones tropicales en el mundo constituyen el refugio de numerosas especies vulnerables y en peligro de extinción, como el tigre *Felis tigris sumatrae*, de Sumatra; el oso negro *Ursus americanus*, de los pantanos de Carolina del Norte; el lagarto americano *Alligator mississippiensis* de los Everglades de Florida; el manatí africano *Trichechus senegalensis*, del Delta del río Senegal; la tortuga *Erymnochelys madagascariensis*, de Madagascar; el manatí *Trichechus inunguis*, el cocodrilo *Crocodylus acutus* y el caimán *Caimán crocodilus fuscus*, de la región del gran pantanal de Brasil, Bolivia y Paraguay; el cocodrilo

del Orinoco *Crocodylus intermedius*, de Venezuela y Colombia; la tortuga gris *Dermatemys mauvei*, de los pantanos de América Central; el ciervo de los pantanos *Blastocerus dichotomus*, de la región del Mato Grosso, en Brasil; los ciervos *Cervus duvauceli* y *Axis porcinus* de Bangladesh; las tortugas lagarto *Chelydra cerpetina* y tres lomos *Struotypus triporcatus*, el pejelagarto *Atractosteus tropicus* y los cocodrilos *Crocodylus acutus* y *Crocodylus moreletti*, el armadillo *Dasypus novemcinctus mexicanus*, la iguana *Iguana iguana rhinolopha*, el tepalcuete *Agouti paca* de los pantanos del sureste de México.

Asimismo, los pantanos costeros y las planicies de inundación del planeta constituyen el hábitat de miles de aves acuáticas y son los sitios de alimentación, crianza, abrigo, invernación y descanso de millones de aves migratorias protegidas por tratados internacionales. Un alto porcentaje de estas aves se reproducen en las regiones árticas del hemisferio norte, pero pasan el invierno en los pantanos del sureste de los Estados Unidos y, en un vuelo de 20 mil kilómetros con escalas en los estratégicos pantanos de México y América Central, llegan hasta el cono sur del continente americano. Este papel absolutamente decisivo de los pantanos en la sobrevivencia de estas aves acuáticas ha llamado poderosamente la atención y preocupado a los ornitólogos y a las organizaciones protectoras de la fauna silvestre en el mundo. Por esta circunstancia, se conoce con precisión la extraordinaria importancia que tienen regiones pantanosas africanas como las del Sahel, Tana, Garaet, Ichkeul, Arguín, los grandes lagos y los deltas de los ríos Níger, Nilo, Congo y Okavango, para los millones de aves migratorias de las regiones nórdicas que pasan el invierno en estas zonas. En algunos casos, estos pantanos han sido declarados santuarios, como el de Rajasthan, en la India, que ahora es un lugar seguro para las especies endémicas y para las aves migratorias de Afganistán, el Tibet, la Siberia y el Ártico.

Además, en los pantanos crece una multitud de plantas acuáticas sumamente especializadas para soportar variaciones extremas de humedad y sequía, cambios de salinidad, alteraciones en los flujos de nutrientes; y dotadas de funciones físico-químicas capaces de desarrollar tanto complejas actividades que producen sustancias útiles para la vida como funciones que neutralizan, degradan o eliminan sustancias peligrosas. Sólo un mínimo de estas plantas han recibido la atención de científicos y planificadores. Los casos más estu-

diados, sin duda han sido los del manglar y el jacinto. Una abundante literatura científica y numerosas reuniones internacionales dan cuenta de las funciones altamente especializadas del manglar: como retenedor del suelo costero, como convertidor de nutrientes en materia orgánica, como hábitat de peces, moluscos, crustáceos, aves acuáticas, reptiles, mamíferos y plantas epífitas; y, finalmente, como materia prima para diferentes usos humanos. El jacinto, por su parte, ha merecido la atención de científicos y tecnólogos por sus capacidades naturales de purificador de las aguas costeras.

Estas plantas están a la espera de los botánicos, ecólogos, químicos y físicos, capaces de extraer enseñanzas valiosas sobre sus procesos de adaptación a las condiciones particulares que ofrece la vida en la costa.

Una reflexión final acerca de los pantanos

Esta excepcional riqueza de los pantanos se encuentra hoy en peligro de extinguirse. Existe una gran presión por parte de poderosas fuerzas económicas y políticas para convertir a los pantanos africanos, asiáticos y latinoamericanos en tierras de cultivo y en espacios para la ganadería. Al igual que en Brasil, en China, en Indonesia y en el Senegal, existen planes muy avanzados para drenar sus pantanos. La mayoría de tales proyectos han sido propuestos y apoyados técnica y financieramente por instituciones de crédito internacionales, que promueven desde hace varias décadas esta política de drenaje en el Tercer Mundo. Buenos ejemplos de esta estrategia lo constituyen los planes, hidroagrícolas emprendidos en las planicies de inundación del sureste mexicano y en el gran pantanal (Toledo, 1983). Pero los casos podrían ampliarse a cualquier otro lugar donde todavía subsista una superficie pantanosa importante.

¿Qué hacer? Tal vez sólo quede reunir los datos, la información generada por la comunidad científica en nuestro país y en el mundo, para emprender con ellos la difícil batalla de salvar a nuestros pantanos y... a nosotros mismos. Ojalá estemos a tiempo de comprenderlo: continuar con la política de desecar los pantanos de la tierra es sólo una manera de acelerar nuestra propia extinción como especie y la de una multitud de organismos vegetales y animales que comparten con nosotros esta fascinante y, hasta donde nuestros conocimientos llegan, irrepetible experiencia vital en el universo.

2. *La destrucción de los pantanos del bajo río Coatzacoalcos: ¿una destrucción inevitable?*

Nuestros trabajos en la planicie de inundación del río Coatzacoalcos se orientaron a tres objetivos básicos:

- 1) El conocimiento de los factores que controlan la productividad energética y biológica de los ambientes pantanosos que la integran;
- 2) el conocimiento de la naturaleza de las interconexiones entre los pantanos y los ambientes costeros adyacentes; y
- 3) la valoración de la magnitud y la profundidad de los impactos directos e indirectos de las actividades humanas sobre las funciones ecológicas de los pantanos.

De estos esfuerzos han quedado varios hechos comprobados científicamente con los medios que estuvieron a nuestro alcance:

1) La importancia ecológica de la hidrología

Las investigaciones en la zona pantanosa (Contreras *et al.*, 1986; volumen 5 de esta serie), pusieron en claro el papel fundamental de los procesos hidrológicos en el funcionamiento de estos ecosistemas en el bajo río Coatzacoalcos.

El alto contenido de materia orgánica encontrada en los sedimentos del pantano, hasta el 40% en algunas estaciones de muestreo, sirvió también para poner en evidencia la importancia crucial de los procesos bacterianos para la regeneración y el reciclamiento de los nutrientes.

Tales procesos y los movimientos del agua, hacen del pantano estudiado un sistema que todavía conserva su función ecológica vital de *exportador* neto de grandes volúmenes de nutrientes ($16\ 000\ \text{mg l}^{-3}$) hacia el estuario y otras zonas de importancia ecológica de la costa. Aunque, por las condiciones críticas de deterioro ambiental que presenta en la actualidad la cuenca baja, esto no redunde necesariamente en una alta productividad biológica,

Dado que, como lo dejan establecido las investigaciones de Contreras y su equipo, el río Calzadas es la vía de entrada de

agua más conspicua hacia el sistema pantanoso estudiado y el mayor canal de desahogo de la tremenda carga de materia orgánica procedente de la biota, su importancia ecológica es *vital*.

2) *La naturaleza de las interconexiones entre la zona pantanosa estudiada y las áreas adyacentes: un conocimiento necesario*

Desde una perspectiva ambiental, la dinámica del sistema ecológico que integra la cuenca y su alto grado de interconexión constituyen dos características de suprema importancia en la toma de las decisiones acerca de las actividades humanas en el área. Los impactos sobre ambas deberían condicionar toda clase de proyectos: industriales, portuarios, de desarrollo urbano, de servicios, etc.

El hecho de que los nutrientes y la materia orgánica almacenados en el pantano y liberados por la acción de las lluvias son una fuente primaria de energía para otros hábitats costeros, no es una especulación teórica: ha sido demostrado por los valores encontrados en los flujos de nutrientes del pantano hacia el estuario y el litoral; por los valores reportados en los estudios de las colonias de bacterias, de las comunidades fitoplanctónicas y zooplanctónicas; y de la ictiofauna.

Sólo se explica la drástica reducción de las especies marinas, de los habitantes temporales del estuario y el empobrecimiento del río (que reportan los trabajos de Bozada *et al.*, 1987, volumen 8 de esta serie) por las descargas masivas de efluentes de todas clases en el sistema.

3) *La perspectiva ecológica: un enfoque indispensable para evaluar el impacto de las actividades humanas en la cuenca*

Sólo tomando en cuenta las distintas formas en que la energía circula a través de los diferentes ambientes de la cuenca: cómo se almacena y se transforma en los pantanos; cómo se libera por la acción de las lluvias; y cómo se convierte en una amplia gama de productos que incluyen a peces necesarios para la supervivencia humana y una multitud de organismos que hacen habitable al planeta, cobraremos conciencia de la magnitud y de la profundidad de nuestras acciones sobre el metabolismo g(oba(de (a cuenca.

Un enfoque tal nos permitiría, por ejemplo, comprender la

naturaleza de los desequilibrios causados por las emisiones crónicas de desechos industriales y domésticos a la zona del pantano: la sensible modificación en los gradientes de concentración bacteriana; la incapacidad de los procesos bacterianos para degradar en su totalidad las descargas masivas de sustancias tóxicas que se depositan en los sedimentos y alteran procesos vitales en la interfase sedimento-agua; los agudos procesos de eutroficación que se dan en el río Calzadas, originados por los residuos de las plantas de fertilizantes y de los complejos industriales ubicados en el área, los que provocan el crecimiento anormal de las comunidades fitoplanctónicas y zooplanctónicas, que consumen el oxígeno indispensable para peces, crustáceos y otras especies de la macrofauna. Todo esto contribuye al deterioro de un sistema que ofrece las condiciones naturales adecuadas para la reproducción y el desarrollo de la fauna acuática más valiosa para la alimentación humana (Espinosa, 1987; volumen 10 de esta serie).

Un mejor conocimiento de los flujos de energía que regulan la productividad biológica de la cuenca y de las interconexiones que se dan entre sus diferentes ambientes, nos haría pensar en la inconveniencia de seguir cometiendo errores irreparables, como el relleno masivo de zonas pantanosas; o difíciles de reparar, como el dragado sistemático de áreas vitales. El relleno de pantanos refleja sus consecuencias más drásticas al interferir los ciclos geoquímicos y la circulación de materia orgánica que propician las migraciones naturales de los peces hacia los sitios de alimentación del río o de la planicie de inundación. Esto ocasiona una disminución sensible de las poblaciones. Casi siempre estos impactos se extienden a distancias muy considerables del lugar donde ocurre el desastre. Se reflejan también en la disminución de las comunidades de peces marinos ligadas a los pantanos a través de los flujos de nutrientes y de sutiles y complejas cadenas tróficas. El dragado de estuarios produce cambios en el régimen de corrientes, en la circulación, en la mezcla y en la salinidad; aumenta la turbidez y resuspende en la columna del agua sustancias tóxicas depositadas en los sedimentos. Esto impide la repoblación normal de la biota, a menudo a muchos kilómetros del lugar donde tales operaciones se llevan a cabo.

Tal como se ha hecho hasta ahora, el aprovechamiento de los recursos naturales del área sólo parece desembocar hacia desastres inevitables. Uno de ellos es la destrucción de las zo-

nas pantanosas del bajo río Coatzacoalcos. Todo se ha conjugado para sellar el destino de los pantanos: la tecnología moderna, el desarrollo industrial, la contaminación, el crecimiento anárquico de las ciudades y el reclamo de tierras para la ganadería.

Con el arranque de las operaciones de la refinería de Minatitlán, a principios del siglo, se decidió utilizar al estero de Santa Alejandrina (una extensa área pantanosa aledaña a la planta) como depósito de desechos. Los residuos se acumularon ahí por décadas, hasta años muy recientes en que PEMEX inició trabajos de recuperación y restauración, con la grave limitante de que sus técnicos desconocen la ecofisiología del pantano.

A mediados del siglo, la apertura de los grandes ejes carreteros del Golfo y Transístmico trajo consigo otras severas modificaciones a la planicie de inundación. Esta vez, el tramo entre Coatzacoalcos y Minatitlán seccionó una parte del pantano, alterando los patrones naturales del flujo de agua. Con la nueva vía de acceso se abrieron posibilidades para la construcción de los complejos petroquímicos de Pajaritos y la Cangrejera y para la habilitación del puerto petrolero en la laguna de Pajaritos, lo que significó el relleno de las zonas pantanosas aledañas. Otras unidades productivas (como las de Cosoleacaque y la planta de fertilizantes Unidad-Coatzacoalcos) fueron ubicadas en áreas que, forzosamente, repercutieron de un modo negativo sobre la salud ambiental de la planicie de inundación. Rápidamente los pantanos se convirtieron en los depósitos de los desechos de estas plantas. Además, por su alto grado de integración, estas unidades industriales requirieron de una gran cantidad de ductos y poliductos petroquímicos que, nuevamente, seccionaron la planicie.

Por causa del explosivo desarrollo industrial del área, el crecimiento de los principales núcleos urbanos hacia los pantanos ha sido inevitable. Crecimientos poblacionales a ritmos sin paralelo con otras regiones del país, especulación urbana y factores políticos, se han conjugado para ocupar los terrenos más baratos, pero más difíciles de urbanizar: los pantanos (Nolasco, 1979; Legorreta, 1983). A futuro la conurbación de Coatzacoalcos, Minatitlán y Cosoleacaque, aparece como la fase culminante de este proceso destructivo.

Quizás la única alternativa para evitar esta destrucción sea

diseñar y demostrar la viabilidad de una estrategia de manejo de los pantanos ecológicamente prudente. Pero esto no podrá hacerse sin una sólida base de apoyo científica y tecnológica, y sin un mecanismo de planificación que difunda, entre los más diversos sectores de la población, los resultados obtenidos, a fin de crear una conciencia colectiva sobre la necesidad de proteger las áreas ecológicas vitales de la cuenca. Trabajos que requieren de un prolongado proceso de maduración...

Desde una perspectiva científica, es altamente prioritario desarrollar modelos conceptuales que nos hagan percibir la naturaleza de las interconexiones entre los ambientes de la cuenca; y hagan ver a los que toman las decisiones acerca de los aprovechamientos de los recursos naturales del área, los desastres a los que pueden conducirnos las visiones unidimensionales y basadas exclusivamente en supuestos beneficios económicos.

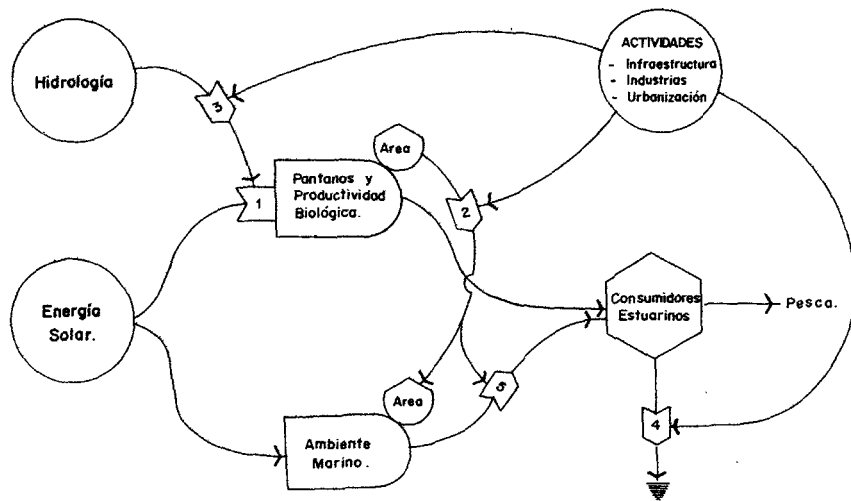


Fig. 3. Modelo conceptual de interacciones dominantes entre los ambientes pantanosos de la Cuenca Baja del Río Coatzacoalcos y los impactos de las actividades humanas sobre estas relaciones. (1) La productividad biológica de los pantanos depende, en un alto grado, del patrón natural del flujo hidrológico de la cuenca (Contreras, Vol. V de esta serie). (2) El área de pantanos ha disminuido y se ha alterado por la construcción de obras de infraestructura afectan directamente a la productividad del pantano (Botello y Villanueva, Capítulo II de este volumen; Bozada y Páez, Vol. 8 de esta serie). (3) Estas actividades afectan directamente a la productividad del pantano (Botello y Villanueva, Capítulo II de este volumen; Bozada y Páez, Vol. 8 de esta serie). (4) La contaminación producida por las actividades humanas en el área ha mermado drásticamente a la población adulta de peces y su consumo representa un peligro real para la salud humana (Bozada y Páez, Vol. 8 de esta serie y Botello y Botello y Páez, Vol. I de esta serie). (5) La pérdida de áreas pantanosas ha repercutido en la disminución del valor de la zona estuarina como sitio de alimentación de peces marinos, los que no encuentran condiciones adecuadas para su supervivencia y reproducción. (Bozada y Páez, Vol. 8 de esta serie). Elaborado con base en el modelo conceptual propuesto por Stone, J. H., et al: Developing management guide lines for oil and gas activities: The Louisiana Experience, 1979.

BIBLIOGRAFIA

BEADLE, L. C. 1974.

The inland waters of tropical Africa. Longman.

CARTER, V., BEDINGER, M.S., NOVITAKI, R.P.

y WILEN, W.O. 1978.

"Water resources and wetlands". En: *Wetland function and values: the state of our understanding.* Proceeding of the National Symposium on Wetlands. American Water Resources Association. Celebrado en Lake Buenavista, Florida, del 7-10 de noviembre. Editado por Phillip E. Greeson, John R. Clark y Judith E. Clark: 344-376 pp.

CHRISTENSEN, B., 1983.

"Mangroves what are they worth?". En: *Unasyla.* Vol. 35 N° 139: 2-15 pp.

CONTRERAS, F., 1986.

La riqueza del pantano. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos. Vol. V. Centro de Ecodesarrollo. México. 98 pp.

GHOSH, D., 1983.

Sewage treatment fisheries in East Calcuta wetlands: low cost resource-conserving option in environment repair. Reporte del Proyecto del Gobierno de Bengala Occidental, Calcuta India.

GOSELINK, J.G. y TURNER, R.E., 1978.

"The role of the hidrology in freshwater wetland ecosystems". En: *Freshwater wetlands. Ecological processes and management potential.* Ed. por Ralph E. Good. Academic Press. EUA: 63-76 pp.

KADLEC, R. H. y KADLEC, JA, 1978.

"Wetlands and water quality". En: *Wetland function and values: the state of our understanding.* Proceedings of the National Symposium on Wetlands. American Water Resources Association. Celebrado en Lake Buenavista, Florida, del 7-10 de noviembre. Editado por Phillip E. Greeson, John R. Clark y Judith E. Clark: 436-456 pp.

<ADLEC, R. H., 1978.

"Wetlands for tertiary treatment" En: *Wetland function and values: the state of our understanding*. Proceedings of [he National Symposium on Wetlands. American Water Resources Association. Celebrado en Lake Buenavista, Florida, del 7-10 de noviembre. Editado por Phillip E. Greeson, John R. Clark y Judith E. Clark: 490-504 pp.

LEGORRETA, JORGE, 1983.

El proceso de urbanización en ciudades petroleras. Centro de Ecoóesarrollo, México, 181 pp.

MALTBY, E., 1986.

Waterlogged Wealth. An Earthscan Páperback. Ed. International Institute for Environment and Development. London y Washington. 194 pp.

NOLASCO, MARGARITA, 1979.

Ciudades Perdidas de Coatzacoalcos, Minatitlán y Cosoleacaque. Centro de Ecodesarrollo, México, 1 28 pp.

ODUM, E.P., 1978.

"The value of wetlands: a hierarchical Approach", En: *Wetland function and values: the state of our understanding*. Proceedings of the National Symposium on Wetlands. American Water Resources Association. Celebrado por Phillip E. Greeson, John R. Clark y Judith E. Clark: 16-25 pp.

PANTULU, V.V., 1981.

Effects of water resources development on wetlands in the Mekong bas,n. Evironment Unit, Mekong Secretariat, Bangkok.

SATHER, H.J. y SMITH, D.R., 1984.

An Overview of mejor wetland functions and values. Fish and wildlife service. Departament of the interior. USA. 67 pp.

SOTO, L., 1981.

"Consideraciones de los efectos de los hidrocarburos fósiles sobre la población de camarones peneidos en el Banco de Campeche". En: *Cuan tificación de hidrocarburos fósiles y metales pesados en sedimentos y organismos marinos de la Sonda de Campeche*. Insituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM: 53-66 pp.

STONE, J.H., BAHR, L.M. Jr., DAY, J.W. y TURNER, R.E., 1979.

Developing Management Guide Lines loi Oil and Gas Activities. [he Louisina Experience. En' *Coastal Zone Management Journal*. Vol. 6, N° 1, 9-35 pp.

TOLEDO, ALEJANDRO, 1983.

Como destruir el paraíso, México, Centro de Ecodesarrollo, ed. Océano, 1 51 pp.

TURNER, R.E., 1986.

Wetland losses an Coastal Fisheries: An enigmaüc and economically significant dependency. Manuscrito no publicado. Citado por Maltby en: *Waterlogged Wealth*. Earthscan.

WELCOMME, R.L., 1979.

Fishenes of African floodplain rivers. Longarn.

II. EVALUACION GEOQUIMICA DEL RIO CALZADAS: LOS IMPACTOS DEL PETROLEO

*Alfonso V. Botello
Susana Villanueva*

1. Introducción

Las zonas estuarinas y otras áreas costeras son sitios de extrema importancia por su gran variedad de usos y posibilidades; en ellas, el investigador, el experto en planeación y el funcionario público deben enfrentar complejos problemas para determinar una administración adecuada. En la zona costera se suceden importantes interacciones entre el mar, la tierra y la atmósfera. La transición de estas tres fases incide profundamente en las condiciones y la dinámica ambientales, a las cuales se agrega la influencia del hombre como agente transformador de primera magnitud. La tendencia a usar intensivamente esta zona representa un enorme desafío; por lo demás, los modelos de ordenamiento deben adecuarse, ante todo, a un medio ecológico y económico que se halla en un área geográfica de transición, en la que se contemplan el manejo de los usos y recursos de la fase terrestre, de la estuarina y de la marina. Esta no es una tarea fácil, entre otras causas porque las instituciones deben aportar recursos económicos, humanos y legales (Yáñez-Arancibia, 1982).

Asimismo, la zona costera sirve para actividades humanas relacionadas con la alimentación, la energía, el transporte, la recreación y el urbanismo; como ecosistema, tal zona es altamente productiva y compleja, ecológicamente estable, pero frágil y con numerosas fronteras (Day y Yáñez-Arancibia, 1981).

Importancia de la zona costera

Desde los ángulos económico y sociopolítico, la zona costera es extremadamente valiosa. Ahora bien, sus diversos usos humanos han provocado en ocasiones efectos negativos (cuadro 1), aun cuando estas zonas son las áreas más productivas de los océanos, no sólo en términos de la producción primaria

CUADRO 1
USOS Y RECURSOS DE LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MEXICO

T P O	A R E S	ACTIVID ES	E F E C T O S
Recursos Renovables	Tampico, Tuxpan, Alvarado, Cd. del Carmen Campeche, Progreso, Isla Mujeres.	Pesca	Presión sobre poblaciones naturales
Parques Naturales	Laguna Xel-Ha, Arrecife La Blanquilla, Laguna de Términos, Isla Contoy.	Recreación y Turismo	Modificación del Litoral
Recursos No Renovables	Sonda de Campeche, Tabasco, Veracruz y Tamaulipas	Industrias varias	Erosión y Contaminación por compuestos orgánicos e inorgánicos
Producción de Energía	Laguna Verde, Veracruz; Sonda de Campeche.	Construcciones portuarias y de alta mar	Modificación del litoral y la morfología costera Contaminación
Urbanización	Campeche, Tabasco, Yucatán y Quintana Roo	Construcciones costeras, dragado de canales	Modificación de playas y estuarios. Presión sobre poblaciones naturales. Contaminación Urbana
Industrialización	Coatzacoalcos, Veracruz; Villahermosa, Tabasco; Cd. del Carmen, Campeche.	Construcciones portuarias, canales de navegación y dragado	Contaminación Industrial
Depósito de Desechos	Tampico, Pánuco, Tamaulipas; Puerto de Veracruz y Coatzacoalcos, Veracruz; Laguna de Términos, Campeche; Laguna Carmen-Machona, Tabasco	Industrias, Agricultura, Movilización portuaria	Contaminación ambiental Conflictos económicos y políticos y sociales

(por acción del fitoplancton), sino como áreas de crecimiento reproducción y anidamiento de una gran variedad de especies, así como reservorios del aporte mundial de proteínas.

Alrededor de dos tercios de la población mundial habitan cerca de la costa. De las 66 ciudades de mayor tamaño, 39 se ubican en zonas costeras, y siete de las más grandes metrópolis bordean áreas estuarinas (Nueva York, Tokio, Londres, Shanghai, Buenos Aires, Osaka y Los Angeles).

En la actualidad, aproximadamente el 10% del aporte mundial de proteínas animales proviene de la zona costera, y es muy posible que dicho porcentaje aumente en los próximos años. Asimismo, cerca del 20% de la producción mundial de petróleo proviene de la zona costera, y aproximadamente el 70% de las reservas petroleras del mundo yace bajo el suelo oceánico de dicha zona. Los estuarios y lagunas que forman parte de ésta constituyen un elevado porcentaje de las costas del mundo (en México, del 30 al 35%). Dicho promedio tiene una importancia vital para el país, pues representa su principal y más perdurable rasgo geográfico y un patrimonio cultural y económico de gran trascendencia para el desarrollo socioeconómico de las entidades con litorales. Decimos que las zonas costeras son patrimonio cultural porque, a lo largo de la historia, las sociedades humanas han buscado semejantes áreas para sus asentamientos, su navegación, su obtención de recursos alimenticios y energéticos y como depósitos de desechos (materiales orgánicos y domésticos, plaguicidas, metales pesados, hidrocarburos fósiles, radioactividad y plantas termoeléctricas); son asimismo patrimonio económico porque de ellas se extrae una gran variedad de recursos biológicos y pesqueros, como camarones, langostinos, jaibas, ostiones, mejillones, peces, almejas y caracoles.

Las condiciones ambientales de la zona costera son muy variadas. La salinidad cubre un amplio espectro; el sustrato puede ser rocoso, arenoso, lodoso y arcilloso, y los nutrientes se distribuyen en concentraciones variables. Los recursos bióticos están representados por una gran variedad de grupos, y existen características propias para el plancton, el bentos, los peces y los carnívoros superiores; además, los microorganismos interactúan en complicados ciclos de patrones energéticos, con sustancias minerales y materia orgánica, y poseen gran capacidad de adaptación a los cambios ambientales.

La zona costera se caracteriza también como un ecosistema

en el que influyen las propiedades y características físicas y químicas de sus aguas. En ella se desarrollan fuerzas y procesos que forman, mantienen y modifican otras áreas y sistemas; asimismo existen complejas relaciones entre el agua, los sedimentos, la línea de costa, el clima, los organismos y los movimientos de materia y energía provenientes de las aguas y tierras continentales próximas, así como del ambiente marino (Yáñez-Arancibia, 1982).

Por lo tanto, una comprensión sobre la ecología básica de la zona costera sólo puede lograrse mediante la integración de investigaciones multidisciplinarias, que permitirán al estudioso disponer de mejores opciones para lograr los siguientes objetivos:

- 1) detectar los cambios provocados tanto por la evolución natural del sistema ecológico como por la contaminación;
- 2) evaluar correcta y acertadamente el potencial de sus recursos bióticos;
- 3) recomendar una explotación racional de los recursos renovables y no renovables, y
- 4) realizar una adecuada administración de la zona costera, con el óptimo empleo de sus abundantes recursos.

Por el papel estratégico que juega el subsistema del río Calzadas, como principal canal de desagüe de la amplia zona pantanosa de la margen izquierda del bajo río Coatzacoalcos, se consideró necesario realizar una evaluación de la proporción del carbono isotópico y de los hidrocarburos fósiles (alcanos y aromáticos polinucleares) presentes en sedimentos del río Calzadas, en Veracruz, a fin de determinar los impactos y el estado que guarda esta amplia área de la planicie de inundación. De manera directa, sobre estas aguas se descargan importantes efluentes contaminantes que provienen de las actividades de la planta petroquímica de Minatitlán y Cosoleacaque, así como los desechos de la planta de FERTIMEX y de otras industrias conexas (volúmenes 1, 4 y 5 de esta serie). Asimismo, este trabajo sirvió de complemento a la evaluación geoquímica del estuario del río Coatzacoalcos y áreas adyacentes, publicada en 1986 por Botello y Páez-Osuna (volumen 1 de esta serie).

Petróleo en el ambiente marino

El petróleo crudo se forma de mezclas de miles de compuestos, entre los cuales los hidrocarburos pueden alcanzar hasta un 90% del total; los demás son compuestos heterocíclicos con núcleos de nitrógeno, azufre y oxígeno y algunos metales en concentraciones traza como el vanadio, el níquel, el hierro y el zinc. También la composición del petróleo varía de acuerdo a la región geográfica de donde proviene, característica que nos permite distinguir el origen de los diferentes tipos de crudos. Estos hidrocarburos se agrupan en cuatro categorías principales, según su punto de ebullición y complejidad estructural: a) parafinas; b) naftenos o cicloparafinas; c) aromáticos; y d) olefinas.

Las parafinas o alcanos tienen como fórmula general C_nH_{2n+2} , y en ellas se agrupan desde el alcano más sencillo, conocido como metano (CH_4), hasta compuestos con más de 60 átomos de carbono, como el n-hexacontano ($C_{60}H_{122}$). En general, se presentan en forma de cadena lineal o ramificada. Su presencia en el ambiente marino produce anestesia y narcosis en bajas concentraciones y daño celular y muerte en concentraciones elevadas.

Los naftenos o cicloparafinas presentan como fórmula general C_nH_{2n} , y la mayoría de estos compuestos no presenta más de 5 ó 6 átomos de carbono; éstos se unen en anillos que frecuentemente se sustituyen por grupos alquilo, como el ciclopropano y el etilciclohexano. Estos naftenos se presentan como productos naturales de la biota marina, y aun así pueden interferir y bloquear importantes procesos biológicos de organismos marinos, como la búsqueda del alimento, el escape a predadores, la selección de hábitat y la atracción sexual.

El grupo de las olefinas o alquenos está normalmente ausente en los petróleos crudos y se forma durante algunos procesos de refinación; se halla a su vez presente en compuestos derivados del petróleo. Su fórmula general es C_nH_{2n-2} , al igual que los cicloalcanos, con la diferencia de que sus moléculas nunca forman anillos y además siempre son compuestos insaturados, como el pentadieno $CH_3 \cdot CH=CH-CH_2-CH_3$ o el eteno $CH_2=CH_2$.

Los compuestos aromáticos tienen como constituyente básico el anillo bencénico, el cual contiene tres dobles ligaduras. En los petróleos crudos, el contenido de aromáticos es muy

variable, aunque en general va del 40 al 45%. En ocasiones los anillos bencénicos se unen y originan compuestos policíclicos como el naftaleno, el fenantreno y el benzopireno.



Se considera a los hidrocarburos aromáticos los componentes del petróleo más dañinos, ya que algunos actúan como venenos agudos y otros presentan actividad carcinogénica, como el de 3,4 benzopireno. En años recientes, se han hecho análisis detallados de agua de mar, así como de especies marinas (desde microorganismos hasta vertebrados), y se ha advertido la presencia de hidrocarburos alifáticos y aromáticos, similares en naturaleza a los del petróleo o sus derivados.

Aportes y fuentes de origen

Las estimaciones de la National Academy of Sciences de los Estados Unidos, realizadas en 1975, indican que 6.2 millones de toneladas (mi) de petróleo crudo se introducen al océano y a zonas costeras de distintas maneras:

- Transporte y actividades costeras 2.2 mt/año
- Caudal fluvial 1 .9 mi/año
- Infiltraciones naturales 0.6 mt/año
- Vía atmosférica 0.6 mt/año
- Residuos costeros de origen industrial y municipal 0.6 mt/año
- Producción y refinerías de petróleo en las zonas costeras 0.3 mt/año

Como se observa, el transporte marítimo aporta la mayor cantidad. Este rubro incluye la pérdida durante operaciones normales de carga y descarga de buques petroleros, derrames por accidentes en altamar y operaciones en terminales petroleras. Al final de la presente década se espera un decremento en este valor de hasta 2.0 millones de toneladas por año, pues han mejorado las técnicas de lavado de buques-tanques, al igual que los sistemas de tráfico y rróvegación marítima (U.S.C.G., 1973). La mayor parte del petróleo perdido en ope-

raciones de dragado fuera de la costa se presenta cuando hay ruptura de tuberías y oleoductos; sin embargo, se supone que los valores (0.1 millones ton/año) deberán permanecer sin grandes incrementos durante la presente década.

El petróleo de los ríos y escurrentías terrestres presenta un problema para su evaluación, pues la mayoría de esos hidrocarburos llega en forma diluida, sobre material adsorbido y, como se le ha sujeto a la intemperie, en su mayor parte los compuestos tóxicos se han perdido. Pero al llegar los ríos a los estuarios, más de la mitad del material suspendido se deposita rápidamente, se hace parte del sedimento y puede re-suspenderse y tornarse así disponible para los organismos (NAS, 1975). La proporción de petróleo en el sistema marino, como consecuencia de infiltraciones naturales constituye la base de referencia sobre la cual se evalúan los hidrocarburos del petróleo movilizados por el hombre. Estas infiltraciones constituyen un 10% del flujo antropogénico total (Wilson, 1974).

El aporte atmosférico es muy importante: penetra al océano por las lluvias o por las interacciones entre aire y mar; dos terceras partes del mismo provienen de los automóviles y los aeroplanos; el resto, de las instalaciones fijas de petróleo y procesos industriales, por la evaporación de disolventes y gasolinas.

Este balance de penetración de hidrocarburos al medio ambiente podría descender si se ejecutaran con más cuidado ciertas operaciones. El aporte de petróleo por medio de efluentes y refinerías podría disminuir hasta 0.05 millones de toneladas/año con la aplicación de normas de control más estrictas y con sistemas más eficientes para remover el petróleo o su derivado de los efluentes. Asimismo, el petróleo de las descargas municipales e industriales podría disminuir de 0.9 a 0.6 millones de toneladas/año, si se redujera y regulara la producción de motores de combustión que usan derivados del petróleo como fuentes de energía.

Dispersión y destino de los hidrocarburos

Los principales procesos involucrados en el destino del petróleo en el mar y en zonas costeras, se ejemplifican en la figura 1. Después de la descarga o el derrame petrolero se forma una delgada película en la superficie del mar o de los estuarios;

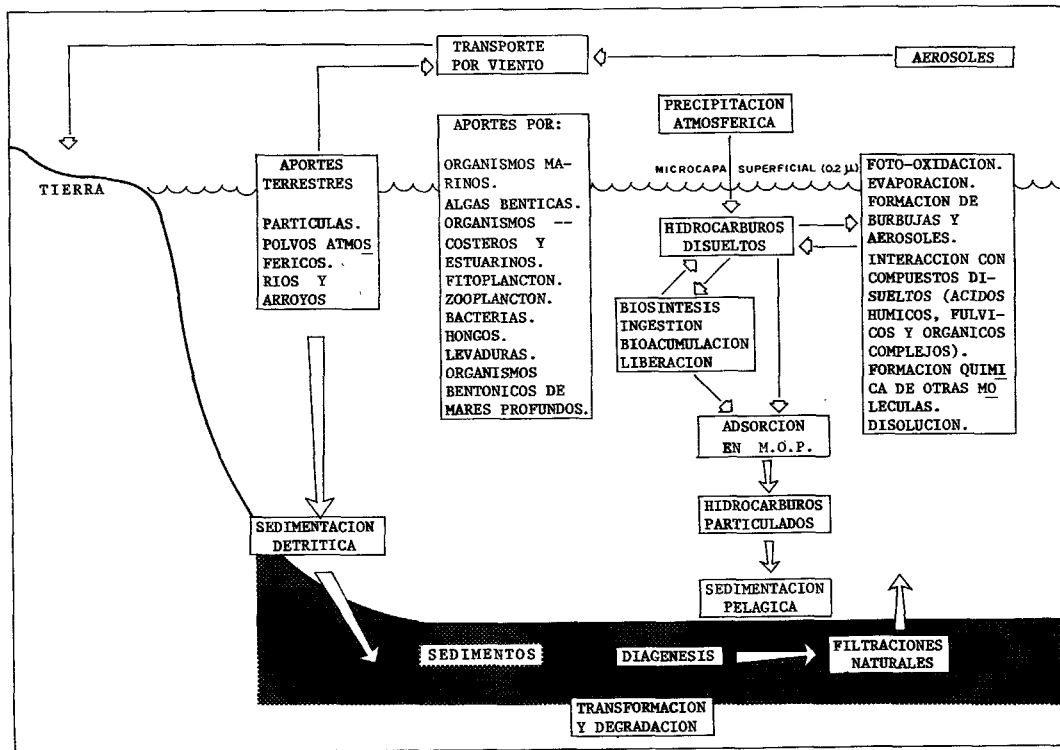


FIG. 1. PRINCIPALES PROCESOS INVOLUCRADOS EN EL DESTINO DEL PETROLEO EN EL MAR.

misma que se dispersa por acción del oleaje, los vientos y las mareas. Sobre esta película actúan factores físicos, químicos y biológicos que resultan en la pérdida por las siguientes razones:

1. Evaporación (Sivaider y Mikolaj, 1973).
2. Emulsificación (Berridge et al., 1968; Mackay et al., 1973).
3. Disolución de las fracciones ligeras (Boylan y Tripp, 1971).
4. Adsorción sobre materia orgánica particulada (Meyers y Quinn, 1973).
5. Hundimiento de residuos no flotantes (Meyers y Quinn, 1973).
6. Acción de los microorganismos.

Así, el destino final de los hidrocarburos depende particularmente de la forma como éstos se descarguen. Por ejemplo, cuando se liberan como productos de lastre de un buque petrolero alcanzan la columna de agua como una fase separada, la cual no puede disolverse por su composición y viscosidad, aun cuando de inmediato comienza a sufrir los efectos de permanecer a la intemperie por el influjo de factores ambientales como luz, radiación solar, temperatura, viento, acción de las olas y corrientes.

Durante esta fase, la evaporación de las fracciones solubles hacia la atmósfera es el proceso modificador de mayor importancia, en tanto que los procesos químicos y biológicos son secundarios. La evaporación puede aumentar en presencia de vientos fuertes; de esa manera, también se incrementará la densidad del petróleo descargado. Esto último y la adsorción del mismo material particulado provocan una sedimentación de los hidrocarburos.

En aguas costeras (particularmente en áreas estuarinas, donde la marea ejerce una influencia considerable), la deposición de productos del petróleo tiene un alto índice de sedimentación, pues aquéllos se mezclan con grandes cantidades de partículas en suspensión, removidas constantemente por

los ciclos mareales. Se advierte entonces que el asentamiento de partículas se presenta con una mayor rapidez en las aguas dulces que en las salobres y las marinas. Consecuentemente, en los estuarios con una baja salinidad y una importante influencia de la marea, los hidrocarburos adsorbidos a partículas sedimentarias se dispersarán mejor.

Cambios químicos importantes aparecen como resultado de la degradación por microorganismos (Zobell, 1971; Erhardt y Blumer, 1972) y por procesos como la oxidación fotoquímica en la atmósfera (Berridge *et al.*, 1968). Así, a través de la oxidación, un número importante de compuestos puede ser removido del petróleo. Sin embargo, sobre el papel cuantitativo de las reacciones químicas de oxidación los distintos autores no ofrecen cifras idénticas: Hansen reporta una tasa de descomposición para petróleos crudos libios de 0.7 por día cuando se mantienen a temperaturas de 26 ° C y se irradian con longitud de onda de 200 nm. Freegarde y Hatchett (1970) registran la descomposición de una mancha de petróleo de 2.5 um en 100 horas. Por lo tanto, suponiendo que en áreas tropicales existen en promedio 10 horas de intensidad luminosa por día, la fotólisis puede desencadenar reacciones de oxidación para descomponer el petróleo crudo en muy corto tiempo; y, una vez iniciada la descomposición, la formación de ácidos carboxílicos o fenólicos incrementa la solubilidad, la tasa de emulsificación y, en cierto sentido, la biodegradación.

Por lo tanto, la degradación microbiana es el proceso más importante para la transformación y descomposición de los petróleos crudos, una vez que la evaporación ha cesado. Se sabe que muchos microorganismos son capaces de degradar compuestos de petróleo, y este proceso puede ser más eficiente en las zonas costeras, gracias a la mayor disponibilidad de sustancias nutritivas y fuentes de carbono.

Estudios de laboratorio demuestran que a los hidrocarburos, ya sea en estado gaseoso o en complejos sólidos, los utilizan y transforman algunos microorganismos bajo condiciones apropiadas. Sin embargo, los mecanismos y la tasa de degradación son diferentes según los diversos tipos de petróleos, de acuerdo con las respectivas propiedades y composición. En cuanto a los constituyentes, se conoce que los compuestos saturados se oxidan más rápidamente (por acción de muchas más especies de microorganismos) que los aromáticos. No sucede lo mismo con los fenoles y cresoles, los cuales ejercen

una acción bactericida o bacteriostática sobre muchos microorganismos.

Hoy se conocen más de 90 especies de microorganismos capaces de degradar petróleo; entre las especies más activas podemos citar: *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Serratia*, *Sarcina*, *Penicillium* y *Aspergillus*.

Durante la degradación y transformación del petróleo por microorganismos, se forman numerosos compuestos intermedios, como alcoholes, ácidos y derivados aromáticos; todos ellos pueden bloquear los procesos de quimiotaxis de la biota marina (Mitchell *et al.*, 1972; Zafirou, 1972). Asimismo, muchos de estos productos -como cetonas, peróxidos, sulfóxidos y alcoholes- son solubles en la columna de agua y de esta manera se remueven del petróleo flotante o particulado y se transportan por corrientes o se *lixivian* hacia otros sitios, donde pueden ejercer efectos nocivos por obra de su toxicidad.

De manera general, el rango de degradación de los petróleos crudos y aceites lubricantes oscila entre 0.2 y 2.0 $\text{g/m}^2/\text{día}$ a una temperatura ambiente de 24 a 30°C. Así, en un periodo de varias semanas o meses ocurre la degradación de la mayor parte de los n-alcanos; mientras tanto, las fracciones más resistentes (como la de los aromáticos) pueden requerir de años o décadas. Esto último se acentúa en ambientes costeros y estuarinos de baja energía, como los pantanos, donde la acción de los vientos y la energía de las olas son limitadas (Owens, 1978; Macko *et al.*, 1981; Botello y Castro, 1980).

Sin embargo, y a pesar de la pérdida por factores físicos y las transformaciones químicas, en su gran mayoría los componentes del petróleo permanecen inalterados en el medio marino y se dispersan y consumen por el plancton. De esta manera pasan a las cadenas alimenticias y llegan hasta organismos bentónicos, que los bioacumulan; o bien van a los sedimentos, donde permanecen por largo tiempo, pues la transformación y la degradación son muy lentas. En suma, hasta aquí se pueden enunciar las siguientes consideraciones generales:

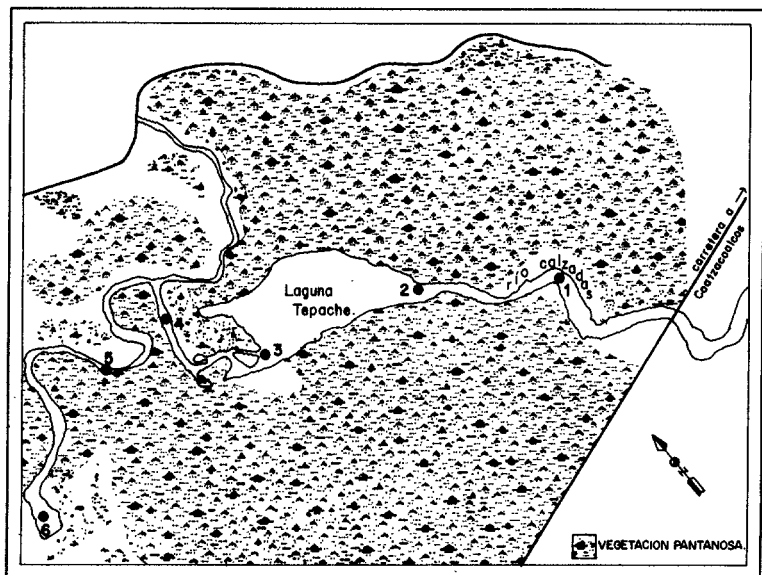
- a) Las áreas costeras y estuarinas reciben la mayor parte de los hidrocarburos vertidos al ecosistema marino por obra de actividades humanas.
- b) Estas áreas son más susceptibles y sensitivas a la contaminación por petróleo que las áreas de océano abierto.

- c) La zona costera es mucho más productiva que las oceánicas localizadas en la misma latitud; de ahí se desprende su considerable importancia económica,
- d) Los componentes volátiles del petróleo son por lo general más tóxicos que los no-volátiles.
- e) Los componentes volátiles son generalmente menos persistentes en las áreas costeras que los no-volátiles.
- f) Las condiciones climáticas influyen grandemente en el rango de degradación del petróleo, así como en sus efectos biológicos.
- g) No obstante los avances tecnológicos, aún no existen mecanismos de limpieza y recuperación del petróleo totalmente eficientes cuando éste se vierte o derrama en zonas costeras.

2. Metodología

Para efectuar el análisis de hidrocarburos del petróleo presentes en los sedimentos del río Calzadas, se fijó una red de estaciones, que se muestreó en noviembre de 1985 y marzo de 1986 (figura 2). En cada estación se colectaron los sedimentos recientes, empleando una draga Van Veen de 2 litros de capacidad. Una vez, colectadas, las muestras de sedimento se almacenaron en frascos de vidrio previamente tratados con metano) y se conservaron en congelación hasta su posterior análisis en el Laboratorio de Contaminación Marina del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.

La determinación de hidrocarburos en sedimentos se realizó según la metodología descrita por Botello en 1978 (figura 3). Para el análisis de las muestras se empleó la técnica de la cromatografía de gases, con el auxilio de columnas capilares en un cromatógrafo Hewlett-Packard modelo 5890. El se efectuó antes y después de la adición de un estándar interno de n-parafinas desde C_{14} hasta C_{34} , además de los isoprenos, del pristano y del fitano. La abundancia de cada componente se determinó por el área correspondiente que éstos ocuparon bajo cada cromatograma. Para ello se usó un integrador



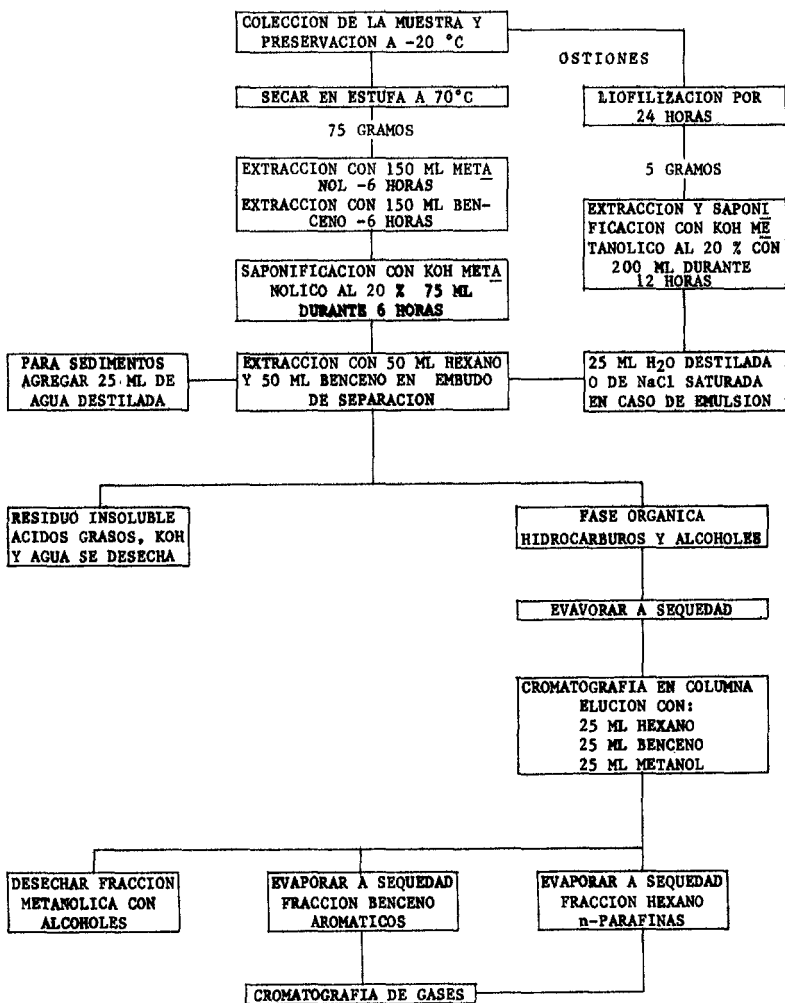


FIG. 3. TECNICA PARA EXTRACCION DE HIDROCARBUROS EN SEDIMENTOS Y OSTION (Botello, 1980).

columna de cobre granulado Baker de 20-30 mallas. En el proceso de eliminación, el cobre se activa con ácido clorhídrico al 50% en punto de ebullición; finalmente, se lava con agua destilada. Se utilizan columnas de 5 cm de largo y 0.5 cm de ancho, y la elución se efectúa con 12 ml de hexano; por último, se evapora la muestra a un volumen de 3 ml con una corriente de aire.

Purificación por cromatografía en columna

Posteriormente, los extractos de sedimento, ya libres de sulfuros y concentrados en 3 ml, quedan listos para purificarse en columnas de alúmina de 2 gramos, que se ha desactivado parcialmente al 5% con agua destilada. La alúmina se purificó previamente en una mufla Blue M a 800°C, durante dos horas. La elución se hace con 12 ml de hexano, y una vez más se evapora 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 sílice de 3 g, que previamente se desactivó al 5% con agua destilada. La sílice se purificó anteriormente a 600 °C durante dos horas, en una misma clase de mufla. La elución se hizo con 12 ml de hexano. La concentración de las fracciones saturada y aromática, así como la concentración total de los hidrocarburos, se realizaron también por el método gravimétrico.

Composición isotópica del carbono

Para la determinación de la composición isotópica del carbono, las muestras se trataron con HCl 0.2 N, para eliminar la presencia de los carbonatos; se siguió el método descrito por Craig (1953). Las muestras se mezclaron con CuO y se quemaron en un horno Leco a 600°C, en presencia de oxígeno puro a 800 mm de Hg de presión. Los productos de la combustión se retuvieron en un tubo de vidrio sumergido en nitrógeno líquido, que luego se recicló sobre MnO a 500 °C.

El C₁ purificado se analizó en un espectrómetro de masas Micromass 602E, V.G. Micromass, LTD, utilizando como estándar gráfico NBS = -21 0100.

Composición isotópica del nitrógeno

A fin de pasar del nitrógeno combinado al gaseoso se empleó el método de Dumas. Este consiste en la oxidación completa de todos los materiales orgánicos presentes en los sedimentos y en la reducción del nitrógeno oxidado, empleando para ello una mezcla de cobre y óxido cúprico. Los óxidos de nitrógeno se reducen hasta su forma gaseosa a través del contacto del cobre metálico. Como en el carbono, los sedimentos se acidificaron con ácido clorhídrico al 50% y se llevaron a combustión total a 900°C durante una hora. El gas nitrógeno desprendido de esta combustión se colecta por 10 minutos en una trampa de nitrógeno líquido. El gas se analiza por su composición isotópica, para lo cual se emplea un espectrómetro de masas THN 204 Nucleide Inc.; como estándar se utiliza nitrógeno atmosférico con una composición isotópica 0.00 oloo.

Se repitieron los experimentos a fin de establecer valores confidenciales del método, con una reproductibilidad de aproximadamente + 0.1 o/oo.

3. Resultados

Los sedimentos como dispositivos de vigilancia de la contaminación

Con base en los numerosos casos de estudio y en aquellos registrados principalmente por Forstner y Wittman (1979), se acepta de manera general la utilidad de los sedimentos marinos o sus propiedades texturales o sus componentes químicos para localizar, evaluar y cuantificar en tiempo y espacio la magnitud y la dispersión de contaminantes en ambientes estuarinos costeros y oceánicos.

Sin embargo, el desarrollo de modelos predictivos de vigilancia de contaminantes a partir de la geoquímica sedimentaria depende en gran medida de la capacidad humana para interpretar la interacción entre complejas variables ambientales. En los últimos veinte años, varios estudios intentan de hecho comprender los factores físico-químicos que controlan la disposición y el destino de sustancias de origen natural o antropogénico; aquéllos se apoyan principalmente en minucias técnicas analíticas, útiles para la determinación precisa

de constituyentes inorgánicos y orgánicos presentes en sedimentos.

Sus características geoquímicas hacen de los sedimentos un valioso dispositivo de vigilancia frente a problemas de contaminación; pues tales sedimentos constituyen el más grande y estable depósito y recurso para la existencia de una amplia variedad de elementos orgánicos e inorgánicos en el ambiente marino.

Así, por ejemplo, los constituyentes de los sedimentos marinos representan material que en sus fases disueltas y particuladas provienen de los recursos terrestres, atmosféricos y oceánicos. De igual manera, los métodos selectivos físico-químicos se han perfeccionado hasta el punto de que es posible la partición de compuestos orgánicos e inorgánicos en aportes detríticos y no-detríticos. Esto permite deducir las vías de entrada y el destino de los elementos, así como la biodisponibilidad y toxicidad de los mismos hacia la biota.

Generalmente se acepta que las fases detríticas llegan a los sedimentos en forma de partículas sólidas y que la concentración de un metal en esta fracción se deriva de sus características, de su estado de oxidación, de la cantidad de minerales sulfurosos que contenga y finalmente de sus compuestos insolubles. Estos minerales se transportan como partículas de grano fino y se depositan con otro material detrítico de tamaño y rango sedimentario semejantes. Una excepción se presenta cuando materiales ricos en metales -como los provenientes de los desechos mineros e industriales- se descargan directamente en las áreas estuarias o en la plataforma continental, dentro de ambientes sedimentarios fuera de equilibrio ante la textura y las propiedades del material de desecho. Estos aportes "no-detríticos" constituyen usualmente la porción biogeoquímica más pequeña y más importante de los sedimentos. También se considera que los contaminantes reales o potenciales en esta fase son más fácilmente disponibles hacia la biota y constituyen su más grande peligro letal o subletal cuando se presentan en altas concentraciones. Esto último ocurre particularmente cuando los contaminantes aparecen en formas químicas que los organismos puedan remover selectivamente y bioconcentrar, tanto en los sedimentos como en la materia particulada existente en la columna de agua.

Los principales rasgos físico-químicos que convierten a los

sedimentos en dispositivos para la vigilancia de la contaminación son los siguientes:

- 1) Se hallan en sitios apropiados para la colección o deposición de contaminantes: en su mayoría, las áreas industrializadas del mundo se asientan en las márgenes costeras y a lo largo de los principales ríos, y la mayor parte de los aportes antropogénicos en forma disuelta o particulada llegan a los océanos a través de los ríos o descargas oceánicas. Los puntos de entrada al ambiente marino son usualmente los estuarios, que así se convierten en los principales receptáculos para desechos sólidos o líquidos de fuentes industriales, domésticas o agrícolas.

Según observaciones científicas, complejos procesos biogeoquímicos afectan la conducta de los contaminantes cuando entran en contacto con el medio estuarino (figura 1). En la práctica, una amplia variedad de las sustancias que entran a los estuarios, incluidos contaminantes reales o potenciales, se asocia con materia particulada de grano fino, de tal manera que su conducta y su destino se determinan por la dinámica sedimentaria. Esto es particularmente importante para sistemas estuarinos como los pantanos, regidos principalmente por el aporte antropogénico y el rango de mareas,

- 2) Así, bajo condiciones apropiadas, los sedimentos o ciertas fracciones texturales de los mismos pueden emplearse como dispositivos de vigilancia para la contaminación. Por su parte, la deposición de constituyentes naturales o antropogénicos que con el tiempo se han mezclado, nos proporcionan, con la ayuda de núcleos de sedimentos fechados, una historia geocronológica de aportes antropogénicos. En ciertas circunstancias, los datos del núcleo nos auxilian para la evaluación de la respuesta a lo largo del tiempo de un ambiente particular a cierto tipo de contaminación, así como la variación de la misma conforme al volumen del aporte,
- 3) Mediciones cuidadosas de algunos constituyentes asociados a los sedimentos nos pueden proveer de sistemas de alarma frente a niveles peligrosos de contaminación, antes de que se tornen evidentes los cambios en la con-

centración de los contaminantes o en la biología de las especies que habitan esas áreas,

- 4) Los sedimentos son el hábitat natural y la fuente alimenticia para muchas especies de organismos, las cuales pueden ser afectadas de manera directa por efectos de la contaminación.

Por ello, en contraste con el empleo de la biota como sistema de vigilancia para problemas de contaminación, los sedimentos ofrecen las siguientes ventajas:

- a) Nos proveen de información más precisa sobre la distribución local o regional de contaminantes y su fuente de aporte hacia el medio marino,
- b) Son el mejor medio para asegurarnos de datos susceptibles de compararse en un amplio intervalo de tiempo y de condiciones, especialmente en áreas con fuertes variaciones ambientales y biológicas, como los estuarios.
- o) Proporcionan muestras más adecuadas y más fáciles de reproducir, analizar e interpretar que la biota, gracias a su amplia variabilidad en composición de especies y su gran dependencia ante la fisiología y la dinámica de la población. Igualmente, los niveles de muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en sedimentos son más fáciles de determinar e interpretar que los presentes en la biota o la columna de agua.

Sin embargo, una revisión crítica del empleo de los sedimentos como sistemas de vigilancia, revela algunos problemas y desventajas:

- a) Los niveles de contaminantes reales o potenciales en los sedimentos son algunas veces el fruto de una compleja interacción y transformación, previas al momento en que el contaminante se incorpora finalmente a los sedimentos,
- b) En algunas áreas, la alternativa entre la deposición y la erosión de los materiales sedimentarios origina una fragmentación en el registro geológico. De igual manera, en

áreas de alta deposición (como los pantanos) la mezcla biológica o "bioturbación" puede enmascarar la historia deposicional de los contaminantes.

- c) Los sedimentos generalmente no concentran contaminantes en el mismo grado con que lo hace la biota; de esa manera, algunas veces resulta difícil determinar o detectar aportes antropogénicos a cierta distancia de su fuente de origen.

Hidrocarburos en sedimentos

Procesos físicos, químicos y biológicos contribuyen considerablemente a remover muchos constituyentes del petróleo cuando éste se derrama o vierte en áreas costeras. Después de una rápida evaporación y de la pérdida de las fracciones ligeras, en su mayor parte el petróleo permanece en la columna de agua o en sedimentos, sujeto a la degradación microbiana y a otros procesos, en general lentos. Por consecuencia, y con la ayuda de procesos sedimentarios, casi todo el petróleo tiene como destino final los sedimentos. Este fenómeno es más agudo en los estuarios y otras áreas costeras someras, donde es baja la acción de las olas y, en cambio, es alta la tasa de sedimentación.

La degradación microbiana del petróleo es mucho menor en los sedimentos que en la columna de agua, y a esto contribuyen varios factores: cuando el petróleo se derrama en la columna de agua presenta un área superficial grande, con lo cual se facilita el ataque microbiano, mientras que en los sedimentos se acumula como una delgada película o membrana con una área superficial mucho menos efectiva; esto último reduce la velocidad de biodegradación. Por lo demás, la parte superior de la membrana sedimentaria es un área altamente dinámica; gracias a ello y a la intensa actividad de la epifauna y la infauna del fondo, la parte superior de los sedimentos se mezcla constantemente, proceso denominado "bioturbación". Como fruto inmediato del mismo, el petróleo se incorpora paulatinamente a los sedimentos, donde el rango de degradación decrece considerablemente a causa de la reducida actividad bacteriana. Consecuentemente, los sedimentos actúan como reservorios de los desechos petroleros y de otros contaminantes.

De igual manera, en sitios con una incesante actividad petrolera, como el área Coatzacoalcos-Minatitlán, el aporte de las descargas petroleras hacia los sedimentos excede considerablemente al proceso de degradación microbiana y da como resultado una acumulación paulatina de estos productos en la columna sedimentaria. Esto se advierte por las elevadas concentraciones de los hidrocarburos cuando se analizan núcleos de sedimentos (Blumery Sass, 1972; Rudling, 1976; Macko *et al.*, 1981; Botello y Macko, 1984).

En estudios sobre este fenómeno se encontró que petróleos crudos del tipo Bunker C y N° 2 Fuel Oil, derramados en sedimentos de marismas y pantanos, persistieron sin alteración en los sedimentos durante periodos de más de dos años.

También resalta la tenaz persistencia de hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAH) en ambientes estuarinos, principalmente en las marismas. Así lo señalan los estudios de contaminación por petróleo en sistemas acuáticos. A su vez, los análisis químicos de los sedimentos ofrecen una poderosa herramienta para evaluar con precisión el grado de contaminación. En suma, según la forma como el petróleo alcance al sedimento, éste se hará presente en forma de una película o membrana, o bien en pequeñas partículas. Si los desechos de petróleo se presentan en gran escala -como en los pantanos de Coatzacoalcos-Minatitlán, donde por más de 50 años se han depositado hidrocarburos sin ningún tratamiento- su destino e intemperismo depende de factores como el tiempo y la duración de la descarga o derrame, como los cambios en la dirección y la velocidad de las corrientes costeras, las mareas y el viento.

El petróleo y sus componentes pueden permanecer en los sedimentos durante largos periodos gracias a la lentitud de la biodegradación; en ello tiene particular importancia la presencia de compuestos aromáticos, cuyos efectos son nocivos para la biota y la salud pública. Estudios sobre el comportamiento de hidrocarburos aromáticos en sedimentos intermareales de la bahía Buzzards (Teai *et al.*, 1978) reportan un decremento rápido en concentración según el tiempo que tardan las fracciones de los naftalenos (Trimetil naftalenos) y los fenantrenos; en cambio, los compuestos con moléculas más complejas permanecen por largos periodos. Así lo observó Mayo *et al.* (1978) en sedimentos intermareales afectados por el derrame del buque-tanque "Arrow", donde los compues-

tos se identificaron sin ninguna alteración seis años después del derrame. Estos autores también señalan que el intemperismo físico del petróleo por procesos de evaporación y disolución durante la descarga o el derrame y el tiempo de sedimentación, se determina en gran medida por la distribución de los hidrocarburos en el sedimento; asimismo, una vez incorporados a éste, permanecen sin alteración durante unos cinco años.

Los hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAH) parecen hallarse ampliamente distribuidos en el mar, así como en los sistemas fluviales y en los sedimentos. La presencia de estos compuestos en organismos acuáticos se atribuye principalmente a derrames de petróleo y a descargas de plantas petroquímicas, pero el transporte atmosférico y los aportes terrígenos son también fuentes importantes de tales compuestos orgánicos (Zobell, 1971). En la actualidad existe una amplia bibliografía sobre los niveles de PAH en organismos marinos, y se concede especial atención a los considerados como carcinógenos potenciales (NAS, 1975).

La evaluación de los niveles de PAH en organismos marinos, principalmente bivalvos, atrae la atención de muchos investigadores, quienes encuentran en tales niveles una herramienta útil en la determinación del estado de las áreas costeras, principalmente en cuanto a la contaminación orgánica (Farrington y Quinn, 1973; Farrington, 1973). Asimismo, en años recientes se ha puesto especial atención a los posibles efectos que sobre la salud del hombre y de otros organismos pueden tener los contaminantes orgánicos (sobre todo hidrocarburos aromáticos), liberados en el medio ambiente como una consecuencia de las actividades humanas.

Los PAH se forman con dos o más anillos bencénicos fusionados, cuya disposición espacial es causa de su número elevado. Estos hidrocarburos difieren de los anillos aromáticos por el número y las posiciones.

Las características físicas y químicas de los PAH varían de acuerdo a su peso molecular; así, la resistencia a la oxidación y la reducción tiende a decrecer con el incremento del peso molecular. Como una consecuencia de estas diferencias, los PAH de diferente peso molecular varían sustancialmente en su conducta y distribución en el medio ambiente; también difieren sus efectos sobre los sistemas biológicos.

En la tabla 1 se anotan las concentraciones promedio de los

TABLA 1

CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS FOSILES PRESENTES EN SEDIMENTOS RECIENTES DEL RIO CALZADAS, VERACRUZ; MEXICO. (METODO GRAVIMETRICO, PPM PESO SECO)

ESTACION	NOVIEMBRE DE 1985			MARZO DE 1986		
	SATURADOS	AROMATICOS	TOTALES	SATURADOS	AROMATICOS	TOTALES
1	91	68	159	163	60	223
2	33	24	57	131	85	216
3	45	24	69	71	15	86
4	134	78	212	76	17	93
5	337	158	495	125	56	181
6	111	40	151	135	54	189
24 hrs	29	32	61	107	24	131
Espejo 1	106	102	208	61	16	77
PROMEDIO	111	66	176	109	41	149

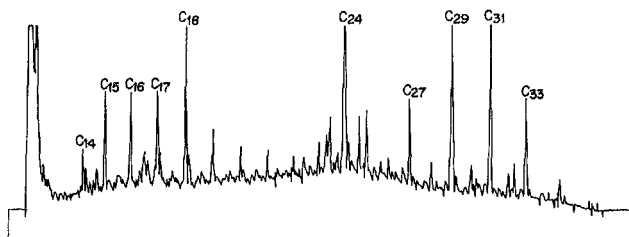


FIG. 4 CROMATOGRAMA DE LA DISTRIBUCION DE N-PARAFINAS EN SEDIMENTOS RECIENTES DEL RIO CALZADAS, VERACRUZ - (Estación 1, Marzo de 1986).

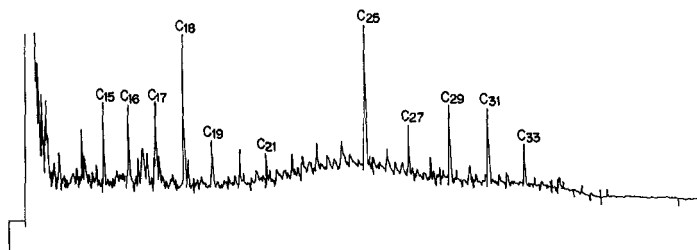


FIG. 5 CROMATOGRAMA DE LA DISTRIBUCION DE N-PARAFINAS EN SEDIMENTOS RECIENTES DEL RIO CALZADAS, VERACRUZ - (Estación 2, Marzo de 1986).

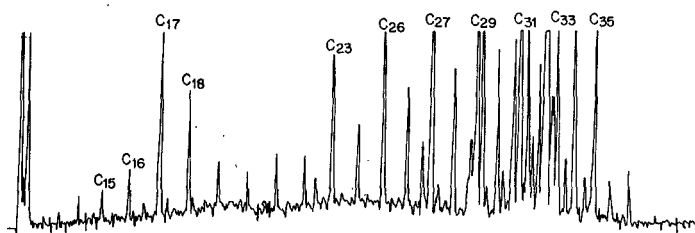


FIG. 6 CROMATOGRAMA DE LA DISTRIBUCION DE N-PARAFINAS EN SEDIMENTOS RECIENTES DEL RIO CALZADAS, VERACRUZ - (Estación "Espejo", Noviembre de 1985).

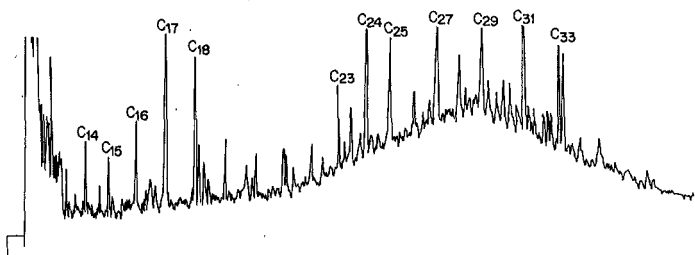


FIG. 7 CROMATOGRAMA DE LA DISTRIBUCION DE N-PARAFINAS EN SEDIMENTOS RECIENTES DEL RIO CALZADAS, VERACRUZ - (Estación 5, Noviembre de 1985).

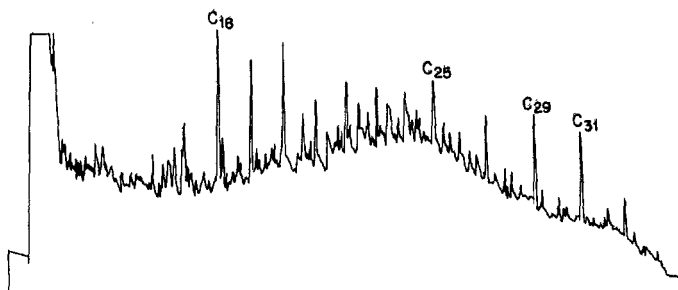


FIG. 8 CROMATOGRAMA DE LA DISTRIBUCION DE N-PARAFINAS EN SEDIMENTOS RECIENTES DEL RIO CALZADAS, VERACRUZ (Estación 2, Noviembre de 1985).

TABLA 2

RELACIONES DE HIDROCARBUROS SATURADOS PRESENTES EN SEDIMENTOS RECIENTES DEL RIO CALZADAS, VERACRUZ; MEXICO.

E S T A C I O N	C ₁₇ /PRIST	C ₁₈ /FIT	PRIST/FIT	C ₁₇ /C ₁₈	C. P. I.	CONCENTRACION PPM, PESO SECO (METODO GRAVIMETRICO)	CONCENTRACION PPM, PESO SECO (METODO CROMATOGRAFICO)
2 (Noviembre, 1985)	3.75	4.61	0.61	0.50	1.59	33	0.40
3 (Noviembre, 1985)	3.50	5.00	0.50	0.35	0.53*	45	4.85
5 (Noviembre, 1985)	12.00	2.34	0.47	2.40	1.49*	337	29.30
Espejo (Nov., 1985)	21.33	6.06	0.75	2.64	1.98*	106	38.50
1 (Marzo, 1986)	2.25	4.85	1.23	0.57	1.21	163	7.40
2 (Marzo, 1986)	2.43	5.33	1.17	0.53	0.82*	131	2.70
5 (Marzo, 1986)	4.14	2.89	0.78	1.11	0.92*	125	6.62
24 hrs (Marzo, 1986)	2.50	4.50	1.17	0.65	1.09*	107	6.30

CPI = C₂₀ - C₃₂OPI * = C₁₂ - C₂₀

lavado y la actividad biológica en los sedimentos (bioturbación), retornan pequeñas concentraciones a la columna de agua; otra parte es fácil y rápidamente acumulada por la biota a niveles mucho mayores que cuantos se encuentran en el medio circundante (bioconcentración y biomagnificación). De esa manera, las concentraciones relativas más altas de PAH se localizan en los sedimentos; los niveles intermedios, en la biota; y las más bajas, en la columna de agua.

Las principales causas de la remoción y movilización de esos compuestos en el ambiente marino son, entre otras, la volatilización, la foto-oxidación, la oxidación química, la actividad microbiana y el metabolismo de organismos superiores, como algunos invertebrados y peces. La concentración de PAH, sobre todo la del benzo-a-pireno (BaP), se ha determinado en sedimentos marinos y dulceacuícolas, principalmente en Europa, y exhibe un amplio espectro de valores. Los ríos que fluyen a través de áreas densamente pobladas o con alta actividad industrial contienen por lo general altas concentraciones de PAH, solamente el benzo-a-pireno alcanza valores de 10-15 ppm (Mallet *et al.*, 1963).

Igualmente, los sedimentos marinos colectados cerca de áreas costeras y estuarios muestran una gran variabilidad en la concentración de esos compuestos, pero ésta es mucho mayor en sedimentos de áreas costeras densamente pobladas. Las concentraciones de PAH pueden variar por un factor de 1000 o más dentro de una misma bahía o estuario, principalmente a causa de los diferentes rangos de sedimentación y grados de anoxia en los sedimentos de una misma área.

Mallet *et al.* (1972b) también observaron que puede haber un comportamiento estacional de la concentración de PAH en los sedimentos: en su trabajo, efectuado en la bahía de St. Malo en Francia, las concentraciones más elevadas de BaP se presentaron en enero y febrero y las más bajas en junio; de ello concluyeron que esta variación estacional es el resultado del cambiante equilibrio entre la biosíntesis del BaP por sedimentos anaerobios con la degradación del BaP en sedimentos aerobios.

Hites *et al.* (1977) examinaron la distribución de PAH en tres secciones de un núcleo de sedimentos fechado correspondientes a tiempo de deposición de aproximadamente 1970, 1900 y 1850 de la bahía Buzzards en Massachusetts, y observaron que la distribución de los PAH ha permanecido relati-

vamente constante desde hace más o menos 125 años.

A su vez, las concentraciones de PAH permanecieron constantes entre 1900 y 1970, y fueron significativamente menores en 1850; los autores concluyen que la fuente de los PAH fue constante hasta 1850, pero se incrementó a partir de 1900. Análisis de la información histórica concerniente a los tipos y cantidades de combustibles fósiles empleados en el área, indicaron que el probable origen de tales PAH se debía a que los hombres los quemaban.

En apoyo a esta conclusión, Farrington *etal.* (1977) exponen que, en un núcleo de sedimentos de la misma área, las concentraciones de fenantreno y C_1 y C_2 -fenantreno decrecen conforme se incrementa la profundidad del sedimento, lo cual sugiere un origen pirolítico de tales PAH en la columna sedimentaria.




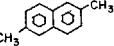



En la tabla 3, se anotan las concentraciones de PAH determinadas en los sedimentos del estuario del río Calzadas y del área de pantanos cercana a Minatitlán; adviértase que son notables los compuestos aromáticos del grupo de los naftalenos y sus metil derivados (C_1 , C_2 y C_3), sobre todo en las estaciones 4, 5 y Espejo, analizadas durante el muestreo de noviembre de 1985. Al 2,6 dimetilnaftaleno y al 1,3 dimetilnaftaleno correspondieron las concentraciones más altas en las estaciones mencionadas.







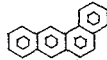
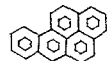
La presencia de naftalenos y sus metil derivados en muestras de sedimentos obedece entre otras causas a las siguientes:

- 1) La descarga de petróleo o sus desechos ha sido muy reciente.
- 2) Aunque la descarga no es reciente, la actividad microbiana se ve excesivamente rebasada por el volumen de petróleo y por su constancia, lo que de hecho sucede en esta área, donde los desechos de las plantas de refinación y petroquímicas se han introducido incesantemente desde hace más de 50 años.
- 3) Aunque la actividad microbiana sea grande y pueda efectuar una biodegradación eficiente, su efectividad se reduce drásticamente por la presencia y la descarga de otros compuestos orgánicos, como fenoles, polioles y alcoholes; éstos ejercen una acción bacteriana y bacteriostática de los microorganismos.

TABLA 3

CONCENTRACIÓN DE HIDROCARBUROS AROMATICOS POLINUCLEARES (PAH's) EN SEDIMENTOS RECIENTES DEL RIO CALZADAS, VERACRUZ; MEXICO.

C O M P U E S T O	F O R M U L A	N O V I E M B R E 1 9 8 5				M A R Z O 1 9 8 6		
		ESTACION 2	ESTACION 4	ESTACION 5	"ESPEJO"	ESTACION 2	ESTACION 5	ESTACION 24 HRS
Naftaleno		-	-	0.071	0.191	-	-	-
2, Metil-naftaleno		-	0.076	0.774	-	-	-	-
1, Metil-naftaleno		0.069	-	-	0.261	-	-	-
2, 6, Dimetil-naftaleno		-	0.279	0.542	0.231	-	-	-
1, 3, Dimetil-naftaleno		0.199	0.486	-	0.398	-	-	-
1, 5 + 1, 4 + 2,3 Dimetil-naftaleno		0.046	0.068	0.106	0.151	-	-	-
2, 3, 5, Trimetil-naftaleno		-	0.162	0.151	0.079	-	-	-

Dibenzotiofeno		-	0.029	-	-	-	-	-
Fenantreno		0.038	-	0.221	0.101	-	-	0.016
9, Metil-antraceno		-	-	-	0.300	-	-	-
Pireno		-	0.052	-	0.080	-	-	-
Fluoranteno		-	-	0.100	0.177	0.016	-	-
9, 10, Dimetil-antraceno		0.023	-	-	-	0.042	-	-
1, 2, Benzo-antraceno		-	-	-	-	-	-	0.518
Benzo (a) pireno		-	-	-	-	-	0.160	-
CONCENTRACION TOTAL $\mu\text{g}/\text{gr}$ (ppm peso seco).		0.413	1.153	1.971	1.973	0.058	0.160	0.535

Las concentraciones obtenidas en los sedimentos del río Calzadas son similares a las encontradas en la bahía de Nápoles en Italia por Boucart y Mallet (1965) y en la bahía de Saint Malo en Francia por Mallet (1967), aunque menores que las citadas por Giger y Blumer, 1974, tras estudiar la bahía de Buzzards, Massachusetts; pero son 4 veces más altas que las descubiertas recientemente por Larsen *et al.* (1986) en los sedimentos del Golfo de Maine, en los Estados Unidos. Asimismo, la presencia de los naftalenos alquil sustituidos en los sedimentos confirma que estos compuestos sólo pudieron introducirse al ambiente por descargas de petróleo o sus desechos, en tanto que la presencia de compuestos aromáticos con 4 ó 5 anillos (pireno, fluoranteno, benzoantraceno y benzo-a-pireno) es de origen pirolítico, tal vez a causa de la combustión de fósiles.

Las concentraciones de PAH en los sedimentos del río Calzadas exhiben un gradiente alto, y son mayores en las estaciones localizadas cerca de la descarga (5 y Espejo, con 1971 y 1973 ppb, respectivamente), y menores conforme se alejan de ellas. De igual manera, es notorio el comportamiento estacional que muestran las concentraciones de PAH: fueron en promedio tres veces más elevadas y con un mayor número de compuestos en noviembre de 1985 que en marzo de 1986. Tal degradación y el comportamiento estacional de las concentraciones de PAH concuerdan con lo escrito por Mallet *et al.* (1972), en torno a los sedimentos recientes de la bahía de Saint Malo en Francia.

Las figuras 9 a 12 corresponden a los cromatogramas de la fracción aromática, y se puede notar claramente en las estaciones 5 y Espejo, las más cercanas a las fuentes de emisiones, un mayor número de compuestos, sobre todo de aquellos correspondientes al grupo de los naftalenos y sus metil derivados, componentes característicos de petróleo crudo o con un grado de intemperismo o biodegradación muy bajo.

Con el fin de confirmar la anterior aseveración, muestras de sedimentos liofilizados de las estaciones estudiadas, se analizaron con la técnica de acople del detector selectivo de masas/cromatografía capilar. Dicho examen se hizo en los Laboratorios de Química Bio-orgánica del Centro de Investigación y Desarrollo en Barcelona, España. Durante dicho análisis se prestó especial atención a la posible presencia de indicadores geoquímicos de la contaminación por petróleo, como

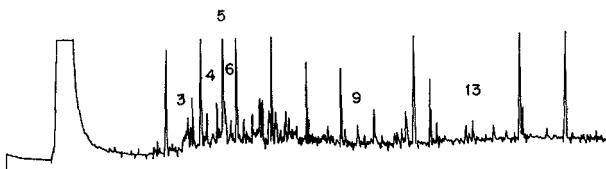


FIG. 9 CROMATOGRAMA DE LOS COMPUESTOS AROMATICOS PRESENTES EN SEDIMENTOS DEL RIO CALZADAS, VERACRUZ (Estación 2, Noviembre de 1985).

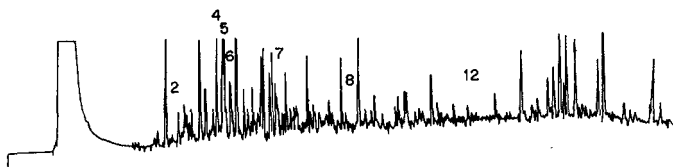


FIG. 10 CROMATOGRAMA DE LOS COMPUESTOS AROMATICOS PRESENTES EN SEDIMENTOS DEL RIO CALZADAS, VERACRUZ (Estación 4, Noviembre de 1985).

Tipo de compuestos:

- 1.- Naftaleno
- 2.- 2, Metil naftaleno
- 3.- 1, Metil naftaleno
- 4.- 2, 6 Dimetil naftaleno
- 5.- 1, 3 Dimetil naftaleno
- 6.- 1, 5+1, 4+2, 3 Dimetil naftaleno
- 7.- 2, 3, 5 Trimetil naftaleno
- 8.- Dibenzotiofeno
- 9.- Fenantreno
- 10.- 9, Metilantraceno
- 11.- Fluoranteno
- 12.- Pireno
- 13.- 9, 10, Dimetilantraceno
- 14.- 1, 2 Benzoantraceno
- 15.- Benzo (a) pireno

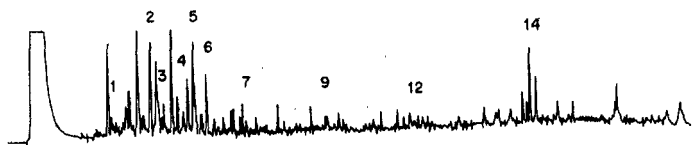


FIG. 11 CROMATOGRAMA DE LOS COMPUESTOS AROMATICOS PRESENTES EN SEDIMENTOS DEL RIO CALZADAS, VERACRUZ (Estación 5, Noviembre de 1985).

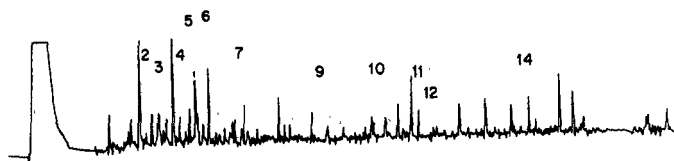
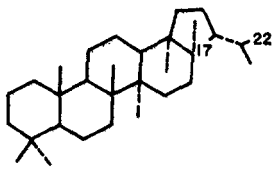


FIG. 12 CROMATOGRAMA DE LOS COMPUESTOS AROMATICOS PRESENTES EN SEDIMENTOS DEL RIO CALZADAS, VERACRUZ (Estación "Espejo" Noviembre de 1985).

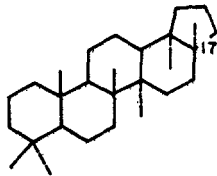
Tipo de compuestos:

- 1.- Naftaleno
- 2.- 2, Metil naftaleno
- 3.- 1, Metil naftaleno
- 4.- 2, 6 Dimetil naftaleno
- 5.- 1, 3 Dimetil naftaleno
- 6.- 1, 5+1, 4+2, 3 Dimetil naftaleno
- 7.- 2, 3, 5, Trimetil naftaleno
- 8.- Dibenzotiofeno
- 9.- Fenantreno
- 10.- 9, Metil antraceno
- 11.- Fluorantreno
- 12.- Pireno
- 13.- 9, 10 Dimetil antraceno
- 14.- 1, 2 Benzo antraceno
- 15.- Benzo (a) pireno

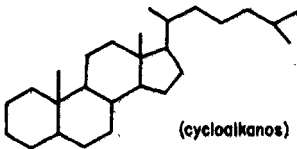


hopano

(cycloalkanos)

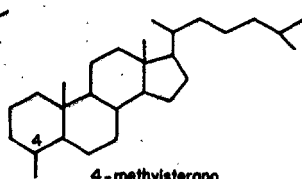


trisnorhopano.



Esterano

(cycloalkanos)



4-methylsterano.

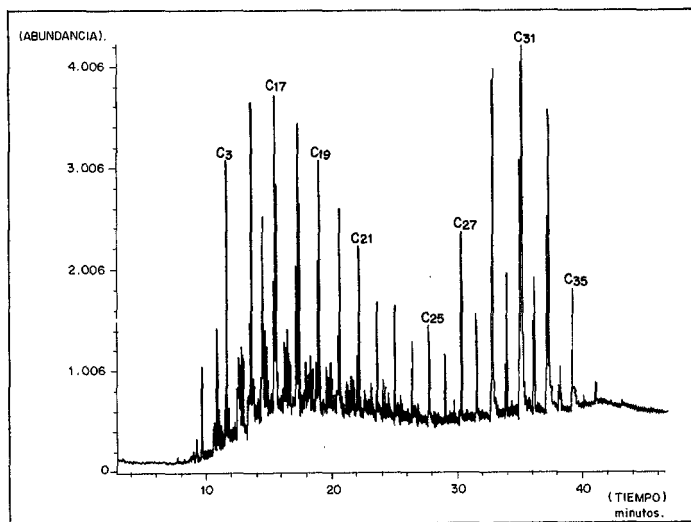


FIG. 13 CROMATOGRAMA DE LAS N-PARAFINAS PRESENTES EN LOS SEDI-
 MENTOS DEL RIO CALZADAS, VERACRUZ (Estación "Espejo, -
 Noviembre de 1985). OBTENIDAS POR EL DETECTOR SELECTIVO
 DE MASAS.

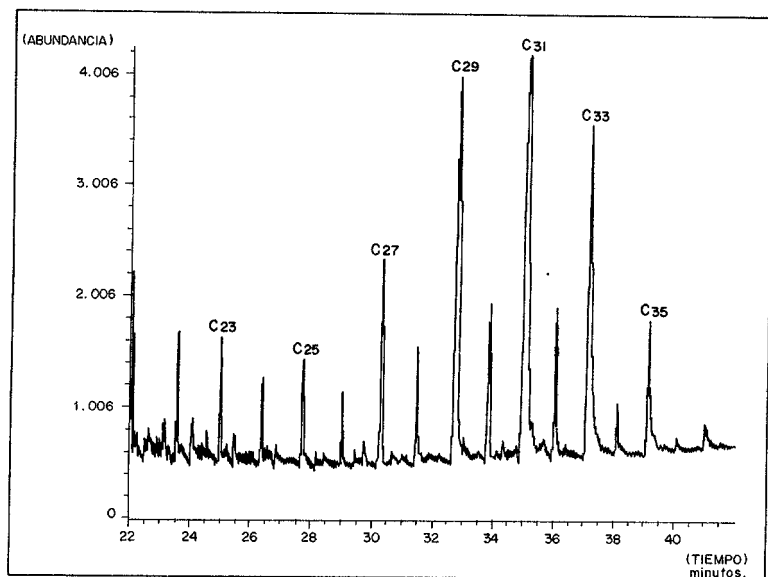


FIG. 14 FRAGMENTOGRAMA DE LAS N-PARAFINAS PRESENTES EN LOS SEDIMENTOS DEL RIO CALZADAS, VERACRUZ (Estación "Espejo" Noviembre de 1985). OBTENIDAS POR EL DETECTOR SELECTIVO DE MASAS.

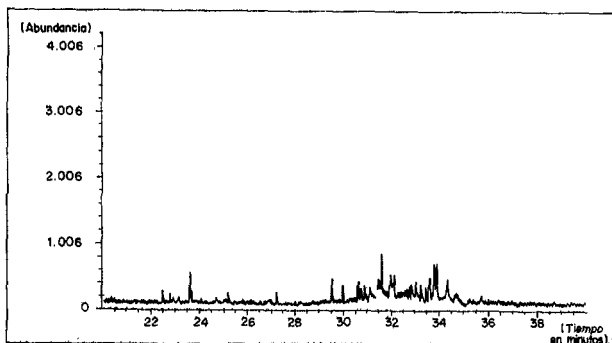
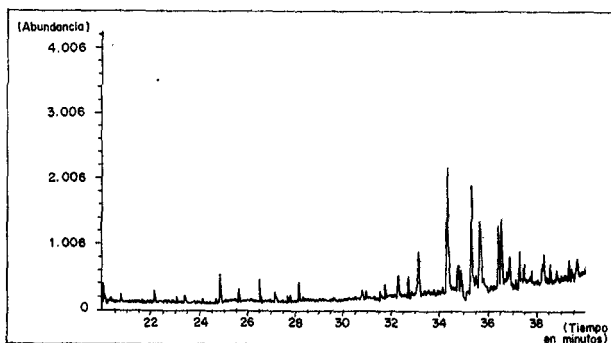
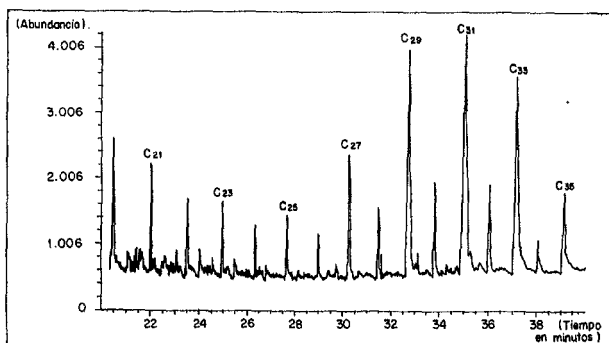


FIG. 15 FRAGMENTOGRAMAS DE LAS N-PARAFINAS Y LOS IONES 217 Y 191 QUE CORRESPONDEN A LOS ESTERANOS Y HOPANOS - PRESENTES EN LOS SEDIMENTOS DEL RIO CALZADAS, VERACRUZ (Estación "Espejo" Noviembre de 1985).

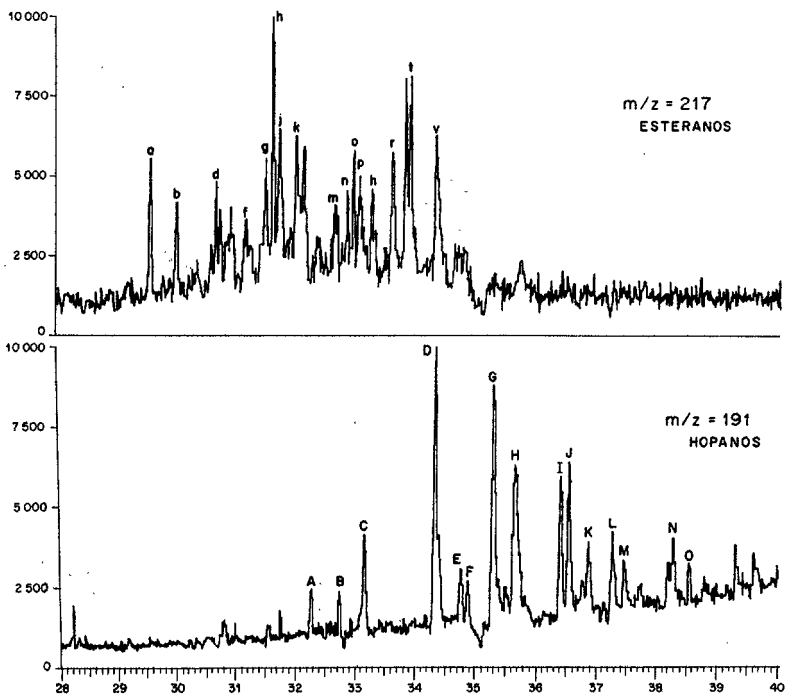


FIG. 16 FRAGMENTOGRAMA DE LOS IONES $M/Z=191$ Y $M/Z=217$ (HOPANOS Y ESTERANOS) PRESENTES EN LOS SEDIMENTOS DE LA ESTACION 5 DEL RIO CALZADAS, VERACRUZ, MEXICO.

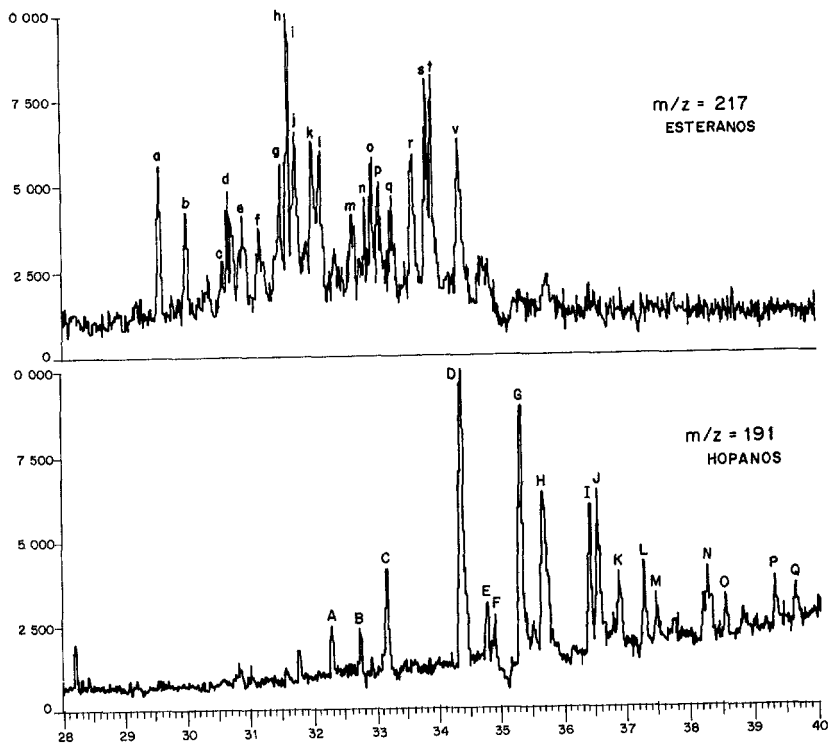


FIG. 17 FRAGMENTOGRAMA DE LOS IONES $M/Z=191$ Y $M/Z=217$ (HOPANOS Y ESTERANOS) PRESENTES EN LOS SEDIMENTOS DE LA ESTACION "ESPEJO" DEL RIO CALZADAS, VERACRUZ; MEXICO.

En cuanto a los compuestos presentes en los fragmentogramas (figuras 1 6 y 17), se identificaron los siguientes:

Esteranos

- a 1 3 (3, 1 7 a (H)-diacholestano 20S
- b 1 3 (3, 1 7 a (H)-diacholestano 20R
- 1 3 a, 1 7 /3 (H)-diacholestano 20S
- d 24-methyl-13 (3, 17 a (H)-diacholestano 20S
- 1 3 a, 1 7 /3 (H)-diacholestano 20R
- f 24-methyl-13 (3, 1 7 a (H)-diacholestano 20R
- g 5 eí, 1 4 a, 1 7 a (H)-cholestano 20S
- h 5a, 14(3, 17 (3 (H)-cholestano 20S
- i 24-ethyl-1 3 (3, 1 7 a (H)-diacholestano 20S
- j 5 a, 14 (3, 1 7 (3 (H)-cholestano 20R
- k 5 a, 14 a, 1 7 a (H)-cholestano 20R
- l 24-ethyl-1 3 (3, 1 7 a (H)-diacholestano 20R
- m 24-methyl-5 a, 14 a, 1 7 a (H)-cholestano 20S
- 24-methyl-5 a, 14 /3, 1 7_R (H)-cholestano 20S
- 24-methyl-5 a, 14(3, 1 7(3 (H)-cholestano 20R
- p 24-methyl-5 (3, 14 a, 1 7a (H)-cholestano 20R
- q 24-methyl-5 a, 14 a, 1 7 a (H)-cholestano 20R
- r 24-ethyl-5 a, 14 a, 1 7 a (N1-cholestano 209

- s 24-ethyl-5 et, 14 {3, 17 (3 (H)-cholestano 20S
- t 24-ethyl-5 a, 14 j3, 17 /3 (H)-cholestano 20R
- u 24-ethyl-5 a, 14 a, 17 a (H)-cholestano 20R

Hopanos

A 18'a (H)-22,29,30-trisnorhopano

B 17a(H)-22,29,30-trisnorhopano

C 17 0 (H)-22,29,30-trisnorhopano

- 17 a, 21 3 (H)-30-norhopano

E hop-17(21)-eno

F 17^{,13,} 21 a (H)-30-norhopano

- 17 a, 210 (H)-hopano

- isomero dei diplopteno (©astillung, 1976; Grimalt, 1983)

I 17 a, 21 (3 (H)-homohopano 22S

J 17 a, 21 /3 (H)-homohopano 22R

- gammacerane

L 17 a, 210 (H)-bishornohopano 22S

M 17 a, 21 (3 (H)-bishomohopano 22R

- 17 a, 210 (H)-trishomohopano 22S

- 17 a, 21_a (H)-trishomohopano 22R

- 17 a, 21(3 (H)-tetraquishopano 22S

- 17 a, 2'1 (3(H)-tetraquishopano 22R

La presencia y el tipo de esteranos y hopanos encontrados en los sedimentos del río Calzadas y en la estación Espejo concuerdan con la información expuesta por Jones *et al*, (1986) a propósito de los sedimentos superficiales contaminados por petróleo crudo de S. uljom Voe, en las Islas Shetland del Reino Unido. Los fragmentogramas obtenidos contienen triterpenos (hopanos) de origen biológico, así como provenientes del petróleo crudo. Por ejemplo, el mayor hopano de origen biogénico presente en los sedimentos analizados es el 17a (H) 21/3 (H) homohopano (pico I), pero también están presentes las series de $C_{32}-C_{34}$ hopanos del petróleo, con pares de diastereoisómeros C_{22} en proporción similar al petróleo crudo (picos K-L y N-0).

A pesar de que la proporción de esteranos es relativamente igual a la de hopanos en estas muestras, aun así el fragmentograma del ion MIZ = 217 muestra una clara huella de productos del petróleo. Esto se debe a que, a diferencia de los hopanos, los esteranos solamente están presentes en sedimentos contaminados (Mackenzie *et al*, 1982; Jones *et al*, 1986; Readman *et al*, 1986). Esto concuerda con la aseveración de que en el área de estudio, además de la introducción de hidrocarburos biogénicos, existe un aporte importante de petróleo crudo o sus derivados, los cuales no llegan a ser totalmente intemperizados o biodegradados por microorganismos y se depositan en los sedimentos superficiales; ahí pueden permanecer por largos periodos sin alteraciones notables en sus estructuras químicas (esto se demuestra con el análisis fragmentográfico y por medio del detector selectivo de masas acoplado a la cromatografía de gases).

Todo ello posee una singular importancia para la ecología: la introducción incesante de PAH en los ambientes estuarinos y, por ende, la nula biodegradación o el bajo intemperismo de tales compuestos (debido a la estabilidad de sus estructuras químicas) permite la acumulación gradual en los sedimentos recientes de dichos elementos y su bioacumulación en la biota circundante, como lo demuestran los estudios de Botello y Páez-Osuna (1986). Es evidente el consecuente riesgo para los organismos y para la salud de los pobladores de las áreas circunvecinas.

Proporción isotópica de carbono y nitrógeno

Composición isotópica del carbono

La medición de las variaciones en la composición isotópica del carbono ($S^{13}O/^{12}C$) se emplea como una herramienta de gran ayuda en diversas disciplinas científicas, como la geoquímica de los elementos, el estudio del origen del petróleo, la fisiología vegetal, la oceanografía. También es útil para determinar los hábitos alimenticios de los organismos en algunos ecosistemas naturales, así como para medir o indicar la contaminación orgánica (Craig, 1953; Silverman y Epstein, 1958; Abelson y Hoering, 1961; Degens, 1969; Calder, 1976; Fry, 1977; Botello y Macko, 1982).

Durante los últimos 25 años se han publicado numerosos trabajos sobre la abundancia relativa de los isótopos de algunos elementos químicos, principalmente el carbono, nitrógeno y azufre. El conocimiento de las variaciones de la abundancia relativa de los isótopos de un elemento en materiales orgánicos es provechoso para evaluar los ciclos geoquímicos y bioquímicos a través de los cuales pasa dicho elemento (Craig, 1953).

El carbono se ha empleado satisfactoriamente en este tipo de investigación, gracias a su importancia bioquímica y geoquímica, además de la relativa facilidad de la técnica analítica. Ahora bien, la proporción de los dos isótopos de carbono más abundantes ($S^{13}C/^{12}C$) es aproximadamente 0.01 (Wedepohl, 1970). Por razones técnicas los resultados de los análisis siempre se reportan en valores (delta), que equivalen a la desviación relativa por mil de la muestra, con referencia a un estándar (PDB Belemnita de Chicago, Craig, 1953) a partir de la siguiente fórmula:

$$\delta^{13}C_{\text{‰}} = \frac{(130/120)_{\text{muestra}} - (130/120)_{\text{estándar}}}{(130/120)_{\text{estándar}}} \times 1000$$

En su mayoría, los estudios sobre la composición isotópica del carbono orgánico en el medio marino se han hecho principalmente en sedimentos y organismos de regiones cercanas a la costa del Golfo de México, en especial aquella región perte-

TABLA 4

VALORES $\delta^{13}\text{C}$ (COMPOSICION DE CARBONO ISOTOPICO) PARA SEDIMENTOS
RECIENTES DEL BANCO DE CAMPECHE, MEXICO. (Julio, 1978 - Marzo, 1980).

ESTACION No.	C R U C E R O							VALOR ^{13}C
	OPLAC-1	OPLAC-2	OPLAC-3	OPLAC-4	OPLAC-5	OPLAC-6	OPLAC-7	PROMEDIO
1	-23.0	-22.7	-22.4	-22.5	-22.9	-22.3	-22.4	-22.6
2	-23.2	-23.3	-23.3	-23.1	-23.6	-23.0	-23.0	-23.2
3	-22.4	-22.1	-	-22.0	-	-	-	-22.1
4	-21.9	-19.7	-19.7	-19.9	-22.2	-20.8	-20.6	-20.6
5	-21.9	-19.9	-	-	-21.8	-21.0	-21.0	-21.1
6	-21.1	-21.1	-21.2	-	-21.7	-21.3	-21.0	-21.2
7	-21.4	-21.2	-	-21.3	-22.2	-	-	-21.5
8	-21.1	-20.2	-20.0	-20.6	-	-20.7	-20.3	-20.4
9	-23.0	-19.5	-19.8	-19.9	-19.7	-19.0	-19.0	-19.9
10	-21.2	-20.3	-20.0	-	-20.4	-20.2	-20.3	-20.4
11	-20.5	-20.9	-20.8	-	-20.1	-20.0	-20.3	-20.4
12	-19.8	-21.0	-26.2	-	-22.0	-	-22.0	-22.2
13	-21.9	-20.6	-25.0	-	-21.3	-21.2	-21.0	-21.8
14	-19.9	-19.7	-20.0	-	-20.2	-20.0	-20.2	-20.0
15	-19.8	-19.5	-19.8	-	-19.6	-	-19.2	-19.5
16	-21.7	-19.3	-19.8	-	-19.6	-19.0	-19.4	-19.8
17	-21.0	-18.2	-	-	-	-	-	-19.6
18	-20.9	-19.0	-20.1	-	-	-	-	-20.0
19	-20.7	-19.9	-19.4	-	-20.5	-20.3	-20.4	-20.2
20	-20.3	-	-20.1	-	-21.0	-	-21.3	-20.5
21	-21.2	-	-19.2	-	-20.3	-20.2	-19.8	-20.1
23	-	-20.5	-19.4	-	-19.4	-18.9	-19.0	-19.4
25	-	-20.2	-20.0	-	-	-	-	-20.1
27	-	-20.2	-23.3	-	-24.0	-	-	-22.5
29	-	-21.4	-22.1	-	-	-	-	-21.8
30	-	-21.8	-23.1	-	-	-	-	-22.4
32	-	-22.2	-23.2	-	-26.4	-	-	-23.9

reciente a los Estados Unidos, de la cual Sackett y Thompson (1963) reportan valores para $\delta^{13}\text{C}$ de -27 o/oo en sedimentos provenientes de ríos y de -19 o/oo en sedimentos oceánicos del Golfo de México. Este trabajo fue sin duda el primer estudio sistemático de la composición isotópica del carbono sobre sedimentos estuarinos de las costas de Alabama y Mississippi.

Parker (1964) anota datos de $\delta^{13}\text{C}$ en vegetación y organismos marinos, así como de material orgánico sedimentario [proveniente de Redfish Bay, Texas](#), con valores que van de -6 o/oo a -17 o/oo; en tanto que Calder (1971) encuentra valores para $\delta^{13}\text{C}$ de -19 o/oo a -20.5 o/oo en sedimentos de la plataforma continental desde el río Mississippi hasta el sureste de Florida.

Recientemente, Gearing *et al.* (1977) determinaron valores de $\delta^{13}\text{C}$ en sedimentos de la margen continental del Golfo de México, desde la desembocadura del río Mississippi hasta Veracruz.

Por lo general, la proporción del carbono isotópico tiende a mantenerse con valores muy constantes (Sackett, 1964), y cualquier alteración implica probablemente un cambio notable en la composición de la fuente del carbono orgánico.

De los diferentes reservorios naturales de carbono orgánico, el petróleo crudo y los gases naturales tienen los valores de $\delta^{13}\text{C}$ más negativos (Calder y Parker, 1968). En la mayoría de los petróleos, el $\delta^{13}\text{C}$ cae en el rango de -31.0 o/oo a -21.0 o/oo, en tanto que los gases naturales van de -47 o/oo a -32 o/oo. Los valores del material orgánico de origen terrestre se superponen con los registrados para el petróleo crudo y presentan un rango de -28 o/oo a -21 o/oo.

Puesto que el petróleo crudo tiene una composición isotópica de carbono muy característica y muy vinculada con los materiales orgánicos de aportes terrestres y marinos, su proporción isotópica ha sido de gran ayuda para estudios de exploración, formación o diagénesis del petróleo, así como un excelente indicador de la contaminación derivada del petróleo (Fuex, 1977; Silverman, 1967; Calder y Parker, 1968; Macko *et al.*, 1981; Botello y Macko, 1982; Botello, 1982).

Con respecto a los estudios de la proporción de carbono isotópico en sedimentos recientes de las áreas costeras de México, se pueden citar los de Botello, 1976; Botello *et al.*, 1980; Botello y Macko, 1982; Botello, 1982; todos ellos se refieren a lagunas costeras del Golfo de México y a la plataforma continental del Banco de Campeche.

Los valores en sedimentos recientes de dichas lagunas se presentan en un rango de -29.2 ‰ hasta -20.1 ‰. De acuerdo con Gearing *et al.* (1971) en su mayoría los valores para el carbono isotópico en materiales orgánicos de sedimentos cercanos a la plataforma continental noreste y oeste del Golfo de México, van de -24 ‰ a -21 ‰, en tanto que cuantos se hallan fuera de la plataforma presentan un rango de valores de -22 ‰ a -20 ‰.

Entre los resultados anteriores los valores a ^{13}C más uniformes (-23 ‰ a -20.1 ‰) pertenecen a las lagunas Madre, Tamiahua, Alvarado, Tampamachoco y de Términos, con un valor promedio de -21.5 ‰. Estos resultados sugieren que un gran volumen del carbono orgánico existente en sedimentos recientes de esas lagunas tiene sobre todo un origen marino (figura 18).

Un hecho interesante es la comparación del patrón sedimentario con respecto a los valores de ^{13}C , que se presenta en la laguna Madre de Texas y en la laguna Madre de Tamaulipas. En épocas geológicas anteriores, ambas formaban un sólo cuerpo lagunar, y quedaron divididas por la influencia de la desembocadura del río Bravo y por otros procesos geológicos (Lankford, 1976). En la texana, los valores para ^{13}C van de -18.6 ‰ a -11.9 ‰ (Gearing *et al.*, 1977); en la tamaulipeca, varían de -23.9 ‰ a -20.1 ‰. Los datos correspondientes a la laguna Madre de Texas se correlacionan estrechamente con la presencia y abundancia de pastos marinos y con la naturaleza semi-cerrada de este cuerpo de agua. Los datos sobre la porción mexicana de la laguna Madre parecen indicar que existe mezcla de material orgánico de origen terrestre y de origen marino (figura 19).

En 1982, se realizaron estudios de la proporción del carbono isotópico en las lagunas costeras Carmen-Machona y Mecoaacán, en el estado de Tabasco, con el fin de dilucidar los valores negativos obtenidos por Botello *et al.* (1980); así, los nuevos valores ^{13}C en sedimentos recientes de ambas lagunas van de -23.00 ‰ a -26.24 ‰. Los dos valores más negativos (-26.23 y -26.24 ‰) corresponden a las estaciones situadas bajo el influjo de los aportes del río Cuzcuchapa, el cual a su vez recibe considerables aportes de los desechos del campo petrolero Mecoaacán. Los valores restantes (entre -23.00 ‰ y -25.78 ‰) reflejan un origen de carbono orgánico proveniente de la vegetación circundante, en este caso

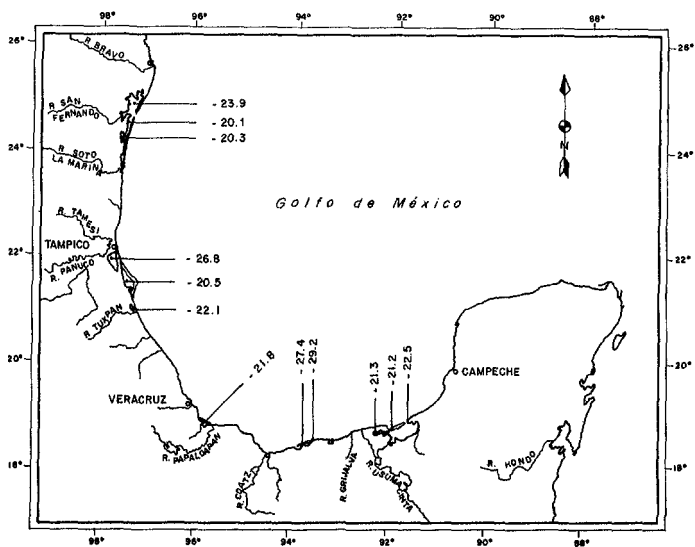


FIG. 18 VALORES $\delta^{13}\text{C}$ (PROPORCIÓN DE CARBONO ISOTÓPICO) PARA SEDI-
 MENTOS RECIENTES DE LAS LAGUNAS: MADRE, TAMAULIPAS, TAMPAMACHOCO, -
 TUXPAN Y ALVARADO, VERACRUZ; CARMEN-MACHONA, TABASCO Y TERMINOS, CAM-
 PECHÉ.

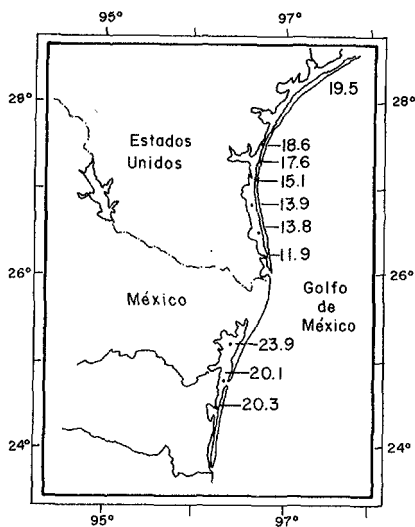


FIG. 19 VALORES ^{13}C (PROPORCION DE CARBONO ISOTOPICO) PARA SEDIMENTOS RECIENTES DE LA LAGUNA MADRE DE TEXAS U. S. A., Y LA LAGUNA MADRE DE TAMAULIPAS, MEXICO.

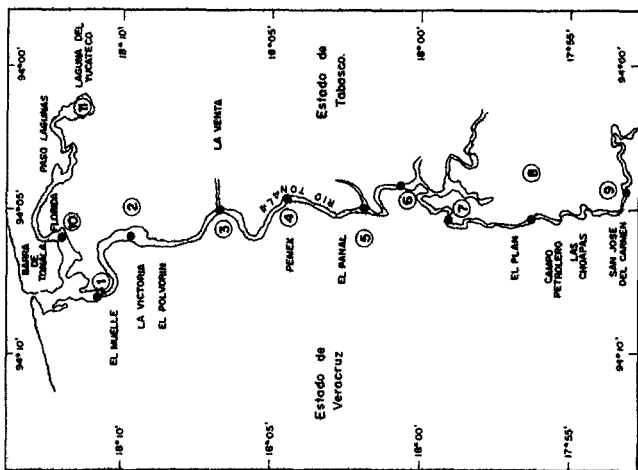
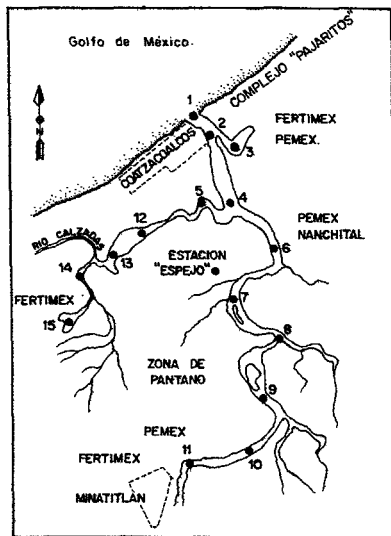


FIG. 20. VALORES DE LA PROPORCION DE CARBONO Y NITROGENO ISOTOPICOS Y CARBONO ORGANICO PARA SEDIMENTOS RECIENTES DEL RIO TONALA, VERACRUZ, MEXICO.

ESTACION.	% CARBONO ORGANICO.	$\delta^{13}C$ ‰	$\delta^{15}N$ ‰
1	0.36	- 28.18	2.80
2	2.78	- 28.40	1.97
3	1.37	- 28.32	1.89
4	0.92	- 28.84	2.09
5	1.03	- 28.76	2.35
7	1.00	- 28.87	1.85
8	0.15	- 28.81	4.06
9	0.84	- 28.54	2.28
10	2.17	- 28.47	2.10
11	2.73	- 28.26	2.20
VALOR PROMEDIO \bar{x}	1.33	- 28.54	2.35



ESTACION.	% CARBONO ORGANICO	$\delta^{13}\text{C} \text{ ‰}$	$\delta^{15}\text{N} \text{ ‰}$
1	0.89	- 28.69	2.75
2	1.81	- 27.64	2.53
3	1.40	- 28.43	2.32
4	1.12	- 28.57	3.52
5	0.56	- 28.16	2.97
6	1.57	- 28.76	2.47
7	0.94	- 28.07	2.74
8	1.01	- 27.61	3.20
9	0.60	- 28.76	2.74
10	1.08	- 28.79	2.40
11	0.26	- 27.84	3.36
12	0.84	- 27.85	2.30
13	0.65	- 27.65	2.15
14	1.42	- 28.20	2.52
15	1.75	- 28.70	3.10
"ESPEJO"	2.30	- 29.20	3.90
VALOR PROMEDIO \bar{x}	1.13	- 28.30	2.81

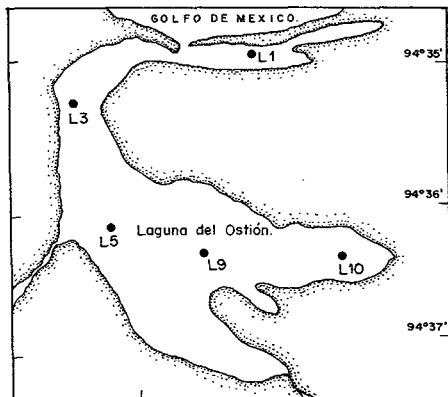
FIG. 21. VALORES DE LA PRODUCCION DE CARBONO Y NITROGENO ISOTOPICOS Y CARBONO ORGANICO PARA SEDIMENTOS RECIENTES DEL RIO COATZACOALCOS Y RIO CALZADAS, VERACRUZ; MEXICO.

En la figura 22 se anotan los valores $\delta^{13}\text{C}$ o/oo de la laguna del Ostión, la cual presenta un valor promedio de -27.03 oloo, muy diferente al de los estuarios de los ríos Coatzacoalcos, Calzadas y Tonalá. Estos valores reflejan que la laguna no recibe aportes por vías antropogénicas de carbono orgánico (hidrocarburos fósiles), lo cual ya advertían Botello y Páez-Osuna (1986). Los valores $\delta^{13}\text{C}$ oloo de ese cuerpo se relacionan más bien con aportes de vegetación circundante, como manglares y otras especies. Sin embargo, los valores de las estaciones 9 (-27.90) y 10 (-27.93 oloo) sugieren que quizá en algún momento se introdujeron a la laguna algunos contaminantes que pudieron haber alterado su balance geoquímica: por ejemplo, algunos metales pesados, principalmente Ni, el cual tiene una relación estrecha con actividades petroleras. Estos datos confirman asimismo que en las áreas de estudio el impacto causado por la presencia de los desechos petroleros se ha desarrollado en la escala siguiente:

Ríos Tonalá > Coatzacoalcos > Calzadas > Laguna del Ostión >

Composición isotópica del nitrógeno

Si la información sobre el carbono isotópico es relativamente abundante, en cambio la del nitrógeno es muy escasa, sobre todo si se refiere a su empleo como indicador de contaminación orgánica. Las referencias de Smith y Hudson (1951), Hoering y Moore (1958) y Stahl (1977), señalan que el petróleo tiene un amplio rango de valores $\delta^{15}\text{N}$ (más o menos 20 oloo), en tanto que el carbono tiene unos 10 o/oo. Este amplio rango de variabilidad y la observación de Stahl (1977) acerca de que el nitrógeno se fracciona isotópicamente durante la migración del petróleo en los estratos geológicos, pueden indicar un futuro muy provechoso para la aplicación de la técnica de nitrógeno isotópico $\delta^{15}\text{N}$ en los campos de la exploración petrolera. Sin embargo, la información en torno al uso del $\delta^{15}\text{N}$ en estudios sobre contaminación es casi inexistente; de hecho, Parker (1971) fue el primero en proponer su empleo para evaluar sistemas acuáticos que recibían considerables efluentes de desechos municipales. Sweeney y Kaplan (1980) y Sweeney *et al.* (1980) desarrollaron esta técnica para caracterizar los desechos municipales presentes en sedimentos del sur de California, en los Estados Unidos. Recientemente, Macko (1981)



ESTACION	% CARBONO ORGANICO.	$\delta^{13}\text{C} \text{ ‰}$	$\delta^{15}\text{N} \text{ ‰}$
1	1.04	- 26.24	2.40
3	1.15	- 26.40	1.86
5	0.87	- 26.69	3.10
9	0.91	- 27.90	1.63
10	0.74	- 27.93	1.85
VALOR PROMEDIO \bar{x}	0.94	- 27.03	2.16

FIG. 22. VALORES DE LA PROPORCION DE CARBONO Y NITROGENO ISOTOPICOS Y CARBONO ORGANICO PARA SEDIMENTOS RECIENTES DE LA LAGUNA DEL OSTION, VERACRUZ; MEXICO.

la utiliza con éxito para la identificación y el posible origen de breas y alquitranes depositados en las costas de Texas, después del derrame del Pozo Ixtoc-I y del tanquero "Burmah Agate".

Los valores $\delta^{15}\text{N}$ para el nitrógeno isotópico de los sedimentos de los ríos Calzadas, Coatzacoalcos y Tonalá y de la laguna del Ostión, se muestran en las figuras 20, 21 y 22. Obsérvese que el valor promedio más alto ($\delta^{15}\text{N} = 2.81$ o/oo) corresponde a los estuarios de los ríos Coatzacoalcos y Calzadas, donde las fuentes naturales de nitrógeno orgánico se ven sin duda alteradas por la presencia de otros compuestos orgánicos nitrogenados, los cuales se desechan en la refinería de Minatitlán, en el complejo Cosoleacaque, así como en las plantas de FERTIMEX situadas en el área. Esto concuerda con los valores individuales más altos, los cuales corresponden a las estaciones 4, 11, 15 y Espejo, cuyos $\delta^{15}\text{N}$ son 3.52 o/oo, 3.36 o/oo, 3.10 o/oo y 3.90 o/oo, respectivamente. Dichas estaciones se localizan enfrente de los sitios de descarga de la refinería, o bien cerca de plantas de FERTIMEX.

El río Tonalá presenta un valor promedio de $\delta^{15}\text{N} = 2.35$ o/oo, y la estación 8 presenta el valor individual más alto ($\delta^{15}\text{C} = 4.06$); ésta se localiza frente al campo petrolero Las Choapas.

Finalmente, la laguna del Ostión muestra un valor promedio de $\delta^{15}\text{N} = 2.16$ o/oo, el más bajo de los sistemas analizados; ello refleja valores particulares de nitrógeno isotópico muy similares a los encontrados en fuentes naturales, principalmente detritus de manglar o vegetación terrestre. También confirma la naturaleza casi inalterada de dicha laguna, donde la introducción de hidrocarburos petrogénicos es casi nula.

Ahora bien, a pesar de que la información anterior es útil en el examen de las áreas estuarinas, aun así los datos de nitrógeno isotópico en nuestro país y particularmente en ecosistemas tropicales, son prácticamente inexistentes. Por ello se torna imperativo que este tipo de diagnóstico y análisis se aplique en ecosistemas como los estudiados, los cuales reciben singulares impactos por las actividades humanas y petroleras circundantes.

4. Conclusiones

1. El análisis de hidrocarburos del petróleo presentes en sedimentos del río Calzadas y en el área de pantanos, muestra que la concentración promedio de hidrocarburos saturados es dos veces mayor que la de los aromáticos y es similar a la de áreas costeras estuarinas con una baja introducción de hidrocarburos fósiles. El valor promedio es cuatro veces menor que el del río Coahuacoalcos, siete veces menor que el del río Tonalá y similar al de la laguna del Ostión.

2. Los valores de algunas relaciones (como C_{17} /pristano, C_{t8} /fitano, pristanofitano y el índice Preferencial de Carbono) oscilan desde niveles típicos para hidrocarburos biogénicos, comunes en petróleos crudos recientes o muy poco intemperizados. Asimismo, los cromatogramas de la fracción saturada revelan la presencia de n-parafinas, consideradas como típicas de organismos marinos y vegetación terrestre (C_{23} , C_{25} , C_{27} , C_{29}) y mezcladas con las características del petróleo crudo (C_{16} , C_{18} y C_{20}).

3. El método cromatográfico indica que las estaciones 5 y Espejo presentan las concentraciones más altas, lo cual coincide con la cercanía de tales lugares a los sitios de descarga o deposición de los desechos petroleros.

4. Con respecto a los importantísimos hidrocarburos aromáticos, los polinucleares (PAH) aparecen en todas las estaciones de muestreo del estuario del río Calzadas y de la estación Espejo, localizada en el área de pantanos en las cercanías de Minatitlán.

5. Las concentraciones de PAH obtenidas en los sedimentos del río Calzadas son similares a las que encontraron en la bahía de Nápoles, Italia, Boucart y Mallet (1965) y en la bahía de Saint Malo, Francia, Mallet (1967), aunque menores que las halladas por Giger y Blumer (1974) en la bahía Buzzards, Estados Unidos; pero son cuatro veces más elevadas que las reportadas recientemente por Larsen *et al.* (1986) en el Golfo de Maine, Estados Unidos.

6. Las concentraciones de PAH en los sedimentos del río Calzadas presentan un gradiente y son mayores en las estaciones localizadas cerca de la fuente de descarga (estación 5 y Espejo, con 1971 y 1973 ppb, respectivamente) y menores conforme se alejan de la fuente. Asimismo, la presencia de los naftalenos alquil sustituidos (C_1 , C_2 y C_3) en los sedimentos

analizados confirma que estos compuestos sólo pudieron introducirse al ambiente por descargas de petróleo o sus desechos, en tanto que la presencia de compuestos aromáticos con 4 o 5 anillos (como pireno, fluoranteno, benzoantraceno y benzo-a-pireno) obedece a un origen pirolítico, como fruto de la combustión de hidrocarburos fósiles.

7. El análisis fragmentográfico reveló la presencia de esteranos y hopanos similares a los encontrados por Jones *et al.* (1986) en sedimentos superficiales de las Islas Shetland en el Reino Unido, contaminados con petróleo crudo, y por Readman *et al.*, en los estuarios de los ríos Mersey, Dee y Tamar, también en el Reino Unido, contaminados con desechos urbanos, petróleo crudo e hidrocarburos aromáticos polinucleares. Esto indica que los fragmentogramas obtenidos contienen triterpenos (hopanos) de origen biológico, así como otros provenientes del petróleo crudo.

8. A pesar de que la proporción entre esteranos y hopanos es casi la misma en los sedimentos sujetos a estudios, aun así el fragmentograma del ion MIZ = 217 muestra una clara huella de productos de petróleo. Esto se debe a que, a diferencia de los hopanos, los esteranos solamente están presentes en sedimentos contaminados (Mackenzie *et al.*, 1982; Jones *et al.*, 1986; Readman *et al.*, 1986).

9. Todo lo anterior es una clara muestra de que en el área estudiada existe, además de hidrocarburos biogénicos, un importante aporte de petróleo crudo y sus derivados, los cuales no se biodegradan totalmente por la acción de microorganismos, y se depositan en los sedimentos superficiales, donde permanecen por mucho tiempo sin alteraciones notables en sus estructuras químicas.

BIBLIOGRAFIA

ABELSON, P.H. y T.C. HOERING, 1961.

"Carbon isotope fractionation in formation of aminoacids by photosynthetic organisms". *Proc. Nat. Acad. Sci.* 47: 623-632 pp.

ALBAIGES, J., 1980.

"Fingerpriting petroleum poilutants in the Mediterranean Sea". En: *AnalyticalTechniquesinEnvironmentalChemistry*. (Ed. J. Albaigés) 69-81 pp. Pergamon Press, Oxford.

ALBAIGES, J. y P. ALBRECHT, 1979.

"Fingerpriting marine pollutant hydrocarbons by computerized gas chromatography mass spectrometry". *Int. J. Envir. Anal. Chem.* 6: 1 3-1 5 pp.

BERRIOGE, S.A.; R.A. DEAN; R.G. FALLOWS y A. FISH, 1 968.

"The properties of persistent oil al sea". En: *Scientific Aspects of Pollution of the Sea by Oil*. Institute of Petroleum, London, 2-11 pp.

BLUMER, M. y J. SASS, 1972.

"Oil pollution: Persistence and degradation of spill fuel oil". *Science*, 1 76: 1 1 20-1122 pp.

BOTELLO, A.V., 1 976.

"Pollution research and monitoring for hydrocarbons. Present status of the studies of . petroleum contamination in the Gulf of Mexico". IOC/FAO/UNEP. International workshop on marine pollution in the /Caribbean and adjacent regions. Port of Spain. Trinidad and Tobago. December.

BOTELLO, A.V., 1 978.

"Presencia de hidrocarburos fósiles en ecosistemas estuarinos del Golfo de México". *Rev. Biol. Trop.*, 26 (Supl. 1): 135-1 51 pp.

BOTELLO, A.V. y S. CASTRO, 1980.

"Chemistry and natural weathering of various crude oil fractions from the IXTOC-I Oil Spill". En: *Proceedings of the IXTOC-I Researchpierce Cruice INOAAI*, U.S. Department of Commerce, Miami, junio, 1980.

BOTELLO, A.V.; E.F. MANDELLI; S.A. MACKO y P.L. PARKER, 1980

"Organic carbon isotope ratios from coastal lagoons of the Gulf of Mexico, Mexico". *Geochem. Cosmochim. Acta.* 44: 557-559 pp.

BOTELLO, A.V. y S.A. MACKO, 1982.

"Oil pollution and the carbon isotoperations in organisms and recent sediments of coastal lagoons in the Gulf of Mexico". *Oceanologia Acta.* N° :SP: 56-62 pp.

BOTELLO, A.V. y F. PAEZ-OSUNA, 1986.

E/ problema crucial: la contaminación. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos, Vol. 1. México, Centro de Ecodesarrollo. 89-1 18 pp.

BOUCART, J. y L. MALLET, 1985.

"Marine pollution of the shores of the central regions of the Tyrrhenean Sea (Bay of Naples) by benzo-3,4-pyrene-type polycyclic aromatic hydrocarbons". *C.R. Acad. Sci. (Paris) Ser. D.* 260: 3729-3734 pp.

BOYLAN, D.B. y B.W. TRIPP, 1971.

"Determination of hydrocarbons in seawater extracts of crude oil and crude oil fractions". *Nature (London)* 230: 44-47 pp.

CALDER, J.P. y P.L. PARKER, 1968.

"Stable carbon isotope ratios as indices of petrochemical pollution of aquatic systems". *Environ. Sci. Tech.* 2: 535-539 pp.

CALDER, J. A., 1971 .

"Carbon isotope ratios of shelf sediment". Presented at 1971. *Annu. Mut. Agu, Sci.*

CRAIG, H., 1953.

"The geochemistry of the stable carbon isotopes". *Geochim. Cosmochim. Acta* 3: 53-92 pp.

CONTRERAS, F., 1986.

La riqueza del pantano. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos, Vol. V. México, Centro de Ecodesarrollo. 98 pp.

DAY Jr., J.W. y YAÑEZ-ARANCIBIA, 1978.

"Coastal lagoons and estuaries: Ecosystem Approach". *Ciencias Interamericanas,* OEA, Vol. Esp. Ciencias del Mar.

DEGENS, E.E., 1969.

"The biochemistry of stable carbon isotope", 304-328 pp. En: *Organic geochemistry*, G. Englington and M.T.J. Murphy (Ed.) Springer-Verlag. New York.

ENHARDT, M. y M. BLUMER, 1972.

"The sources identification of marine hydrocarbons by gas chromatography". *Environ. Pollut.*, 3: 179-194 pp.

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

"Petroleum hydrocarbons in Narraganset Bay: Survey of hydrocarbons in sediments and clams (*Mercenaria mercenaria*)". *Estuar. Coastal. Mar. Sci.*, 1: 71-79 pp.

FARRINGTON, J.W., 1977.

"The biogeochemistry of oil in the ocean". *Oceanus*, 20 (4): 5-14 pp.

FARRINGTON, J.W., 1983.

"Bivalves as sentinels of coastal chemical pollution". *Oceanus* 26 (2): 18-19 pp.

FARRINGTON, J.W., 1985.

Oil in the Sea. Inputs, fates, and effects. National Academy Press. Washington, D.C.

FORNSTER, V. y G.T.W. WITTMAN, 1979.

Metal pollution in the aquatic environmental. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, New York.

FREEGARDE, M. y C.G. HATCHETT, 1970.

"The ultimate fate of crude oil at sea". *Interim. Rep. N° 7*, U.K. Admir. Mater. Lab., A.M.L. Rep. N° AMI- (5) 7 1.

FRY, B. D., 1977.

Stable carbon isotope ratios-a tool for tracing food chain. M.A. Thesis, The University of Texas at Austin. 126 p.

FUJEX, A.N., 1977.

"The use of stable carbon isotopes in hydrocarbons exploration". *Jour. Geoche. Explor.* 7: 155-188 pp.

GEARING, P.; F.E. PLUCKER y P.L. PARKER, 1977.

"Organic carbon stable isotope ratios of continental margin sediments". *Mar. Chem.* 5: 251-266.

- GIGER, N. y M. BLUMER, 1974.
 "Polycyclic aromatic hydrocarbons in the environment: isolation and characterization by chromatography, visible, ultraviolet and mass spectrometry". *Anal. Chem.* 46: 1663-1671 pp.
- HITES, R.A.; R.E. LAFLAMME y J.W. FARRINGTON, 1977.
 "Sedimentary polycyclic aromatic hydrocarbons: the historical". *Science* 198: 829-831 pp.
- HOERING, T.C. y H.E. MOORE, 1958.
 "The isotopic composition of the nitrogen in natural gases and associated crude". *Geochim. Cosmochim. Acta* 3: 225-232 pp.
- JONES, D.M.; S.J. ROWLAND y A.G. DOUGLAS, 1986.
 "Steranes as indicator of petroleum like hydrocarbons in marine surface sediments". *Marine Pollution Bulletin* 17 (1): 24-27 pp.
- LANKFORD, R.R., 1977.
 "Coastal Lagoons of Mexico: Their Origin and Classification". *Estuarine Process*. Vol. 2, Academic Press Inc., New York. 182-215 pp.
- LARSEN, P.F.; D.F. GADBOIS y ANNE C. JOHNSON, 1986.
 "Polycyclic aromatic hydrocarbons in Gulf of Maine sediments: Distributions and Mode of transport". *Mar. Envir. Research.* (18) 4: 231-244 pp.
- MACKAY, G.D.; A.Y. McLEAN; O.J. BETANCOURT y B.D. JOHNSON, 1973.
 "The formation of water in oil emulsions subsequent to an oil spill". *J. Inst. Petrol.* 59. 568: 164-172 pp.
- MACKENZIE, A.S.; S.C. BRASSELL; G. EGLINTON y J.R. MAXWELL, 1982.
 "Chemical fossil: The geological fate of steroids". *Science*, 217: 491-504 pp.
- MACKO, S.A.; P.L. PARKER y A.V. BOTELLO, 1981.
 "Persistence of spilled oil in a Texas salt marsh". *Environ. Poll. Bu#.*, 2: 119-128 pp.
- MALLET, L.V. PERDRIAN y S. PERDRIAN, 1963.
 "Extent of pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons of the benzo-3,4-pyrene type in the North Sea and the glacial Arctic Ocean". *Bui. Acad. Nat. Med.* (Paris) 147: 320-325 pp.

MALLET, L. y M.L. PRIOU, 1967.

"Retention of benzo-3,4-pyrene type polycyclic aromatic hydrocarbons of the marine sediments, fauna and flora of the Bay of Saint-Malo". *C.R. Acad. Sol.* (Paris) Ser. D. 264: 969-971 pp.

MALLET, L.; M.L. PRIOU y M. LEON, 1972b.

"Biosynthesis and biodegradation of the polycyclic aromatic hydrocarbons benzo-3,4-pyrene in the sediments of the Bay of Saint-Malo", 1 59-1 63 pp. En: L. Mallet (Ed.). *Pollution des Meleaux Vitaux par les hydrocarbures polybenzeniques du tupe benzo-3,4-pyrene*. Paris: Librairu Maloine.

MAYO, D.W.; PAGE D.S.; J. COOLY; SORENDON, E.; BRADLY F.; D.W. E.S. GILFILLAN y S.A. HANSON, 1978.

"Weathering characteristics of petroleum hydrocarbons deposited in fine clay marine sediments. Searsport". Maine, J. *Fish Res. Board. Can.*, 35, 552-562 pp.

MEYERS, P.A. y J.G. QUINN, 1973.

"Association of hydrocarbons and mineral particles in saline solution". *Nature* (London) 244: 23-24 pp.

MITCHELL, R.; S. TOGEL y 1. CHET, 1972.

"Bacteria; chemoreception: An important ecological phenomenon inhibited by hydrocarbons". *Water Res.*, 6: 113 7-1 140 pp.

NAS, 1975.

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

NEFF, J.W., 1979.

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Aquatic Environment. Sources, Fates and Biological Effects. Applied Science Publishers, London.

OWEN, E.H., 1978.

"Mechanical dispersa; of oil stranded in the littoral zone". *J. Fish. Res. Board Can.*, 35: 563-672 pp.

PARKER, P.L., 1971.

"Petroleum stable isotope ratio variations". En: *Impingment of man on the oceans*, Hood, D. (Ed.), Wiley Interscience, N.Y. 431-444 pp.

PARKER, P.L.; E.W. BEHRENS; J.A. CALDER y D. SCHULTZ, 1972.

"Stable carbon isotope ratio variations in the organic carbon from Gulf of Mexico sediments". *Cont. Mar. Sci.* 16: 13 pp,

READMAN, J.W.; M.R. PRESTON y R.F. MANTOURA, 1966.

"An integrated Technique to quantify sewage, oil and PAH pollution in estuarine and coastal environments". *Mar. Poll. Bull.* 17 (7): 298-308 pp.

RUDLING, L., 1976.

Oil pollution in the Baltic Sea. A chemical analytical search for monitoring methods. Statens Naturvadsverk (Sweden), SNV PM 78 pp.

SACKETT, W.M. y R.R. THOMPSON, 1963.

"isotopic organic carbon composition of recent continental derived clastic sediments of eastern Gulf of Mexico". *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.* 47: 525-531 pp.

SACKETT, W. M., 1964.

"The depositional history and isotopic organic carbon composition of marine sediments". *Mar. Geol.* 2: 173-185 pp,

SILVERMAN, S.R. y S. EPSTEIN, 1958.

"Carbon isotopic compositions of petroleum and other sedimentary organic materials". *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.* 42: 998-1011 pp.

SILVERMAN, S.R., 1967.

"Carbon isotope evidence for the role of lipids in petroleum formation". *Jour. Amer. Oil. Chem. Soc.* 44: 691-695 pp.

SIVAIDER, H.O. y P.G. MIKOLAJ, 1973.

"Measurement of evaporation rates from oil slicks on the open sea". Proceeding of the Joint EPA, RPI, USCG. Conference on Prevention and Control of Oil Spills. Washington, D.C. March 13-15: 475-484 pp.

SMITH, P.V. y B.E. HUDSON, 1951.

"Abundance of ^{15}N in the nitrogen present in crude oil and coal". *Science.* 113-577 pp.

STAHL, W.J., 1977.

"Carbon and nitrogen isotopes in hydrocarbons research and exploration". *Chemo. Geol. Sci.* 20: 121-149 pp.

SWEENEY, R.E. y I.R. KAPLAN, 1980.

"Natural abundances of ^{15}N as a source indicator for near-shore marine sedimentary and dissolved nitrogen". *Mar. Chem.* 9: 81-94 pp.

SWEENEY, R.E. y I.R. KAPLAN, 1980.

"Characterization of domestic and industrial sewage in Southern California coastal sediments using nitrogen, carbon, sulfur and uranium tracers". *Mar. Environ. Res.* 3: 225-243 pp.

SWEENEY, R.E.; R.I. HADDAD y I.R. KAPLAN, 1980.

"Tracing the dispersal of the IXTOC-I oil using C, H, S" y "Stable isotope ratios", pp. 89-118. En: *Proceedings*, Symposium on the Preliminary Results from the Research/Pierce Cruise to the IXTOC-I Blowout. Office of Marine Pollution Assessment, Rockville, Md.

U.S. COAST GUARD, 1973.

Draft environmental impact statement. For International Convention for the prevention of Pollution from Ships. 89 p. 6 appendices.

YAÑEZ-ARANCIBIA. A., 1982.

"Usos, recursos y ecología de la zona costera". *Ciencia y Desarrollo*. CONACYT. Marzo-Abril, N°. 43, Año VIII, 58-63 pp.

ZOBELL, C.E., 1971 .

"Sources and biodegradation of carcinogenic hydrocarbons". 441 -451 pp. Proc. Joint Conf. Prevention and Control of Oil Spills. Washington, D.C. American Petroleum Institute.

III. UNA POLITICA DE CONSERVACION DE LOS PANTANOS: UNA NECESIDAD URGENTE

Mónica Herzig

Pantano: depósito de agua de poca profundidad, que puede ser permanente o de existencia esporádica, de extensión muy variable a lo largo del año; con una notable variación de temperatura a lo largo del día y el año; alimentado por una corriente formada por aguas de lluvia o manantiales que puede tener salida hacia el mar por medio de la misma corriente que lo alimenta; presenta un exceso de materiales sedimentados y no consolidados. (Adaptado de Robles Rojas, 1955 *vide* Rojas. y Arellano, 1956:111)

A partir de esta definición, es difícil imaginar cuáles son las riquezas del pantano, que aparece sólo como un lugar lleno de fango, habitado por mosquitos, sapos y culebras. Así, quién dudaría que su mejor uso no fuera sino dragarlo o rellenarlo y transformarlo en área de aprovechamiento agropecuario o de desarrollo urbano e industrial, o bien, en un enorme depósito para los desperdicios domésticos e industriales que genera el ser humano en todas y cada una de sus actividades de transformación del medio natural. Ahora bien, de la anterior definición hemos omitido los componentes bióticos del sistema: los microorganismos, plantas y animales que lo habitan y que con su sola presencia y actividades convierten a este fangal en un mundo plétórico de interacciones y, con ello, de posibilidades.

La gran cantidad de materiales sedimentados y no consolidados del pantano son acarreados por el viento desde las elevaciones circundantes y arrastrados por corrientes de agua que en ocasiones nacen a cientos de kilómetros; dichos materiales permiten el desarrollo -en aguas relativamente tranquilas, generalmente cálidas y someras- de una rica vegetación, que puede ser subacuática (algas), flotante (jacintos y lirios) o emergente (platanillo y carrizol).

Las variaciones anuales en temperatura, y profundidad del agua propician la generación de una gran cantidad de materia vegetal en descomposición, a la que rápidamente degradan las bacterias y los otros microorganismos presentes en el agua y en el suelo. La intensidad de este proceso produce un flujo constante de elementos nutritivos a partir de la interfase entre el sedimento y el agua. Estos nutrientes y el detritus que se genera al mismo tiempo, propician la generación y el mantenimiento de una multitud de cadenas y redes tróficas; unas y otras constituyen la riqueza del pantano.

Una medida de esta riqueza es la producción primaria neta (PPN) del sistema, que en esencia está determinada por la diferencia entre la cantidad de energía fijada por las plantas a través de la fotosíntesis y la cantidad de energía que se pierde durante su respiración. El cuadro 1 muestra algunos promedios de los valores de producción primaria neta en biomasa dentro de diferentes tipos de comunidades vegetales. Los ecosistemas que presentan los más altos valores de PPN son la selva alta perennifolia, los pantanos y las ciénagas, los lechos de algas y arrecifes, ciertos tipos de estuarios (principalmente en zonas tropicales) y algunos cultivos tropicales de naturaleza perenne.

Durante las últimas tres décadas, investigadores y científicos de todo el mundo lograron clarificar, tras grandes esfuerzos, los principios básicos del funcionamiento de muchos ecosistemas. Y apenas en épocas mucho más recientes han comenzado a vislumbrar la complejidad de las interacciones existentes en el interior de estos sistemas, así como la magnitud de la interdependencia entre las plantas y los animales que los constituyen; también han ponderado la importancia de mantener su integridad estructural y funcional, labor compleja dada la vasta red de conexiones que enlazan a un ecosistema con los circunvecinos (algunos de estos localizados a distancias considerables).

Resulta por ello irónico que al descubrirse el valor potencial de las selvas, los pantanos y los estuarios, se deba observar también el desesperante grado de deterioro y de franca destrucción de estos ecosistemas, los más productivos del mundo, fuentes inapreciables de elementos que podrían mejorar la existencia humana.

Antes de que la humanidad plasmara registros de su historia, ya existían evidencias de civilizaciones asentadas a orillas

de pantanos, estuarios y costas, lugares en los cuales se pesca y cazaba, o bien se cultivaban diversas especies de plantas que prosperaban en los ricos suelos de estos ambientes. Aún hoy, millones de seres humanos dependen de ellos, pero en muchas partes del mundo se considera a los pantanos como yermos improductivos que deben drenarse o rellenarse. Particularmente en las regiones tropicales, grandiosos programas de irrigación, de generación de energía eléctrica y de construcción de vastos complejos industriales, alteran la esencia de estos sistemas ecológicos insustituibles (mapa 1). Toda la productividad futura de tales ambientes se sacrifica en aras de un beneficio inmediato. Mencionamos estos tres modelos porque con ellos se ejemplifica muy bien la problemática de los pantanos. Al llevarse a la práctica tales proyectos, se afecta de manera casi inmediata un componente primordial para la supervivencia de estos ambientes: su dinámica hidrológica específica. Revisemos este punto.

En un pantano, los parámetros hidrológicos se determinan en función de tres aspectos (*vide* Contreras, 1986:27):

- a) *origen*: de éste dependen la composición fónica, la saturación del oxígeno y la carga de toxinas y contaminantes en el sistema;
- b) *velocidad*: determina la turbulencia y la aptitud del agua para acarrear materiales en suspensión;
- c) *tasa de renovación*: a ella se deben la frecuencia en el reemplazo del agua y con ello el potencial del sistema para su sucesión y maduración,

En síntesis, el régimen hidrológico controla ciertas características muy propias del pantano, como la composición y riqueza de especies, la productividad primaria, la deposición y el flujo de materia orgánica (*op. cit.*: 31). A su vez, la naturaleza de estas características y el producto de sus interacciones retroalimentan el funcionamiento de los parámetros hidrológicos; con ello se genera la dinámica ecológica tan particular de este tipo de ecosistemas (*op. cit.*: figura 2). La construcción de una vía de paso o un camino de acceso; la tala de una selva o de un manglar vecinos (incluso de un bosque de pinos distante, situado empero en las laderas de la cuenca que

CUADRO 1
PRODUCCION PRIMARIA NETA DE LA TIERRA

TIPO DE ECOSISTEMA	A R E A (10 ⁶ Km ²)	PRODUCTIVIDAD PRIMARIA NETA POR UNIDAD DE AREA (g/m ² /año)*		
		ESCALA NORMAL	MEDIA ¹	MEDIA ²
Selva alta perennifolia	17.0	1000-3500	2200	5000
Selva tropical estacional	7.5	1000-2500	1600	--
Bosque perennifolio de clima templado	5.0	600-2500	1300	2800
Bosque decíduo de clima templado	7.0	600-2500	1200	1200
Bosque boreal	12.0	400-2000	800	--
Bosque espinoso y matorrales	8.5	250-1200	700	--
Sabana	15.0	200-2000	900	--
Pastizal de clima templado	9.0	200-1500	600	--
Tundra y regiones alpinas	8.0	10-400	140	--
Desierto y matorral semidesértico	18.0	10-250	90	100
Zonas muy desérticas, rocosas, arenosas y heladas	24.0	0-10	3	--
Tierra cultivada	14.0	100-3500	650	2200 - 7500 ^a
Pantanos y ciénagas	2.0	800-3500	2000	3000 - 7500 ^b
Lagos y corrientes	2.0	100-1500	250	--
Subtotal continental	149		773	--
Océano abierto	332.0	2-400	125	200
Zonas de aguas emergentes	0.4	400-1000	500	--
Plataforma continental	26.6	200-600	360	200
Lechos de algas y arrecifes	0.6	500-4000	2500	3200
Estuarios	1.4	200-3500	1500	3200
Subtotal marino	361		152	--
T O T A L	510		333	--

* Las unidades son kilómetros cuadrados y gramos secos por metro cuadrado.

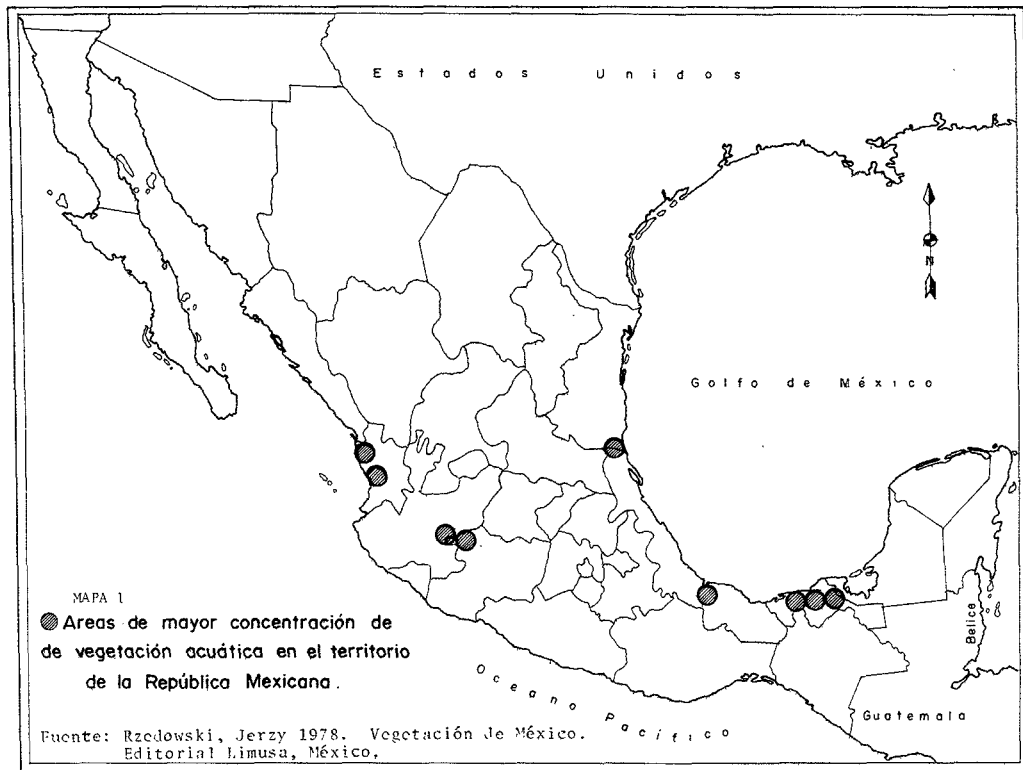
FUENTE: 1. Whittaker y Likens en: Whittaker, R.H. 1975. Communities and Ecosystems. 2a. Edición MacMillan. Nueva York.

2. Westlake, D. F. 1963. Comparisons of plant productivity. Biol. Rev. 38:385-429.

^a Cultivo tropical perenne.

^b Tular/carrizal dulceacuícola tropical.

(Adaptado de: Krebs, 1985: 575).



desemboca en el pantano); la construcción de un embalse río arriba; el vertido de pesticidas y fertilizantes en las aguas que afluyen al pantano; la extracción de agua del manto freático; el entubamiento de manantiales; el depósito de desechos domésticos e industriales, solubles o insolubles, en su superficie: todos estos son ejemplos de actividades humanas que merman la capacidad productiva de los pantanos y su aptitud para purificar el agua y controlar las inundaciones.'

De hecho, con estas acciones no sólo se afecta el pantano. En la mayoría de los casos, otros ecosistemas dependen directamente de los nutrientes y detritos liberados por él; se trata de sistemas que, como los humedales de Coatzacoalcos, incluyen principalmente a los manglares costeros y ribereños, a lagunas costeras y de aguas interiores, a ríos y arroyos. Aparte, como en la época de lluvias se comunican todas las zonas bajas inundables, deben también considerarse a las zonas transformadas en potreros, a los palmares y a algunos islotes aislados de "selvas bajas inundables" (Iñiguez Orozco y Lot Helguera, 1976: 19-23).

Pero el pantano no sólo exporta materia orgánica y nutrientes que contribuyen a sostener las cadenas tróficas y, por ende, a mantener una parte variable de la producción de los sistemas adyacentes. También exporta formas y concentraciones -en su mayoría aún poco estudiadas y cuantificadas- de los contaminantes que en él se han vertido: metales pesados, fenoles y detergentes, microorganismos patógenos, plaguicidas, esteroides e hidrocarburos fósiles (véanse volúmenes 1, 2, 3 y 5 de esta serie) y residuos petroquímicos no biodegradables, entre otros. Muchas de estas sustancias y productos son poderosos venenos para una gran diversidad de seres vivos, y pueden causar una rápida muerte al organismo expuesto. Otros compuestos sólo empiezan a manifestar su efecto nocivo al alcanzar ciertas concentraciones.

Múltiples factores determinan la resistencia o vulnerabilidad de una especie a una determinada sustancia (*) y los estudios científicos a este respecto aún se encuentran en sus fases iniciales. Algunos elementos resultan indispensables, en mínimas concentraciones, para el metabolismo de una especie, pero en mayores concentraciones se convierten en un ve-

(*) Véase Vol. 1 de esta serie donde se detallan los (acúmenes que gobiernan los efectos del petróleo o sus derivados sobre la vida marina: 106 p.l.

nen mortal. A otros compuestos tóxicos, tanto plantas como animales pueden metabolizarlos y transformarlos en componentes inocuos, susceptibles de eliminarse sin mayores problemas (Botello y Páez, 1986: 105), pero también algunos se acumulan y almacenan aparentemente sin producir efectos nocivos, hasta que una tensión adicional -exógena o endógena- obliga al organismo a hacer uso de sus reservas y precipita el riesgo latente. Por ejemplo, una sequía moviliza las reservas de almidones de una planta, o bien es necesaria energía adicional durante la época reproductiva de un animal, el cual moviliza sus reservas de grasa. En ambos casos, se libera en el sistema una dosis masiva del tóxico, y entonces se propicia la muerte del organismo o su incapacidad para sobrevivir (ya sea porque se torna más vulnerable ante sus predadores o porque se debilita su capacidad de reproducción o la capacidad de supervivencia de sus descendientes). El problema tiene tal magnitud que importantes esfuerzos científicos se han empeñado en dilucidar el efecto de los contaminantes más comunes sobre los seres vivos (Moriarty, 1983). Los progresos en estas investigaciones son empero muy lentos, pues por añadidura padecen serias dificultades: un compuesto tóxico para una rata de laboratorio puede no serlo para el ser humano y viceversa. Además, se ha detectado la posibilidad de reacciones sinérgicas entre diversos productos químicos. En otros términos, bajo ciertas condiciones físico-químicas en un ambiente, dos o más productos pueden reaccionar químicamente y formar uno o más nuevos compuestos diferentes de los originales; distintos no sólo por su composición química; sino por sus efectos sobre los seres vivos.

En suma, reproducir en un laboratorio cuanto sucede (por citar un ejemplo) en las zonas pantanosas donde vierten sus desechos las industrias de Coatzacoalcos-Minatitlán, es una labor que excedería en todo lo imaginable la capacidad científica, económica y tecnológica de nuestro país. Por ello, es más prudente prevenir los daños que tratar de remediar los efectos.

Junto a la contaminación, también son graves las consecuencias de alterar los flujos de agua en el sistema. (ya sea por drenado o construcción de barreras al paso del agua, rellenando éste y atravesándolo por caminos y carreteras); de talar árboles en el manglar y otros reductos de vegetación arbórea. vecinos, de provocar incendios no controlados, de ejercer

extracciones de suelo, de practicar la introducción de especies animales y vegetales exóticas (ganado y pastos africanos, por ejemplo) y de recolectar plantas y cazar animales indiscriminadamente. Ante todas estas acciones no deberá sorprendernos ver hecho realidad el prejuicio de muchas personas: el pantano es un yermo improductivo que debe ser dragado, una cloaca pestilente que debe ser rellenada.

Creemos sinceramente en la responsabilidad de las presentes generaciones de salvaguardar un patrimonio para las generaciones futuras. Somos conscientes de la posición de ciertos economistas y filósofos que concluyen que nuestras obligaciones deben limitarse a un presente inmediato, y que ninguna generación debe sentirse obligada a hacer sacrificios indebidos en beneficio de otras futuras. Sin embargo, nos ha tocado vivir en una época de encrucijada, y a menos que actuemos hoy, la posteridad se verá imposibilitada para hacerlo. Pero, ¿qué hacer cuando las apremiantes necesidades inmediatas toman precedencia sobre los reclamos del futuro, sobre todo en los duramente presionados países en vías de desarrollo? Un primer paso podría ser cambiar radicalmente nuestra concepción acerca del desarrollo, tal como actualmente se maneja este término, para significar la mejor estrategia de superación y avance de las sociedades humanas. Pero para ello se requiere alcanzar un alto grado de evolución emocional y *cultural*, así como un deseo de cooperación internacional que aún distamos mucho de alcanzar.

Mientras tanto, el tiempo pasa, las especies y sus ambientes desaparecen y junto con ellas decrecen nuestras posibilidades, ya no sólo de mejorar el destino de nuestra propia especie, sino de mantener una calidad de vida mínima. ¿Drástico? Tal vez, pero consideramos que ante las presentes circunstancias resulta más productivo, y menos deprimente a la larga, un pesimismo mesurado que un optimismo enaltecido.

¿Por qué esta preocupación por la desaparición de especies de plantas y animales? Dentro del marco del proceso evolutivo la extinción es un proceso inevitable, pero en el registro fósil la desaparición de algunas formas suele vincularse con la aparición de otras. Conforme al concepto de evolución orgánica, los procesos de extinción se entremezclan con los de supervivencia, adaptación y especiación. Por lo demás, si como biólogos aceptamos que la vida no-puede continuar sin oportunidades para su evolución, aún debemos responder por qué

nos preocupamos de la existencia de los seres vivos en general y no sólo de aquéllos útiles para nuestra propia especie.

La literatura relacionada con la conservación de la fauna y la flora ha proporcionado en los últimos años multitud de respuestas ecológicas y económicas, científicas y educativas (consúltese por ejemplo a Myers, 1983 y la bibliografía ahí presente). Pero la raíz de esta preocupación debería residir en un sentimiento de responsabilidad ante la destrucción irremediable y sin precedentes de nuestros recursos naturales en el corto intervalo de las últimas dos generaciones. Hemos llegado a un punto en el cual las poblaciones de muchas especies, e incluso especies enteras, ya no pueden ser rescatadas de la extinción. Cientos son los casos de plantas, invertebrados y vertebrados que conocemos. La magnitud de los casos que desconocemos se esfuma en la bruma de nuestra ignorancia y nuestra indiferencia. Impedir cualquier evolución no inducida por las actividades de nuestra propia especie es una posición de suma arrogancia, que podría ser fatal.

Hoy en día debemos decidir cuántas especies conservaremos y con qué propósito. En manos de todos nosotros se encuentran las justificaciones sociales y económicas para tal conservación. Tan sólo una decisión comunitaria consciente podrá dotar a la naturaleza del espacio que necesita para reestablecer un equilibrio entre los procesos de extinción y especiación.

Pero aceptar este compromiso implica restringir de manera importante la expansión física del ser humano sobre el planeta. Exige mantener extensiones importantes de ciertos hábitats como reservas naturales, y aun así no hay garantía de que se preserve una variabilidad genética adecuada en ciertos grupos de organismos (en particular aves, mamíferos y especies vegetales arbóreas), que les permita adaptarse a cambios ambientales insólitos o a otras presiones de selección poco usuales.

No existen aún los estudios que esclarezcan las dimensiones indispensables para una reserva natural, a fin de que en ella se promuevan los procesos de evolución de plantas y animales (véase Soulé, 1986). Pero hay autores que consideran que superficies menores de 10 mil kilómetros cuadrados no pueden cumplir adecuadamente con el objetivo anterior (Frankel y Soulé, 1981 :124), y el 96.5% de todas las

reservas naturales del mundo se encuentran en esta situación. El siglo llegará a su fin antes de que se logre una resolución clara de este problema y antes de que los gobiernos decidan qué acciones serán más prudentes o menos riesgosas en términos políticos inmediatos. Para entonces se habrá cancelado la mayoría de las opciones en cuanto al tamaño, el diseño y la organización de reservas naturales.

En Coatzacoalcos ya se produjo esta cancelación: la alteración y la franca destrucción de extensas áreas del pantano y otros ecosistemas circundantes son tan evidentes que ningún biólogo propondría establecer una reserva natural en la zona. Ninguna medida preventiva se aplicó a tiempo ni con la suficiente firmeza para evitar la situación actual, que cientos de miles de personas padecen cotidianamente (véanse volúmenes 1 al 5 de esta serie y otros capítulos del presente volumen).

Cualquier esfuerzo por restaurar el ambiente y aplicar programas de uso alternativo de recursos, deberá tomar en cuenta los antecedentes generados por Toledo, *et al.* (1982, 1983) y por sus colaboradores en la serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos, que junto con el estudio de Margarita Nolasco (1979), exponen los aspectos fundamentales de la problemática social, económica y ecológica de esta región, y proporcionan así un marco de referencia útil.

Ahora bien, la productividad natural de los pantanos, manglares y esteros es tan alta que cualquier estrategia de uso debe poner énfasis en el aprovechamiento de la misma, antes que en su modificación para implantar otros tipos de sistemas de producción. Los ambientes pantanosos deben considerarse y manejarse como una unidad indivisible, pues la fina articulación de todos los componentes que determinan su dinámica es responsable del elevado nivel de eficiencia de dichos sistemas; asimismo, deben tenerse cuidados especiales para tratar de mantener la integridad de dicha articulación, si bien por lo pronto no existe aún una estrategia en torno a este punto.

Por su parte, las técnicas de manejo de recursos para restaurar e incrementar el valor ecológico de los humedales costeros tropicales, se encuentran aún en sus primeras fases de desarrollo y aún se comprenden poco. Por ello, los esfuerzos para promover valores específicos de la vida silvestre (e.g. cinegético, comercial, recreativo e industrial de auto-

consumo, entré otros) pueden frustrarse ante la falta de información acerca de los 'requerimientos ecológicos de especies o grupos de organismos'particulares. En las raras ocasiones'en que se conocen estos requisitos, no existen aún metodologías probadas para traducir esta información en prácticas de manejo.-

La compleja dinámica de este tipo de ambientes hace sumamente difícil poner en práctica modelos donde se prevean los efectos de alteraciones específicas sobre la biota local. Por lo tanto, la labor- de los especialistas responsables de planificar los programas de mejoramiento del hábitat resulta sumamente difícil. Pero el que los modelos generados posean una capacidad predictiva débil, no debe detener los intentos de ejecutar programas de restauración y mejoramiento ambiental para estos ecosistemas. De hecho,, presiones políticas y legales, -en años recientes, cada vez con mayor fuerza también sociales- pueden exigir el desarrollo de estos programas.

La formulación de políticas de, manejo de húmedales con buenas probabilidades de éxito, depende de decisiones acerca del valor de los recursos naturales, y éstas se hallan más fuertemente influidas por procesos políticos y por economías de mercado, tanto gubernamentales como privadas, que por razones científicas y ecológicas (Walker, 1973). De lo contrario no se explicaría la insistencia de nuestros gobernantes por ejecutar, en contra de todo estudio y recomendación de reconocidos científicos mexicanos, los proyectos de La Chontalpa en Tabasco, de la selva de Uxpanapa y de la planta'nucleoeléctrica de Laguna Verde, ambas en Veracruz (Casco, 19 7 9; Toledo, 19 7 8).

En términos económicos y sociales, el costo de las dos primeras acciones ha sido devastador para los ecosistemas y para la estructura social y productiva de las comunidades humanas. A' su vez, las predicciones de los especialistas acerca de Laguna Verde son, en verdad, alarmantes. Por lo demás, parece haber indicios de una apertura en sectores importantes de la administración pública, que intentan respetar las recomendaciones de la comunidad científica y de otros grupos sociales de nuestro país. Esperamos que esta tendencia se extienda y fortalezca en años venideros.

Por el momento, resulta previsible que las metas no científicas predominen en el proceso de planeación y en las decisiones sobre el manejo de los recursos naturales. Ade-

más, la estructura burocrática dificulta una administración eficiente de estos recursos. Walker (1973) cita ciertas limitaciones en el ejercicio de los presupuestos (como los límites temporales para ejercer algunas partidas), que pueden entorpecer los esfuerzos del científico al impedirle contar con el tiempo necesario para recabar información precisa que a su vez pueda convertirse en técnicas y políticas de manejo. Asimismo, los administradores pueden llevar a cabo modificaciones ambientales de índole mayor y muy visibles para mostrar que sus esfuerzos han sido productivos. También legisladores y otros funcionarios pueden aprobar estrategias que provoquen un beneficio muy notable -a corto plazo, sin tener en consideración sus efectos, generalmente negativos, en un *plazo* mayor.

En parte, estos problemas residen en la carencia de especialistas que integren en su formación conocimientos de otras disciplinas tradicionales (ecólogos-políticos, legisladores-biólogos, zoólogos-administradores); o bien, en la falta de grupos de trabajo interdisciplinario. Mientras en nuestro país se forman estos profesionistas, cabe preguntarse en qué medida puede o debe minimizarse el impacto de los factores no científicos en la planeación ambiental. Al menos los responsables de las decisiones deben reconocer que las alteraciones antropogénicas de los ambientes han de ocurrir solamente bajo razones claramente definidas y biológicamente prudentes.

¿Qué alternativas tienen para sobrevivir estos frágiles y altamente productivos ecosistemas, como las selvas altas, los pantanos y los estuarios, a la vista de una encrucijada tan compleja de factores económicos, políticos, administrativos, tecnológicos y culturales? Diversos centros de investigación biológica en nuestro país trabajan afanosamente tratando de crear una base de datos ecológicos para apoyar y fundamentar las estrategias y los planes de manejo de recursos naturales más acordes con la realidad de nuestro país. (1)

También existen esfuerzos importantes por salvaguardar porciones de esta diversidad biológica y ecológica en áreas

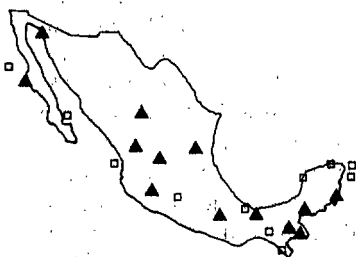
(1) Por ejemplo, Victor Manuel Toledo y sus colaboradores, en el estudio de *Ecología y autosuficiencia alimentaria*, proponen una alternativa basada en la diversidad biológica, ecológica y cultural de México.

protegidas. El gobierno federal estableció el Sistema Nacional de Areas Naturales Protegidas (SINAP) para asegurar la preservación, el uso racional y la valorización de recursos naturales y culturales, así como determinar su manejo y las prioridades de atención. Tal sistema incluye parques nacionales, naturales y culturales, monumentos naturales y reservas ecológicas y de la biósfera (figura 1).

¿En qué medida estas reservas ecológicas (11 a la fecha) y de la biósfera (13) serán capaces de conservar la diversidad biológica y sobre todo la variabilidad genética de sus poblaciones de plantas y animales? Esta cuestión aún debe responderse. Estimaciones de Soulé *et al.* (1979) plantean que aun las reservas más grandes (mayores de 10 mil kilómetros cuadrados) pueden sufrir la pérdida de más del 30% de sus grandes mamíferos en los próximos 500 años y que el problema será posiblemente mucho más agudo en las reservas pequeñas (cuadro 2). Las seis reservas de la biósfera que el gobierno federal considera de atención prioritaria (Montes Azules, Chiapas; Sian Ka'an, Quintana Roo; El Pinacate, Sonora; Calakmul, Campeche; Vizcaíno, Baja California Sur y El Cielo, Tamaulipas) suman en su conjunto una superficie de 32,623.21 km²: apenas el tamaño recomendado para tres reservas. Podemos entonces sospechar que si para fines de este siglo el deterioro ambiental (pérdida de suelo, agotamiento de acuíferos, contaminación del ambiente), los usos humanos no autorizados en la reserva (actividades agrícolas, caza furtiva, extracción de plantas vivas, tala inmoderada, explotación mineral y sobrepastoreo) y los decretos e irregularidades en la tenencia de la tierra, no acaban por eliminar de la reserva a las especies de aves y mamíferos mayores (más de un kilogramo de peso) y a ciertas especies arbóreas críticas, lo harán algunas décadas después los procesos estocásticos de modificación de hábitat y de deriva genética, independientes de la actividad humana. Frankel y Soulé (1981) plantean que el tamaño mínimo efectivo de población para una especie que permita "prevenir la erosión de la variación genética selectivamente útil durante un periodo indefinido", debe tener al menos 500 individuos. Si consideramos que un jaguar llega a mantener territorios *de hasta* 50 km², se necesitaría una reserva de 25 mil kilómetros cuadrados para mantener un tamaño de población

FIG. 1 SISTEMA NACIONAL DE AREAS PROTEGIDAS (SINAP).

SINAP-RESERVAS



- | | |
|---|-----------------------------|
| ▲ | RB: Reserva de la Biosfera. |
| □ | RE: Reserva Ecológica. |

DE ATENCION FEDERAL

Prioridad 0 (Máxima prioridad)*

- | | TIPO |
|--------------------------------|------|
| 1. Montes Azules, Chiapas | RB |
| 2. Sian Ka'an, Quintana Roo | RB |
| 3. El Pinacate, Sonora | RB |
| 4. Mariposa Monarca, Michoacán | RE |
| 5. El Triunfo, Chiapas | RE |

Prioridad 1

- | | |
|----------------------------------|----|
| 6. Calakmul, Campeche | RB |
| 7. Vizcaíno, Baja California Sur | RB |
| 8. El Ocote, Chiapas | RE |
| 9. Isla Isabel, Nayarit | RE |
| 10. Isla Contoy, Quintana Roo | RE |
| 11. El Cielo, Tamaulipas | RB |
| 12. Ría Lagartos, Yucatán | RE |

Prioridad 2

- | | |
|--|----|
| 13. Islas del Golfo de Baja California | RE |
| 14. Santa Martha, Veracruz. | RE |
| 15. Ría Celestun, Yucatán | RE |
| 16. Isla Guadalupe, Baja California | RE |
| 17. Mapimí, Durango | RB |
| 18. Michilía, Durango | RB |
| 19. Manantlán, Jalisco | RB |

REQUIEREN ADMINISTRACION ESTATAL

- | | |
|--|----|
| 20. Volcán de San Martín, Veracruz | RB |
| 21. Cascadas de Agua Azul, Chiapas | RB |
| 22. Costa Occidental de Isla Mujeres
Quintana Roo | RE |
| 23. Sierra Fría, Aguascalientes | RB |
| 24. Sierra de Juárez, Oaxaca | RB |

TOMADO DE: INFORME SOBRE EL ESTADO DEL MEDIO AMBIENTE EN MEXICO.
FIG. 1.13

(* El informe no define los criterios de prioridad.)

CUADRO 2

ALGUNAS CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE RESERVAS ECOLÓGICAS EN LOS TROPICOS

1. La homeostasis ecológica se correlaciona generalmente con el tamaño del sistema. Para minimizar la extinción, es necesario maximizar el área. Reservas pequeñas perderán a sus carnívoros y herbívoros de mayor talla y posible^{mente} a ciertas especies críticas de plantas. Se generarán ciertos efectos resonantes predecibles. Conjuntos enteros de especies también desaparecerán de reservas pequeñas debido a la erradicación estocástica, si bien efímera, de estadios sucesionales tempranos.
2. Algunas especies grandes (vistosas) no se verán adecuadamente protegidas aún en las reservas más grandes. Las poblaciones de ciertos mamíferos grandes (particularmente carnívoros) se verán sujetos a eventos estocásticos y requerirán de un manejo obligado. Algunas especies de aves y murciélagos tropicales migratorios emigran bajo situaciones "estresantes" (como lo sería una reducción marcada en la producción local de frutos silvestres) y, por ello, estas especies sólo pueden ser protegidas por un sistema de reservas densamente distribuido a lo largo y ancho de una extensa área.
3. Las reservas, o al menos su núcleo central, deben ser inviolables en los trópicos debido a los requerimientos estructurales tan particulares de muchas especies tropicales y a la vulnerabilidad de los bosques tropicales. El concepto de uso múltiple, desarrollado en y para los bosques templados, podría ser desastroso en los trópicos ^{1/}debido a la fragilidad de los suelos y a los requerimientos ecológicos estrictos de muchas especies. Por el otro lado, una cantidad limitada de disturbios artificiales controlados pueden ser necesarios para mantener las etapas sucesionales, particularmente en las pequeñas reservas.

(Frankel y Soulé, 1981: 118, 119)

^{1/} (Pero véanse los planteamientos de Toledo et al., 1985 y las referencias en él contenidas, por ejemplo, sobre el uso múltiple de las selvas "mayas").

evolutivamente viable de esta especie. (*) Ya ún no hemos tomado en cuenta catástrofes naturales y epidemias que podrían afectar a este carnívoro o a sus presas. De hacerlo, deberíamos pensar en un sistema de reserva que permitiera responder a este tipo de contingencias. Estas y otras consideraciones nos obligan a reconocer las dificultades prácticas de contar con un número adecuado de reservas naturales lo suficientemente grandes y estratégicamente situadas para conservar la diversidad ecológica y el potencial evolutivo de la flora y la fauna del mundo. Por ello es urgente e imperativo destinar recursos para entender la dinámica de la diversidad de las pequeñas islas de riquezas bióticas que aún quedan, así como aprender a manejar estos vestigios, delicadamente situados, de plantas y animales. Este proceso deberá contemplar técnicas intensivas de manejo genético, cosecha selectiva de individuos, manipulación de hábitat y creación de áreas especiales, migración artificial inter-reservas, etc. Por su parte, el SiNAP deberá ampliar su cobertura de reservas en hábitats de humedal. Según un trabajo de Difusión y Ciencia, A.C. (1986), México ha protegido 278,020 hectáreas de ambientes con vegetación acuática y subacuática, lo que equivale al 12% de las áreas protegidas en parques nacionales y reservas; aun así, 108,471 hectáreas corresponden exclusivamente a los ambientes acuáticos en la reserva de Sian Ka'an. Otra reserva donde se protegen ambientes

(#) En términos del manejo de una especie, su tamaño de población es equivalente al número de individuos adultos reproductivos que presenta. Cuando la proporción de sexos en estos individuos es 1 : 1 (un macho por cada hembra) este conjunto de individuos también se considera como la población (genéticamente) efectiva. Pero cualquier desviación en esta proporción (lo que se presenta, por ejemplo, en todas las especies poligámicas) reduce el tamaño de la población efectiva (N_e) de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$N_e = \frac{4N_m N_f}{N_m + N_f}$$

N_f = Número de hembras reproductivas
 N_m = Número de machos reproductivos.

Así una manada de 72 caballos, constituida de 12 machos y 60 hembras, comportará, en términos de la cantidad de deriva genética presente en la población, como una manada constituida por 20 machos y 20 hembras, es decir las solo 49 animales. Mientras menor es una población, mayor es la probabilidad de que se pierdan alelos por los efectos de su acervo genético y, por ello se reducen sus posibilidades de supervivencia.

pantanosos es la de Río Lagartos en Yucatán. Existen varios parques nacionales con ambientes de humedal (lagunas de Montebello, Chiapas; lagunas de Chacahua, Oaxaca; lagunas de Zempoala, Morelos) pero su condición actual no garantiza una adecuada conservación, (SEDUE, 1986: 57).

La comunidad científica y conservacionista mundial ha reconocido la importancia de estos ambientes para toda la humanidad. En 1972, la UNESCO publicó un reporte acerca de los efectos ecológicos de las actividades humanas sobre el valor y los recursos de lagos, pantanos, ríos, deltas, estuarios y zonas costeras. Antes de terminar la década se constituyó la convención Ramsar, que en septiembre de 1980 agrupaba a veintisiete naciones signatarias y para 1985 había protegido 300 sitios con una extensión total de 20 millones de hectáreas. La convención Ramsar puede considerarse como el único tratado internacional de conservación de la vida silvestre que promueve el mantenimiento de la producción del hábitat (Temple, 1983) y que pretende proteger principalmente ambientes de humedal como hábitat de especies de vida silvestre. Esta convención elaboró un inventario de los humedales de la región neotropical (Scott y Carbonell, 1986). El Consejo Internacional para la Protección de las Aves-Sección Panamericana-(CIPAI ha firmado un acuerdo con el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos para financiar hasta por 55 mil dólares proyectos educativos en Latinoamérica, que pueden incluir programas de entrenamiento para profesionistas biólogos de la región, preparación de materiales sobre conservación y educación ambiental e investigaciones relacionadas con la conservación de la vida silvestre en la región neotropical. Venezuela ya recibe apoyo del CIPA en un programa de conservación de ambientes costeros; Brasil protege un importante humedal para aves migratorias en Lagoa de Peixe y en la región del Pantanal, gracias a la cooperación internacional. El Fondo Mundial para la Vida Silvestre (WWF) ha ofrecido su ayuda para la reserva de Sian Ka'an en México. Existen, en suma, disposición y recursos internacionales para conocer y conservar los humedales del mundo, así como para capacitar a los especialistas requeridos.

En resumen, la conservación depende de las circunstancias políticas locales, de la disponibilidad de fondos y gente para llevar a cabo los proyectos, así como del clima de coo-

peración entre las organizaciones nacionales e internacionales. Estos factores son por ahora propicios.

Por otra parte, el mosaico ecológico de los pantanos requiere por igual una multitud de usos. Un ejemplo de este aprovechamiento múltiple lo proporcionan los chontales de las tierras bajas inundables del centro de Tabasco, quienes procuran conservar la cubierta vegetal creando ecosistemas poliespecíficos y desarrollando la acuicultura y una ganadería intensiva basada en forrajes verdes derivados de las selvas primarias y secundarias. También podemos registrar prácticas de recolección, caza terrestre, ganadería, agricultura, arboricultura, horticultura, piscicultura y pesca. Por ello, conviene buscar los mecanismos para hacer partícipe a la población rural de cualquier programa de restauración y aprovechamiento alternativo de recursos; su participación *activa* en la planeación y toma de decisiones es fundamental. También se deben generar programas de educación ambiental que proporcionen a niños y adultos una imagen real de la situación de sus recursos, del papel que ellos desempeñan en la situación del ambiente y de las posibles alternativas. Ahora bien, ¿será capaz nuestro sistema político de responder a las demandas de una población educada, consciente y organizada?

Parte de la labor del programa de educación ambiental consistirá en demostrar que un manejo ecológico de los recursos naturales no es por fuerza económicamente irredituable. Ciertamente, afectarán a sectores con poderosos intereses, como el que vive de la ganadería extensiva en zonas tropicales. El sistema ganadero en México ocupa aproximadamente 78 millones de hectáreas, y sin embargo ha sido incapaz de satisfacer las necesidades de proteína animal del país (Reig, 1982): apenas producen en promedio 10 kg de [carnelha. al](#) año (Rutsch, 1980). En cambio, si se aprovecharan las lagunas costeras del país bajo un régimen de manejo de acuicultura, se producirían alimentos equivalentes a la producción de 16 millones de hectáreas de tierras agrícolas (cifra que representa poco más de la mitad de la superficie agrícola potencial de México) en sólo un millón 600 mil hectáreas de superficie estuárica (Toledo *et al.*, 1985: 21). Entonces, no podrá olvidarse que popales, tulares, carrizales y manglares alimentan a estos estuarios.

También la cría de iguanas puede ser más productiva que

la de ganado bovino. IDagmar Werner, del Instituto Smithsoniano en Panamá, sugiere la crianza de iguanas como fuente de proteínas, que puede producirse en los manglares y las comunidades arbóreas circundantes (selva baja inundable y selva alta perennifolia), en condiciones de cautiverio y semi-cautiverio. West, Psuty y Thom (1976:99) reportan la presencia de la iguana común en las formaciones de *Rhizophora* y del "azpoque" (*Ctenosaura acanthinura*) en troncos de *Avicennia* en los manglares de Tabasco. Esta última especie puede llegar a medir 1,5 m de largo; ambas son codiciadas por los cazadores. Gracias a una investigación, en Panamá se logró reducir la mortalidad natural de una especie de iguana de 95% a 5% en condiciones de cautiverio. Al cabo de un año, durante el cual las iguanas son alimentadas con un suplemento de bajo costo y alto en proteínas, su peso duplica al de los animales silvestres. Con métodos sencillos y baratos se ha enseñado a los habitantes locales a producir un promedio de 90 iguanas de casi 3 kg de peso en una hectárea de selva; a un precio de 800 pesos/kg de carne, cada productor obtiene un ingreso anual adicional a sus ingresos habituales de 216 mil pesos y cosecha 227 kg de carne de iguana. Este mismo tipo de hábitat, convertido en pastizal, sólo produce, en dicha región de Panamá, 15 kg de carne de res por hectárea cada año (en México, 10 kg/halaño)..

¿En qué medida esta experiencia puede aplicarse a los manglares y las selvas del sureste mexicano? La respuesta implica un experimento que merece intentarse. Los estudios básicos iniciados por especialistas nacionales con especies mexicanas de iguánidos deben alentar estudios aplicados con esta especie,

También las tortugas se consumen con bastante regularidad entre los habitantes de la región de Coatzacoalcos: tortuga pinta, tortuga lagarto, pochitoque, tortuga galápagos o tres lomos, etc. Algunas especies, como la lagarto *Che/ydra serpentina*, llegan a alcanzar precios de 4 mil a 6 mil pesos por pieza. (11)

Pero estos animales resienten la contaminación y la destrucción de sus pantanos nativos, Oficialmente, existe una veda para algunas de estas especies, que empero no se

(11) Com. pera., Bogada, 1987,

acata en muchos casos. La tortuga pinta se encuentra en esta situación: puede venderse un ejemplar de 40 cm en 5 mil pesos, y la gente del lugar declara no respetar las disposiciones de veda. Aun así, tal situación no es privativa de la localidad. En Nacajuca, Tabasco, se estableció desde 1976 un criadero de tortugas, que de 60 animales originales ha logrado incrementar su población hasta 3 mil (Alamilla, 1986). Sin embargo, la demanda, sobre todo en los restaurantes en época de cuaresma, excede mucho las posibilidades del criadero. Por la peculiar situación de estos animales en libertad, sería altamente recomendable considerar el establecimiento de criaderos rústicos de tortugas. En otros países tropicales (Brasil y Costa Rica, por ejemplo), se ha descubierto que las tortugas se encuentran entre las especies más prometedoras en términos de un recurso alimenticio redituable y de fácil manejo. Se trata de criaturas altamente prolíficas; una tortuga de río gigante puede ovipositar hasta 150 huevos, de los cuales un alto porcentaje logra sobrevivir si se minimiza la predación de las crías. Muchas especies de tortugas son hervíboras, y se alimentan principalmente de plantas acuáticas, hojas y frutos que caen al agua, así como, ocasionalmente, de peces muertos y otros desechos animales. Y como los reptiles pueden sobrevivir largos periodos sin alimento, es poco probable que sufran por hambrunas ocasionales. Tampoco requieren de instalaciones costosas ni de una laboriosa preparación de un medio propicio: basta dejarlas en paz en los ríos y pantanos que siempre han habitado.

Aparentemente, es posible manipular la proporción de los sexos de la puesta controlando la temperatura de incubación de los huevos. Así, sería posible producir una gran cantidad de hembras al inicio de un programa de reproducción en cautiverio hasta generar una existencia de hembras-ponedoras lo suficientemente grande para alimentar la demanda de los consumidores. Finalmente, aunque las tortugas se desarrollan más lentamente que los mamíferos, su tasa de crecimiento es más rápida de lo que popularmente se cree. Observaciones preliminares en Brasil demuestran que estos reptiles pueden alcanzar una talla comercial entre los 5 y 7 años. Aun así, cualquier esfuerzo en esta dirección debe ser precedido por estudios sobre la ecología de las especies elegidas, y se debe entender la relación de éstas con las pobla-

ciones humanas antes de emprender con éxito un programa de esta naturaleza.

Las regiones pantanosas también albergan una gran variedad de aves acuáticas, muchas de ellas de importancia cinegética. Tan sólo sumando patos y gansos, la Dirección General de Fauna Silvestre de México y el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos estimaron -mediante censos aéreos en 1979- una población de 1 '528,490 animales a lo largo de la costa del Golfo de México. Si aceptamos que un censo aéreo sólo detecta una quinta parte de la población real (Knoder, *fide* Quiñones, sin fecha), ésta consistiría en más de 7 millones de aves para todo el Golfo. Se estima que el 71 % de estas poblaciones se encuentran en la Laguna Madre en Tamaulipas y en las lagunas de Tabasco, Campeche y Yucatán. El 29% restante se reparte en las lagunas de Tamiahua y de Alvarado y en los humedales de Coatzacoalcos-Minatitlán (2'216,3 10 aves). Quiñones proporciona una estimación de la derrama económica por temporada generada por la caza deportiva de patos en la Ciénaga de Lerma entre los años de 1973 y 1977:

• Por concepto de cartuchos:	« 1 '250,000 pesos
• Contratación de lancheros:	« 1'000,000 pesos
• Renta de puestos de caza:	2'000,000 pesos
	<hr/>
	4'250,000 pesos

El máximo número de, piezas cobradas durante este periodo corresponde a la temporada 1976-1977: 39,202 patos. El monto mencionado no incluye actividades secundarias, como el desplumado de patos y la venta de bebidas y alimentos, por parte de los lugareños. Tampoco considera los ingresos a la Tesorería de la Federación por concepto de permisos de caza, y aún podríamos añadir los ingresos por la venta de equipo y vestimenta apropiados.

Las aves acuáticas se consumen con cierta regularidad entre la población de Coatzacoalcos. Un pato floridano (*Aras acuta*) se cotiza en 3,500 pesos dentro de los mercados locales, y un canate (*Anas discors*² cuesta entre 450 y 500 pesos (Bozada, 1987). También se colectan las nidadas del pichichi (*Dendrocygna autumnalis*), que son incuba-

das por aves de corral y alimentadas hasta que los patos alcanzan un peso adecuado para ser sacrificados.

La carne de otros mamíferos silvestres también es muy apreciada en la región (por ejemplo, la de venado y la de tepescuintle (*Dacyprocta mexicana*) y convendría saber cuán redituable sería fomentar la crianza de estas especies en condiciones de cautiverio o semicautiverío,

Las posibilidades de esta actividad son muy grandes, como lo señalan [3ozada *et al.*, en el volumen XI de esta misma serie. El cultivo de peces, de crustáceos (cangrejos y jaibas), de moluscos (ostiones y almejas) e incluso de insectos, se ha practicado en otras regiones tropicales del mundo con buenos frutos. Además, puede haber aprovechamientos más allá del alimenticio. Algunos países han descubierto que la producción y exportación de mariposas resulta decenas de veces más redituable en términos económicos que la producción de reses, y no hay necesidad de transformar los ecosistemas originales en pastizales,

También la vegetación puede generar beneficios importantes a la economía regional.. Estudios realizados en las comunidades costeras de mangle del estado de Florida, Estados Unidos, han demostrado que la destrucción de este tipo de hábitat genera una baja considerable en la producción de las pesquerías costeras. La hojarasca que produce el mangle rojo (*Rhizophora mangle*) provee por sí misma el 50% de los nutrientes que alimentan a los peces y mariscos que se aprovechan industrialmente en esta región costera. Si los mismos valores fueran representativos para el manglar de la laguna del Ostión, la tala continua del mismo debe por lo tanto estar afectando ya la reproducción de peces y mariscos en esta Laguna.

Tan importantes son los manglares para otras naciones, que en Estados Unidos la tala no autorizada de un árbol de mangle puede acarrear una multa de 75 dólares. Y tan sólo por su producción anual de peces se valora un acre (0.4 hectáreas) de manglar en 380 dólares. Las 400 hectáreas de la laguna del Ostión podrían en suma representar un valor superior a los 380 millones de pesos.

Una publicación del gobierno del estado de Tabasco (1981) estima en 68 170 hectáreas la superficie cubierta por manglares en dicho estado (Gallegos, M., 1986:19). Con base en las cifras mencionadas, este hábitat podría ge-

nerar una derrama económica por concepto de pesquerías de alrededor de 50 mil millones de pesos.)")

El potencial de las demás especies vegetales en estos ambientes de humedal aún no se evalúa sistemáticamente. En cuanto a las especies arbóreas, se sabe que muchas de tipo tropical tienen maderas con propiedades útiles, y miles de ellas aún no se investigan. De hecho, una futura fuente de energía podría extraerse de la biomasa vegetal, La cantidad de productos no comestibles que se extraen de las plantas es considerable: gomas, resinas, taninos, colorantes, fibras, insecticidas, perfumes, lociones, ceras, cosméticos, ablandadores de carne, preservativos, aislantes, terpentinas, grasas, sustitutos de jabón, fertilizantes, materiales de embalaje, escobas, canastas, material para techar y acolchonar muebles, aceites, laxantes, productos (como el alcanfor) necesarios en la fabricación de plásticos, lacas, películas y explosivos. En la última década, se han investigado en México cuatro especies con un potencial asombroso de usos y aplicaciones: el guayule, la jojoba, el amaranto y un pasto marino, *Zostera marina*, que podría representar un cultivo único, ya que no necesita agua dulce, pesticidas ni fertilizantes, y su valor nutritivo es elevado.

Por añadidura, estos ambientes pueden atraer turismo, por su valor ecológico y recreativo.. El ingreso que el mismo representa para naciones como Kenia y Costa Rica es significativo.

Consideraciones finales

El mantenimiento de hábitats diversos es un factor crucial en la conservación y el manejo de la vida silvestre. De hecho, no existe un país en el mundo en el cual los ambientes de humedal -básicos para la supervivencia de muchas plantas y animales- no hayan sido destruidos o drásticamente alterados o al menos amenazados por el hombre. Por lo demás, cualquier plan para la conservación de dicha riqueza deberá enfocarse hacia la protección de hábitats. Pero sobre todo

(t) Sin embargo, nólesu el problema de estadística: el Plan Estatal do Desariollo (19791 para este mismo estado (fide Gallege , 1986' 191 ~S121S1ece 4L . é srílo 27210 ha. aún no habían sido desmontadas para actividades agropecuarias, si bien todas son objeto de dushuccibn por las intensas actividades petroleras

deberá incluir no sólo las áreas de importancia para la reproducción, sino también las de alimentación durante todo el año y las de invernación y de parada migratoria. En algunos casos, ciertas especies también requerirán la protección de las áreas donde llevan a cabo sus mudas de plumaje.

La protección de estos ambientes debe basarse en un enfoque ecosistémico. Particularmente en el caso de los humedales, cuya dinámica se entrelaza en una compleja red de interacciones con los ambientes circundantes y cuyo mantenimiento puede depender de factores que se presentan a cientos de kilómetros de distancia, esta consideración es imprescindible (*vid. supra.*). Pues no sólo es importante mantener la integridad física del sistema; también se ha de preservar su integridad, funcional. Un pantano podrá conservar su apariencia original ante la mirada del no especialista, pero, ante el experto, pequeños huecos en la presencia de ciertas especies o la proliferación de otras son [índicios de](#) que el sistema está afectado y que tarde o temprano dejará de funcionar en armonía. Con estas alteraciones puede provocarse la desaparición de todo tipo de animales (insectos, peces, ranas, tortugas, pájaros, mamíferos) y la proliferación excesiva de unos pocos que pronto llegan a convertirse en plagas; también habría inundaciones o sequías inesperadas, calores o fríos excesivos, hambrunas y enfermedades.

"Aquellas naciones que no tienen éxito en mantener la diversidad básica de su biota vegetal y animal, también son aquellas con menor éxito en proteger estándares de vida decentes para sus habitantes". (Lovejoy, 1986). Casi no existe un país en el mundo en el cual los ambientes de humedal, de importancia para la supervivencia de las especies, no hayan sido destruidos o drásticamente y adversamente alterados por la mano del hombre, o bien que se encuentren amenazados por algún tipo de desarrollo a futuro. El problema se extiende a todos los ambientes naturales del planeta. Los seres humanos generan la extinción de las especies vegetales y animales por: la fragmentación de hábitats, su degradación y destrucción, la explotación de recursos, la contaminación y la introducción de especies exóticas. La fragmentación y destrucción del hábitat, así como su explotación, parecen ser los factores más importantes de la extinción.

Si bien las tasas presentes de extinción de especies y las proyecciones futuras están abiertas a debate, no hay duda

de que las condiciones favorables a la extinción en masa de especies existen en la actualidad y se están incrementando constantemente. Asimismo se reconoce que dada la magnitud de los efectos potenciales de esta extinción, los esfuerzos por contrarrestarla son insignificantes.

De todos los problemas contemporáneos con tendencias a incrementarse en el futuro, el empobrecimiento de la biota y la disminución de los recursos biológicos debe considerarse entre los más serios. Como lo indica Lovejoy (1986), "si uno considera que la disminución en los estándares de vida contribuye a generar inestabilidades sociales, económicas y políticas, incluyendo la probabilidad de una guerra nuclear, el problema de las especies amenazadas podría bien ser el más serio. Las especies amenazadas sirven como heraldos de estos otros problemas cuyo desarrollo se está gestando a pasos agigantados".

Pero, ¿qué representa este problema de la desaparición de especies para el ser humano ordinario, preocupado por ganarse la vida y procrear una familia en las postrimerías del siglo XX? Los países con comunidades científicas bien desarrolladas, con movimientos ambientalistas locales y con instituciones legales diseñadas para enfrentar el problema del decremento de la diversidad biológica aún encuentran en esta situación una problemática recalcitrante.

Las especies protegidas en estos países parecen condenadas a existir en rangos limitados que requieren manejo humano en reservas controladas. La continua y persistente demanda de incrementar los bienes y servicios para la población humana parece significar que aún los esfuerzos más sinceros y hábiles tan sólo retrasarán la pérdida inevitable de las especies.

En los países en vías de desarrollo de los trópicos, la deforestación continúa y se acelera, mientras hábitats enteros son destruidos en días o meses. No hay tiempo para preocuparse más que de las especies mejor conocidas y más esplendorosas. En muchos casos, menos de la mitad de las especies amenazadas no han sido siquiera identificadas y nombradas; nada se sabe de sus historias de vida y hábitats.

Generalmente se ha visto que las personas de los países no desarrollados perciben a la fauna silvestre de dos maneras. La primera tiene sus raíces en econórrriál dé §C1MI téPi-cia que tienden a enfatizar los valores prácticos y materiales

de las especies. La otra perspectiva frecuentemente involucra un sentimiento de asombro y respeto por los animales aunque, típicamente, en un contexto muy abstracto, idealizado y sacramental. Esta última perspectiva se ve reflejada a menudo en pensamientos religiosos, místicos y filosóficos, que suelen ejercer una influencia menor en el tratamiento personal o en el manejo público de las especies o' los hábitats naturales.

Necesitamos estudiar las actitudes hacia los usos de las especies silvestres en estos países en áreas tales como el folklore, la religión, la domesticación de animales, tabúes alimentarios, artes decorativas y aspectos relacionados con las *relaciones* sacras y simbólicas hacia la vida silvestre. Las perspectivas utilitarias y místicas hacia los animales deben recibir consideraciones especiales en cualquier esfuerzo de conservación de especies en países como el nuestro. Esta misma perspectiva utilitaria tan enraizada, sugiere que los programas de protección del suelo y las especies amenazadas deben ser consideradas simultáneamente en los esquemas de desarrollo socioeconómico.

En países como el nuestro; argumentos basados en el valor "potencial" de las especies probablemente nunca ocupen un lugar decisivo en los debates para establecer políticas de aprovechamiento y conservación de los recursos naturales; en particular, dada la dificultad de cuantificar este tipo de valor en relación con la información económica "sólida" frecuentemente citada en favor de los proyectos de desarrollo. Asimismo, los argumentos en pro, de un valor "intrínseco" de las especies (el derecho a la vida de criaturas no humanas por ejemplo) no proporcionan una base teóricamente defendible para la conservación de las especies, pero debemos reconocer el papel que desempeñan las experiencias con la naturaleza y con las especies en la formación de los ideales y aspiraciones humanas. Este reconocimiento debería obligarnos, a su vez, a trascender el enfoque meramente utilitario del valor de las especies. Entre los identificados en los países desarrollados para la vida silvestre podemos incluir:

- 1) Valor recreativo/naturalista
- 2) Valor moral

- 3) Valor estético
- 4) Valor cultural, simbólico e histórico
- 5) Valor científico
- 6) Valor ecológico
- 7) Valor utilitario

Suponiendo que estos valores pudiesen ser extrapolados a nuestra situación particular, aún necesitaríamos identificar o evaluar su relevancia y sus rangos- en las situaciones de conflicto que surgen al plantearse la necesidad de elegir entre la conservación de las especies y las diversas actividades humanas que las ponen en peligro.

Uno de los aspectos más difíciles en la cuantificación de los costos y beneficios tanto sociales como económicos de la conservación de las especies consiste en establecer el marco de referencia temporal, dentro del cual se hará el análisis. En términos generales, el valor de una especie parece incrementarse conforme se amplía el marco temporal para el cual se computan los beneficios que puede producir. Las decisiones de conservación de especies son más defendibles conforme se asigna un mayor peso a las obligaciones que tienen las generaciones presentes con las futuras.

Existe la controversia sobre la utilidad de análisis de costo/beneficio- como un método para decidir qué esfuerzos de conservación de especies son socialmente benéficos. Es necesario reconocer que análisis económicos estrictos no siempre otorgan prioridad a las actividades desarrollistas en detrimento de las conservacionistas. Si consideramos categorías de valor de los recursos lo suficientemente amplias como para incluir todos los beneficios derivados de las especies, la opción de conservar proporciona los más altos.

Confrontados con la necesidad de tomar decisiones respecto a la conservación de la diversidad biológica, el enfoque de protección de ecosistemas presenta ventajas considerables en todas las situaciones no críticas. La preocupación por especies individuales debe verse limitada a situaciones de crisis y aún en este caso las iniciativas de manejo deben estar diseñadas para rehabilitar a la población de

la especie amenazada, de tal manera que el manejo sabio de su hábitat pueda reemplazar la intervención directa de su ciclo vital.

Salvo excepciones concretas, la conservación del hábitat debe tener prioridad en cualquier planteamiento de uso de recursos naturales. Las principales razones que se esgrimen en pro de este enfoque son las siguientes:

- 1) La falta de conocimiento que tenemos acerca del funcionamiento general de los ecosistemas y de las historias de vida de una gran mayoría de especies.
- 2) Los ecosistemas, al igual que las especies, poseen un valor instrumental.
- 3) La protección de todo un ecosistema tiene efectos positivos, sobre todas las especies que en él habitan.
- 4) El enfoque ecosistémico enfoca la solución del problema de la desaparición de especies a un largo plazo, reduciendo los costos de resolver situaciones críticas constantemente.

Es indispensable implementar un cambio de políticas, concentrarse en conducir la crisis hacia un esfuerzo mundial de protección de ecosistemas.

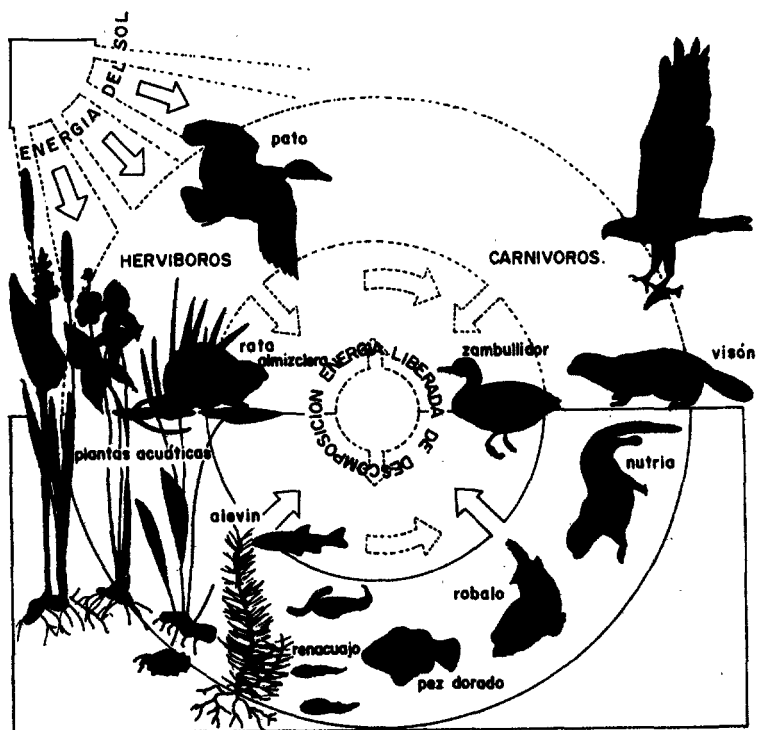
Si bien el colapso de todo un ecosistema podría considerarse un evento de baja probabilidad, tendría enormes consecuencias negativas. Al igual que otros incidentes con estas características (la destrucción accidental de una nuclear, por ejemplo) debe ser más relevante la planeación para reducir los riesgos conocidos que concentrar esfuerzos para obtener una cuantificación precisa de todos los peligros. En este sentido, recomendamos concentrar recursos preferencialmente en evitar el deterioro continuado de los ecosistemas y no en proyectos que planteen conocer hasta el último detalle de su composición y funcionamiento. Con ello no queremos decir que dejen de financiarse estudios que planteen buscar respuesta a ciertos aspectos críticos del funcionamiento de los ecosistemas. Por ejemplo, la información científica disponible parece implicar que los efectos de las pérdidas actuales de especies reverberarán a través de los

ecosistemas por décadas, siglos y milenios. Sabemos tan poco sobre cómo interactúan las especies en los ecosistemas, cuáles son sus relaciones de dependencia o cómo se recuperan los ecosistemas de los disturbios, que las acciones requeridas ahora para evitar futuros desastres son efectuadas frecuentemente sin conocimientos suficientes para generar decisiones ponderadas. Sólo un esfuerzo científico de proporciones sin precedentes puede darnos la información necesaria para tomar decisiones sabias sobre el futuro.

Necesitamos conocer los niveles de redundancia de los, ecosistemas (es decir, la cantidad y tipos de especies que pueden perderse sin precipitar el colapso del sistema). Desconócenos estos niveles; no sabemos si la mayoría de, lós ecosistemas tengan niveles comparables de redundancia; ' ignoramos si algunos, muchos o la mayoría de ellos estén gobernados por una o varias especies "clave" (especies_ que determinará el carácter y funcionamiento de un sistema; 'sin ser necesariamente dominantes numéricamente, o en términos de biomasa total). La formación ,de profesionistas capaces de encontrar. respuestas a este tipo de interrogantes es inaplazable como también lo es la apropiación de recursos nacionales o internacionales para financiar los estudios y programas requeridos.

Pero ningún esfuerzo científico será exitoso por sí mismo. Mientras los encargados de la toma de decisiones traten u otras especies y ecosistemas naturales meramente como fuentes de materias primas para ser explotadas en aras de una ganancia inmediata, y las percepciones y actitudes humanas separen a las gentes de la naturaleza y el valor de una criatura viva se mida en términos de su valor económico inmediato o de su proximidad filogenética con la especie humana, ninguna aportación al conocimiento científico resolverá el problema.

El problema está básicamente fundamentado en esfuerzos sociales y políticos. Por lo tanto, intentos de dirigir los problemas sólo en términos científicos y de manejo de recursos están condenados al fracaso. Un esfuerzo más profundo para entender y transformar las actitudes humanas hacia otras especies es esencial. A corto plazo esto implica explorar, analizar y difundir aquellas formas, mediante las cuales la vida y la felicidad humana de todas las culturas sea dependiente de la preservación de otras especies y hábitats naturales. A largo



EL MUNDO DEL PANTANO.

Tomado de: The Mitchell Beazley Atlas
of World Wildlife 1973. pág. 33'

pueden generarse de modo que tanto las naciones pobres como las ricas puedan enfrentar los problemas globales a largo plazo efectivamente? En términos inmediatos, puede resultar un lujo insostenible para un país pobre y sobrepoblado el pensar y actuar en términos de la preservación de la diversidad biológica. De tal manera, las naciones más ricas económicamente deben jugar un papel responsable en los esfuerzos de protección del hábitat en países menos desarrollados.

Todo cambio es difícil, sobre todo cuando no se tiene una idea clara del por qué de la necesidad del cambio y de lo que habrá de sobrevenirle. Una convicción social de su bondad deberá vencer la inercia individual. En dicho proceso de transformación, maestros y educadores tendrán que desempeñar un papel fundamental. Todo mundo, a su nivel y a su manera, debe poder recibir los conocimientos y argumentos que fundamentan esta necesidad de cambio, debe convenirse a sí mismo de su bondad, debe hacerlo propio y despertar cada día con la idea y el empeño de realizarlo.

Nadie posee aún la receta mágica de cómo llevarlo a la práctica y cualquier camino posible estará lleno de escollos y contradicciones. Sin embargo, el ser humano se ha hecho grande por su fuerza de voluntad y su capacidad de responder ante cualquier reto. Unamos pues nuestras voluntades y busquemos una respuesta conjunta a lo que, tal vez, represente el mayor reto que hemos enfrentado: la supervivencia de nuestra propia especie en un mundo lleno de posibilidades; no sólo para nosotros, sino también para todos los otros seres vivos que nos rodean.

BIBLIOGRAFIA

ALAMILLA, O.F. 1986.

"Las tortugas en peligro de extinción", *Impacto* N° 1919, diciembre: 31 p.

ARELLANO, M. y P. ROJAS, M. 1956.

Aves Acuáticas Migratorias en México. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, México. 270 pp.

BAEZ, A. P. 1986.

La calidad del aire. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos, Vol. 2. Centro de Ecodesarrollo. México, 84 pp.

BOZADA, L. et al., 1987.

Otros recursos alimenticios. Vol. 11, Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos. México. Centro de Ecodesarrollo-Universidad Veracruzana. (En prensal.

CASCO, M.R. 1979.

Manejo del agua en un ecosistema tropical: el caso de la Chontalpa. Centro de Ecodesarrollo, México, 69 pp.

CONTRERAS, F. 1986.

La riqueza del pantano. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos. Vol. 5. Centro de Ecodesarrollo, México, 27-31 pp.

DIFUSION Y CIENCIA, A.C., 1986.

Fauna silvestre y áreas naturales protegidas. Manuscrito. Difusión y Ciencia/Biocenosis. México. 105 pp.

FRANKEL, O.H. y M.E. SOULE. 1981.

Conservation and Evolution. Cambridge University Press. Londres. 327 pp..

GALLEGOS, M. 1986.

Petróleo y Manglar. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos, Vol. 3. Centro de Ecodesarrollo. México, 102 pp.

HERZIG, M. 1986.

Las Aves. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos, Vol. 4. Centro de Ecodesarrollo. México, 230 pp.

KREBS, CH. J. 1985.

Ecología: Estudio de la Distribución y la Abundancia 2a. Edición. Harper & Row Latinoamericana. México, 575 pp.

LOVEJOY, T.E., 1986.

Species Leave the Ark One by One. En: *The Preservation of Species*. B.G. Norton (Ed.). Princeton University Press. Princeton, New Jersey, 18-24.

MORIARTY, F., 1983.

Ecotoxicology. The Study of Pollution in Ecosystems. Academic Press, Londres, 233 pp.

MYERS, N. 1983.

A wealth of wild species: Storehouse for Human Welfare. Westview Press, Boulder, Colorado. 274 pp.

NOLASCO, M. 1979.

Ciudades perdidas de Coatzacoalcos, Minatitlán y Cosoleacaque. Centro de Ecodesarrollo, México, 128 pp.

NORTON, B.G. (Ed.), 1986.

The Preservation of Species. Princeton University Press. Princeton, New Jersey, 305 pp.

OROZCO, A. y A. LOT-HELGUERAS. 1976.

"La vegetación de las zonas inundables del sureste de Veracruz". *Publ. Inst. Invest. Rec. Bióticos* 1 | 11: 1-44 pp.

QUIÑONES, G., 1980.

Importancia cinegética de los anátidos en la Ciénaga del Lerma. México. Dirección General de la Fauna Silvestre. Subsecretaría Forestal y de la Fauna, SARH, México, 41 pp.

REIG, N. 1982.

"El sistema ganadero-industrial: su estructura y desarrollo 1960-1980" En: *Documentos de trabajo para el desarrollo agroindustrial*. N° 8. SARH, México, 23-235 pp.

ROJAS, P. y M. ARELLANO, 1956.

"Migración y Rutas Migratorias". En: Arellano, M. y P. Rojas IEds.I. *Aves Acuáticas Migratorias en México*. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, México, 99-1 18 pp.

RUTSCH, S. 1980.

La cuestión ganadera en México. *Cuaderno N° 1. Centro de Investigación para la Integración Social*. México.

SEDUE, 1986.

Informe sobre el Estado del Medio Ambiente en México. Fundación Arturo Rosenblueth y Subsecretaría de Ecología, SEDUE. México, 83 pp.

SCOTT, D.A. y M. CARBONELL (Eds). 1986.

Inventario de Humedales de la Región Neotropical. Informe Final ICBP.

SOULE, M.E.(Ed.), 1986.

Conservation Biology. The Science of Scarcity and Diversity. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Massachusetts, 584 pp.

SOULE, M.E., B.A. WILCOX y C. HOLTBY, 1979.

"Benign neglect: a model of fauna) collapse in the game reserves of East Africa". *Biol. Conserv.* 15:259-272 pp.

TEMPLE, S. A. (Ed.) 1983.

Bird Conservation 1. International Council for Bird Protection. The University of Wisconsin Press, 147 pp.

TOLEDO, A. (Coordinador), 1982.

Petróleo y Ecodesarrollo en el sureste de México. Centro de Ecodesarrollo, México, 253 pp.

TOLEDO, A.; A. NUÑEZ y H. FERREIRA, 1983.

Como destruir el paraíso: el desastre ecológico del sureste. México. Centro de Ecodesarrollo-Ed. Océano, 151 pp.

TOLEDO, V.M., 1978.

"Uxpanapa: capitalismo y ecocidio en el trópico". *Nexos* N° 111: México, 15-18 pp.

TOLEDO, V.M.; J. CARABIAS; C. MAPES y C. TOLEDO, 1985.

Ecología y Autosuficiencia Alimentaria. Siglo XXI Editores. México, 118 pp.

UNESCO, 1972.

Ecological effects of human activities on the value and resources of lakes, marshes, rivers, deltas, estuaries and coastal zones. Expert panel of Project 5. *MAB report series* N° 5. Paris, 49 pp.

VAZQUEZ BOTELLO, A. y F. PAEZ 1986.

El problema crucial- la contaminación. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos, Vol. 1. Centro de Ecodesarrollo. México, 180 pp.

WALKER, R.A. 1973.

"The role of science in natural resource policy". *Coastal Zone Management Journal* 1 (1): 75-101 pp.

WEST, R.C.; N.P. PSUTY y B.G. THOM, 1976.

Las tierras bajas de Tabasco en el sureste de México. Villahermosa, Gobierno del estado de Tabasco. México, 198 pp.

WESTLAKE, D.F. 1963.

"Comparisons of plant productivity". *Biol. Rev.* 38: 385-429 pp.

WHITTAKER, R. H. 1975.

Communities and Ecosystems. 2a. Edición. MacMillan. Nueva York.

IV. CONCLUSIONES GENERALES

¿Una política para los pantanos? En medio de nuestras penurias económicas y sociales se antoja algo carente de realismo. Presionados por resolver los agudos desequilibrios de las finanzas públicas, el desastre de las estrategias económicas gubernamentales, y las patentes incompetencias de los planificadores para afrontar exitosamente las demandas de una población de más en más colocada ante situaciones límites, ¿qué puede importar a los dirigentes del sistema social mexicano la preservación de un ambiente considerado por siglos como nocivo para la salud humana y aparentemente con muy escaso valor comercial, como es el pantano?

Otro factor adverso en contra de una política de conservación de los pantanos es el hecho incuestionable de la carencia de información (Sather, H.J. y Smith, D.R., 1984).⁽¹⁾ Los esfuerzos realizados por la comunidad científica nacional e internacional sólo nos han hecho percibir algunos valores de estos ambientes que todavía conocemos de un modo bastante insuficiente. Por ejemplo: no obstante los avances logrados para conocer el papel de los pantanos en el ciclo hidrológico, el hecho es que sus características hidrológicas son muy poco conocidas. Los científicos reconocen que es de los ambientes más difíciles de evaluar hidrológicamente.

Un poco mejor conocido es el papel de los pantanos en el reciclamiento de nutrientes. Un buen número de investigaciones en diferentes regiones en el mundo han demostrado la efectividad de los pantanos como trampas y regeneradores de nutrientes. Pero el camino de la investigación de los procesos bacterianos todavía tiene un trecho muy largo por recorrer.

Sin duda por la complejidad de las investigaciones sobre las cadenas de alimentos, el papel de los pantanos en estos procesos tampoco es conocido suficientemente. Las con-

(1) Véase la bibliografía del capítulo 1 de este volumen.

xiones entre las altas productividades primarias netas de los pantanos y la producción secundaria de los cuerpos acuáticos adyacentes es todavía mal conocida y está basada, en un alto grado, en especulaciones cualitativas, más que en procesos conocidos.

Como hábitat de la fauna silvestre y de especies con valor comercial, salvo algunas excepciones, nuestra falta de conocimientos acerca de los pantanos es, también, sorprendentemente pobre. De este modo, las urgencias económicas y sociales que nos hacen tomar decisiones aisladas, así como nuestra franca ignorancia acerca de sus funciones ecológicas, se han combinado en contra de su conservación. Sin embargo... es vitalmente importante conocerlos mejor y manejarlos adecuadamente.

Resolver nuestros problemas de supervivencia, alterando los procesos físico-químicos y biológicos que la hacen posible, es una actitud sin perspectivas a largo plazo. Sólo podremos transitar esta vía por un tiempo limitado. Hasta ahora, ningún proyecto social ha sobrevivido a la destrucción de los recursos naturales de los que se sustenta. Si queremos construir proyectos durables tendremos que cambiar radicalmente nuestra manera de actuar.

Conocer y reconocer el impacto ecológico de nuestras acciones: el primer paso hacia la revaloración de los pantanos

Sin duda, valorar los impactos de las acciones humanas sobre la planicie de inundación del bajo río Coatzacoalcos ofrece dificultades extremas. Por una parte, requiere de una información capaz de suministrar al evaluador un panorama razonablemente completo de sus funciones ecológicas en el contexto global de la cuenca hidrológica; y por otra, desarrollar metodologías para evaluar las actividades humanas por referencia a dichas funciones.

Dado que, como ha quedado demostrado en los estudios de otros equipos de ese proyecto (Contreras, 1986; volumen 5 de esta serie), la alta productividad primaria neta del pantano estudiado depende, en un alto grado, de una multitud de variados y complejos procesos geoquímicos y biológicos que se efectúan en la interfase sedimento-agua, donde la regeneración y el reciclamiento de elementos vitales se

efectúan a una tasa incomparablemente superior a otros sistemas ecológicos conocidos, se adoptó la estrategia de evaluar en los sedimentos del pantano el principal contaminante del área: los hidrocarburos.

En los sistemas acuáticos costeros, y particularmente en los ambientes someros, como las planicies de inundación, el destino final de los contaminantes son los sedimentos. Allí se acumulan las fracciones más pesadas de los hidrocarburos (los aromáticos polinucleares PAH), y su degradación por la acción de los procesos bacterianos es, generalmente, muy lenta. Lo que confirma que si el pantano es un reservorio natural de nutrientes y materia orgánica, lo es también de sustancias tóxicas. En el bajo río Coatzacoalcos, donde la contaminación por hidrocarburos es un proceso crónico, la tasa de acumulación en los sedimentos del pantano excede a su capacidad natural para degradar los compuestos aromáticos y otras fracciones altamente nocivas para la biota y la salud pública.

Es necesario comprender la naturaleza de estos desequilibrios para poder valorar en sus dimensiones reales los efectos de las actividades petroleras sobre áreas ecológicas vitales como la planicie de inundación. De aquí la importancia crucial de continuar con los estudios de microbiología ecológica iniciados en este proyecto: si no se entienden los efectos de los contaminantes sobre los procesos que ocurren en la zona anóxica y en la interfase sedimento-agua, difícilmente se podrán valorar funciones ecológicas de los pantanos. Sin estos conocimientos, resultaría igualmente ineficaz establecer un sistema de vigilancia y control de la contaminación por hidrocarburos en la cuenca baja del río Coatzacoalcos.

Valorar en sus más amplias dimensiones los resultados de esta evaluación es un esfuerzo que requiere de la participación responsable de diferentes sectores: la comunidad científica, los más altos dirigentes de las empresas públicas y privadas que existen en el área, y los diferentes sectores de la población. No es una tarea sencilla, pero sí absolutamente necesaria. Para ello es indispensable retener las principales conclusiones a las que se llegó en el análisis de los hidrocarburos:

1. Los hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAH) fueron encontrados en todas las estaciones de muestreo.
2. Las concentraciones de PAH presentan un gradiente y son mayores en las estaciones cercanas al área de complejos petroquímicos.
3. La presencia de naftalenos alquil sustituidos en los sedimentos y la de esteranos y hopanos en el análisis de los fragmentos, es un indicador de que tales compuestos sólo pudieron introducirse al ambiente por descargas de petróleo o sus desechos.

A estas conclusiones habría que agregar a las que se llegaron en otras áreas de nuestro trabajo:

Los efectos de fenoles y detergentes. Los que nos revelan otros aspectos y otras fuentes de contaminación. En ambos casos, los valores encontrados exceden los niveles que se consideran límites para producir efectos adversos sobre los organismos presentes en el ecosistema (Contreras, 1986 volumen 5 de esta serie).

Tendrá que revisarse también a fondo las políticas de ocupación de los pantanos como áreas de vivienda o con fines industriales. Y dado que en el caso de la expansión de las manchas urbanas la ocupación de los pantanos está ligada a procesos de manipulación política, especulación y corrupción, habrá que afectar numerosos intereses creados.

¿Existirán las condiciones científicas, técnicas y políticas para emprender estas tareas? ¿Tendrá el sistema la capacidad de reconocer las responsabilidades que se derivan de los resultados obtenidos? Esta es una cuestión crucial por resolver en la tarea de encontrar una estrategia alternativa a la destrucción que hoy se sigue en la cuenca baja del río Coatzacoalcos.

4 ~ iz