



201
1984

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Contaminación por Hidrocarburos del
Petroleo en el Río Coatzacoalcos y
Areas adyacentes: Sedimentos
y Organismos

TESIS PROFESIONAL

QUE PRESENTA

Ana Lilia Terrats Chau

PARA OBTENER EL TITULO DE

BIOLOGO

MEXICO D. F.

1986



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

1.	Introducción.....	1
II.	Generalidades.....	5
	1. Niveles de Contaminación por hidrocarburos....	5
	2. Características físicas de los hidrocarburos...	6
	3. Hidrocarburos aromáticos.....	7
	4. Petróleo crudo.....	9
	5. Fuentes de Hidrocarburos en el ambiente marino.	11
	6. Destino de los Hidrocarburos en el ambiente costero.....	12
	7. Efectos de los Hidrocarburos en los ecosistemas costeros.....	13
	7.1 Hidrocarburos en sedimentos marinos recientes.....	15
	7.2 Hidrocarburos en organismos marinos.....	17
	8. Retención, metabolismo y disposición de los hidrocarburos.....	19
	9. Biomagnificación.....	20
III.	Descripción del área de estudio.....	22
	1. Municipio de Coatzacoalcos.....	22
	2. Municipio de Minatitlán.....	22
	3. Hidrología.....	23
	4. Río Coatzacoalcos.....	25
	5. Río Tonalá.....	26
	6. Laguna del Ostión.....	28
	7. Suelos y Vegetación.....	29
	8. Climatología.....	29
IV.	Materiales y Métodos.....	31
	1. Hidrocarburos fósiles en sedimentos.....	31
	2. Hidrocarburos fósiles en organismos.....	32
	3. Hidrocarburos disueltos en agua.....	32
	4. pH.....	33

V.	<i>Resultados y Discusión.....</i>	34
	1. <i>Hidrocarburos en sedimentos recientes.....</i>	34
	2. <i>Hidrocarburos en organismos marinos.....</i>	41
	2.1 <i>Efectos.....</i>	43
VI.	<i>Conclusiones.....</i>	51
VII.	<i>Bibliografía.....</i>	54

1. INTRODUCCION.

El presente estudio tiene por objeto evaluar el grado de contaminación por hidrocarburos del petróleo que existe en el Río Coatzacoalcos y áreas adyacentes, con base en la determinación de su concentración en el agua, organismos y sedimentos.

Este tipo de estudios son de gran importancia dado que conforman la base para la futura toma de decisiones relacionadas con el control de la contaminación y el manejo de los recursos costeros, tomando en consideración que hoy en día el grado de contaminación que ha estado alterando los grandes ecosistemas de la zona costera que existen en nuestro país y en el mundo entero ha llegado a un punto realmente alarmante.

Actualmente, el gran desarrollo que ha tenido la industria petrolera en México y específicamente en zonas cercanas al área de estudio están provocando serios problemas entre los que es posible mencionar la contaminación de cuerpos de agua y la de organismos de importancia comercial que en ellos habitan.

Con respecto al Río Coatzacoalcos, se observó que no solamente los hidrocarburos del petróleo están afectando al ecosistema, ya que la presencia de ciertos metales en sedimentos y organismos por un lado y la presencia de microorganismos patógenos y esteroides de origen fecal humano y animal por otro lado, también afectan el área mencionada.

En el tramo comprendido entre las poblaciones de Minatitlán y Coatzacoalcos, Ver., las alteraciones provocadas por los abundantes drenes industriales, la mayoría petroquímicos, así como por los emisores de aguas residuales, deben haber provocado fuertes alteraciones sobre las condiciones físico-químicas del área y so-

bre las comunidades acuáticas, por esto, el aspecto más importante en el estudio de todo tipo de alteraciones en un ecosistema, es el conocer el grado de alteración así como la evolución a través del tiempo, de los factores físicos, químicos y biológicos.

La determinación de la concentración de hidrocarburos tanto en organismos como en agua y sedimentos pueden ayudar a determinar el nivel de contaminación del ecosistema ya que por ejemplo en el caso de los organismos bivalvos, debido a sus características (filtradores y sedentarios) tienen una gran capacidad para bioacumular contaminantes en cantidades subletales por lo que son llamados organismos "indicadores de contaminación". También el análisis del contenido de hidrocarburos en sedimentos es de gran importancia, ya que es el lugar donde se acumulan estos compuestos, por otro lado, es importante conocer la concentración en el que se encuentran en el agua ya que éste es el medio de transporte y distribución de los que son introducidos en los ambientes acuáticos.

Los graves problemas de la contaminación marina que ya se han manifestado a nivel mundial y nacional ha preocupado a diversos investigadores, por lo que se han llevado a cabo estudios al respecto; por otro lado, a la contaminación costera se le ha dado poca importancia sin considerar que las aguas costeras hasta el borde de la plataforma continental constituyen el 10 % de la superficie de los océanos mundiales; y que el 99 % de la captura mundial de peces procede de esas aguas y de las zonas de surgencia relativamente pequeñas (0.1 %). Es evidente por lo tanto, que debe prestarse primordial atención a dicha región. La disminución de la contaminación en estas aguas puede también aliviar o al menos disminuir la contaminación del océano mundial.

Los graves problemas de la contaminación en la región mencionada se manifestaron en primer lugar en naciones altamente industrializadas en las que existen concentraciones urbanas considerables a

lo largo de la costa. La actividad del hombre ha afectado la productividad de los estuarios ya que la estructura de la comunidad florística y faunística ha variado considerablemente, pues además están afectados por las características locales del mar y muy influido por los procesos continentales. Los cambios que en ellos o curren varían mucho según el lugar, así, los estuarios pueden con siderarse como una extensión de agua costera semicercada, que tie ne una comunicación libre con el alta mar y en la que se mezcla el agua de mar con agua dulce del drenaje terrestre. Una importan te proporción de las sustancias en disolución y en suspensión es separada por la dinámica bioquímica y depositada, por último en los sedimentos.

La mayoría de los sistemas estuarinos y de aguas costeras de México, no han sido estudiados a un nivel detallado que nos permita entender los procesos predominantes y los mecanismos que afectan la presencia de sustancias contaminantes en estos sistemas.

Entre los contaminantes que causan daño al medio marino y costero se encuentran:

a) Los hidrocarburos halogenados y clorofenoles, aromáticos polinucleares (PAH's), clorinados y saturados.

b) Otros compuestos orgánicos por ejemplo: las biotoxinas marinas y los detergentes.

c) Sustancias nutritivas, incluso las obtenidas en aguas negras y las procedentes de fuentes agrícolas.

d) Productos inorgánicos, en particular los metales pesados como cadmio y plomo.

e) Sólidos en suspensión.

f) Sustancias radiactivas.

h) Microorganismos patógenos y esteroides de origen fecal humano y animal.

El impacto que estos contaminantes han tenido sobre los ecosistemas costeros no ha sido evaluado suficientemente o bien ha sido poco entendido; pero es necesario comprender que las aguas costeras tienen capacidad finita para absorber las presiones que imponen el hombre y sus actividades.

13. GENERALIDADES

1. Niveles de contaminación por hidrocarburos.

El grado de contaminación alcanzado en los océanos y áreas costeras ha llegado a niveles muy altos debido principalmente al gran incremento que ha tenido la actividad petrolera. Las zonas de derrames accidentales, las rutas de transporte y las costas son los que han alcanzado mayores niveles de contaminación por petróleo (NAS, 1975).

El daño que el petróleo puede ocasionar en un ambiente determinado depende básicamente del tipo de hidrocarburos, de la cantidad introducida y del ecosistema en particular.

Clark y Finley (1973) han definido tres niveles de contaminación por petróleo con base en el aspecto externo de la superficie del agua:

- 1) Nivel alto. Gran cantidad de petróleo como en el caso de derrames.
- 2) Nivel moderado. Se observan manchas de aceite sobre la superficie por largos periodos de tiempo.
- 3) Nivel bajo persistente. Cuando provienen los hidrocarburos de diversas fuentes, pero no son continuamente visibles películas de aceite sobre la superficie.

La introducción continua de hidrocarburos en bajos niveles a los ecosistemas, es otra forma de contaminación no tan evidente como un derrame. Las concentraciones de hidrocarburos pueden ser crónica-letal, que no permiten la vida en las áreas afectadas o por el contrario pueden ser crónica-subletal, concentraciones bajas de hidrocarburos que no afectan de una manera evidente a las poblaciones pero que sin embargo permiten la acumulación de sustancias

tóxicas en los organismos, cuyos efectos son notorios a largo plazo, y en los que se incluye la transmisión de estas sustancias a la población humana (Castro, 1981).

No se ha establecido un patrón general de grados de contaminación por petróleo, sin embargo en zonas costeras, la determinación de la concentración de hidrocarburos en moluscos bivalvos, ha despertado gran interés, ya que son de ayuda para determinar el estado actual de estas áreas en relación con la contaminación por hidrocarburos (Clark y Finley, 1973; Farrington y Quinn, 1973; Fossato y Carzonier 1976; Di Salvo *et. al.*, 1975; Durm, 1976; Anderson, 1975; Goldberg *et. al.*, 1978; Farrington, 1983; Botello y Macho, 1982).

2. Características físicas de los hidrocarburos.

Como el nombre lo indica, los hidrocarburos son compuestos formados básicamente por Carbono e Hidrógeno, los cuales forman moléculas de cadenas lineales, ramificadas o cíclicas de átomos de carbono, que pueden ser saturados, es decir con un enlace sencillo entre los átomos de carbono, o insaturados lo cual implica dobles y triples enlaces.

Las características físicas de los hidrocarburos están en función del número de átomos de C y del arreglo espacial de éstos. La solubilidad de los n-alcenos disminuye y el punto de ebullición aumenta cuando los átomos de carbono aumentan. Los hidrocarburos más sencillos, es decir del metano al decano son muy volátiles; del C₁₁ en adelante son líquidos y aceites ligeros cuya densidad e insolubilidad va aumentando (ceras y parafinas) hasta cadenas de más de 60 átomos de carbono (asfaltenos). Con respecto a los hidrocarburos aromáticos, sus características físicas están en función del número y tipo de sustituciones alquílicas; en general

la solubilidad disminuye al aumentar el peso molecular, aunque no tan uniformemente como en los n-alcános (Anderson y Neff, 1974; Shaw, 1977).

Los hidrocarburos son compuestos no polares (saturados) o de muy baja polaridad (aromáticos), por lo que su solubilidad alcanza intervalos muy bajos de μg a mg por litro, y en el agua de mar se reduce un 25% la solubilidad debido a la salinidad (Goldberg, 1977; Shaw, 1977; Mc Auliffe, 1977).

Los hidrocarburos aromáticos son muy estables químicamente y por lo tanto difícilmente biodegradables, lo cual es importante desde el punto de vista ecológico.

3. Hidrocarburos aromáticos.

Los hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAH's) parecen estar ampliamente distribuidos en el mar, así como en los sistemas fluviales y los sedimentos. La presencia de estos compuestos en organismos acuáticos ha sido atribuida principalmente a derrames de petróleo y descargas de plantas petroquímicas, pero el transporte atmosférico y los aportes terrígenos son también recursos importantes de estos compuestos orgánicos (Zobell, 1971). Actualmente existe una amplia literatura sobre los niveles de PAH's en organismos marinos, concediéndoseles especial atención a los considerados como carcinógenos potenciales (NAS, 1975).

La vigilancia y evaluación de los niveles de PAH's en organismos marinos principalmente bivalvos ha atraído la atención de muchos investigadores debido a que éstos pueden ser una herramienta útil en la determinación del estado en que se encuentran las áreas costeras principalmente el aspecto relacionado con la contaminación orgánica (Farrington y Quinn, 1973; Farrington, 1983).

Asimismo, se ha dado una especial atención a los posibles efectos que sobre la salud humana y otros organismos pueden tener los contaminantes orgánicos liberados en el medio ambiente como una consecuencia de las actividades humanas, principalmente los hidrocarburos poliaromáticos.

Los PAH's están formados por dos o más anillos bencénicos fusionados, cuya disposición espacial origina un número elevado de estos hidrocarburos, los cuales difieren en el número y posiciones de los anillos aromáticos. Las características físicas y químicas de los PAH's varían de acuerdo a su peso molecular, así la resistencia a la oxidación y la reducción tiende a decrecer con el incremento en peso molecular. Como una consecuencia de estas diferencias, los PAH's de diferente peso molecular varían sustancialmente en su conducta y distribución en el medio ambiente, así como sus efectos sobre los sistemas biológicos.

En el medio marino, las n-parafinas y los compuestos aromáticos son relativamente estables, debido a lo cual, su tiempo de residencia excede a la de otros componentes orgánicos, y al no ser fácilmente metabolizados pueden permanecer inalterados a través de la cadena trófica (Botello, 1978). Los hidrocarburos presentes en la columna de agua se encuentran tanto disueltos como dispersos (Castro, 1981).

Los dispersos van desde pequeñas agrupaciones coloidales hasta partículas de mayor tamaño, como breas y alquitranes que están flotando y que contribuyen con fracciones que se disuelven en la columna de agua durante su intemperización (Butler, 1975; Botello, 1980). Los hidrocarburos disueltos están constituidos por compuestos más solubles como gases (C_1 a C_4), las parafinas ligeras (C_5 a C_{11} aproximadamente), que son líquidos muy volátiles, y algunos hidrocarburos aromáticos de bajo peso molecular como los bencenos, naftalenos y poliaromáticos (Castro, 1981).

Los denominados hidrocarburos disueltos son una disolución, o dispersión molecular de hidrocarburos en agua, ya sea que estén libres en la columna de agua, o adsorbidos sobre materia orgánica y en partículas inorgánicas en suspensión (Shaw, 1977)

Debido a que los hidrocarburos aromáticos de alto peso molecular son los más insolubles y estables químicamente, su determinación es utilizada para calcular la concentración de hidrocarburos fósiles en agua.

4. Petróleo crudo.

El petróleo crudo del que se derivan los productos petrolíferos consta del 50-98 % de hidrocarburos y el resto de compuestos que contienen oxígeno, nitrógeno y azufre.

Una característica del petróleo bruto que lo distingue de los hidrocarburos biogénicos del sistema marino es que no contiene alquenos (hidrocarburos olefínicos).

Los hidrocarburos pueden dividirse en 4 clases:

Los alcanos que abarcan desde el metano (CH_4) y el etano hasta compuestos de 60 átomos de C o más, tales como el n-hexacontano ($C_{60}H_{122}$ es una cera microcristalina), pueden ser de cadena recta o ramificada, siendo los del 1er. tipo más abundantes.

Los cicloalcanos (naftenos), formados por anillos de cinco o seis átomos de carbono, tales como los compuestos monocíclicos ciclo-pentano y ciclohexano y algunos compuestos policíclicos. Son frecuentes las sustituciones alquílicas en los anillos.

Los compuestos aromáticos; se encuentran en pequeñas cantidades e

incluyen el benceno y los alquilbencenos.

En las fracciones de alto punto de ebullición existen compuestos aromáticos polinucleares, que pueden dividirse en 2 tipos generales: los compuestos de anillos soldados, como los alquinaftalenos, y los compuestos de anillos ligados, como los bifénilos. Los primeros suelen ser más abundantes. También se incluyen en esta clase los compuestos aromáticos nafténicos, cuyas moléculas están formadas en parte por un compuesto aromático y en parte por un cicloalcano.

Las olefinas, en el sentido genérico, son compuestos que contienen una o varias ligaduras dobles. El término olefina o alqueno, en sentido estricto, se aplica a los hidrocarburos de la serie homóloga C_nH_{2n} , que tienen en la molécula un solo doble enlace, como el etileno y el 1-buteno. Los términos diolefina o alcadieno, triolefina o alcatrieno, etc., se usan para designar compuestos que tienen dos, tres o más ligaduras dobles, respectivamente.

El contenido total de Oxígeno de un petróleo bruto puede llegar al 2% y el nitrógeno oscila entre el 0.5% y el 0.8% y se encuentra principalmente en la piridina y las quinolinas.

El azufre existe tanto en forma de elemento como de compuestos, que oscilan entre niveles traza y el 5% peso del petróleo. Estos compuestos comprenden el sulfuro de hidrógeno, mercaptanos y sulfuros alifáticos y cíclicos.

Los compuestos organometálicos comprenden el níquel y el vanadio, los cuales llegan a alcanzar concentraciones de 5-40 ppm. Por otro lado también se encuentran concentraciones mínimas o muy pequeñas de hierro, sodio y zinc.

En los últimos 50 años se ha venido incrementando de una manera

dramática la importancia del petróleo como recurso energético. Hoy en día empiezan a ser notorias las consecuencias que nuestra dependencia por este recurso ha traído y en ocasiones de modo que nunca se anticipó, ya que hay que tomar en cuenta los daños que han causado, los que se pueden causar y al mismo tiempo conservar esta incalculable riqueza para las generaciones futuras.

5. Fuentes de los hidrocarburos en el ambiente marino.

Se ha considerado que la introducción de los hidrocarburos en el ambiente marino y costero se debe a dos fuentes principalmente: los hidrocarburos del petróleo (y sus derivados) y los hidrocarburos de origen biológico.

En cuanto al flujo antropogénico, varios grupos han calculado las pérdidas de petróleo, tanto en forma de petróleo bruto como de productos refinados, en los océanos (NAS, 1975).

En 1975 la National Academy of Sciences (NAS) estimó que un total de 6,113 millones de toneladas de petróleo crudo y productos refinados penetran en los océanos de diversas maneras. Una descarga importante de petróleo en el mar constituye el lavado de las cisternas de carga de los petroleros con agua de mar y la descarga de esos líquidos de lavado por la borda, también de los derrames que resultan de los accidentes en alta mar y durante operaciones en terminales petroleras.

Por otro lado, el flujo atmosférico de hidrocarburos derivados del petróleo se estima en 68 millones de toneladas anuales (NAS, 1975), una parte de las cuales penetra en el sistema oceánico debido al lavado por la lluvia, a la precipitación directa o a las interacciones aire - mar. Una parte de dichos hidrocarburos procede de vehículos de transporte. El resto de la combustión de petróleo en instalaciones fijas y en procesos industriales, y de la

evaporación de solventes y gasolina.

En cuanto a la infiltración natural, parece ser que las condiciones geológicas y geoquímicas determinan el lugar donde pueden producirse infiltraciones. Las infiltraciones se originan tanto en los yacimientos de petróleo comerciales como no comerciales. Parece existir una correlación entre las zonas de gran influencia y de actividad tectónica en curso.

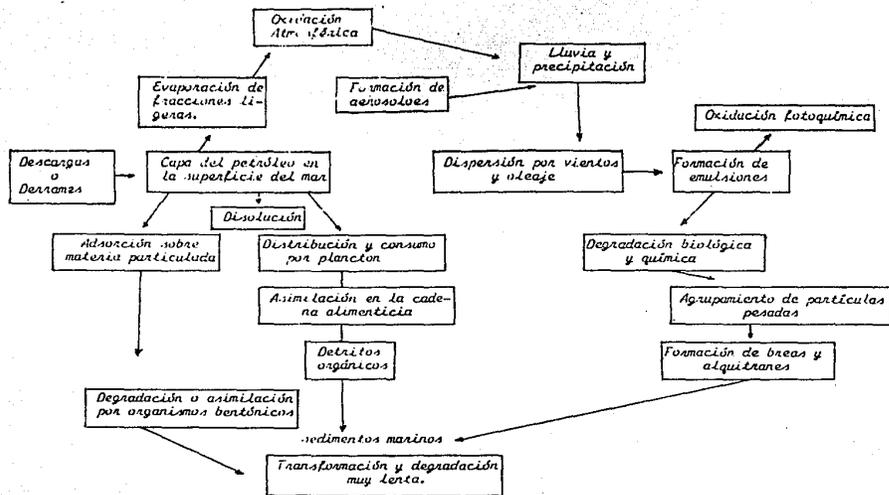
Se han definido 3 categorías de las zonas situadas frente a las costas para evaluar el potencial de infiltración: a) Zonas con un gran potencial de infiltración, caracterizadas por una gran frecuencia de terremotos, fallas de desplazamiento horizontal y gruesos sedimentos terciarios geoquímicos/maduros; b) Zonas con un potencial moderado de infiltración, caracterizadas por una baja frecuencia de terremotos, estructuras diapíricas o intrusivas y fallas de crecimiento asociadas a gigantescos abanicos submarinos alimentados por los ríos, y c) Zonas con un bajo potencial de infiltración; con poca o ninguna actividad sísmica, sedimentos antiguos o sedimentos jóvenes, geoquímicamente maduros y pocos indicios de deformación reciente.

6. Destino de los hidrocarburos en el ambiente costero.

El petróleo crudo en los océanos, se dispersa sobre las aguas superficiales; su destino y efectos depende de la dinámica del área y de las características biológicas del ambiente, así como de la concentración, tipo de hidrocarburos y frecuencia de las descargas.

Los desechos domésticos o industriales de petróleo pueden ser introducidos en forma de partículas, de emulsiones o de sustancias disueltas. Los hidrocarburos pueden sufrir cualquiera de los procesos que se enumeran a continuación: evaporación, disolución, e-

Fig. 1 Destino de los hidrocarburos en el ambiente acuático (Botello, 1978)



multificación, sedimentación, oxidación, degradación microbiana, entrada en la red alimentaria marina y depositación en los sedimentos.

Botello (1978), en una forma general, esquematiza el destino de los hidrocarburos en un ambiente acuático y en donde se describen los procesos físicos, químicos y biológicos involucrados en el proceso (Fig. 1). Después de un derrame petrolero se forma una delgada película en la superficie del mar, la cual se dispersa por acción del oleaje y los vientos. Sobre esta película actúan factores físicos y ocurren cambios químicos importantes como resultado de la degradación microbiana (Zobell, 1971; Erhardt y Blumer, 1972), y procesos como la oxidación fotoquímica en la atmósfera.

7. Efectos de los hidrocarburos en los ecosistemas costeros.

De las 4 categorías en las que se agrupan los hidrocarburos ya mencionados anteriormente, tenemos que las parafinas producen anestesia y narcosis en concentraciones bajas, causando daño celular y muerte en altas concentraciones.

Los naftenos, aunque se presentan como productos naturales de la biota marina pueden interferir y bloquear los procesos biológicos de organismos marinos, tales como búsqueda del alimento, escape de los predadores, selección del hábitat y atracción sexual (Fig. 2).

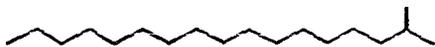
Los hidrocarburos aromáticos son considerados como los componentes del petróleo más dañinos, ya que algunos actúan como venenos agudos y otros como el 3,4 benzopireno presentan actividad carcinogénica (Fig. 3).

En años recientes, análisis detallados de agua de mar, así como

Fig. 2 Estructura de algunos hidrocarburos saturados, isoprenoides y cicloalcanos.



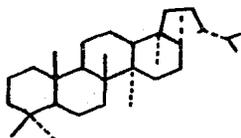
C_{17} (n-heptadecano)



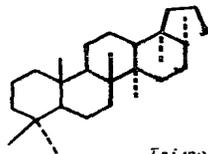
2-metilheptadecano
(isocalcano)



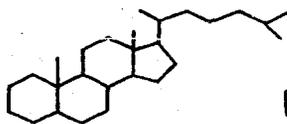
Pristano
(2,6,10,14 Tetrametilpentadecano)



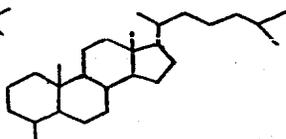
Hopano



Triarhopano



Sterano



Cicloalcanos

4-metilesterano

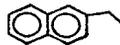
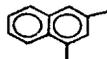
Fig. 3 Estructura de algunos hidrocarburos aromáticos y polinucleares (PAH's)



naftaleno



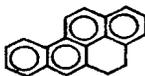
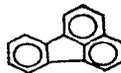
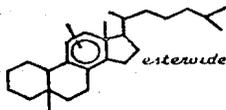
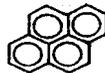
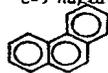
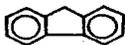
C-1 o metinaftaleno



C-2 naftaleno



C-3 naftaleno



1-4-Benzopireno

de especies marinas desde microorganismos hasta vertebrados han demostrado la presencia de hidrocarburos, tanto alifáticos como aromáticos, los cuales son similares en naturaleza a los reportados en el petróleo o sus derivados.

También están presentes otros hidrocarburos característicos de los organismos y que son de origen biogénico.

Las concentraciones de hidrocarburos en mar abierto son generalmente bajas pero en contraste con las áreas costeras, bahías y estuarios, los hidrocarburos pueden estar presentes en altas concentraciones como resultado de derrames naturales o accidentales, de sechos de refinerías y plantas petroquímicas, operaciones normales de embarque y por transporte atmosférico.

Realmente se conoce poco acerca de los efectos biológicos resultantes de la contaminación por hidrocarburos provenientes del petróleo en aguas costeras o sistemas estuarinos. Diversos autores han postulado que en algunas áreas costeras la continua introducción de productos derivados del petróleo ejerce un pequeño o ningún efecto adverso sobre las poblaciones o la productividad del área, en tanto que otros investigadores sugieren que algunos procesos biológicos de gran importancia como la fotosíntesis y la nitrificación son afectados por concentraciones relativamente bajas del petróleo.

En general, puede decirse que la acción ejercida por componentes del petróleo sobre las actividades biológicas o bioquímicas de los organismos se relaciona con los siguientes parámetros: a) los niveles a los cuales los hidrocarburos son acumulados, b) el tiempo de residencia de los hidrocarburos en los organismos, c) la composición de la mezcla de hidrocarburos en el agua y subsecuentemente en el organismo y d) etapa de desarrollo del organismo. Asimismo es necesario considerar que en los organismos marinos los parámetros antes mencionados son modificados por factores biológicos como son el

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

La presencia de hidrocarburos fósiles en el medio marino es evidente ya que no es difícil encontrar breas y alquitranes en las playas o flotando en las capas superficiales del mar. No obstante, una evaluación real de la contaminación de petróleo plantea problemas metodológicos que impiden determinar los niveles actuales de hidrocarburos fósiles en las aguas y en los organismos marinos. Esto se debe a que el petróleo contiene diversos componentes que varían en cuanto a composición y estructura.

7.1 Hidrocarburos en sedimentos marinos recientes.

El análisis químico de los sedimentos, es de gran utilidad para detectar la presencia de algunos contaminantes en ecosistemas acuáticos ya que son el receptáculo de materiales y sustancias disueltas en la columna de agua. Los hidrocarburos de origen biológico se encuentran presentes en gran parte de los organismos marinos y en todos los sedimentos recientes. Afortunadamente existen diferencias de composición y estructura entre estos hidrocarburos biogénicos y aquellos derivados del petróleo, los cuales permiten distinguirlos claramente (Clark y Blumer, 1967).

En los sedimentos no contaminados se refleja la composición de los organismos que han contribuido a éstos con su material orgánico y entre los hidrocarburos se exhibe una marcada predominancia de los n-alcános con átomos de carbono de número impar (Stevens, *et. al.*, 1965; Bray y Evans, 1961; Clark y Blumer, 1967; Anderson y Neff, 1974; Farrington y Quinn, 1973).

Las concentraciones de hidrocarburos en los sedimentos marinos presentan variaciones de más de cuatro órdenes de magnitud. Las zonas

costeras no contaminadas y los sedimentos del océano abierto contienen 1-4 ppm de hidrocarburos con respecto a materia seca; los sedimentos costeros no contaminados, menos de 100 ppm, y las zonas sumamente contaminadas, hasta 12,000 partes pm. En la mayor parte de estos análisis es difícil distinguir entre hidrocarburos de origen biológico e hidrocarburos del petróleo movilizados por el hombre. Sin embargo se ha indicado una técnica que permite hacer esa distinción (Blumer y Sass, 1972 b). Siguiendo la composición de los sedimentos en función de la profundidad en la zona petrolífera de la bahía de Buzzards, pudieron observar que los materiales extraídos a profundidades superiores a 7.5 cm. contenían poca o ninguna cantidad de hidrocarburos derivados del petróleo combustible, mientras que la capa superficial de los sedimentos contenía cantidades importantes de tales derivados.

Los hidrocarburos biogénicos pueden distinguirse por una considerable preponderancia de las parafinas normales de número impar de átomos de carbono, en especial las mayores de C_{27} . Exceptuando aquellos de formación muy reciente, los petróleos no muestran ninguna preferencia por los números impares o pares en su contenido normal de parafina. Los sedimentos superficiales contienen hidrocarburos de punto de ebullición comprendido en el intervalo de los aceites combustibles, mientras que los de mayores profundidades tienen puntos de ebullición superiores a ese intervalo. Además el pristano, que es el principal componente identificable en los registros cromatográficos en fase gaseosa de los aceites combustibles parcialmente degradados, ha sido sólo encontrado en cantidades muy pequeñas en las secciones profundas, mientras que es un componente importante en las capas superficiales junto con los isoprenoides contiguos C_{18} y C_{20} . Los hidrocarburos separados de sedimentos que contienen aceites combustibles muestran una estructura no resuelta en sus cromatogramas en fase gaseosa correspondiente al intervalo de ebullición de los aceites combustibles, característica que no se encuentra en los separados de sedimentos.

en los que no hay otros indicios de aceites combustibles. Por último, en los análisis cromatográficos de hidrocarburos realizados por esos autores, los sedimentos de las capas superiores presentaban las máximas características correspondientes a componentes específicos de los aceites combustibles contaminantes. Estas técnicas podrían aplicarse a otros depósitos oceánicos costeros para evaluar los flujos actuales de hidrocarburos del petróleo movilizados por el hombre.

La presencia de microorganismos en los sedimentos es de importancia relevante debido a la degradación selectiva de hidrocarburos saturados y en menor proporción hidrocarburos aromáticos.

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

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

7.2 Hidrocarburos en organismos marinos.

La vida sedentaria de la mayoría de los moluscos bivalvos filtraadores los hace extremadamente vulnerables a la exposición aguda y crónica de los contaminantes del medio ambiente como son los

hidrocarburos fósiles provenientes del petróleo (Blumer, et al., 1970; Lee, et al., 1972; Clark y Finley, 1973; Di Salvo, et al., 1975).

Los resultados de los análisis de organismos marinos expuestos a derrames petroleros han demostrado su capacidad para asimilar y almacenar hidrocarburos (Blumer y Sass, 1972; Burns y Teal, 1973; Clark y Finley, 1973). Los organismos bentónicos provenientes de áreas costeras con un alto grado de contaminación por hidrocarburos presentarán por lo general concentraciones de hidrocarburos con varios órdenes de magnitud más elevados que el agua que los rodea (Farrington, 1983).

De esta manera, algunos de los hidrocarburos ingeridos con el alimento o tomados del agua son almacenados en los diferentes tejidos de los animales marinos. Quizá debido a su alto contenido de lípidos, el hígado en los peces y el hepatopáncreas de los invertebrados son sitios donde se almacenan hidrocarburos (Lee, et al., 1972).

Existen algunas evidencias que indican que los hidrocarburos poseen diferente tiempo de retención en los organismos, así por ejemplo organismos expuestos a aguas contaminadas por petróleo acumulan hidrocarburos aromáticos en un mayor grado que aquellos de tipo parafínico (Anderson, 1973; Blumer et al., 1970). Un factor complicado en el estudio de la bioacumulación de hidrocarburos por los organismos marinos es el grado de asimilación de estos compuestos. La gran mayoría de los vertebrados y algunos invertebrados poseen un sistema de detoxificación el cual facilita la eliminación de compuestos extraños, involucrando una serie de sistemas enzimáticos diferentes, encargados de llevar a cabo reacciones de hidroxilación y conjugación.

En los organismos bentónicos y principalmente bivalvos que son

de hábitos filtradores para la obtención de su alimento, el petróleo o sus componentes llegan a través de pequeñas partículas suspendidas, las cuales se fijan en los tejidos proporcionando un sabor y olor característico a petróleo, con lo cual decrece la calidad comercial de estas especies y en ocasiones dichas partículas obturan el sistema respiratorio produciendo la muerte por asfixia de gran cantidad de bivalvos (Sponner, 1969; Simpson, 1968; Blumer, et. al., 1970).

En peces adultos el petróleo parece tener efectos de tipo mecánico, ya que al depositarse sobre las branquias las cubre no permitiendo el intercambio de gases con lo cual los peces mueren por asfixia (Mironov, 1970). También el grado de toxicidad de estos contaminantes es muy variable según la especie de que se trate, pero por lo general en concentraciones de 0.5 a 10 ppm dañan los órganos de los sentidos produciendo además erosión y destrucción de las células que forman el epitelio branquial (Barcach et. al., 1965; Scheier y Cairns, 1966).

De igual manera la presencia del petróleo causa daños en la vegetación marina, ya que en concentraciones de 10 a 100 ppm inhibe la fotosíntesis, teniendo ésto singular importancia, debido al papel que desempeñan los vegetales como productores primarios y en los cuales se basa la economía energética del ecosistema marino (Odum, 1972).

8. Retención, metabolismo y disposición de hidrocarburos.

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

petróleo en los ambientes costeros.

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

El metabolismo de hidrocarburos ingeridos por organismos marinos ha sido demostrado, el cual es seguido ya sea por la incorporación de éstos en los tejidos o por la subsecuente excreción, igualmente algunas especies de peces poseen un mecanismo eficiente de detoxificación, lo cual permite la eliminación casi total de hidrocarburos policíclicos aromáticos de los tejidos en donde fueron incorporados (Lee, et. al., 1972).

A pesar de estos trabajos, el metabolismo de los hidrocarburos en especies marinas no está totalmente comprendido suponiéndose que los mecanismos involucran oxidasas y otras enzimas altamente específicas, las cuales son importantes en la degradación y transformación de los componentes aromáticos y los parafínicos.

9. Biomagnificación.

Como se ha asentado previamente, a pesar de que la biota puede ser afectada severamente por la presencia del petróleo o sus componentes, no es el reservorio final ni tampoco el factor mas importante en la distribución del petróleo derramado.

Algunos autores sugieren la existencia de posibles mecanismos de biomagnificación, incluyendo la asimilación del petróleo por niveles tróficos inferiores de la biota marina además de sus posibles rutas de transferencia a través de la cadena alimenticia. Al fenómeno de biomagnificación por lo general lo acompañan otros

dos mecanismos conocidos como bioacumulación y bioconcentración, los cuales son diferentes entre sí.

La bioconcentración es la capacidad de un organismo, o una comunidad del mismo nivel trófico para concentrar en sus tejidos un contaminante que esté presente en el medio que le rodea.

La bioacumulación de un contaminante se refiere no sólo a la capacidad de concentrarlo, sino de incorporarlo a sus tejidos a través de fenómenos metabólicos de tal modo que en un cierto tiempo la concentración del contaminante es mayor que la del medio que rodea al organismo.

La biomagnificación se refiere al incremento de un contaminante en niveles tróficos sucesivos dentro de un ecosistema, por ejemplo los organismos predadores que contienen una mayor concentración de un cierto contaminante que aquellos organismos de los que se alimentan. Este proceso ha sido demostrado ampliamente en especies marinas principalmente para algunos hidrocarburos clorados como el Dieldrín y el DDT.

En peces marinos el fenómeno de bioconcentración ha sido comprobado en tanto que el de biomagnificación permanece como una posibilidad teórica. De igual manera no hay una evidencia que demuestre la biomagnificación en niveles tróficos de un ecosistema marino con referencias a hidrocarburos del petróleo, en tanto la bioconcentración que se ha observado en organismos de niveles tróficos superiores, principalmente peces, parece ser una función de su capacidad para concentrar hidrocarburos a partir de la columna de agua y no de su posición en la trama alimenticia.

III. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.

El área de estudio se encuentra limitada por los municipios de Coatzacoalcos y Minatitlán (Fig. 4), cada uno de los cuales presenta características particulares como se describen a continuación.

1. Municipio de Coatzacoalcos.

Con una superficie de 730.41 kilómetros cuadrados, limita con los Municipios de Pajapan, Cosoleacaque, Minatitlán, Ixhuatlán del Sureste, Moloacán y las Choapas; al este con el Estado de Tabasco y al norte con el Golfo de México.

Por ser un municipio costero su suelo presenta grandes planicies. Es irrigado por los ríos Coatzacoalcos, el cual desemboca en el Golfo de México; por el Tonalá que sirve de límite entre Veracruz y Tabasco y por el Huazatlán al norte. Cuenta además con los arroyos de Tortuguero y Gavilán, entre otros, y con la Laguna del Ostión en el límite con Pajapan. Su clima es cálido, siendo su temperatura media anual de 26.3°C, con lluvias la mayor parte del año, las más abundantes en verano y principios de otoño. Se localiza a los 94°25' de longitud W y 18°10' de latitud N.

La población del municipio en 1970 fué de 109,588 habitantes, la Ciudad de Coatzacoalcos contaba con 69,753 habitantes, la de Congregación de Agua Dulce con 21,060 y la de Congregación de Allen de 5,154.

2. Municipio de Minatitlán.

Tiene una superficie de 6,975 kilómetros cuadrados, la mayor en el Estado. Limita con los Municipios de Coatzacoalcos, Cosoleaca-

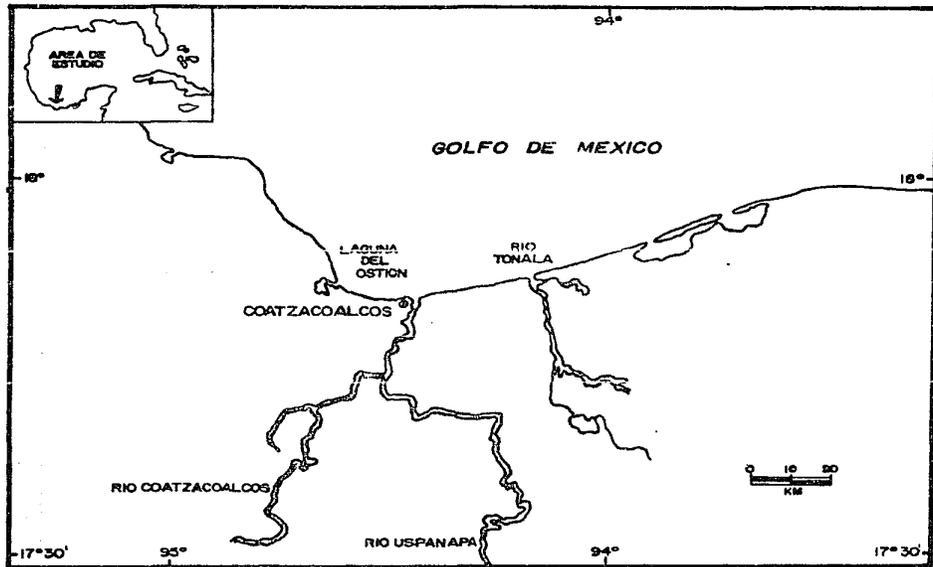


FIG. 4 AREA DE ESTUDIO

caque, Zaragoza, Jaltipan, Hidalgotitlán, Jesús Carranza, Ixhuatlán del Sureste, Moloacán, las Choapas; en una importante fracción sur con el Estado de Oaxaca y una porción pequeña con el estado de Chiapas, la mayor parte de la fisiografía lo componen extensas llanuras, aunque destacan algunas altitudes como los Cerros Agalapan y San Vicente. Regado por los ríos Uxpanapa, Nanchital, Coachapan Juanes, Solusuchil, Alegre y múltiples arroyos todos afluente del Río Coatzacoalcos. Cuenta además con las Lagunas Tortuguero y Mexcalapan. Su clima es ecuatorial y su régimen térmico cálido-húmedo, su temperatura media anual es de 25.7°C, con lluvias la mayor parte del año.

La ciudad de Minatitlán está situada a los 18°00' de latitud N, y 94°35' de longitud W.

La población del municipio en 1970 era de 134,087 habitantes, la ciudad de Minatitlán tenía 68,397; las Congregaciones de El Depósito 3,310; Cahuapan contaba con 2,282 y Emilio Carranza 2,199.

3. Hidrología.

La hidrología de la zona de estudio es, tal vez, el elemento más importante a considerar en el análisis del medio natural de esta región. En efecto, una parte importante de ella está constituida por tierras inundables y es cruzada por importantes vías fluviales.

El sistema hidrológico de la zona es la parte de la región hidrológica No. 29 (SARH, 1975) y se encuentra en la vertiente del Golfo de México. El sistema fluvial más importante es el Río Coatzacoalcos y sus afluentes, el cual divide la región en dos, cerca de la desembocadura y la fracciona a medida que se remonta la vía principal y sus afluentes.

El límite Este de la región está constituido, naturalmente por el Río Tonalá, el otro sistema fluvial de mayor importancia de la región, el cual es, al mismo tiempo el límite entre los Estados de Veracruz y Tabasco.

En la parte noroeste de la región se localiza un sistema fluvial menor, formado por una serie de pequeños ríos y arroyos que se originan en la Sierra de Santa Martha, los cuales desembocan en tierras inundadas de la planicie costera o en la Laguna del Ostión. En la región se encuentran cinco cuerpos lagunares de importancia. El principal es la Laguna del Ostión, la cual tiene una superficie aproximada de 12.7 km^2 y es alimentada por pequeños ríos y arroyos que provienen de las faldas del Volcán San Martín y los Arroyos Huazantlán y Xochiapa.

Segunda en extensión, con 12.2 km^2 de superficie, se encuentra la Laguna de Mezcalapa, situada entre Cuichapa y Río Uxpanapa en el Sur de la región de estudio. Desgraciadamente esta Laguna se encuentra mal comunicada con los asentamientos humanos principales, ya que podría ser un recurso turístico y de esparcimiento importante.

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

Casi en la desembocadura del Coatzacoalcos, en la ribera derecha se encuentra la Laguna de Pajaritos en cuyas márgenes se encuentra el complejo industrial del mismo nombre. Es relativamente pequeña, con una superficie de 1.5 km^2 y tiene serios problemas debidos a la contaminación industrial.

Finalmente, el Río Calzadas en su ensanchamiento próximo al Puer-

to de Coatzacoalcos, pero de difícil acceso, forma la Laguna de Tepache, con una superficie aproximada de 2 km².

4. Río Coatzacoalcos

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

A la altura de Santa María Chimalapa su rumbo oeste cambia en dirección norte. En este tramo recibe como afluente por su margen izquierda a los Ríos Chichihua, Almolaya, Malatongo y Sarabia. Al cruzar Sochiapa, Ver., adquiere una dirección NNE que conserva hasta la desembocadura.

Aquí recibe un afluente de importancia: por la margen izquierda, el río Jaltepec, el cual a la altura de la Estación Hidrométrica Jesús Carranza J, drena una cuenca hidrográfica de 3,331 km². Un poco más adelante, encontramos la Estación Hidrométrica Las Perlas, única sobre el cauce principal y más cercana a la costa (a unos 140 km. de distancia). A esta altura, la cuenca drenada por el Coatzacoalcos y afluentes es de 9,224 km².

A partir de este punto y en adelante, el cauce se vuelve divagante, con numerosos meandros, formando varias lagunetas y esteros, e incluso formando un doble cauce a la altura de Hidalgotitlán, Ver. (Fig. 5).

Pese a ello, recibe algunos afluentes importantes, especialmente

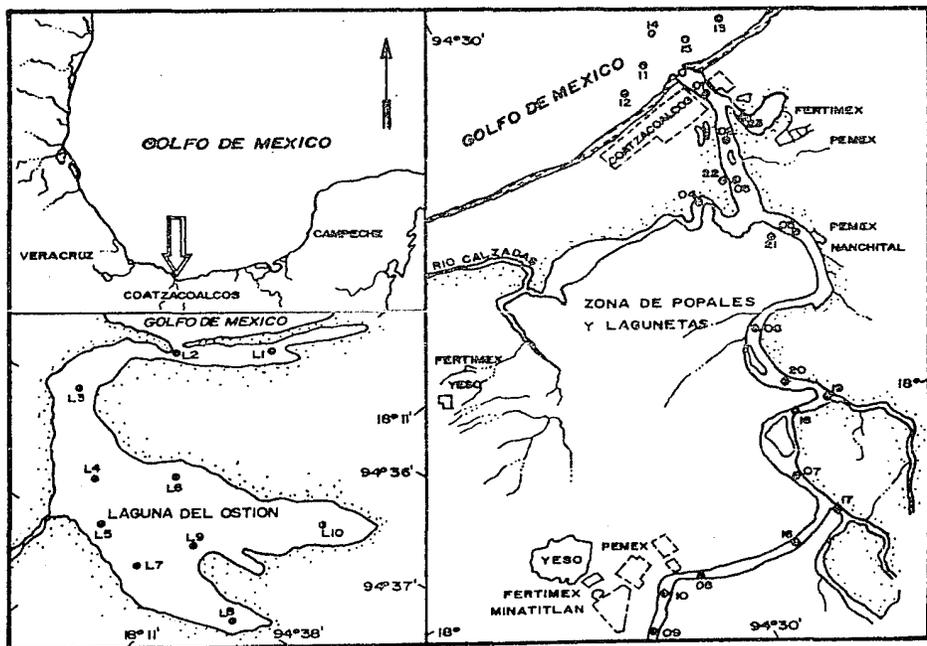


FIG. 5 RIO COATZACOALCOS Y LAGUNA DEL OSTION

por su margen derecho como son el Solosúchil, el Coachapa y el Uxpanapa. Este último entra al cauce principal cinco kilómetros aguas abajo de Minatitlán. Se trata de un río notable, que nace en Oaxaca, tiene una longitud aproximada de 185 km., y drena una cuenca de 4,803 km²., cerca de la desembocadura, el Coatzacoalcos recibe, por su margen derecha, al Río Calzadas, el cual viene desde la serranía de San Andrés Tuxtla, donde se le conoce como Río Huazuntlán. Es un afluente de menor importancia que drena una cuenca de unos 180 km²., con un gasto medio de 7 m³/s.

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

En las Perlas, el gasto medio del Río Coatzacoalcos es ya de 470 m³/s., lo que da una idea de la importancia de esta vía. Debido a las tormentas tropicales y a la extensa cuenca drenada, el gasto es muy variable y normalmente, en la temporada de lluvias alcanza valores de 2 mil a 3 mil m³/s; este gasto alcanzó en esta estación la cifra excepcional de 7,061 m³/s el 24 de septiembre de 1963 (SARH, 1975).

5. Río Tonala

Esta corriente nace en los límites de los estados de Veracruz, Tabasco y Chiapas, en la Sierra Madre de Chiapas a unos 100 m de altitud. Prácticamente en todo su recorrido sirve como división política natural entre los estados de Veracruz y Tabasco. En el tramo original se llama Río Pedregal. El cauce principal sigue una dirección general NNW, de modo que hacia la margen izquierda el área drenada total (2344 km²) pertenece al estado de Veracruz.

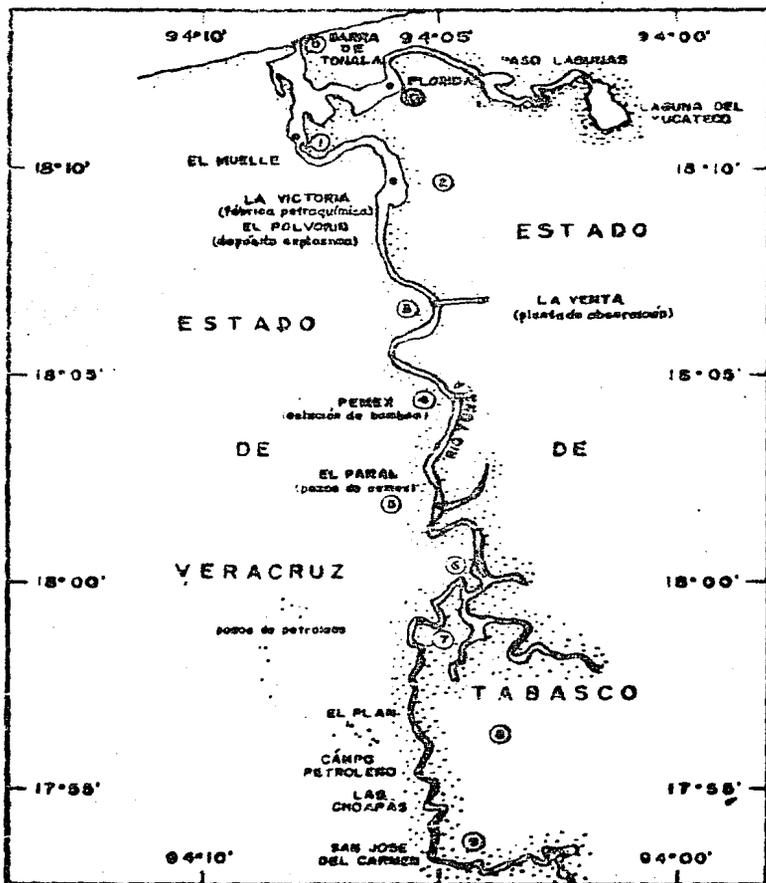


Fig. 6 Rio Tonalá

Hacia la margen derecha el área es de 3335 km², índice de la gran importancia de esta corriente, que también es navegable en estiaje en más de 300 km de su recorrido total, incluidos sus afluentes.

Es de importancia esta característica, ya que en su recorrido el río toca varias poblaciones relevantes, como Francisco Rueda, Las Choapas y Tonalá.

La longitud total del cauce principal es de 150 km, de ella 120 km se desarrollan abajo de los 200 m de altitud, lo que da lugar a un tramo sinuoso y con algunas lagunas hacia la parte final del recorrido (Fig. 6).

Los afluentes izquierdos, citados de aguas arriba hacia aguas abajo son: el Río Playas o Xocopan, que nace en el cerro del mono pe lado, tiene dirección general hacia el noreste, pasa por Pueblo Viejo y San Pedro y entra al Tancochapa, nombre del Tonalá en su curso superior, a 10 km. aguas arriba de Francisco Rueda, Tabasco.

Hacia la parte baja de su recorrido, el Tancochapa recibe aportación del arroyo Pesquero y del Arroyo Piedras.

Por la derecha, es decir como afluentes tabasqueños, entran en su cesión el Río Zanapa, el Río Biasillo y el Río Chicozapote. De ellos el más importante es el Zanapa, que tiene como afluentes izquierdos los arroyos Mosquitero, Hondo Chico y Hondo Grande; estas tres corrientes siguen una dirección hacia el noreste y forman una laguna alargada conocida con el nombre de Laguna Rosario, cuyo desfogue es una aportación izquierda al Río Zanapa, que se o rigina al suroeste de Huimanguillo con el nombre de río Coacojapa y cuenta con un afluente llamado arroyo El Limón.

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

cadura.

6. Laguna del Ostión.

La Laguna del Ostión posee una superficie de 12.7 km^2 y se encuentra ubicada en las inmediaciones de la cuenca hidrológica del Río Coatzacoalcos y la vertiente del Golfo de México, entre los $118^{\circ} 11'$ de latitud norte y $92^{\circ} 37'$ de longitud oeste.

Este ecosistema acuático posee una profundidad promedio de 3.0 metros y posee marcadamente dos tipos de agua; una salobre y otra salina, la primera se encuentra mayormente distribuida del centro a la margen sur de la laguna; y la segunda, del centro al noroeste. Esta distribución se debe principalmente al aporte del agua dulce suministrada por los ríos Huazuntlán, Minzapán y Temolapán en la parte sur y suroeste de la Laguna con un gasto máximo promedio aproximado de $350 \text{ m}^3/\text{s}$ durante la época de lluvia, el cual se reduce a 6 m^3 en la época de estiaje. Por la parte noreste se comunica con el mar, a través del Golfo de México, dando lugar al flujo y reflujos del agua salina, de los nutrientes y de la fauna marina (Fig. 5).

La temperatura predominante de esta región es de 25°C , la máxima cercana a los 27°C y la mínima a los 22°C . La humedad relativa típica es de 80% y la precipitación pluvial de 1595 mm.

La Laguna del Ostión, posee un elevado índice de producción y una amplia diversidad de especies acuáticas; sin embargo, su desarrollo pesquero ha sido sólo del tipo artesanal y en baja escala. La explotación de las especies de mayor importancia comercial, que se capturan dentro de la laguna y en la zona marina de mayor importancia, son: Scomberomorus maculatus, Scomberomus caballa, Caranx hippos, Lutjanus campechanus, Carcharhinus sp., Cra-

ssostrea virginica y algunas especies de la Fam. Gerridae.

Sin embargo, las especies de mayor importancia comercial que se explotan ampliamente en la laguna, son Penaeus setiferus, Cra-
ssostrea virginica y Eugerres plumieri, entre otros.

La temporada de mayor captura corresponde a los meses de febrero a mayo y de septiembre a diciembre.

La producción total de este ecosistema se distribuye en la localidad para su consumo.

Es relevante la presencia abundante de manglares y aves marinas sobre todo en la parte sur de la laguna.

7. Suelos y Vegetación.

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

8. Climatología.

Precipitación: Hacia la zona alta, dentro del estado de Oaxaca,

se registraron láminas medias anuales de precipitación pluvial hasta de 2733 mm. Este es un valor máximo que va disminuyendo a medida que se consideran puntos mas meridionales de la cuenca, con 2230 mm. en Jaltepec, Oaxaca; 1310 mm. en Matías Romero y un mínimo de 1117 mm. en Santiago Chivela.

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

Temperatura: Varía entre extremos muy amplios. Se tiene registrado un mínimo de 4° C en enero y un máximo de 48°C.

Por lo que hace el promedio de la temperatura media, resulta muy poco variable a través de toda la región, desde 23.5° C Puxmeca tán hasta 26.9° C en Jesús Carranza.

La clasificación le corresponde "clima cálido sin estación invernal bien definida".

Evaporación: El mínimo registrado es el valor 1047 mm en Mosquitero, Tabasco; y el máximo en Coatzacoalcos con 2510 mm. Salvo al valor promedio calculado para Coatzacoalcos (2068 mm) todos los demás muestran una relativa uniformidad, alrededor de 1170 mm, excepto también el de Santiago Chivela, que es la estación que queda más al sur de la región.

IV. MATERIALES Y METODOS

En el área del Bajo Río Coatzacoalcos, comprendida entre las poblaciones de Minatitlán y Coatzacoalcos, se establecieron 23 estaciones fijas de muestreo en donde fueron realizados cuatro muestreos: Marzo, Junio y Octubre de 1982 y Febrero de 1983, habiéndose colectado muestras de sedimentos, agua y organismos. De igual manera, se establecieron 11 estaciones de muestreo en el cauce del Río Tonalá y 10 en La Laguna del Ostión (Figs. 5 y 6).

Las muestras de sedimento se colectaron con una draga Van Veen; durante la primera y segunda campañas se determinó el pH al momento de la extracción. Se traspasaron las muestras a frascos de vidrio previamente tratados; se agregó metanol y se conservaron en congelación hasta su análisis en el laboratorio.

La colecta de muestras de agua se realizó de acuerdo a la técnica descrita por el Manual de CARIPOL, para la vigilancia de la contaminación por petróleo, (JOCARIBE, 1980). Se sometieron a un proceso de extracción, el cual se efectuó abordo, conservándose en congelación para la posterior determinación de hidrocarburos disueltos.

En forma adicional, fueron colectadas muestras de organismos, con ayuda de pescadores lugareños, a los cuales se analizó el contenido de hidrocarburos poliaromáticos (PAH's) en tejidos musculares de 23 especies de importancia comercial y económica como peces, crustáceos y algunos moluscos bivalvos; provenientes del estuario del Río Coatzacoalcos y de la Laguna del Ostión.

1. Hidrocarburos fósiles en sedimentos

Con el fin de aislar y purificar los hidrocarburos fósiles pre-

entes en los sedimentos recientes se siguió el método propuesto por Botello (1978).

El análisis de las muestras se efectuó antes y después de la adición de un estándar interno de n-parafinas desde C_{16} hasta C_{32} , además de los isoprenos pristano y fitano. La abundancia de cada componente fue determinada por su correspondiente área bajo cada cromatograma por medio de un integrador electrónico acoplado al sistema. Se utilizó un detector de ionizador de flama, programador lineal de temperatura y columna capilar de 30 m. de longitud empacada con metil-silicón.

El análisis fue realizado en un cromatógrafo de gases Hewlett-Packard, modelo 5840 A.

Con el fin de remover los sulfuros y evitar interferencias en el análisis cromatográfico, algunas muestras fueron pasadas a través de columnas de cobre, el cual fue activado por medio de acidulación con HCl al 15%.

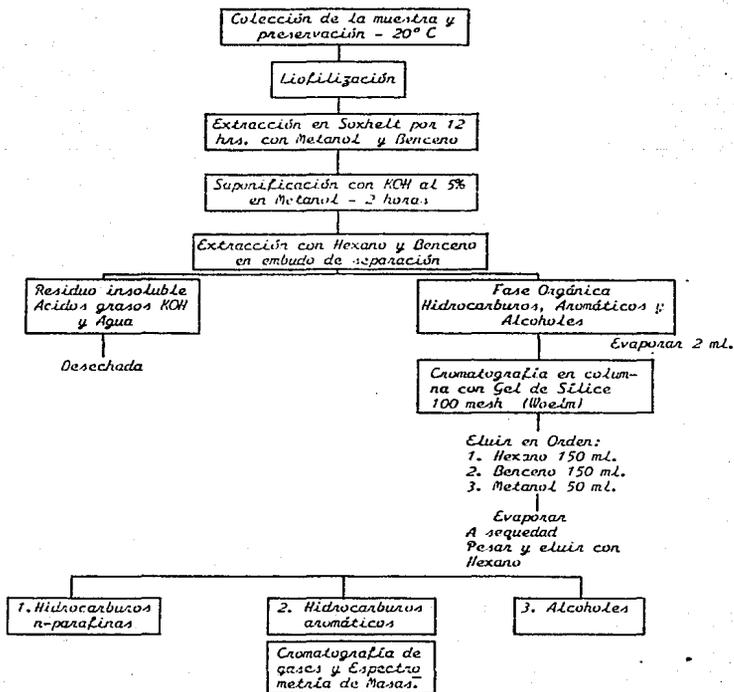
2. Hidrocarburos fósiles en organismos.

La determinación de hidrocarburos fósiles en organismos se realizó utilizando la misma metodología descrita por Botello (1978) (Fig. 7). La diferencia básica estriba en la cantidad de muestra y en el proceso de extracción-saponificación. Sin embargo, la caracterización es similar.

3. Hidrocarburos disueltos en el agua.

En su determinación se siguió el método propuesto en el manual de CARSPOL, para la vigilancia de la contaminación por petróleo (JO CARIBE, 1980).

Fig. 7 Diagrama de la extracción y análisis de hidrocarburos en organismos marinos y sedimentos recientes (Botello, 1978).



4. pH

El pH en los sedimentos se determinó directamente sobre la draga en que se extrajeron las muestras. La determinación se realizó u tilizando un potenciómetro de campo Corning pH Meter 30, colocar do el electrodo en el seno del sedimento.

V. RESULTADOS Y DISCUSION

1. Hidrocarburos en sedimentos recientes.

En las Tablas 1 a 6 están representadas las concentraciones en ppm (peso seco) de los hidrocarburos totales (alifáticos y aromáticos) pertenecientes a los diferentes núcleos de sedimentos de la Laguna del Ostión, el bajo Río Coatzacoalcos y el Río Tonalá, analizados en el presente estudio.

La relación hidrocarburos aromáticos/saturados para el caso de Laguna del Ostión tiene un valor promedio de 1.09 lo cual es similar a la relación 1:1 para tales compuestos en lagunas costeras.

En el Río Coatzacoalcos dicha relación aumenta a valores de 1.67, lo cual implica ya una ligera dominancia de los compuestos aromáticos sobre los saturados, y ya que la mayoría de este tipo de compuestos no pueden ser sintetizados por los organismos, su origen en los sedimentos es de tipo antropogénico y, principalmente de las descargas de plantas petroquímicas y otras industrias relacionadas con el petróleo, las cuales operan en dicha área. Resulta asimismo interesante hacer notar que las concentraciones de Hidrocarburos Totales en el citado río exceden desde 3 a 26 veces los valores considerados como normales para áreas costeras "no contaminadas" (INAS, 1975).

Del análisis de las tablas 1 a 3 las cuales corresponden a las concentraciones de hidrocarburos totales, para los tres muestreos realizados en el Río Coatzacoalcos, se nota que en relación al primer muestreo de Marzo de 1982, solamente las estaciones 00, 01 y 09 muestran valores equiparables con sedimentos no contaminados, ya que presentan una concentración entre 30 y 100 ppm que según

TABLA 1. CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS FOSILES EN SEDIMENTOS RECIENTES DEL RIO COATZACOCHCOS (MARZO, 1982)

Estación	Saturados ppm	Aromáticos ppm	Totales ppm	pH
00	10.6	86.0	-	6.40
01	38.6	56.0	-	5.88 - 6.12
02	416.0	538.0	954.00	6.53
03	129.3	201.0	330.30	4.20 - 4.80
04	84.0	166.6	250.60	6.10
05	465.3	1,025.3	-	6.20 - 6.40
06	72.0	34.6	-	6.10
07	205.3	238.6	443.90	5.20
08 A	105.3	78.6	183.90	6.20
08 B	188.0	182.6	370.60	-
08 C	597.3	456.0	1,053.30	-
09	43.6	46.6	-	6.10
Valor Promedio	196.19	260.82	457.00	-

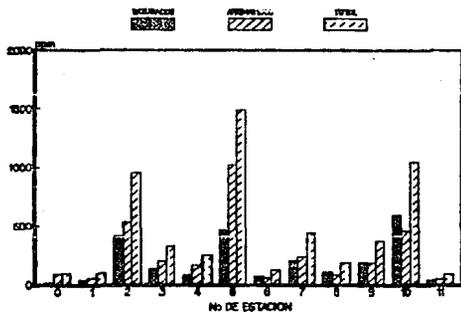


TABLA 2. CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS FOSILES EN SEDIMENTOS RECIENTES DEL RIO COATZACOALCOS (JUNIO, 1982)

Estación	Saturados ppm	Aromáticos ppm	Totales ppm	pH
15	302.6	140.0	442.6	5.63
16	565.3	437.3	1,002.6	5.83 - 6.30
17	73.3	305.3	-	5.16 - 5.87
18	352.0	297.3	649.3	6.40 - 5.97
19	600.0	634.6	1,234.6	6.28 - 6.38
21	353.3	402.6	-	6.14 - 6.21
22	133.3	106.0	-	3.23 - 3.63
23	1,048.0	496.0	1,544.0	6.03 - 6.11
Valor Promedio	428.0	352.46	780.93	-

CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS FOSILES
SEDIMENTOS DEL RIO COATZACOALCOS

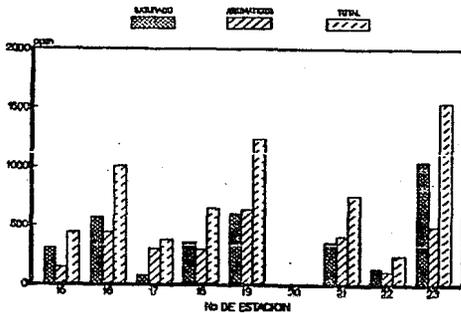
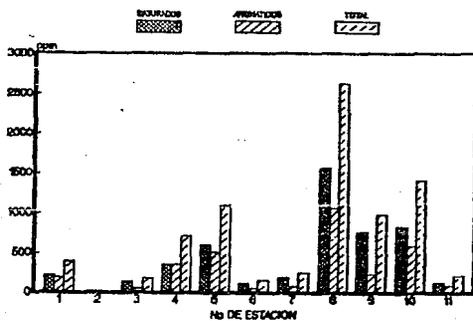


TABLA 3. CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS FOSILES EN SEDIMENTOS RECIENTES DEL RIO COATZACOALCOS (FEBRERO, 1983)

Estación	Saturados ppm	Insaturados ppm	Totales ppm
01	208.0	186.0	-
02	-	-	-
03	137.0	42.0	179.0
04	356.0	357.0	713.0
05	596.0	508.0	-
06	113.0	41.0	-
07	186.0	69.0	255.0
08	1,562.0	1,061.0	2,623.0
09	760.0	228.0	988.0
10	828.0	582.0	1,410.0
11	125.0	85.0	-
Valor promedio	487.09	315.7	802.8

CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS FOSILES
SEDIMENTOS DEL RIO COATZACOALCOS



Burns y Teal, 1971; Blumer y Sass, 1972 y NAS, 1975, corresponden a zonas inalteradas. En tanto las estaciones 15 a 23 muestran concentraciones que rebasan en mucho las consideradas para sedimentos no contaminados.

En el muestreo efectuado en febrero de 1983, se repitieron las estaciones de colecta de la primera campaña (Marzo, 1982). En este caso, las estaciones 01 y 09 que antes presentaban valores entre 30 y 100 ppm ahora muestran 392.00 y 988.00 ppm respectivamente, lo cual indica que en término de un año la concentración se multiplicó 4 y 11 veces respectivamente, lo que habla en forma alarmante del impacto de las actividades humanas en la zona, así como de la dinámica geoquímica del área; la cual está gobernada principalmente por tres procesos que son: disolución, remoción y sedimentación.

Botello, 1980, reporta para las lagunas de Mecocacán y Carmen y Machona, Tab., de 64 a 150 ppm de hidrocarburos fósiles en sedimentos recientes cuyas concentraciones son comparables con sedimentos marinos contaminados, lo que implica aportes extra de hidrocarburos, además de las fuentes naturales.

De acuerdo con ello, la zona de estudio se encuentra altamente impactada por actividades antropogénicas, ya que las estaciones analizadas presentan valores que van desde los 94.6 ppm, hasta las 2623.00 ppm.

Los valores obtenidos de pH están relacionados con sedimentos poco oxigenados o en proceso paulatino de anoxia.

Revisando las tablas, podemos observar que en las estaciones 0, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 17, 19 y 21 la concentración de hidrocarburos aromáticos excede el valor de las n-parafinas, en algunos casos la diferencia es muy notoria, como en la estación 5, donde las n-parafinas apenas alcanzan, las 465.3 ppm contra 1075.30 ppm de los

aromáticos.

En las estaciones 6, 8, 15, 16 y 22 los valores de las n-parafinas son sólo ligeramente mayores que los compuestos aromáticos.

Los valores más altos se presentan en zonas de descarga fija o intensas actividades petroleras, coincidiendo con áreas de grandes demandas de petróleo, observadas en el río durante la época de muestreo.

Por otro lado, los valores más bajos (estaciones 0, 1 y 9) se encuentran localizados en la boca del estuario y en la parte posterior de Minatitlán, respectivamente. Siendo áreas poco contaminadas, las cuales pueden servirnos de referencia para el análisis de las concentraciones totales.

La utilidad en el análisis de los cromatogramas obtenidos, está en relación con la interpretación de la naturaleza y origen de los hidrocarburos presentes en los sedimentos de las áreas de estudio.

En la mayor parte de los cromatogramas analizados, existe una ligera predominancia de hidrocarburos con número de carbono impar, lo cual implicaría que se trata de hidrocarburos biogénicos; sin embargo, las concentraciones rebasan con mucho los valores considerados como normales o de sedimentos de áreas no contaminadas, y debido además a que los cromatogramas presentan un área compleja de hidrocarburos no resueltos (HUMP) conteniendo hidrocarburos cíclicos no saturados, olefinas y compuestos aromáticos simples, nos hace pensar en una mezcla de hidrocarburos biogénicos con hidrocarburos fósiles cuyos orígenes y rutas de entrada al ecosistema son debido a influencias antropogénicas (Figuras 8-17).

De esta manera, los valores más altos de hidrocarburos determina

Fig. 8 Cromatograma de la distribución de n-parafinas en sedimentos de la Laguna del Ostión, estación 4.

Fig. 9 Cromatograma de la distribución de n-parafinas en sedimentos del Río Coatzacoalcos, estación 10.

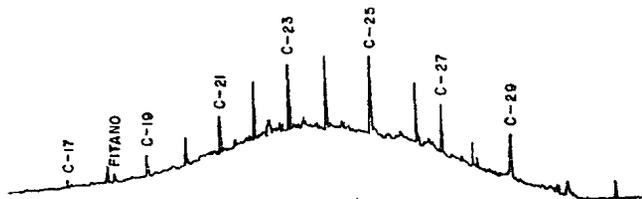


FIG. 8 LAGUNA DEL OSTION, ESTACION
n - PARAFINAS

4



FIG. 9 RIO COATZACOALCOS, ESTACION
n - PARAFINAS. MARZO DE 1962.

10

Fig. 10 Cromatograma de la distribución de n-parafinas en sedimentos de la Laguna del Ostión, estación 3.

Fig. 11 Cromatograma de la distribución de n-parafinas en sedimentos del Río Tonalá, estación 3.

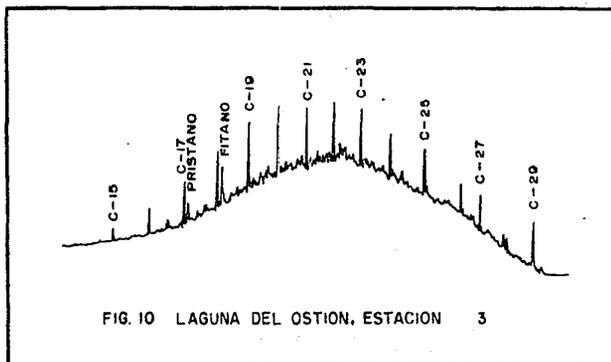


FIG. 10 LAGUNA DEL OSTION, ESTACION 3

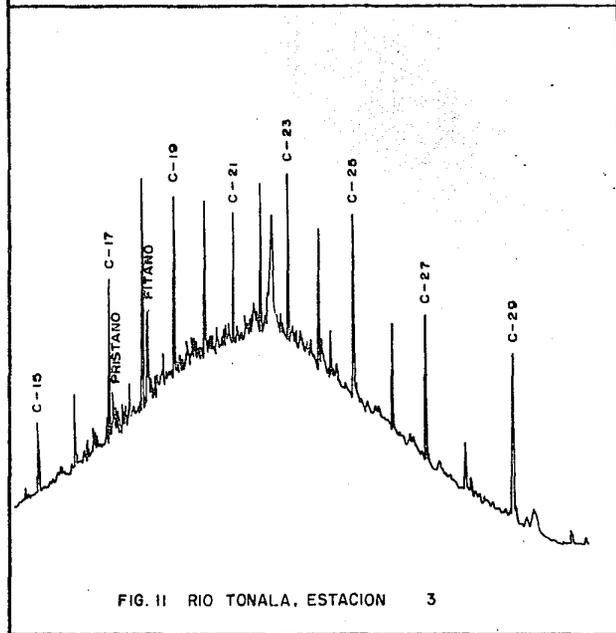


FIG. 11 RIO TONALA, ESTACION 3

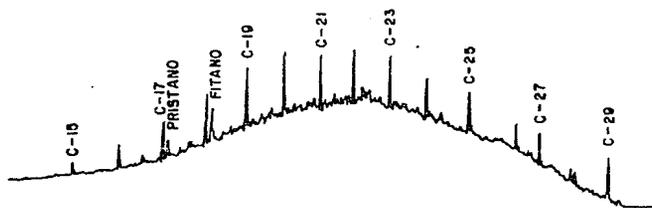


FIG. 10 LAGUNA DEL OSTION. ESTACION 3

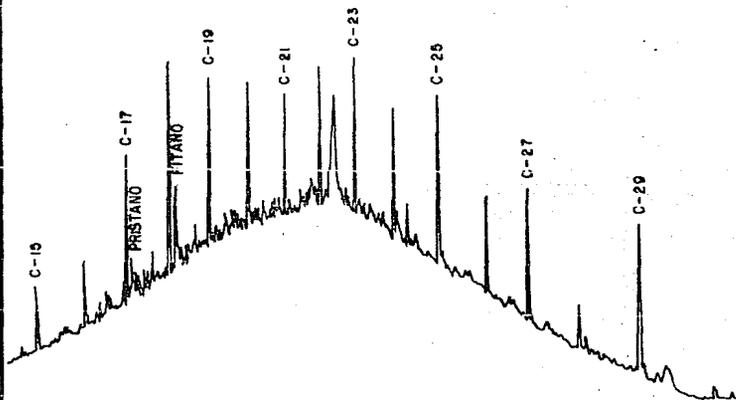


FIG. 11 RIO TONALA. ESTACION 3

Fig. 12 Cromatograma de la distribución de n-parafinas en sedimentos del Río Tonalá, estación 2.

Fig. 13 Cromatograma de la distribución de n-parafinas en sedimentos de la Laguna del Ostión, estación 8.

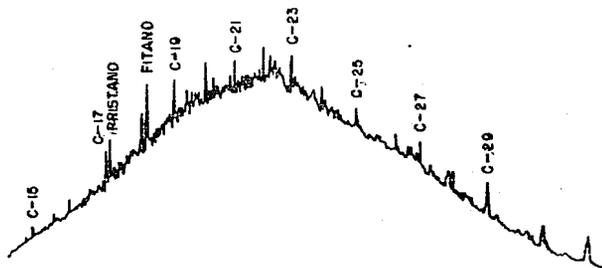


FIG. 12 RIO TONALÁ, ESTACION 2

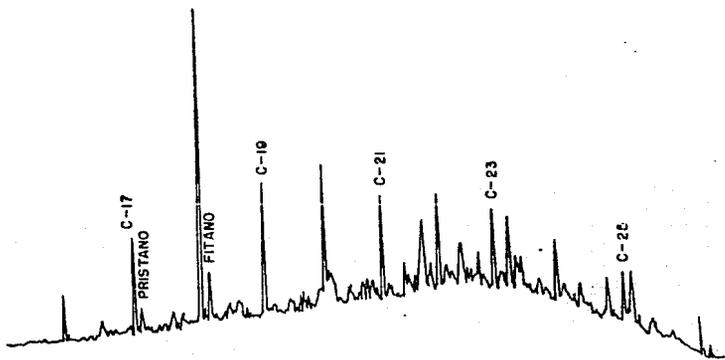


FIG. 13 LAGUNA DEL OSTIÓN, ESTACION 8

Fig. 14 Cromatograma de la distribución de n-parafinas en sedimentos del Río Tonalá, estación 11.

Fig. 15 Cromatograma de la distribución de n-parafinas en sedimentos del Río Coatzacoalcos, estación 23.

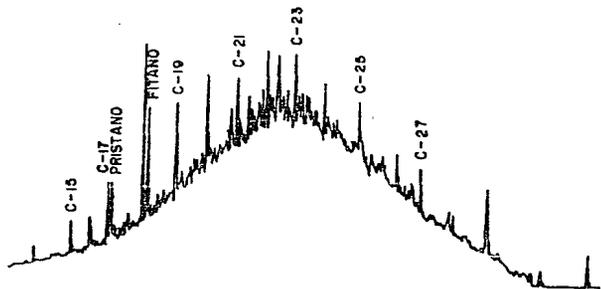


FIG. 14 RIO TONALA. ESTACION II

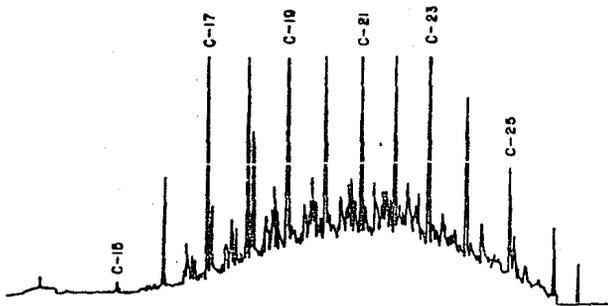


FIG. 15 RIO COATZACOALCOS. ESTACION 23
JUNIO DE 1982

Fig. 16 Cromatograma de la distribución de n-parafinas en sedimentos del Río Coatzacoalcos, estación 9.

Fig. 17 Cromatograma de la distribución de n-parafinas en sedimentos del Río Coatzacoalcos, estación 5.

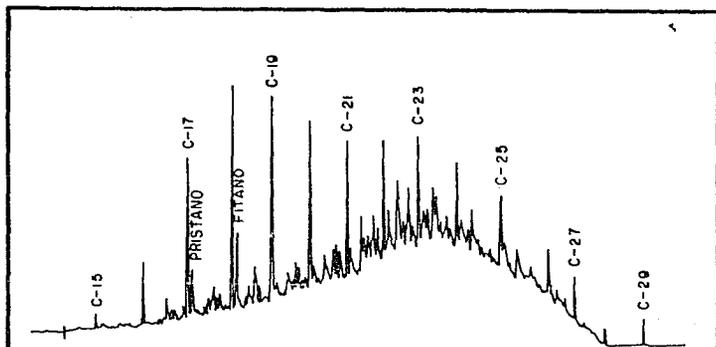


FIG. 16 RIO COATZACOALCOS, ESTACION 9

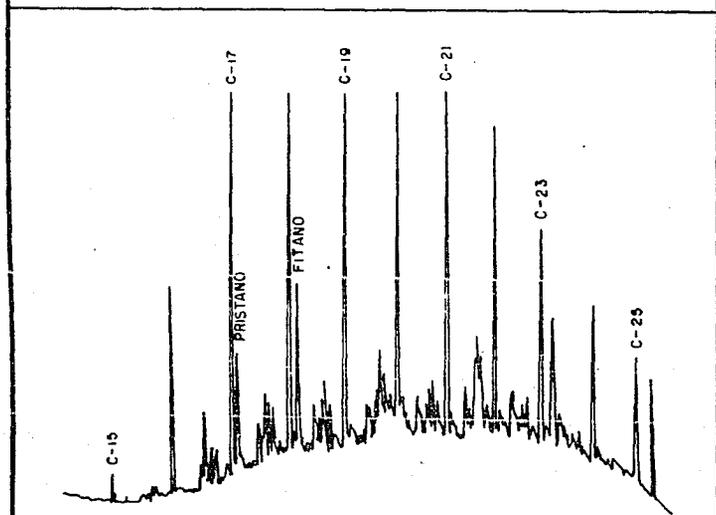


FIG. 17 RIO COATZACOALCOS, ESTACION 5
MARZO, 1982

dos a lo largo del bajo Río Coatzacoalcos, coinciden con las condiciones encontradas en el momento del muestreo. La estación 2, localizada frente a Puertos Libres Mexicanos; la 23 en la Laguna de Pajaritos, frente al complejo petroquímico del mismo nombre, la 8 situada frente a la Refinería de Minatitlán; la 16 en el mismo trayecto, situada cerca a la estación anterior; la 19 en la boca del Río San Antonio y la 21 frente al poblado de Nanchital, siendo esta estación una repetición de la 5. Todas ellas coinciden ya sea con lugares de descarga u operación de actividades petroleras o bien sitios en donde se ha derramado petróleo, de manera continua.

En relación con la presencia y niveles de concentración de hidrocarburos aromáticos es importante señalar que sólo algunos de éstos compuestos orgánicos son producidos por ciertos microorganismos, y su sola presencia y elevada concentración en los sedimentos analizados del Río Coatzacoalcos nos señala un proceso de contaminación crónica por rutas antropogénicas (Farrington y Quinn, 1973; Bravo *et. al.*, 1978; Neff, 1979, Farrington, 1983).

El contenido de PAH's ha sido medido en gran número de sedimentos dulceacuícolas y marinos, principalmente en algunos países europeos y las concentraciones determinadas varían ampliamente. Algunos ríos que atraviesan por ciudades densamente pobladas o de alta industrialización contienen sedimentos en donde se han detectado concentraciones elevadas de benzo-a-pireno (BaP) algunas veces alcanzando hasta 15 ppm; en tanto los sedimentos provenientes de áreas más remotas contienen una menor concentración de PAH's incluyendo los benzopirenos, siendo éste el caso del Río Coatzacoalcos debido sobre todo al alto grado de industrialización del área.

En los sedimentos marinos, la mayoría de ellos colectados en áreas

costeras y zonas estuarinas en Europa por Mallet y colaboradores, contienen concentraciones de benzopirenos que varían muy ampliamente y al igual que en el caso de los ríos los más altos niveles sedimentarios de estos contaminantes ocurren en áreas adyacentes a localidades densamente pobladas o de intensa actividad industrial. También las concentraciones de PAH's en sedimentos marinos pueden variar por un factor de 1000 o más dentro de una pequeña bahía o estuario, posiblemente debido a los diferentes rangos de deposición de los sedimentos o bien a los diferentes grados de oxígeno dentro de la columna sedimentaria en las diferentes regiones donde se analizan estos compuestos.

Esta variabilidad fue observada muy claramente en cuanto a la concentración de PAH's en los sedimentos analizados y los cuales pertenecen a tres áreas con procesos geoquímicos diferentes, como son la disolución y sedimentación, los grados de oxígeno en los sedimentos, el contenido de materia orgánica así como la remoción sedimentaria la cual opera de modo distinto en el Río Coatzacoalcos, el Río Tonalá y la Laguna del Ostión.

En cuanto a la concentración de hidrocarburos totales registrados para la Laguna del Ostión y el Río Tonalá (Tablas 4 a 6) se observa una baja muy notable en las muestras de la Laguna del Ostión con valores promedio de 154.07 y 85.14 ppm para los dos muestreos realizados (octubre de 1982 y marzo de 1983) en tanto para el Río Tonalá estas concentraciones se elevan casi en 10 veces presentando un valor promedio de 1189 ppm en el muestreo de agosto de 1983; el cual también es considerablemente mayor a los valores promedio del Río Coatzacoalcos los cuales señalan valores promedio de 457 ppm en marzo de 1982, 780 ppm en junio de 1982 y de 802 ppm en febrero de 1983.

La elevada concentración de hidrocarburos totales detectados en el Río Tonalá está en relación directa con las actividades petroleras que se han desarrollado en sus márgenes desde hace varias décadas

TABLA 2. CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS FOSILES EN SEDIMENTOS RECIENTES DE LA LAGUNA DEL OSTRON, OCTUBRE, 1982

Estación	Saturados ppm	Aromáticos ppm	Total ppm
01	64.0	86.6	150.6
02	106.6	22.6	129.2
03	37.3	25.3	62.6
04	58.6	29.3	87.9
05	48.0	40.0	88.0
06	513.3	62.6	575.9
07	52.0	29.3	81.3
08	68.0	80.0	148.0
09	26.6	85.3	111.9
10	76.0	29.3	105.3
Valor promedio	105.04	49.03	154.07

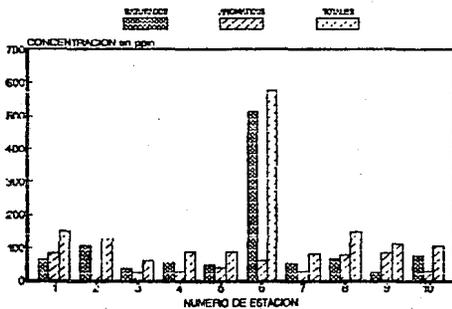


TABLE 5. CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS FOSILES EN SEDIMENTOS RECIENTES DE LA LAGUNA DEL OSTION. (MARZO, 1983)

Estación	Saturados ppm	Aromáticos ppm	Total ppm
01	76.0	37.3	113.3
02	30.6	24.0	54.6
03	58.6	29.3	87.9
04	10.0	5.3	15.9
05	17.3	42.6	59.9
06	64.0	222.6	286.6
07	32.0	25.3	57.3
08	53.3	20.0	73.3
09	32.0	20.0	52.0
10	33.3	17.3	50.6
Valor promedio	40.77	44.37	85.14

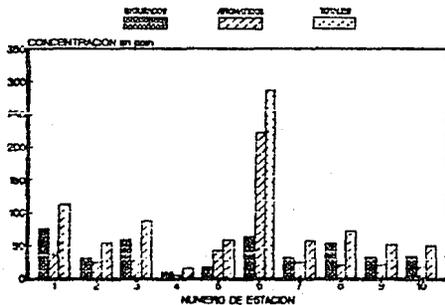
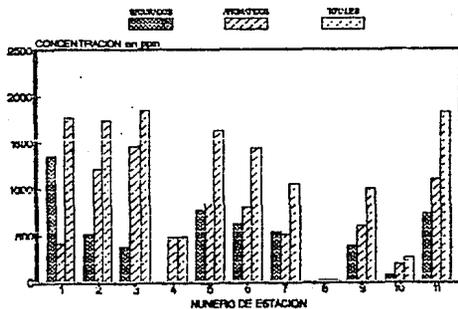


TABLA 6. CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS FOSILES EN SEDIMENTOS RECIENTES DEL RIO TONALA (AGOSTO, 1983)

Estación	Saturados ppm	Aromáticos ppm	Totales ppm
01	1,356.0	416.0	1,772.0
02	518.6	1,220.0	1,738.6
03	378.6	1,466.0	1,794.6
04	2.6	482.6	485.2
05	780.0	854.6	1,634.6
06	628.0	811.3	1,441.3
07	545.3	506.5	1,051.9
08	1.3	17.3	18.6
09	396.0	605.3	1,001.3
10	74.6	192.0	266.6
11	733.3	1,096.0	1,829.3
Valor Promedio	492.20	697.24	1,189.44



principalmente la operación de las petroquímicas de La Venta y Cinco Presidentes siendo éstos los lugares de muestreo en donde se obtuvieron las más elevadas concentraciones de hidrocarburos lósiles del Río Tonalá con 1794 y 1829 ppm respectivamente.

Para el caso de la Laguna del Ostión las concentraciones se mantuvieron bajas y muy estables y el predominio de hidrocarburos saturados/aromáticos es muy claro, lo cual es un indicador que la mayoría de los hidrocarburos presentes en los sedimentos recientes de esta laguna son de origen biogénico siendo producidos naturalmente a través de biosíntesis por microorganismos y organismos que habitan en ese ecosistema. Las aseveraciones anteriores son confirmadas por los resultados de los análisis correspondientes a los hidrocarburos disueltos/dispersos cuya concentración en la columna de agua es inversamente proporcional a su concentración en los sedimentos recientes; lo cual puede ser fácilmente observado en la Tabla 7, en donde se anotan las concentraciones de hidrocarburos disueltos/dispersos para las tres áreas estudiadas dándonos valores promedio de 8.75 ppb para el Río Coatzacoalcos, 11.8 ppb para el Río Tonalá y 18.4 ppb para la Laguna del Ostión; lo que confirma la importancia que tienen la dilución y la sedimentación en el flujo de los hidrocarburos en los sistemas estuarinos. En base a los resultados generales planteados con anterioridad, se observa que el área más impactada por actividades petroleras es el Río Tonalá, después el Río Coatzacoalcos y en cambio la Laguna del Ostión puede considerarse como un ecosistema aún no impactado por la presencia de hidrocarburos de origen petrogénico.

De igual manera si comparamos los valores promedio de hidrocarburos totales presentes en los sedimentos analizados con otras áreas costeras del Golfo de México y otras partes del mundo (Tabla 8) se puede observar que el área de estudio (Río Coatzacoalcos y Río Tonalá) es la que presenta valores más altos pudiendo ser considerados como los ecosistemas costeros más contaminados por actividades petroleras en nuestro país (Botello y Macho, 1982), además pre

TABLE 7. CONCENTRACION DE HIDROCARBUROS DISUELTOS/DISPERSOS EN LA COLUMNA DE AGUA DE LOS RIOS COATZACOALCOS, TONALA Y LAGUNA DEL OSTIUN (Jul/2) o ppb

Estación	Río Coatzacoalcos ppb	Río Tonalá ppb	Laguna del Ostiun ppb
01	27	18	9
02	62	7	11
03	3	N.D.	7
04	6	2	7
05	10	0.2	65
06	3	11	8
07	7	13	44
08 A	4	19	11
08 B	4	-	-
08 C	7	-	-
09	-	18	11
10	4	18	11
11	7	-	-
12	3	-	-
13	4	-	-
14	4	-	-
15	2	-	-
16	4	-	-
17	2	-	-
22	5	-	-
23	7	-	-
Valor Promedio	8.25	11.8	18.4

CONCENTRACION DE HIDROCARBUROS
 DISUELTOS/DISPENSOS EN LOS RIOS COATZA, TONALA Y L DEL OSTION

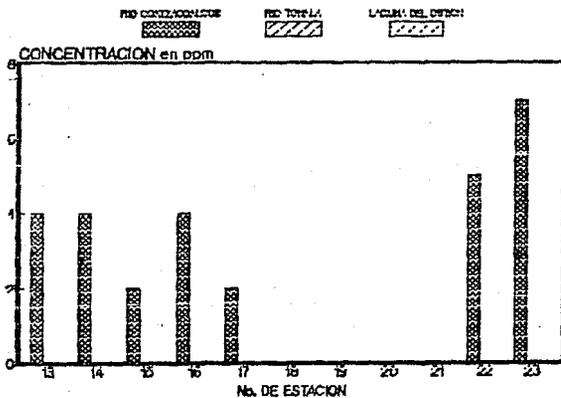
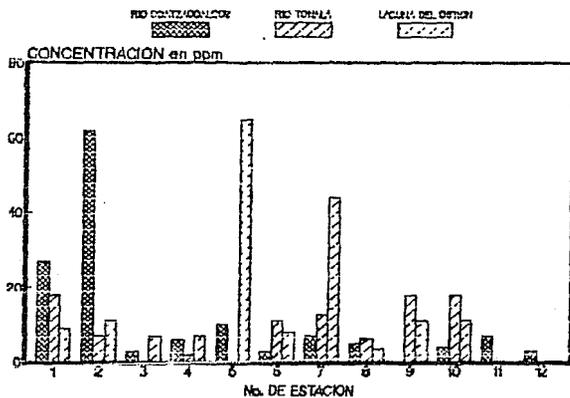
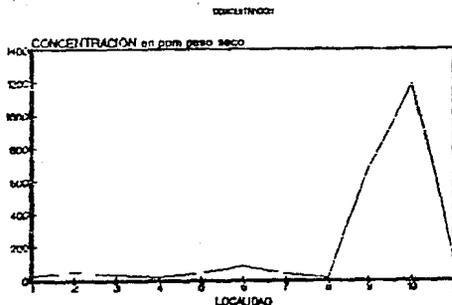


TABLE 8. CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS TOTALES EN SEDIMENTOS RECIENTES DE AREAS COSTERAS DEL GOLFO DE MEXICO Y OTRAS AREAS DEL MUNDO (ppm peso seco).

Localidad	Valor promedio	Referencia
(1) Laguna Madre, Tamaulipas	26	Botello y Macho, 1982
(2) Laguna Pueblo Viejo, Veracruz	53	Botello y Macho, 1982
(3) Laguna Tamiahua, Veracruz	31	Botello y Macho, 1982
(4) Laguna Alvarado, Veracruz	18	Botello y Macho, 1982
(5) Laguna Carmen-Machona, Tabasco	45	Botello y Macho, 1982
(6) Laguna Mecoaacán, Tabasco	88	Botello y Macho, 1982
(7) Laguna de Términos, Campeche	37	Botello y Macho, 1982
(8) Laguna Cancán, Q. Roo	12	Botello y Macho, 1982
(9) Río Coatzacoalcos, Veracruz, Marzo 1982		
Río Coatzacoalcos, Veracruz, Junio 1982	680	El presente estudio
Río Coatzacoalcos, Veracruz, Febrero 1983		
(10) Río Tonala, Veracruz, Agosto 1983	1,189	El presente estudio
(11) Laguna del Ostión, Veracruz, Octubre de 1982	119.5	El presente estudio
Laguna del Ostión, Veracruz, Marzo de 1983		
(12) Puerto de Nueva York, U.S.A.	324	Parke, 1974
(13) Omán, Arabia Saudita	226	Burns, et. al., 1982
(14) Puerto Oeste y Puerto Phillip, Australia	210	Burns y Smith, 1982



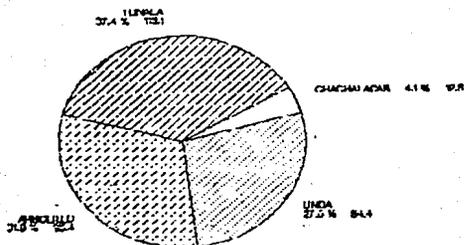
sentan valores similares a los reportados por otros autores (Parker y Menzel, 1974; Burns y Smith, 1982; Farrington, 1983) para sitios costeros con un alto grado de industrialización o gran concentración urbana como es el Puerto de Nueva York, EUA; los Puertos Oeste y Phillips en Australia y los puertos industriales de la costa atlántica de los Estados Unidos; lugares en donde el tráfico de buques comerciales y petroleros, asentamiento de plantas y complejos petroquímicos y otras industrias colaterales realizan aportes considerables de hidrocarburos fósiles, gran parte de los cuales es sedimentado, reflejándose de esta manera el grado de las actividades humanas que allí se desarrollan.

En el caso de nuestro país se tiene que considerar que las costas del Golfo de México son áreas expuestas al incesante tráfico de buques petroleros, a la exploración y explotación de petróleo en la plataforma continental, principalmente el Banco de Campeche y al almacenamiento y movilización de grandes volúmenes de crudo, a demás de accidentes en las líneas de conducción de mar a tierra, lo cual hace que día a día aumenten considerablemente las concentraciones de breas y alquitranes sobre las playas del Golfo de México. Asimismo, y a pesar de que en el Caribe Mexicano no existen actividades petroleras, sobre las playas llegan a depositarse cantidades considerables de breas/alquitranes, las cuales son originadas por las actividades petroleras de Venezuela y Trinidad-Tobago, así como por el transporte de crudo, siendo el Caribe una de las rutas más transitadas por buques-tanques (Jeffrey, et. al., 1974; Georges y Oostdam, 1983).

Los resultados obtenidos de la concentración de breas en las playas del Estado de Veracruz, se muestran en la Tabla 9 y su gráfica en donde se observa fácilmente el aumento gradual en la concentración de breas (g m^{-2} de playa) siendo un reflejo del aumento incesante de las actividades petroleras que se desarrollan en ese estado. Aunque los datos no presentan concentraciones elevadas como las determinadas por Golik, 1982 para las costas israelitas

TABLA 9. CONCENTRACION DE BREAS Y ALQUITRANES (g/m²) DEPOSITADAS SOBRE LAS PLAYAS DEL ESTADO DE VERACRUZ

Nombre de la Playa	Fecha	Promedio
11 Chachalacas	26-8-83	9.36
Chachalacas	27-7-84	5.15
Chachalacas	22-1-84	23.11
21 Linda	22-8-83	15.4
Linda	20-2-84	6.90
Linda	27-4-84	230.89
31 Anbolillo	22-2-84	41.97
Anbolillo	23-3-84	143.85
41 Tonalá	18-2-84	2.99
Tonalá	28-1-84	227.29



(3,625 g m⁻¹) o para las costas atlánticas de Trinidad y Tobago (3,000 g m⁻¹), según los datos de Georges y Oostdam (1983), éstas presentan concentraciones más elevadas que las obtenidas por Romero, *et. al.* (1981) para el estado de Florida en E.U.A. con valores medios de 0 a 40 g m⁻² en tanto en las costas del estado de Veracruz los valores medios var de 3 a 231 g m⁻².

En la Figura 18 se muestra la concentración de breas en las playas de Veracruz, comparándose con las concentraciones determinadas para Cayo Ancas que es una terminal petrolera en alta mar y con las concentraciones de las playas de Campeche.

Puede observarse fácilmente que la mayor concentración corresponde a Cayo Ancas con valor promedio > 200 g m⁻², siguiéndole las Playas de Tonalá, Playa Linda y Arbolillo con valores medios de 75 a 125 g m⁻² en tanto que en las playas de Campeche están ausentes o en concentraciones < 10 g m⁻² de playa.

Esto nos da una clara visión de cómo las actividades de exploración y explotación, además de la movilización y el almacenamiento de crudo, contribuyen de manera considerable al aumento gradual de las concentraciones de hidrocarburos fósiles en nuestros ecosistemas costeros, principalmente aquellos localizados en las cercanías a complejos industriales, puertos petroleros o terminales de embarque.

2. Hidrocarburos en organismos marinos.

Posterior a la introducción de petróleo en un sistema estuarino, la evaluación del destino de los hidrocarburos en componentes biológicos debe involucrar dos aspectos. El primero concierne a aquellos factores los cuales cambian y remueven a los hidrocarburos de la columna de agua y el segundo se refiere a los organismos

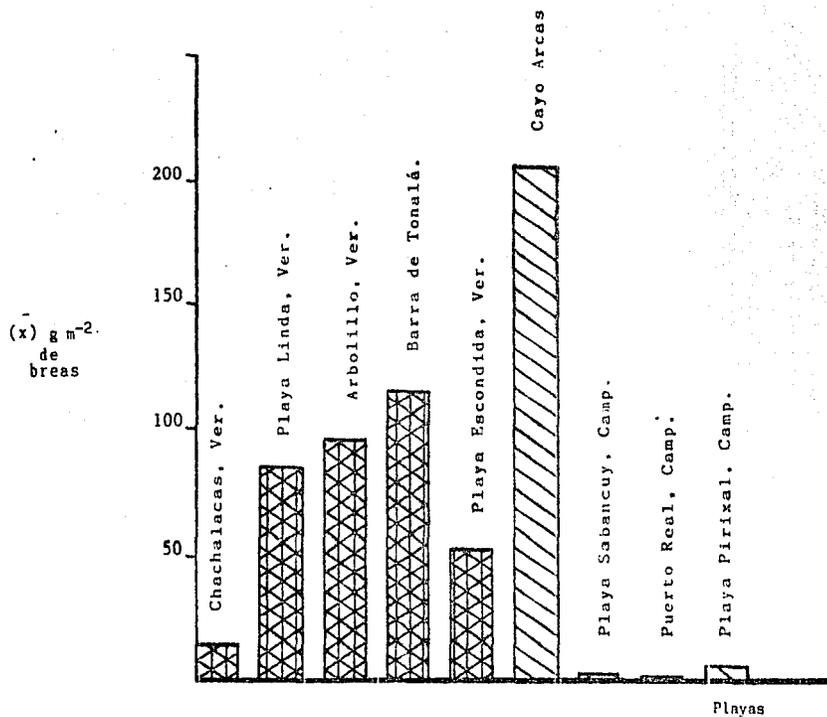


Fig. 18 Concentración promedio de breas y alquitranes depositados en las playas del estado de Veracruz, Cayo Arcas y Campeche; expresados en gr/m² de superficie.

que en última instancia son el reservorio físico en donde se almacena el petróleo y sus productos.

Algunos componentes del petróleo son fácilmente evaporados o biodegradados, pero en cambio otros persisten por un período de tiempo muy largo en el medio marino (Blumer *et al.*, 1971; Blumer *et al.*, 1973). Debido a esto se hace necesario como primera acción categorizar aquellos componentes que son biodegradables y aquellos que son altamente persistentes.

Virtualmente todas las clases de petróleo son susceptibles a la degradación microbiana, sin embargo el factor más importante que influye en la biodegradación de hidrocarburos es sin duda su configuración molecular. Así los alcanos son degradados por la gran mayoría de especies de microorganismos más fácil y rápidamente que los compuesto aromáticos o nafténicos. De igual manera dentro de los alcanos, los más sencillos (n-alcanos) son más susceptibles al ataque microbiano que aquellos de tipo ramificado, y cuando se incrementa la longitud de su cadena también se incrementa su vulnerabilidad a la acción enzimática de los microorganismos debido a su menor solubilidad en la columna de agua.

Aquellos componentes del petróleo que no pueden ser biodegradados por la acción de los microorganismos, se presentan en el medio costero como materiales disueltos o dispersos, adsorbidos en materia orgánica particulada o en forma de breas y alquitranes flotantes.

De manera general se sugiere que los hidrocarburos penetran a los organismos marinos por varias rutas, siendo las principales:

- (1) Absorción, adsorción e ingestión de partículas conteniendo hidrocarburos.
- (2) Consumo activo de los hidrocarburos disueltos o dispersos.

Cuando se derrama o introduce petróleo o sus derivados en un estua

rio, una considerable cantidad de sus componentes son adsorbidos por material orgánico particulado, debido a que el coeficiente de partición favorece la disolución de los hidrocarburos en el material lipídico contenido en los detritos y éstos al depositarse transportan al petróleo y sus componentes hacia los sedimentos en donde pueden ser consumidos por los organismos bentónicos o almacenados por cierto tiempo. Stegeman y Teal (1973) consideran que aún no están bien establecidos los mecanismos que conciernen a la incorporación de los hidrocarburos petrogénicos por los organismos marinos. Sin embargo Lee *et al.*, (1972) indican que la partición de hidrocarburos a través de las membranas externas, principalmente la superficie de las branquias, es un mecanismo importante en la incorporación de estos compuestos.

2.1 Efectos

Un gran número de factores, los cuales pueden actuar solos o en combinación, gobiernan los efectos que tenga el petróleo o sus derivados sobre la vida marina, si. el o los daños biológicos dependen de:

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

zon o bentos).

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

En general el daño biológico del petróleo o sus componentes es mucho más severo si éste se presenta en una zona costera o un ambiente estuarino, siendo la zona intermareal la más afectada debido a que en estas áreas hay una mayor productividad, así como una mayor diversidad y abundancia de especies; además de que existen aquí los estadios juveniles de muchas especies marinas.

Las respuestas biológicas que pueden observarse ante la presencia del petróleo son:

1. Efectos tóxicos, en donde los componentes del petróleo interfieren procesos metabólicos causando la muerte de las especies.
2. Efectos subletales que alteran actividades fisiológicas o de conducta pero no causan una muerte inmediata.
3. Ingestión e incorporación de petróleo o sus componentes causando alteraciones cromosómicas que pueden conducir a una carcinogénesis.
4. Interferencia en la búsqueda del alimento o escape a predadores.
5. Alteración del hábitat de las especies, dando como resultado

cambios en la composición y diversidad de las diferentes comunidades.

Una gran dificultad que hace difícil la evaluación del daño biológico producido por los efectos del petróleo es que muchas especies, principalmente los peces, muestran marcadas variaciones estacionales tanto en abundancia como en la sensibilidad a una cierta presión ecológica natural, así como que sólo en contadas ocasiones se contaba previamente con la información necesaria de las especies que habitan áreas que fueron afectadas por la presencia de los hidrocarburos petrogénicos.

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

Con respecto a los efectos del petróleo crudo sobre poblaciones de peces pelágicos, puede mencionarse que los derrames de productos refinados si han causado efectos deletéreos considerables sobre las pesquerías de las áreas donde han ocurrido. Los principales incluyen el efectuado en Alaska en 1970; el del barco "Tampico Maru" en las costas de California en 1957 y el del buque tanque "Florida" en West Falmouth, Massachusetts en 1969 (North, et al., 1964; Hampson y Sanders, 1969).

Durante el desarrollo del presente estudio fueron analizados ejemplares de peces, crustáceos y moluscos de importancia económica y comercial, los cuales fueron obtenidos con la ayuda de pescadores locales en la desembocadura y estuario del Río Coatzacoalcos, así como en la Laguna del Ostión. En el caso del Río Tonalá no se efectuaron análisis de hidrocarburos en organismos debido a que los

esfuerzos de pesca realizados en su mayoría fueron nulos. Las especies capturadas fueron:

<u>Nombre científico</u>	<u>Nombre común</u>
<u>Bairdiella ronchus</u>	Ronco blanco
<u>Callinectes bocourti</u>	Jaiba
<u>Centropomus undecimalis</u>	Robalito
<u>Cichlasoma fenestratum</u>	Mojarra negra
<u>Cichlasoma meeki</u>	Mojarra
<u>Conodon nobilis</u>	Ronco amarillo
<u>Crassostrea virginica</u>	Ostión
<u>Crassostrea rhizophora</u>	Ostión
<u>Diapterus olisthoxomus</u>	Mojarra blanca
<u>Eugenes plumieri</u>	Mojarra rayada
<u>Genes cinereus</u>	Pez trompeta
<u>Mercenaria campechinensis</u>	Almeja
<u>Macrobrachium acanthurus</u>	Langostino
<u>Macrobrachium carcinus</u>	Langostino
<u>Menticirrhus americanus</u>	Ratón
<u>Mugil curema</u>	Lebrancha
<u>Tarpon atlanticus</u>	Sábalo
<u>Rangia flexuosa</u>	Almeja grande
<u>Polymesoda caroliniana</u>	Almeja chica

En las tablas y gráficas 10 y 11 se encuentran las concentraciones de hidrocarburos totales para las especies antes señaladas, las cuales fueron obtenidas por el método gravimétrico. De la observación de estos resultados, se deduce que las concentraciones más altas de hidrocarburos se determinaron sobre las especies colectadas en el estuario del Río Coatzacoalcos y sus cercanías, principalmente en Macrobrachium acanthurus colectado en Santa Alejandrina con una concentración de 4,640 ppm de hidrocarburos totales, Cichlasoma fenestratum colectada en Río San Antonio con 3,600 ppm y Rangia flexuosa colectada en el Río Coatzacoalcos con

TABLA 10. CONCENTRACION DE HIDROCARBUROS EN ORGANISMOS DEL BAJO RIO COATZACOALCOS
(DETERMINADAS POR GRAVIMETRIA)

Nombre científico	Localidad	Saturados ug/g	Aromáticos ug/g	Totales ug/g
1. <i>Cichlasoma meeki</i>	Arroyo Teapa	120	160	280
2. <i>Mugil curona</i>	Isla Pajaritos	100	160	260
3. <i>Cichlasoma fenestratum</i>	Boca San Francisco	80	140	220
4. <i>Neotricostus amezcayana</i>	Litoral	960	240	1100
5. <i>Cichlasoma fenestratum</i>	Río San Antonio	2000	1000	3600
6. <i>Conodon nobilis</i>	Litoral	260	280	540
7. <i>Conodon nobilis</i>	Puerto Comercial	60	380	440
8. <i>Tarpon Atlanticus</i>	Río Calzadas	300	1080	1380
9. <i>Bairdiella chichus</i>	Isla Pajaritos	229	340	569
10. <i>Cichlasoma meeki</i>	Río Colorado	460	1420	1880
11. <i>Ranga flexuosa</i>	Río Coatzacoalcos	2280	320	3100
12. <i>Macrobryum acanthurus</i>	Santa Alejandrina	140	4500	4640
13. <i>Polymesoda cauliniana</i>	Isla Pajaritos	511	1311	1822
14. <i>Callinectes ovoviv</i>	Río Coatzacoalcos	380	120	500
15. <i>Eugenes plumieri</i>	San Antonio	180	320	500
16. <i>Cichlasoma fenestratum</i>	Río San Francisco	260	100	360

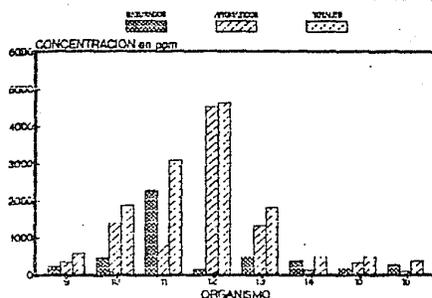
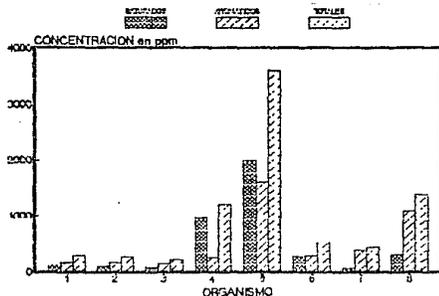
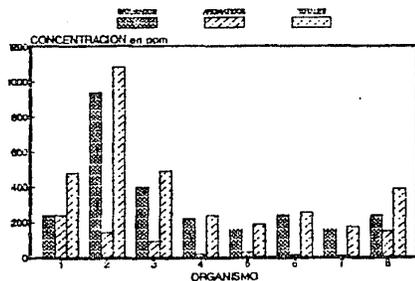


TABLA 11. CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS FOSILES EN ORGANISMOS DE LA LAGUNA DEL OSTIÓN, VER.
(DETERMINADAS POR GRAVIMETRÍA)

Nombre Científico	Localidad	Saturados (ppm)	Aromáticos (ppm)	Totales (ppm)
1. <u>Crassostrea virginica</u>	Laguna del Ostión	240	240	480
2. <u>Crassostrea rhizophora</u>	Laguna del Ostión	940	146	1086
3. <u>Mercuria campechensis</u>	Laguna del Ostión	400	90	490
4. <u>Geac cinereus</u>	Laguna del Ostión	220	20	240
5. <u>Centropomus undecimlittis</u>	Laguna del Ostión	160	28	188
6. <u>Diapterus olisthionus</u>	Laguna del Ostión	240	12	252
7. <u>Eugerees plumieri</u>	Laguna del Ostión	160	10	170
8. <u>Callinectes bocaneta</u>	Laguna del Ostión	240	146	386



3,100 ppm respectivamente; siguiendo en orden decreciente de concentración Polymesoda carliniana de Isla Pajaritos con 1,822 ppm y Menticirrhus americanus del litoral con 1,100 ppm. Las especies restantes presentan concentraciones iguales o por abajo de las 500 ppm.

Para las especies colectadas en Laguna del Ostión las más altas concentraciones correspondieron a organismos bivalvos filtradores como Crassostrea virginica, Crassostrea rhizophora y Mercenaria campechinensis con 730, 986 y 490 ppm de hidrocarburos totales respectivamente; las especies restantes presentan concentraciones considerablemente más bajas que las provenientes del Río Coatzacoalcos, reflejándose de manera directa la aseveración asentada en el análisis de los sedimentos de que la citada Laguna aún se encuentra libre de la presencia de hidrocarburos de origen petrogénico.

Es importante señalar que la cuantificación de hidrocarburos totales por el método gravimétrico presenta inconvenientes de interpretación debido a que además de hidrocarburos se cuantifican otros compuestos orgánicos (ácidos grasos, ésteres y otras moléculas) los cuales pueden ser saponificados de manera total debido a su compleja estructura química y que pasan a formar parte de la fracción "no saponificable" razón por la cual las cuantificaciones por este método nos da concentraciones elevadas de hidrocarburos, además de que como es un método cuantitativo no nos permite conocer el origen y el tipo de hidrocarburos fósiles. De igual manera, la variación que en cuanto a concentraciones de hidrocarburos totales se muestra en las tablas y gráficas 10 y 11, solamente es el resultado de la disponibilidad del material orgánico y de la fisiología propia de cada especie.

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

En las tablas 12 a 19 se asientan las concentraciones individuales de las n-parafinas desde el C₁₅ (pentadecano) hasta el C₃₀ (tricon-tano) y de los hidrocarburos aromáticos (PAH's) determinados en ca da especie analizada.

Las mayores concentraciones de n-parafinas se detectaron en Rangia flexuosa, Polymesoda caroliniana, Cichlasoma mecki, Macrobrachium carcinus y en Conodon nobilis, todos provenientes del estuario del Río Coatzacoalcos y siendo coincidentes éstas concentraciones con las determinadas por el método gravimétrico.

Los cromatogramas obtenidos nos indican la presencia de n-parafina en un rango limitado que va desde el n-pentadecano (C₁₅) hasta el n-tricon-tano (C₃₀) con una distribución muy característica de cada especie (Figuras 19 a 28) y que de manera general se agrupa en 3 patrones de distribución típicos.

El primer patrón lo forman las especies Cichlasoma mecki y Bairdiella ronchus cuyos cromatogramas (Figuras 19 y 20) presentan un rango muy limitado de n-parafinas y sin picos dominantes con una distribución muy clara y además hay ausencia de compuestos no resueltos, lo que nos indica que todos los compuestos presentes son de origen biogénico; además de ser notable la ausencia de n-parafinas menores al C₁₇.

El segundo patrón lo conforman las especies Cichlasoma mecki, Cichlasoma fenestratum, Macrobrachium carcinus y Callinectes bocourti cuyo intervalo de n-parafinas es mucho mayor que el del grupo anterior (Figuras 21 y 22) con la presencia de n-C₁₅ hasta n-C₃₂ siendo notable una distribución bimodal en donde son predominantes el n-C₁₆ y el n-C₂₅ los cuales han sido reportados como hidrocarburos de origen típicamente biogénico por Clark y Blumer, 1967; Youngblood, et al., 1971; NAS, 1975.

Tabla 12. CONCENTRACION DE HIDROCARBUROS SATURADOS (n-PARAFINIS) EN ANIMALES DE IMPORTANCIA COMERCIAL PROVENIENTES DEL AREA DEL RIO COATZACOALCOS, DETERMINADA POR ANALISIS EN CROMATOGRAFIA DE GASES

Componente	Especie y Localidad de Proveniencia				
	Rio Coatzacoalcus	Rio Coatzacoalcus	Pajaritos	Santa Alejandrina	Santa Alejandrina
	<u>Collinectes</u> <u>bucowalt</u>	<u>Rangia</u> <u>flexuosa</u>	<u>Polymesoda</u> <u>caroliniana</u>	<u>Macrobathrum</u> <u>carolinus</u>	<u>Macrobathrum</u> <u>acanthurus</u>
C ₁₅	0.430	-	-	0.098	-
C ₁₆	0.317	-	0.082	0.288	-
C ₁₇	0.053	0.029	0.027	0.044	0.010
Piscituro	0.019	-	0.015	-	0.025
C ₁₈	0.033	0.035	0.028	0.041	0.018
Fituro	0.049	0.049	0.031	0.024	0.009
C ₁₉	0.043	0.083	0.048	0.040	0.014
C ₂₀	0.067	0.121	0.038	0.051	0.021
C ₂₁	-	0.045	0.020	0.022	0.013
C ₂₂	0.122	0.424	0.092	0.153	0.072
C ₂₃	0.092	0.057	0.097	0.111	0.093
C ₂₄	0.130	0.367	0.090	0.138	0.093
C ₂₅	0.200	3.367	0.090	0.133	0.093
C ₂₆	0.117	0.237	0.101	0.165	0.108
C ₂₈	0.105	-	0.066	0.102	0.072
C ₃₀	0.035	5.21	1.995	1.542	0.703
Concentración Total (ppm)	0.879	5.21	1.995	1.542	0.703

TABLA 13. CONCENTRACION DE HIDROCARBUROS SATURADOS (n-PARAFINAS) EN ORGANISMOS DE IMPORTANCIA COMERCIAL, PROVENIENTES DEL AREA DEL RIO COATZACOALCOS, DETERMINADA POR ANALISIS EN CROMATOGRAFIA DE GASES
 (ppm peso seco)

Compuesto	Especie y Localidad de Procedencia				
	Litoral	Puerto Comercial	Pajaritos	Litoral	Boca San Francisco
	<u>Menticoccus</u> <u>americanus</u>	<u>Conodon</u> <u>nobilis</u>	<u>Mysis</u> <u>curana</u>	<u>Conodon</u> <u>nobilis</u>	<u>Cichlasoma</u> <u>fenestratum</u>
C ₁₅	-	-	-	0.099	-
C ₁₆	0.053	0.099	0.161	0.316	0.097
C ₁₇	0.021	0.045	0.439	0.058	0.050
Pristano	-	-	-	-	-
C ₁₈	0.011	0.041	0.044	0.036	0.028
Fitano	0.011	0.042	0.078	0.037	0.031
C ₁₉	0.024	0.245	0.252	0.138	0.063
C ₂₀	0.021	0.196	0.110	0.140	0.053
C ₂₁	0.009	0.138	0.038	0.055	0.021
C ₂₂	0.025	0.683	0.153	0.225	0.077
C ₂₃	0.015	0.013	0.021	0.005	0.048
C ₂₄	0.015	0.111	0.054	0.088	0.040
C ₂₅	0.057	0.183	0.111	0.129	0.118
C ₂₆	0.012	0.041	0.050	0.057	0.038
C ₂₈	0.008	-	-	0.020	0.018
C ₃₀	-	0.004	0.005	0.009	0.007
Concentración total (ppm)	0.282	1.841	1.516	1.466	0.689

TABLA 14. CONCENTRACION DE HIDROCARBUROS SATURADOS (n-PARAFINAS) EN ORGANISMOS DE IMPORTANCIA COMERCIAL PROVENIENTES DEL AREA DEL RIO COATZACOALCOS, DETERMINADA POR ANALISIS EN CROMATOGRAFIA DE GASES
ppm peso seco

Compuesto	Especie y Localidad de Procedencia				
	Mio San Francisco	Desombocadura Arrollo Teapa	Mio Colorado	Pajarillos	San Antonio
	<u>Cichlasoma</u> <u>lenestratum</u>	<u>Cichlasoma</u> <u>meekei</u>	<u>Cichlasoma</u> <u>meekei</u>	<u>Bairdiella</u> <u>zonchus</u>	<u>Eugenes</u> <u>plumieri</u>
C ₁₅	-	-	0.060	-	-
C ₁₆	0.071	-	0.151	-	0.078
C ₁₇	0.056	0.022	0.040	-	0.028
Pulstano	-	-	0.057	-	0.015
C ₁₈	0.036	0.016	0.052	0.005	0.025
Fitzara	0.005	0.015	0.055	-	0.050
C ₁₉	0.137	0.042	0.157	-	0.038
C ₂₀	0.147	0.044	0.106	0.006	0.033
C ₂₁	0.052	0.021	0.096	0.005	0.015
C ₂₂	0.228	0.070	0.659	0.038	0.076
C ₂₃	0.138	0.051	0.230	0.049	0.076
C ₂₄	0.100	0.041	0.333	0.068	0.093
C ₂₅	0.110	0.100	0.513	0.118	0.098
C ₂₆	0.067	0.031	0.153	0.093	0.108
C ₂₈	-	0.016	0.274	0.060	0.067
C ₃₀	0.023	-	0.052	0.028	0.035
Concentración Total (ppm)	1.170	0.468	2.99	0.407	0.835

TABLA 15. CONCENTRACION DE HIDROCARBUROS SATURADOS (n-PARAFINAS) EN ORGANISMOS DE IMPORTANCIA COMERCIAL PROVENIENTES DEL AREA DEL RIO COHZACALCOS, DETERMINADA POR ANALISIS DE CROMATOGRAFIA DE GASES (ppm peso seco)

Compuesto	Especie y Localidad de Procedencia	
	Rio San Antonio	Rio Coatzacoatzaco
	<i>Cichlusoma fereixianum</i>	<i>Tarpon atlanticus</i>
C ₁₅	-	0.045
C ₁₆	-	-
C ₁₇	0.008	0.064
Pristano	-	-
C ₁₈	0.029	0.047
Fitano	0.025	0.014
C ₁₉	0.022	0.033
C ₂₀	0.042	0.037
C ₂₁	0.021	0.024
C ₂₂	0.127	0.098
C ₂₃	0.134	0.128
C ₂₄	0.163	0.115
C ₂₅	0.225	0.197
C ₂₆	0.214	0.147
C ₂₈	0.124	0.087
C ₃₀	0.060	0.043
Concentración Total (ppm)	1.194	1.067

Fig. 19 Cromatograma de la distribución de n-parafinas en Cichlasoma mechi del Arroyo Teapa.

Fig. 20 Cromatograma de la distribución de n-parafinas en Bairdiella ronchus de Pajaritos.

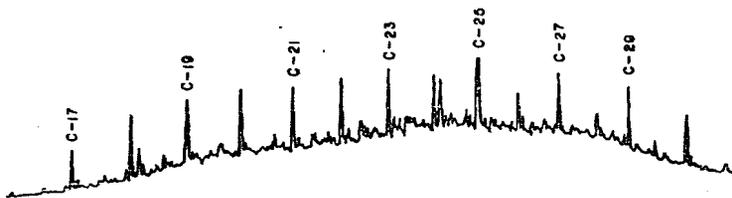


FIG. 19. MOJARRA. Cichlasoma meeki

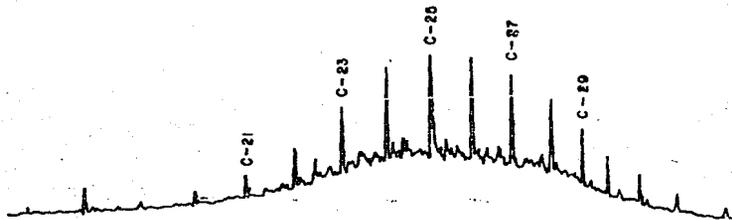


FIG. 20. RONCO. Bairdiella ronchus

Fig. 21 Cromatograma de la distribución de n-parafinas en Macrobrachium
carcinus de Santa Alejandrina.

Fig. 22 Cromatograma de la distribución de n-parafinas en Callinectes
bocourti del Río Coatzacoalcos.

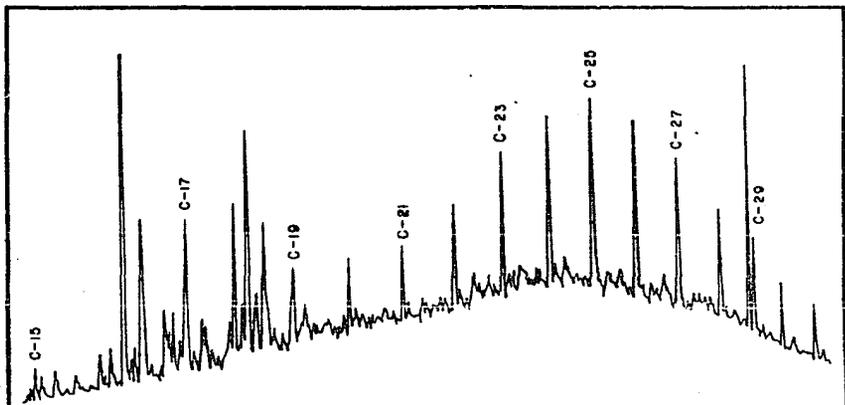


FIG. 21 MAYACASTE GRANDE, Macrobrachium carcinus

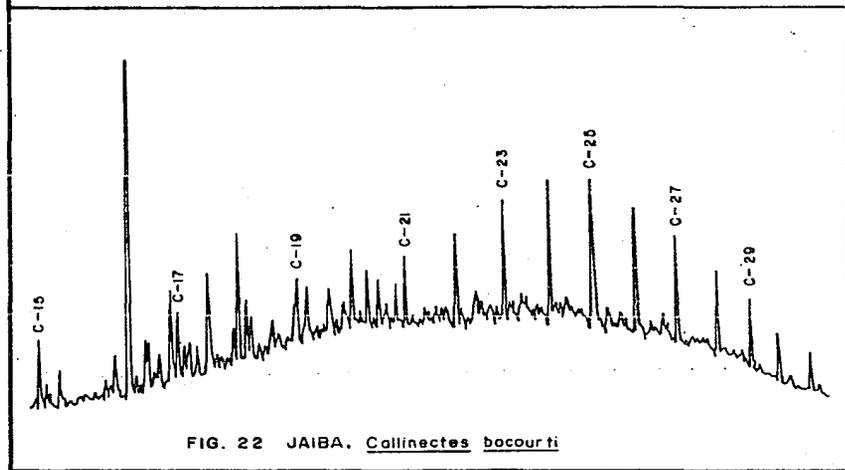


FIG. 22 JAIBA, Callinectes bocourti

Al tercer patrón de distribución pertenecen las especies Eugerres plumieri, Cichlasoma fenestratum, Tarpón atlanticus y Polymesoda caroliniana, las cuales presentan un patrón típico de mezcla de hidrocarburos biogénicos con hidrocarburos petrogénicos debido al amplio rango de n-parafinas presente en los cromatogramas, (Figuras 23 y 24) y además la distribución tiende a ser más suave y de tipo unimodal lo cual es característico de los petróleos crudos, sin existir un predominio claro de n-parafinas impares, formándose además una curva no resuelta (HUMP) en donde se ocultan compuestos que no pueden ser resueltos por las columnas cromatográficas empleadas.

Las aseveraciones anteriores son confirmadas al examinar los datos de las tablas 16, 17, 18 y 19, en las cuales se observan las concentraciones individuales y totales de hidrocarburos aromáticos y poliaromáticos (PAH's) en cada especie analizada. En 5 especies no se detectó la presencia de ningún hidrocarburo aromático siendo éstas:

Nombre Científico

Localidad

Cichlasoma fenestratum

del Río San Francisco

Cichlasoma meeki

del Arroyo Teapa

Conodon nobilis

del Puerto Comercial

Conodon nobilis

del Litoral

Cichlasoma fenestratum

del Río San Francisco

En otro grupo de especies se detectó la presencia de hidrocarburos aromáticos y PAH's en un intervalo de concentración que va de 2 a 17 ppb (partes por billón) siendo éstas:

Nombre Científico

Localidad

Menticirrhus americanus

del Litoral

Mugil curema

de Isla Pajaritos

Fig. 23 Cromatograma de la distribución de n-parafinas en Tarpon atlanticus del Río Calzadas.

Fig. 24. Cromatograma de la distribución de n-parafinas en Polymesoda caroliniana de Pajaritos.

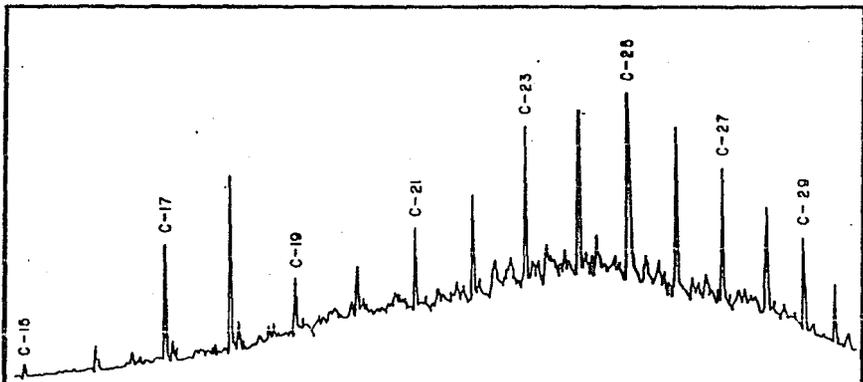


FIG. 23 SABALO, Tarpon atlanticus

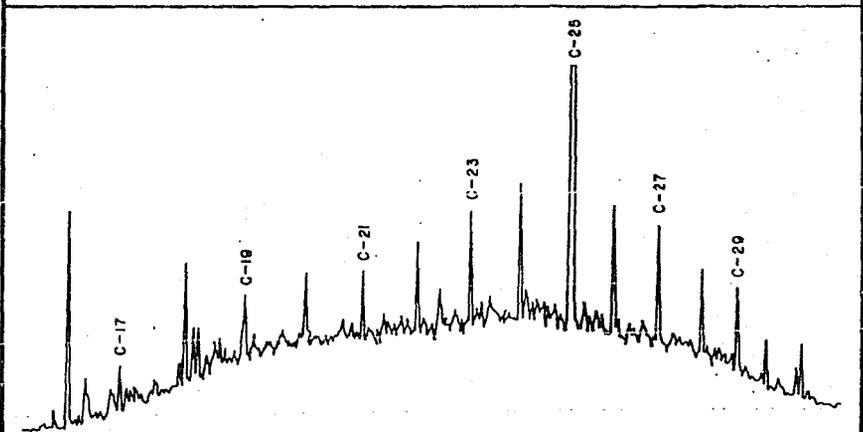


FIG. 24 ALMEJA, Polymesoda caroliniana

TABLA 16 CONCENTRACION DE HIDROCARBUROS AROMATICOS (PAH's) EN ORGANISMOS DE IMPORTANCIA COMERCIAL, PROVENIENTES DEL AREA DEL RIO COATZACOALCOS, DETERMINADA POR ANALISIS EN CROMATOGRAFIA DE GASES (ppm peso seco)

Compuesto	Especie y localidad de Procedencia				
	Litoral	Puerto Comercial	Najastes	Litoral	Boca Sr. Francisco
	<i>Melospiza cinerea americana</i>	<i>Canis lupus familiaris</i>	<i>Mullus surmuletus</i>	<i>Conodon nobilis</i>	<i>Lichia chrysothorax</i>
Naftaleno	-	-	-	-	-
Acenaftileno	-	-	-	-	-
Acenafteno	-	-	-	-	-
Fluoreno	-	-	-	-	-
Fenantreno	-	-	-	-	-
Antraceno	-	-	-	-	-
Fluoranteno	-	-	-	-	-
Pireno	-	-	0.001	-	-
Benzo (a) antraceno	-	-	0.003	-	-
Cruseno	-	-	-	-	-
Benzofluoranteno	0.002	-	-	-	-
Benzo (a) pireno	-	-	-	-	-
Benzo (ghi) perileno	-	-	-	-	-
Concentración Total (ppm)	0.002	-	0.006	-	-

TABLA 17 CONCENTRACION DE HIDROCARBUROS AROMATICOS (PAH's) EN ORGANISMOS DE IMPORTANCIA COMERCIAL, PROVENIENTES DEL AREA DEL RIO COATZACOALCOS, DETERMINADA POR ANALISIS EN CROMATOGRAFIA DE GASES
(ppm peso seco)

Compuesto	Especie y Localidad de Proveniencia				
	R. San Francisco	Desembocadura Arroyo Teapa	R. Colorado	Pajaritos	San Antonio
	<u>Cichlasoma</u> <u>fenestratum</u>	<u>Cichlasoma</u> <u>meeki</u>	<u>Cichlasoma</u> <u>meeki</u>	<u>Bairdiella</u> <u>runchus</u>	<u>Eugenia</u> <u>plumieri</u>
Naftaleno	-	-	-	-	-
Acenaftileno	-	-	0.004	0.003	-
Acenafteno	-	-	-	0.006	0.005
Fluoreno	-	-	-	0.005	0.003
Fenantreno	-	-	0.003	0.002	-
Antraceno	-	-	0.001	-	-
Fluoranteno	-	-	0.007	-	-
Pireno	-	-	-	-	-
Benzo (a) antraceno	-	-	-	-	-
Chiseno	-	-	0.010	0.001	0.003
Benzo (a) fluoranteno	-	-	0.007	-	-
Benzo (a) pireno	-	-	-	-	-
Benzo (ghi) perileno	-	-	0.045	-	-
Concentración Total (ppm)	-	-	0.077	0.017	0.011

TABLA 18 CONCENTRACION DE HIDROCARBUROS AROMATICOS (PAH's) EN ORGANISMOS DE IMPORTANCIA COMERCIAL, PROVENIENTES
 DEL AREA DEL RIO COATZACOALCOS, DETERMINADA POR ANALISIS EN CROMATOGRAFIA DE GASES
 (ppm peso seco)

Compuesto	Especie y Localidad de procedencia				
	<u>Rio Coatzacoalcos</u>	<u>Rio Coatzacoalcos</u>	<u>Pajaritos</u>	<u>Santa Alejandrina</u>	<u>Santa Alejandrina</u>
	<u>Callinectes</u> <u>bocourti</u>	<u>Rangia</u> <u>flexuosa</u>	<u>Polymesoda</u> <u>caroliniana</u>	<u>Macrobachium</u> <u>carcinus</u>	<u>Macrobachium</u> <u>acanthurus</u>
Naftaleno	-	-	-	-	-
Acenftileno	0.002	-	-	-	-
Acenfteno	0.008	-	0.003	0.008	-
Fluoreno	0.005	-	-	-	-
Fenantreno	-	-	0.005	-	-
Antraceno	0.001	0.009	-	-	-
Fluoranteno	-	-	0.019	-	-
Pireno	-	0.003	0.076	0.036	0.026
Benzo (a) antraceno	-	-	0.004	-	-
Criseno	-	0.104	0.015	-	-
Benzofluoranteno	-	0.002	0.005	0.002	0.036
Benzo (a) pireno	-	0.005	-	0.004	-
Benzo (ghi) perileno	-	-	-	-	0.815
Concentraci3n Total (ppm)	0.016	0.123	0.127	0.017	0.877

TABLA 19 CONCENTRACION DE HIDROCARBUROS AROMATICOS (PAH's) EN ORGANISMOS DE IMPORTANCIA COMERCIAL, PROVENIENTES DEL AREA DEL RIO COATZACOALCOS, DETERMINADA POR ANALISIS EN CROMATOGRAFIA DE GASES

Compuesto	Especie y Localidad de procedencia	
	Rio San Antonio <u>Cichlasoma</u> <u>fenestratum</u>	Rio Calzadas <u>Larpon</u> <u>atitlense</u>
Naftaleno	-	0.004
Acenafileno	-	-
Acenafeno	-	0.004
Fluoreneno	-	-
Fenantreno	-	0.079
Antraceno	-	0.003
Fluoranteno	-	0.004
Pireno	0.005	-
Benzo (a) antraceno	-	-
Criseno	-	-
Benzofluoranteno	0.001	-
Benzo (a) pireno	-	-
Benzo (ghi) perileno	0.101	0.345
Concentración Total (ppm)	0.107	0.379

Bairdiella nonchusEugerres plumieriCallinectes bocourtiMacrobrachium carcinus

de Isla Pajaritos

del Río San Antonio

del Río Coatzacoalcos

de Santa Alejandrina

El tercer grupo de especies presenta un rango de concentraciones e levadas de PAH's lo cual tiene gran significancia desde el punto de vista de salud pública ya que todos los compuestos detectados se reportan como nocivos y algunos como cancerígenos i. e.: el benzo (a) antraceno, el benzofluoranteno, el benzo (a) pireno y el benzo (ghi) perileno. El rango de concentración va de 77 a 877 ppb y las especies son:

Nombre CientíficoLocalidadCichlasoma meeki

del Río Colorado

Cichlasoma fenestratum

del Río San Antonio

Tarpón atlanticus

del Río Calzadas

Rangia flexuosa

del Río Coatzacoalcos

Polymesoda caroliniana

de Isla Pajaritos

Macrobrachium acanthurus

de Santa Alejandrina

En las Figuras 25 a 28 se muestran los cromatogramas de las fracciones aromáticas pertenecientes a las especies analizadas, notándose claramente que son las especies Rangia flexuosa, Rangia caroliniana, Macrobrachium acanthurus y Tarpón atlanticus los que poseen una gran variedad de hidrocarburos aromáticos, desde los más sencillos con 2 anillos bencénicos como los naftalenos hasta los más complicados que están formados por 4 a 5 anillos bencénicos como el benzopireno, benzoperileno y benzoantraceno.

Fig. 25 Cromatograma de la distribución de hidrocarburos aromáticos en Rangia caroliniana de Pajaritos.

Fig. 26 Cromatograma de la distribución de hidrocarburos aromáticos en Rangia flexuosa del Río Coatzacoalcos.

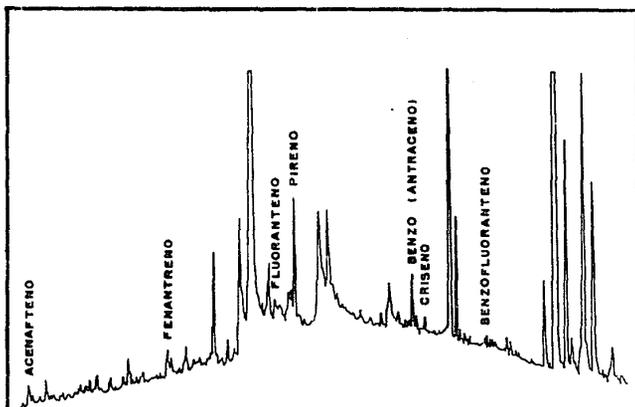


FIG. 25 ALMEJA, Rangia caroliniana

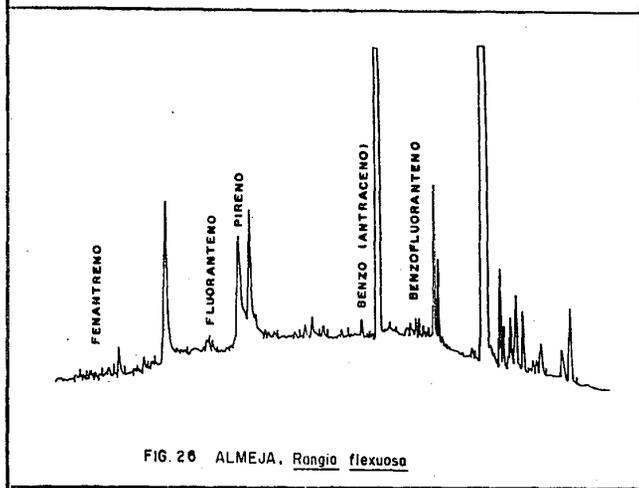


FIG. 26 ALMEJA, Rangia flexuosa

Fig. 27 Cromatograma de la distribución de hidrocarburos aromáticos en Tarpón atlanticus del Río Calzadas.

Fig. 28 Cromatograma de la distribución de hidrocarburos aromáticos en Macrobrachium acanthurus de Santa Alejandrina.

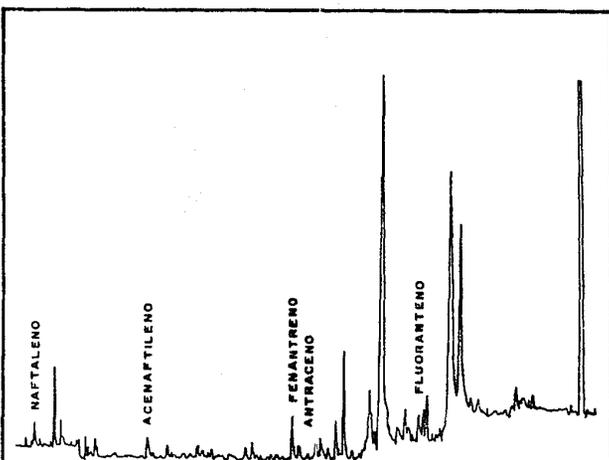


FIG. 27 SABALO, *Terpon affanticus*

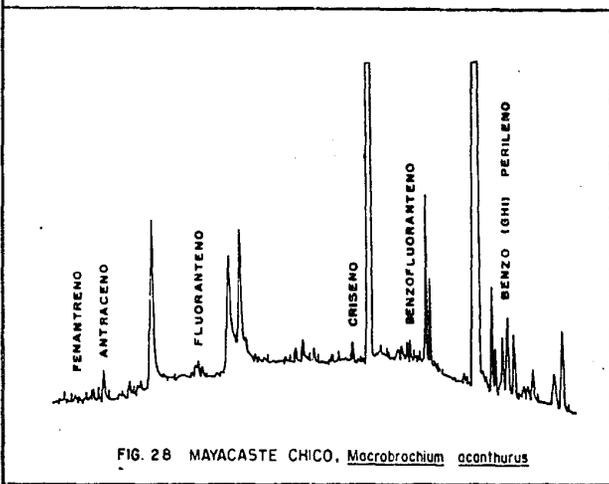


FIG. 28 MAYACASTE CHICO, *Macrobrachium oconthurus*

VII. CONCLUSIONES

El presente estudio estuvo encaminado a evaluar el grado de contaminación por hidrocarburos del petróleo que guarda actualmente el Río Coatzacoalcos y áreas adyacentes (Laguna del Ostión y Río Tonalá), con el fin de determinar el posible impacto que ha tenido la actividad petrolera sobre el ecosistema en sí, así como también sobre la biota y/o el hombre mismo.

Con base en los resultados obtenidos se puede concluir que:

1. Tanto el Río Tonalá como el Río Coatzacoalcos han sido gravemente afectados ya que es notorio que las concentraciones de hidrocarburos totales rebasan hasta en 10 veces los límites marcados para áreas costeras no contaminadas (los cuales son considerados entre 30 y 100 ppm, con un promedio de 70 ppm).

2. Las concentraciones que tanto el Río Tonalá como el Río Coatzacoalcos muestran, son más elevadas que en cualquier otra área costera mexicana estudiada hasta ahora; por lo que podemos considerar que estos son sitios realmente críticos del litoral mexicano y probablemente uno de los más impactados del mundo.

3. Con respecto a la presencia de hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAH's), estos fueron determinados en 19 especies de organismos tales como peces crustáceos y moluscos los cuales son capturados, consumidos y distribuidos en las áreas de estudio o bien almacenados para su posterior distribución. Esto es de relevante importancia ya que entre los PAH's determinados se encuentran el Benzo(a)pireno y el Benzo(ghi)perileno, ambos considerados en la literatura como los PAH's más peligrosos debido a su potencial carcinogénico y los riesgos para la salud humana.

4. Es evidente que a la luz de los resultados obtenidos, los efectos de la presencia de petróleo o sus derivados en el área de estudio deben ser considerados de gran importancia y mas ahora, en que el petróleo se ha convertido en nuestro principal recurso de exportación y en la fuente de energía mas importante; por lo tanto, es necesario empezar a tomar medidas preventivas y no correctivas ya que a la larga esta ultima opción es muchas veces incoesteable, como ocurrió en la pretendida "restauración" del pantano de Santa Alejandrina, y en otras ocasiones el daño es ya irreparable.

5. El manejo del petróleo debe tener un enfoque ecológico lo cual es factible desde el punto de vista técnico y económico con el fin de evitar o por lo menos disminuir el daño que se está causando en los diferentes ecosistemas del mundo como es el caso de la presente investigación; porque es un hecho que ahora y en los próximos años la actividad petrolera seguirá incrementandose aquí en el área de estudio, y probablemente seguirá expandiéndose en otros puntos de la Republica Mexicana.

6. Es importante enfocar las futuras investigaciones a los efectos o daños sobre organismos pero con estadíos mas vulnerables como son larvarios, juveniles y huevecillos, pues hasta la fecha se le ha prestado mas atención a los efectos del petróleo en organismos marinos adultos o a la inmediata reducción del volumen de captura de especies de importancia comercial.

El enfoque al que me refiero tendría un papel preponderante en la determinación de los efectos a largo plazo del petróleo o sus productos sobre las pesquerías del área. Los daños ocasionados pueden no mostrarse de inmediato y no necesariamente en el sitio de introducción del petróleo, pero sin embargo, puede ejercer una reducción gradual en la productividad en un periodo de tiempo largo. Mas aún, la gradual y amplia reducción en las pesquerías de ciertas especies puede ser el resultado de un problema de contaminación crónica, como es el caso del área de estudio.

De igual manera, las mayores pesquerías del mundo están concentradas en áreas con una alta productividad biológica como son las zonas costeras; desgraciadamente, muchas veces estas comparten su alta productividad con diversas actividades humanas, entre las cuales la industria petrolera es la mas relevante, como es el caso del área de investigación de este trabajo y otras zonas costeras de México; en donde la producción de petróleo en la plataforma continental alcanza volúmenes considerables, debido a lo cual las pesquerías del área estarán sujetas a una contaminación crónica y a derrames de petróleo intermitentes durante muchos años.

VII. BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, J.U., 1973. Uptake and depuration of specific hydrocarbons from fuel oil by the bivalves Rangia cuneata and Crassostrea virginica. In: Workshop on Petroleum in the Marine Environment. National Academy of Sciences. Washington, D.C. 690-708.
- ANDERSON, J.W. y J.M. NEFF, 1974. Accumulation and release of petroleum hydrocarbons by edible marine animals. Proc. Int. Symp. Recent Advances in the assesment of the health effects of environmental pollution. Paris. 24-28 June.
- ANDERSON, J.W., 1975. Petroleum hydrocarbon and oyster resources of Galveston Bay, Tex. In: Proceedings, Joint Conference on prevention and control of oil spills. March 25-27, 1975, San Francisco, Calif. p.p. 541-8.
- BARDACH, J.E., M. FUJITA y A. HOLL, 1965. Detergentes: effects on the chemical senses of the fish Tetalurus natalis. Science 148: 1605-1607.
- BLUMER, M., G. SOUZA y J.SASS, 1970. Hydrocarbon pollution of edible shellfish by an oil spill. Mar. Biol., 5: 195-202.
- BLUMER, M., R.L. GILLARD y T. CHASE, 1971. Hydrocarbons of marine phytoplankton. Mar. Biol. 8: 183-189.
- BLUMER, M., P.C. BLOKKER, E.G. COLWELL y D.G. DUCKWORTH, 1973. Petroleum In: A guide to marine pollution. E.D. Goldberg (Ed.). Gordon and Breach Science Publishers. N. York.
- BLUMER, M. y J. SASS, 1972 (b). Oil Pollution: Persistence und Degradation of Spilled Fuel Oil. Science, 176: 1120-1122.

- BOTELLO, A.V., 1978. Presencia de hidrocarburos fósiles en ecosistemas estuarinos del Golfo de México. *Rev. Biol. Trop.*, 26 (1): 135-151.
- BOTELLO, A.V., 1980. Determinación de los niveles actuales de hidrocarburos fósiles en los sistemas lagunares del Estado de Tabasco. México. Centro de Ciencias del Mar y Limnología. Informe Técnico, 50 p.
- BOTELLO, A.V. y S.A. MACKO, 1982. Oil pollution and the carbon isotope ratios in organisms and recent sediments of coastal lagoons in the Gulf of Mexico. *Oceanologica Acta*. SP: 56-62.
- BRAVO, H.S. SALAZAR, A.V. BOTELLO y E.F. MENDELLI, 1978. Polyaromatic hydrocarbons in Oyster from Coastal Lagoons along the Eastern Coast of the Gulf of Mexico, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 9: 171-178.
- BRAY, E.E. y E.D. EVANS, 1961. Distribution of n-parafins as a clue to recognition of source beds. *Geochem. et Cosmochim. Acta* 22. (2).
- BURNS, K. y J. TEAL, 1971. Hydrocarbon incorporation into the salt marsh ecosystem from the west falmouth oil spill. Woods Hole Oceanographic Institution. *Tech. Rep.* 71: 69 p.
- BURNS, K.A. y J.M. TEAL, 1973. Hydrocarbons in the pelagic Sargassum community. *Deep Sea Res.*, 20:207-211.
- BURNS, A. K. y J.L. SMITH, 1982. Hydrocarbons in victorian coastal ecosystems (Australia): Chronic petroleum inputs to Western Port and Port Phillips Bays. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 11: 129-140.

- BUTLER, J. N., 1975. Evaporite weathering of petroleum residues: The age of pelagic tar. Marine Chemistry 3: 9-21.
- CASTRO, G.S., 1981. Determinación de los niveles de hidrocarburos en sedimentos recientes y en el ostión Crassostrea virginica de la Laguna de Mecoacán, Tabasco, México. Tesis profesional, Fac. de Ciencias, Univ. Nat. Autón. México. p.p.
- CLARK, R.C. y M. BLUMER, 1967. Distribution of n-paraffins in marine organisms and sediments. Limnol. Oceanogr. 12: 79-87.
- CLARK, R.C. y J.S. FINLEY, 1973. Techniques for analysis of data to assess oil spill effects in aquatic organisms. In: Proc. Joint. Conf. on Prev. and Control Oil Spills. American Petroleum Institute, Washington, D.C. 161-172.
- DI SALVO, L.H., H.E. GUARD, L. HUNTER y A.B. COBET, 1975. The microbial degradation of oil pollutants D.G. Ahearn and S.P. Meyers eds. Center for Wetland Resources, Louisiana State.
- DUNN, B.P. 1976. Techniques for determination of benzo(a) pyrene in Marine Organisms and sediments. Environ. Sci. Technol. 10:1018-1021.
- ERRARDT, M., AND M. BLUMER. 1972. The source identification of marine by hydrocarbons by gas chromatography. Environ. Pollut. 3:179-194.
- FARRINGTON, J.W., y J.C. QUINN, 1973. Petroleum hydrocarbons in Narragansett Bay: Survey of Hydrocarbons in sediments and clams (Mercenaria mercenaria). Estuarine Coastal Mar. Sci., 1: 71-79.
- FARRINGTON, J.W., 1983. Bivalves as sentinels of coastal chemical pollution. Oceanus, 26 (2): 18-29.

- FOSSATO, V.U. and W.J. CANZONJER. 1976. Hydrocarbon uptake and loss by the mussel Mytilus edulis. Mar. Biol. 36:243-250.
- GEORGES, C. y B. L. OOSTDAM, 1983. The characteristics and dynamics of tar pollution on the beaches of Trinidad and Tobago. Mar. Pollut. Bull. 14 (51): 170-178.
- GOLDBERG, D.E. et. al., 1978. The Mussel Watch. Environ. Conserv. 5 (2): 101-125.
- GOLDBERG, D.E., 1979. The health of the Oceans. The Unesco Press. Paris. p.p.172.
- GOLJK, A., 1982. The distribution and behavior of tar balls along the Israeli Coast. Estuar. Coast. Shelf Sci. 15: 267-276.
- HAMPSON, G. R. y H. L. SANDERS. 1969. Local oil Spill. Oceans: 15: 8-10.
- JOCARIBE, 1980. Manual for petroleum pollution monitoring (Secretaría JOCARIBE, Apdo. Postal 4540, San José, Costa Rica, Centro América).
- JEFFREY, L.M., W.E. PEQUIGNAT, E.A., KENNEDY, A. VOS y B.J. JAMES, 1974. Pelagic tar in the Gulf of Mexico and Caribbean sea. In: NBS Spec. Publ. 409, Marine Pollution Monitoring (Petroleum). Proc. Symp. Workshop. Goithersburg, Maryland, May 13-17, 1974: 233-235.
- LEE, R.F., R. SAVERHEBER y A.A. BENSON, 1972. Petroleum hydrocarbons: uptake and discharge by the marine mussel Mytilus edulis. Science. 177 (4046): 344-346.
- LEE, R.F., 1975. Fate of petroleum hydrocarbons in marine zooplankton In: Proceds. Conf. Prevent. Control Oil Pollut. Washington, D.C.

- MC. AULIFFE, 1969. Solubility in water of normal C_9 and C_{10} alkane hydrocarbons. Science. 158: 478-479.
- MACKIN, J.G. y S.H. HOPKINS, 1961. Studies on oyster mortality in relation to natural environments and to oil fields in Louisiana. Publ. Mar. Sci. Inst. 7: 3-131.
- MIRONOV, O.G., 1970. The effect of oil pollution on the flora and fauna of the Black Sea. FAO Tech. Cont. Mar. Poll. Rome. Paper E-92.
- MORE, S.F. y R.L. DWYER, 1974. Effects of oil on Marine organisms: A critical assesment of published data. Water Research, 8: 819-827.
- NAS, 1975. Petroleum in the marine environment. Washington, D.C. National Academy of Science. 107 p.
- NEFF, J.M., B.A. COX, D. DIXIT y J.W. ANDERSON, 1976. Accumulation and Release of Petroleum derived aromatic hydrocarbons by four species of marine animals. Mar. Biol., 38:279-289.
- NORTH, W.J., M. NEUSHUL y K.A. CLENDENING, 1964. Successive biological changes observed in a marine cove exposed to a large spillage of mineral oil. Symp. Pollut. Mar. Microorg. Prod. Petrole., Monaco. 333-354.
- ODUM, E.P., 1972. Fundamentals of Ecology. Saunders Eds. Philadelphia, U.S.A. 574 p.
- PARKER, P.L. y D. MENZEL, 1974. Effects of pollutants on marine organisms NSF/DOE. Workshop on Effects of Pollutants on Marine Organisms. Sidney. British Columbia. August 11-14, 1974. 46 p.

- ROMERO, G.C., G.R. HARVEY y D.K. Atwood, 1981. Stranded tar on Florida beaches: September 1979 - October 1980. Mar. Pollut. Bull. 12 (8): 280-284.
- SHEFER, A. y J. CAPRNS, 1966. Persistence of gill damage in Lepomis gibosus following a brief exposure to alkyl benzene sulfonate. Notul. Nat. Phila. 391: 1-7.
- SHAW, D.G. 1977. Hydrocarbons in the water column, In: Wolfe (ed) Fate and Effects of Petroleum Hydrocarbons in Marine Ecosystems and organisms. Pergamon Press. N.Y. 8-18.
- SHAW, D.G., y B.A. BAKER, 1978. Hydrocarbons in the marine environment of Port Valdez, Alaska. Environ. Sci. Tech., 12 (10): 1200-1205.
- SIMPSON, A.C., 1968. The Torrey Canyon disaster and fisheries. Lab. Leaft. Naff. U.K. (18): 1-43.
- SPOONER, M.F., 1969. Some ecological effects of marine oil pollution In: Prevention and Control of Oil Spills. American Petroleum Institute. 313-316.
- SARH, 1975. Boletín Hidrológico No. 37.
- STEGEMAN, J.J. y J.M. TEAL, 1973. Accumulation release and retention of petroleum hydrocarbons by the oyster Crassostrea virginica. Mar. Biol. 22: 37-44.
- STEVENS, N.P., E.C. BRAY y E.D. EVANS, 1965. Hydrocarbons in sediments of Gulf of Mexico. Assoc. Petrol. Geol. 40: 975-983.
- YOUNGBLOOD, W.W., M. BLUMER, R.L. GUSLARD y R. FJORE. 1971. Alkanes and alkenes in Marine benthic algae. Mar. Biol. 21: 163-172.

ZOBELL, C.E., 1971. Sources and biodegradation of carcinogenic hydrocarbons. *In: Proc. Joint. Conf. on Prevent. Control oil Spills. Washington, D.C. American Petroleum Institute.* p. 447-451.