

52
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE CIENCIAS

**DETERMINACION DE LOS NIVELES DE
HIDROCARBUROS EN AGUA, SEDIMENTOS
RECIENTES Y HOJAS DEL PASTO MARINO
Thalassia testudinum (Konig, 1805) EN TRES
ISLAS ARRECIFALES DEL PUERTO DE
VERACRUZ, VER.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
B I O L O G O
P R E S E N T A
VIRGINIA ECHANIZ HERNANDEZ



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

RESUMEN	
INTRODUCCION	1
GENERALIDADES DE HIDROCARBUROS	7
- Características de los Hidrocarburos	7
- Origen de los Hidrocarburos en el Medio Marino	7
- Procesos Involucrados en el Destino del Petróleo en el mar	12
- Importancia en la Cuantificación de los Hidrocarburos Disueltos y/o Dispersos en el Agua de Mar	16
- Hidrocarburos en Sedimentos Marinos Recientes	17
- Efectos de los Hidrocarburos en los Organismos Marinos	20
OBJETIVOS	22
DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO	23
METODOLOGIA	28
RESULTADOS Y DISCUSION	33
- Hidrocarburos Disueltos y Dispersos en el Agua de Mar	33
- Concentración Gravimétrica (ppm) de los Hidrocarburos Totales (saturados y aromáticos) Detectados en los Sedimentos Recientes	36
- Concentración Gravimétrica (ppm) de los Hidrocarburos Totales (saturados y aromáticos) Detectados en las Hojas de <i>Thalassia</i> <i>testudinum</i>	41

- Identificación y Cuantificación de los Hidrocarburos Saturados en Sedimentos Recientes a través del Análisis por Cromatografía de Gases	45
- Identificación y Cuantificación de los Hidrocarburos Saturados en Hojas de <u>Thalassia testudinum</u>	53
- Identificación y Cuantificación de los Hidrocarburos Aromáticos (PAH's) en Sedimentos Recientes a través del Análisis por Cromatografía de Gases	59
- Identificación y Cuantificación de los Hidrocarburos Aromáticos (PAH's) en Hojas de <u>Thalassia testudinum</u>	65
CONCLUSIONES	68
LITERATURA CITADA	70
APENDICE	80

R E S U M E N

Con el objeto de evaluar el grado de perturbación ecológica del ecosistema marino, generada por la presencia de hidrocarburos antropogénicos, se realizó un estudio comparativo en tres islas arrecifales del Puerto de Veracruz - Isla Sacrificios, Isla Verde e Isla de Enmedio- en tres diferentes épocas del año, Mayo y Octubre de 1984 y Marzo de 1985; en el cual se cuantificó el contenido de hidrocarburos presentes en de agua de mar, sedimento y en las hojas de Thalassia testudinum y se precisó el tipo de hidrocarburos por medio de la cromatografía de gases en los dos últimos.

Se presentaron concentraciones pequeñas de hidrocarburos disueltos y/o dispersos en el agua. En las muestras de sedimento y hojas del pasto marino con respecto a la fracción alifática se observó lo siguiente: altas concentraciones de n-alcenos C14, C16, C18; valores de CPI cercanos a la unidad y presencia de fitano en niveles semejantes al pristano. En la fracción aromática se destacó la abundancia de los compuestos metilados del naftaleno, los cuales correspondieron a un 85% del total. Los datos anteriores confirman la presencia de hidrocarburos petrogénicos en estos ecosistemas arrecifales. Comparativamente las concentraciones de hidrocarburos en las hojas del pasto marino fueron mayores a las encontradas en los sedimentos, demostrándose la presencia del fenómeno de bioacumulación. Este hecho aunado a la escasa presencia de hidrocarburos disueltos y/o dispersos en la columna de agua confirman el cuadro de la dinámica de los hidrocarburos en el ecosistema.

INTRODUCCION.

Las zonas costeras son sitios extremadamente importantes donde interaccionan el mar, la tierra y la atmosfera creando un medio óptimo rico en recursos naturales por lo cual son lugares altamente codiciados por el hombre. De esta manera la zona costera es actualmente una de las áreas más impactadas del mundo. El desmedido crecimiento de ciudades cercanas a la costa aunado a un desarrollo industrial intenso y mal planeado esta provocando transformaciones graves a los ecosistemas aledaños, llegando al grado de ser irreversibles.

Las zonas costeras son sitios de intensa actividad económica debido a que más del 90% de la captura pesquera proviene de la plataforma continental, asimismo, se estima que el 70% de las reservas petroleras del mundo yacen bajo el suelo oceánico costero y como consecuencia un 20% de la producción mundial del petróleo proviene de esta zona (Yañez-Arancibia, 1982).

La inigualable riqueza natural con que cuenta las zonas costeras de climas tropicales y subtropicales, depende en una buena parte, de la coexistencia de 3 ecosistemas altamente productivos, como son: los arrecifes de coral, las praderas de pastos marinos y los bosques de mangle. Varios investigadores han puesto de manifiesto las complejas interacciones que estos presentan tanto a nivel energético como físico, los cuales hacen posible el desarrollo y el mantenimiento de cada uno de ellos (UNESCO, 1983 y SPC/SPEC/ESCAP/UNEP 1985) Sin embargo estos ecosistemas estan siendo fuertemente impactados por la presencia de contaminantes físicos, químicos y biológicos provenientes generalmente de las descargas generadas por las actividades industriales y urbanas que se desarrollan en la zona costera. Esta serie de disturbios afectan en gran medida el equilibrio natural entre los ecosistemas mencionados, hasta el punto de desaparecerlos y todo ello repercute severamente en la actividad económica de la zona costera .

La contaminación marina ha sido definida como : " la introducción directa ó indirecta, de sustancias o energía en el medio marino, incluyendo los estuarios, lagunas, ríos, la cual acaba por dañar los recursos vivos, poner en peligro a la salud humana, alterar las actividades marinas y reducir el valor recreativo y calidad de agua del mar" (Joint Group of Experts on the Scientifics of Marine Pollution; GESAMP,1977).

Entre los contaminantes que se vierten al mar en grandes cantidades y sin ningun control están el petróleo crudo y sus derivados. En los últimos 50 años el petróleo se ha convertido en el principal combustible de la sociedad humana intensificandose las actividades de exploración, explotación y transporte de este recurso natural en todo el mundo. Esto ocasiona serios disturbios en las zonas aledañas a los centros de acción petrolera . Sin embargo, actualmente los efluentes municipales, urbanos, industriales y pluviales son tambien responsables de verter cantidades considerables de hidrocarburos atropogénicos al medio marino (Farrington,1985).

Hoy en día, la contaminación marina por petróleo y sus derivados ha despertado un gran interes en la comunidad científica especialmente después de los grandes derrames de petróleo como los del "Torrey Canyon" en Inglaterra, el "Tampico Maru" en las costas de Baja California, el "Amoco Cadiz" en las costas de Gran Bretaña y Francia y recientemente en 1979, el del Pozo Ixtoc-1 en el Golfo de México, en donde se vertieron varios miles de toneladas de petróleo crudo.

México, en la actualidad, es el mayor productor y exportador de petróleo crudo y sus derivados en el área del Caribe y toda Latinoamérica. Por tal motivo, especialmente las costas del Golfo de México son áreas altamente expuestas al incesante tráfico de buques petroleros, al aumento gradual de la exploración y explotación de petróleo en la plataforma continental, principalmente en Campeche y el almacenamiento y movilización de grandes volúmenes de petróleo crudo. Todo ello contribuye a que día a día se derrame

pequeñas o grandes cantidades de petróleo y/o sus derivados al mar alterando de una u otra manera la estabilidad de los ecosistemas costeros.

Es evidente que el impacto de los derrames en el mar, es muy variable, y que la zona costera, con su gran productividad, es la más severamente dañada durante un derrame de petróleo, en tanto que los accidentes fuera de la costa parecen causar solamente daños menores.

Lo anterior pone de manifiesto la necesidad de efectuar estudios permanentes que vigilen la presencia de hidrocarburos fósiles en los diferentes componentes de los ecosistemas costeros (agua, organismos y sedimentos).

El área de estudio del presente trabajo lo constituyó algunas formaciones arrecifales que se encuentran enfrente del Puerto de Veracruz, dicho sitios resultan ser una de las rutas de cabotaje más frecuentadas de México, por lo cual están altamente expuestos a ser porturbados por la presencia de hidrocarburos fósiles. A consecuencia de lo anterior, por ejemplo, en las inmediaciones del arrecife de Isla Verde se ha constatado actividades de mantenimiento de numerosas embarcaciones comerciales y buques de gran calado, los cuales consisten, en su mayoría, del lavado de maquinaria y bodegas de almacenamiento de combustible. Así también, sobre la bahía del Puerto de Veracruz, se efectúan operaciones de carga y descarga de barriles de petróleo, y se han presentado severos accidentes como el ocurrido en Mayo de 1984, donde se llegaron a derramar varios miles de barriles de petróleo (Reportaje tomado del periódico "El Dictamen" del Puerto de Veracruz). Aquellos accidentes provocados por las actividades de extracción de petróleo, sobre la Sonda de Campeche también llegan a alterar las zonas costeras de Veracruz (Jernelov y Linden, 1981). Todos los problemas anteriores constituyen verdaderas fuentes crónicas de contaminación por hidrocarburos del petróleo.

Hasta la fecha, no se cuentan con estudios sistemáticos que vigilen la presencia de los hidrocarburos fósiles en la bahía y zonas aledañas al Puerto de Veracruz, aunque se han efectuado esporádicas determinaciones y

cuantificaciones de hidrocarburos antropogénicos en estas áreas, constatándose la presencia de dichos contaminantes (Botello et al. 1980 y Castro, 1983).

Se seleccionó al pasto marino Thalassia testudinum como el organismo adecuado para evaluar los niveles de hidrocarburos por las siguientes razones:

- 1) Es la fanerogama marina más abundante en las costas del Golfo de México y del Caribe; esta bien representada en el sistema arrecifal de Tuxpan, y frente al Puerto de Veracruz en la Laguna de de Terminos, Campeche, en el arrecife Alacranes y en otros sistemas coralinos del Sur de Yucatán y Quintana Roon (Lot-Helgueras, 1977).
- 2) Las praderas del pasto marino constituyen ecosistemas altamente especializados, cuyo funcionamiento e integridad es indispensable para el equilibrio ecológico de la zona costera.

Las peculiares características estructurales y fisiológicas de los pastos marino, permite que se desarrolle una amplia gama de actividades biológicas en el medio costero, estas funciones fueron resumidas por Ziemann (1975), Phillips (1978) y Trayer et al.(1975), de la manera siguiente :

- a) Los pastos marinos son altamente productivos. Se estima que la productividad de Thalassia testudinum alcanza niveles de 88 a 400 gramos de carbono por metro cuadrado anual.
- b) Aunque son pocos los organismos que pueden alimentarse directamente de los pastos marinos, estos proveen al medio de gran cantidad de detritus. Esto propicia el desarrollo de cientos de especies bacterianas, siendo la fuente de nutrientes real para los consumidores primarios.
- c) Proveen de materia orgánica para iniciar la reducción del sulfato y

mantener activo el ciclo del azufre.

- d) En sus hojas se establecen un gran número de epífitas, que generan una biomasa comparable a la de los pastos marinos. Estas epífitas son objeto de un consumo intenso por un gran número de moluscos y peces.
- e) Las praderas de pastos marinos constituyen un habitat adecuado que brinda protección y refugio a muchas especies de organismos de importancia comercial, tanto en su forma juvenil como adulta.
- f) Los rizomas dan consistencia a los sedimentos y las hojas evitan la erosión de los mismos, así el desarrollo de la flora microbiana del sedimento y de la interfase sedimento-agua. Por lo tanto permite el buen funcionamiento de los ciclos biogeoquímicos.
- g) Las hojas, que son de gran volumen y densidad retardan la velocidad de la corriente promoviendo la precipitación de partículas orgánicas e inorgánicas.
- h) McRoy y Bardate (1970) vide McRoy y McMillan (1977) reportaron que los pastos marinos actúan como bombas de nutrientes, ya que a través de sus rizomas toman elementos esenciales del sedimento que son llevados a las hojas de donde serán liberados a la columna de agua. Una consecuencia de esto es la gran cantidad de epífitas que albergan las hojas de los pastos.

3) Los pastos marinos toman indistintamente contaminantes químicos del agua de mar, a través de las hojas, y del sedimento por medio de los rizomas (Thorhaug, 1981).

Todo lo anterior, indica que la fanerogama marina Thalassia testudinum puede funcionar como un indicador confiable de la contaminación.

Se ha reportado que las praderas de pastos marinos han sido afectadas severamente por los derrames de petróleo crudo. Por ejemplo, el derrame ocurrido en el Canal de la Mancha en 1933; el presentado en las costas de Puerto Rico en 1962; el ocurrido en el área de Santa Barbara, California y más recientemente el derrame del buque-tanquero Zoe Colocotroni en 1973. En

todos ellos se hace notar una reducción drástica en las poblaciones de pastos marinos de Zostera, Thalassia y Phyllospadix, siendo las causas principales el contacto directo que tuvieron las hojas del pasto con las manchas de petróleo, así como el recubrimiento del sedimento de grano fino por la precipitación de los productos del intemperismo del petróleo.

En México, existen pocos estudios referentes a las fanerogamas marinas. Sin embargo, el estado de Veracruz es el que cuenta con la mayor información sobre la distribución y biología de Thalassia testudinum (Lot-Helguera, 1968, 1971, 1977; Chávez et al. 1970; Hornelas, 1975; Novelo, 1976; Gallegos, 1976).

Más recientemente se han evaluado la composición y cuantificación de los hidrocarburos contenidos en las hojas de Thalassia testudinum, con el propósito de caracterizar los hidrocarburos biogénicos y verificar la presencia o no de hidrocarburos petrogénicos en sus tejidos foliares (Botello, 1978 y 1980; Botello y Mandelli, 1978 y 1979).

El presente trabajo se ubica en el contexto del convenio CONACYT- UNAM denominado "Vigilancia de la Contaminación por Petróleo en la Bahía de Campeche y la Zona Costera del Caribe Mexicano" que se encuentra coordinado por el Dr. Alfonso Vázquez Botello, y constituye el primer informe tendiente a conocer, determinar e identificar el contenido de hidrocarburos en agua, sedimento y hojas de Thalassia testudinum pertenecientes a las islas arrecifales cercanas al Puerto de Veracruz. De esta manera se tratará de conocer y comprender el grado de deterioro que están alcanzando estos sitios, así como tener un mayor conocimiento sobre la dinámica que presentan los hidrocarburos en el medio marino. Este tipo de estudios son indispensables para sugerir medidas preventivas que ayuden en la protección y preservación de éstos ecosistemas costeros altamente productivos.

GENERALIDADES DE HIDROCARBUROS.

Características de los hidrocarburos.

Los hidrocarburos son compuestos que contienen únicamente átomos de carbono e hidrogeno. Pueden subdividirse en 4 categorías, dependiendo de su punto de ebullición y complejidad, siendo las siguientes:

- a) Hidrocarburos parafínicos o alcanos.
- b) Hidrocarburos nafténicos o cicloalcanos.
- c) Hidrocarburos aromáticos.
- d) Hidrocarburos alquénicos.

Origen de los hidrocarburos en el Medio Marino.

- a) Aportados por las actividades relacionadas con el petróleo.

En la actualidad el petróleo y todas las actividades involucradas durante su extracción, transformación, transporte y uso, han ocasionado que se aumente drásticamente los aportes de hidrocarburos derivados del petróleo al mar, provocando daños severos a los ecosistemas costeros .

El petróleo y sus productos refinados son mezclas complejas de cientos de constituyentes diferentes. Consta de 50 al 98% de compuestos hidrocarbonados siendo el resto hidrocarburos con oxígeno, nitrógeno y azufre incorporados. También contiene metales traza como son V, Ni, Fe, Al, Na y Ca (Goldberg, 1979 y Farrington, 1985).

Dentro de los hidrocarburos encontrados en el petróleo y sus derivados, los alcanos son los más abundantes. Abarcan compuestos de cadena recta o ramificada que van desde 4 átomos de carbono hasta 60. Los isoprenoides que se presentan más abundantemente en el petróleo crudo son el pristano (2,6,10,14 tetrametil pentadecano) y el fitano (2,6,10,14 tetrametil hexadecano). Existen también cicloalcanos, en menor proporción que los alcanos, y con frecuentes sustituciones alquílicas.

El petróleo crudo y sus derivados contienen además cantidades significativas de hidrocarburos aromáticos, siendo los compuestos de tipo alquilados los predominantes (Youngblood y Blumer, 1975; Blumer, 1976). Los hidrocarburos aromáticos son potencialmente tóxicos debido a su gran permanencia y estabilidad en el medio marino. Los compuestos aromáticos de bajo peso molecular (tales como el benceno, tolueno, xileno) son bastante tóxicos, así también aquellos compuestos con 4 a 7 anillos bencénicos (Ej: 3-4 benzopireno) poseen propiedades cancerígenas (Neff, 1979).

Existen compuestos de hidrocarburos que solamente los encontramos en los productos de refinación y no en el petróleo crudo, como son los compuestos insaturados (alquenos), los cuales poseen mayor grado de toxicidad sobre los organismos marinos que los otros tipos contenidos en el petróleo crudo.

Se han hecho estimaciones de la cantidad de hidrocarburos del petróleo que son vertidos al medio marino a través de las diferentes fuentes. Los últimos datos a este respecto son reportados por la National Research Council (NRC) (1985) vide Farrington, 1985. Se observa en la Tabla I que un total de 3.2 millones de toneladas métricas/año de hidrocarburos del petróleo son introducidos al océano de distintas maneras. De todas ellas, los aportes terrestres, generadas por los efluentes tanto industriales, municipales, urbanos y pluviales, así como las operaciones en las terminales portuarias y en los diques constituyen más del 45% del aporte total de hidrocarburos derivados del petróleo al medio marino.

TABLA I

Aportes de hidrocarburos del petróleo al medio marino
estimado en millones de toneladas por año (Farrington, 1985).

FUENTE	Rango probable	Estimación más segura
FUENTES NATURALES		
Filtraciones marinas	0.02 - 2.0	0.2
Erosión de sedimentos	0.005 - 0.5	0.05
Fuentes naturales totales	0.025 - 2.5	0.25
PRODUCCION COSTERA	0.04 - 0.06	0.05
TRANSPORTACION		
Operaciones en buques	0.4 - 1.5	0.7
Operaciones en diques secos	0.02 - 0.05	0.03
Terminales marinas	0.01 - 0.03	0.02
Descarga de sentina y carga de petróleo	0.2 - 0.6	0.3
Accidentes de buques tanque	0.3 - 0.4	0.4
Accidentes de otros buques	0.02 - 0.04	0.02
Transportación total	0.95 - 2.62	1.47
ATMOSFERA	0.05 - 0.5	0.3
DESECHOS INDUSTRIALES Y MUNI- CIPALES.		
Desechos municipales	0.4 - 1.5	0.7
Refinerías	0.06 - 0.6	0.1
Otros desechos industriales	0.1 - 0.3	0.2
Aguas residuales urbanas	0.01 - 0.2	0.12
Caudal fluvial	0.01 - 0.5	0.04
Desechos oceánicos	0.005 - 0.02	0.02
Desechos totales	0.585 - 3.14	1.18
TOTAL	1.7 - 8.8	3.2

Por otra parte, las entradas de estos compuestos generadas por las actividades que involucran la extracción y transporte del petróleo, forman un 39% del aporte total. Respecto a la cantidad estimada por los derrames accidentales, se observa que es pequeña si tomamos en cuenta que dichos eventos son esporádicos y solo tienen importancia en el área local causando efectos desastrosos a la biocenosis de ese lugar.

Por todo lo anteriormente señalado, se espera encontrar niveles bajos de hidrocarburos en mar abierto, siendo las zonas más castigadas por la presencia de estos contaminantes, las costeras.

b) Hidrocarburos Biogénicos.

Los hidrocarburos son sintetizados por la mayoría de organismos terrestres y marinos y se utilizan en algunos casos como fuente de energía. Se ha estimado la producción de hidrocarburos biogénicos y se considera sorpresivamente grande. Farrington y Meyer (1975) han calculado la concentración de hidrocarburos del fitoplancton basándose en la productividad primaria y asumiendo el no reciclamiento de estos hidrocarburos. Por este medio se estima una velocidad de biosíntesis de hidrocarburos por los productores primarios de 1-10 millones de toneladas métricas al año; este rango es similar al de los aportes de hidrocarburos de origen antropogénico (Saliot, 1981).

La mayoría de los organismos marinos sintetizan hidrocarburos alifáticos, notándose una clara predominancia de aquellos que poseen átomos de carbono con número impar, limitándose en un rango que va del C15 al C21. Las algas verde-azules, bénticas y pelágicas, así como el fitoplancton presentan un contenido de 100 a 200 ppm de hidrocarburos alifáticos por peso seco (Youngblood y Blumer, 1973); destacándose la predominancia de los carbonos C15 y C17 (Clark y Blumer, 1967; Youngblood et al, 1971). El contenido de hidrocarburos alifáticos en las fanerogamas marinas constituye una fracción

del 0.01% de su peso seco, pero a pesar de esta pequeña proporción se distingue muy bien la predominancia de carbonos impares, entre C15 a C25 (Ataway et al, 1970). Las plantas terrestres superiores biosintetizan n-parafinas impares de alto peso molecular, comprendiendo el rango de C23 al C 33. A diferencia de los anteriores organismos, las bacterias sintetizan en proporciones similares hidrocarburos con número de carbono pares e impares comprendiendo un rango de C25 a C35 (Saliot, 1981; Nishimura y Baker, 1986).

En cuanto a los compuestos isoprenoides, encontramos al pristano como el más abundante en los organismos marinos; ha sido identificado en el fitoplacton y el zooplancton (Avigan y Blumer, 1968), en algas bénticas (Clark y Blumer, 1967; Youngblood, 1971) y en el hígado de algunos peces.

El fitano es otro isopreniodes, sin embargo, este no es común en los organismos marinos a excepción de ciertas bacterias que lo contienen en pequeñas concentraciones (Han y Calvin, 1969).

Existen también en los organismos marinos alquenos, los cuales también son abundante. Se distingue en este grupo el alqueno ramificado conocido como escualeno encontrado en bacterias fotosintéticas así como en el hígado del tiburón y en el bacalao (Saliot, 1981). Además se presentan mono, di y triolefinas isoprenoides en copépodos y algunos peces (NAS, 1975).

Respecto a la síntesis de cicloalcanos saturados por los organismos marinos, esta es reducida, encontrándose pequeñas cantidades en ciertas algas bénticas (Youngblood et al, 1971; Youngblood y Blumer, 1973) y bacterias. Sin embargo, las plantas terrestres superiores producen grandes cantidades de cicloalcanos, sirviendo estos compuestos como buenos indicadores de aportes terrígenos al mar (Saliot, 1981).

En referencia a la síntesis de hidrocarburos aromáticos en los organismos, existe una gran polémica. Graf y Diehl (1966), así como Hancoch et al. (1970) vide Neff (1979), han encontrado varias clases de hidrocarburos aromáticos policíclicos en hojas de árboles, plantas terrestres y algas;

mientras que Grimmer y Duvel (1970) vide Neff, 1979 al cuidar las condiciones de trabajo para evitar contaminación en sus experimentos, no detectaron estos compuestos. Sin embargo, Ziebell (1971), Zitko (1975) y Haneockelal (1970) vide Sallot (1981) reportaron que ciertas microalgas, bacterias y algunas plantas producen hidrocarburos aromáticos. Estos hidrocarburos aromáticos formados biogenicamente son muy diferentes a los producidos por los procesos pirolíticos y geoquímicos o los contenidos en el petróleo, principalmente por su simplicidad, selectividad y baja concentración (Blumer, 1976).

c) Aportaciones Geoquímicas.

1.- Infiltraciones Naturales. Se calcula que por lo menos desde hace 100 millones de años los océanos reciben aportes de hidrocarburos del petróleo a través de las infiltraciones naturales, así como por la erosión de rocas metamórficas como los esquistos. Existen numerosos casos de infiltraciones naturales en las costas de Luisiana, Texas, Trinidad y Tobago, México, Cuba, en el Golfo Persico y en otros lugares aún no reportados. Por lo anterior la mayoría de los organismos marinos han coexistido con los hidrocarburos fósiles, siempre y cuando estos se encuentren en concentraciones pequeñas (menores de 0.1 mg/l) y cuando el petróleo ha sido intemperizado. Las estimaciones que se realizan para calcular el aporte de hidrocarburos al medio marino a través de esta fuente, son poco precisas debido a la dificultad que se presenta en el modo de medición. Sin embargo la N.R.C. llegó a estimar una cantidad de 0.25 millones de toneladas por año consituyendo un 7.8% del aporte total (Farrington, 1985), (Tabla I).

2.- Hidrocarburos de Origen Pirolítico. Cuando se presenta una combustión incompleta de la materia orgánica a temperaturas altas se forman hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAH). El tipo de PAH que se forma a través de la pirólisis depende de la composición química del material pirolizado, de la temperatura de exposición, así como de la duración del fenómeno. Se conocen un gran número de fuentes industriales y domésticas que generan PAH a través de la pirólisis, siendo las más importantes: la

combustión de aceites, el proceso de cracking catalítico del petróleo crudo, la producción y uso de coke, la producción de alquitrán de hulla a partir del carbón, los incineradores de basura municipales y la quema de bosques y praderas (Hites, 1976; Hites et al., 1977; LaFlamme y Hites, 1978; Johnson y Larsen, 1985; Smith et al., 1985). Debido a esta diversidad de fuentes, es difícil evaluar la cantidad de PAH vertida al medio marino. Los PAH, alcanzan el mar a través de diferentes medios, siendo aún desconocido las transformaciones y destino final que presentan en el medio acuático.

3.- Hidrocarburos de origen diagenético. Existen ciertas moléculas sintetizadas por los organismos como los terpenos, esteroides, pigmentos carotenoides y ácidos grasos, que después de haber sido depositados en los sedimentos y por la acción conjunta de la meiofauna, macrofauna y microorganismos, así como de procesos meramente químicos, son alterados y pasan a formar una gran variedad de compuestos orgánicos, entre los que se puede enumerar a los hidrocarburos alifáticos, cicloalcanos, esteroides, hidrocarburos aromáticos policíclicos y triterpenos (Saliot, 1981 y Farrington, 1985).

Procesos Involucrados en el Destino del Petróleo en el Mar.

El petróleo al ser vertido al medio marino está sujeto a varios procesos físicos, químicos y biológicos que alteran su composición inicial. Algunos de estos procesos ocurren simultáneamente y todos están interrelacionados, marcando los diferentes destinos que alcanza el petróleo, siendo ejemplificados en la Figura 1.

La velocidad de intemperismo que presenta el petróleo dependerá de sus propiedades físicas y de la forma en que se vierta, así como de las condiciones del medio (turbulencia del agua, vientos, salinidad, nutrientes, luz, temperatura) . .

El primer proceso que actúa inmediatamente después de la descarga o derrame de petróleo es la dispersión, en donde la capa de aceite que flota sobre la superficie de mar, la cual se dispersa en dirección horizontal por la acción de oleaje y los vientos, haciéndola cada vez menos espesa. Sobre esta película actúan varios procesos físico-químicos.

a) **Evaporación.** A través de este proceso se pierden gran cantidad de moléculas de bajo peso molecular (punto de ebullición 270° C). Se estima que de un 20 a 50 % de los compuestos del petróleo y más de un 75% en aceites combustibles son emitidos a la atmósfera por este proceso (Lee, 1980).

La evaporación actúa intensamente durante las primeras 5 horas del derrame y se extiende hasta períodos de meses o posiblemente años, quedando una capa de aceite más viscosa que propiciará la formación de breas flotantes en el mar. La velocidad de evaporación se afecta por la radiación solar, la temperatura, la acción del oleaje, la viscosidad y la composición del petróleo (Lee, 1980 y Gerlach, 1981).

b) **Disolución.** A través de este proceso los hidrocarburos de bajo peso molecular, así como los más polares, llegan a disolverse y/o dispersarse en el agua de mar. Por este medio, no se eliminan los compuestos del petróleo, solamente los remueve de la columna de agua para que posteriormente los asimilen indistintamente los organismos o puedan llegar a sedimentarse.

La disolución al igual que la evaporación comienza inmediatamente después de que el petróleo y sus derivados se han liberado al mar; sin embargo, los procesos de disolución se prolongan más tiempo. Entre los procesos de disolución, cabe citar la degradación inorgánica, biológica y la fotooxidación de los hidrocarburos, transformándolos en compuestos más solubles que en algunos casos serán más tóxicos que los hidrocarburos originales.

Con respecto a la fotooxidación, es un proceso que se realiza cuando la energía de la luz solar junto con el oxígeno atmosférico y la acción catalítica de los metales (contenidos en el agua de mar o el petróleo)

inician reacciones de radicales libres que convierten tanto a los hidrocarburos de tipo aromático como a los compuestos hidrocarbonados que contienen nitrógeno, azufre y oxígeno en hidroperóxidos que a su vez se transformaran en ácidos alcohólicos y otras formas oxigenadas (Albaiges, 1981)

La velocidad de fotooxidación depende de la naturaleza química de los compuestos siendo más rápida en los aromáticos que en los alifáticos, y entre estos los de cadena ramificada son más fácilmente degradados que los de cadena recta.

Los compuestos oxigenados presentan varios destinos, por un lado forman emulsiones aceite-agua y de esta manera penetrarán a la columna del agua, también pueden polimerizarse formando residuos de breas flotantes.

Otro proceso de degradación de hidrocarburos es por medio de la biodegradación. Existen varias clases de hongos, bacterias y algas que son capaces de biodegradar los componentes del petróleo. Algunos investigadores han encontrado que para que éste proceso se presente es necesario que una gran cantidad de hidrocarburos volátiles se hayan evaporado, ya que estos resultan perjudiciales a los microorganismos (Albaiges, 1981).

Se ha demostrado que las zonas impactadas por el petróleo contienen mayor cantidad de bacterias degradadoras que las no impactadas. La velocidad de biodegradación esta fuertemente influenciada por los siguientes factores: temperatura, concentración de oxígeno, cantidad de nutrientes y de material particulado suspendido en el mar, así como la forma físico-química en que se presente el petróleo (Gerlach, 1981; Albaiges, 1981).

Walke et al.(1976) vide Lee,(1980) encontraron que bajo condiciones favorables los microorganismos degradan del 30 al 50% del petróleo crudo, dependiendo de la composición de las diferentes fracciones del mismo. De esta manera los alcanos poco ramificados son más rápidamente degradados que los cicloalcanos y los hidrocarburos aromáticos. Los alcanos son oxidados a

alcoholes y finalmente forman ácidos grasos, mientras que los aromáticos sufren una lenta hidroxidación enzimática formando diversos ácidos y aldehídos.

Como resultado de los procesos de intemperización anteriormente descritos, los compuestos del petróleo pueden estar disueltos en el agua de mar, o en forma particulada, o estar constituyendo las breas y alquitranes.

Las breas y alquitranes contienen hidrocarburos de alto peso molecular siendo común en su estructura la presencia de oxígeno y azufre. Además, se encuentran incorporadas partículas minerales, organismos, conchas y detritus. Su forma es variable y su tamaño va desde unos pocos milímetros hasta varios metros.

Las breas o alquitranes son un estado transitorio del petróleo en el mar. Aunque resisten la degradación microbiana, son alterados lentamente por procesos físicos y químicos que las hacen fraccionarse. Las fracciones pequeñas llegan al fondo del mar mientras que las grandes son depositadas en las playas.

A pesar de que los hidrocarburos del petróleo han sido perdidos por factores físicos o han sufrido transformaciones químicas, cierta parte de los componentes del petróleo permanecen inalterados en el medio marino, siendo dispersados y consumidos por el plancton, pasando de esta manera a las cadenas alimenticias y llegando hasta organismos bentónicos en donde son bioacumulados o bien van a los sedimentos permaneciendo ahí por un largo período de tiempo, ya que la transformación y degradación es muy lenta.

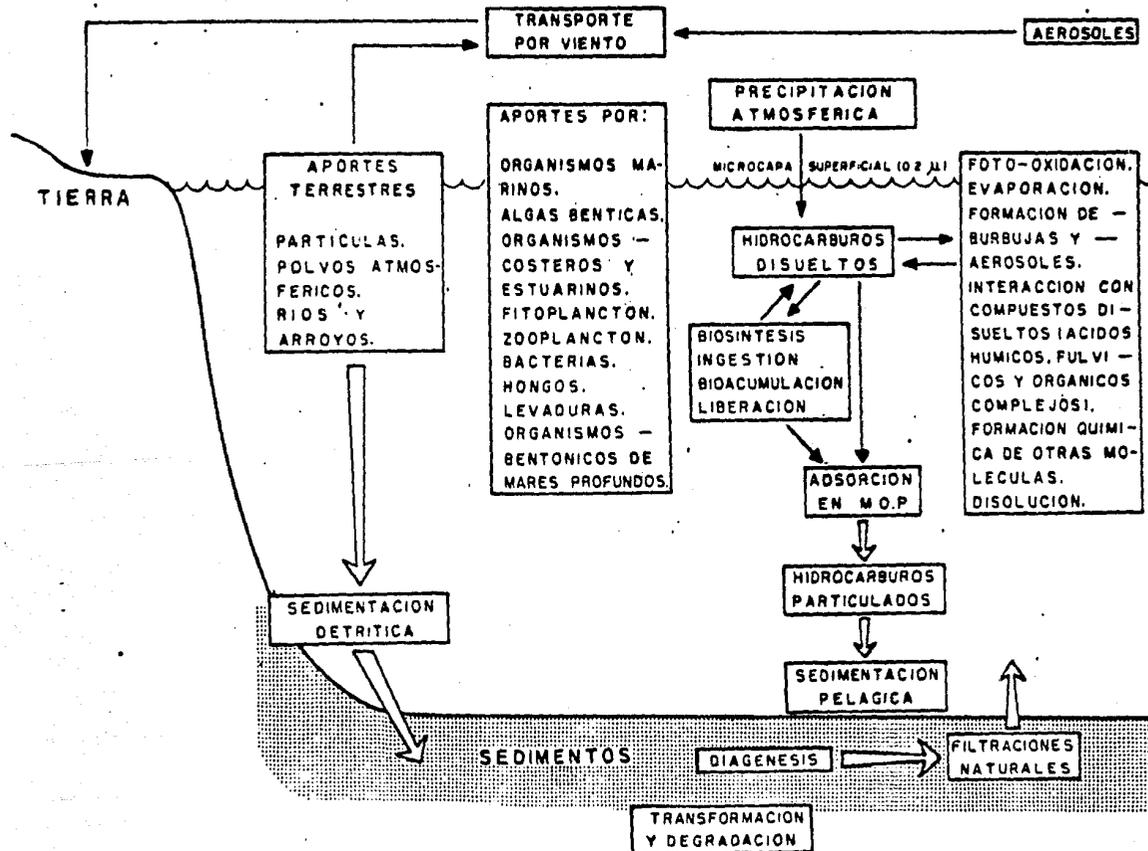


FIG. 1. PRINCIPALES PROCESOS INVOLUCRADOS EN EL DESTINO DEL PETROLEO EN EL MAR DESPUES DE UN DERRAME. (Tomado de Farrington 1985).

*Importancia en la Cuantificación de los Hidrocarburos
Disueltos y/o Dispersos en el Agua de Mar.*

La cuantificación y caracterización de los hidrocarburos disueltos y/o dispersos en el agua de mar no ha sido considerada como un parámetro concluyente para evidenciar problemas de contaminación por petróleo, debido a que los hidrocarburos fósiles una vez introducidos al medio marino son alterados por varios factores físico-químicos como son: la evaporación, la fotooxidación, la biodegradación, la asimilación por el zooplancton, la sedimentación y la intervención de fenómenos climáticos (vientos, corrientes superficiales, huracanes, etc.). También se tiene que la metodología empleada para medir la concentración de hidrocarburos disueltos y/o dispersos en el mar no es totalmente satisfactoria por las siguientes razones:

- 1) Mide únicamente los hidrocarburos aromáticos (PAH).
- 2) El método de fluorescencia, a parte de medir la señal emitida por los hidrocarburos aromáticos, cuantifica otras moléculas orgánicas afines.
- 3) La medición es relativa, ya que la comparación se realiza contra un estándar de criseno, el cual es considerado como un "petróleo promedio".
- 4) La técnica no distingue entre los aportes de hidrocarburos aromáticos de tipo petrogénico y los emitidos por procesos pirolíticos.

Sin embargo, debido a la rapidez, sencillez y economía que brinda la técnica fluorométrica, usualmente se utiliza para evaluar el aporte antropogénico de los hidrocarburos vertidos en el mar y ha sido aceptada como válida por los organismos internacionales (NAPNOPP, 1981).

Los hidrocarburos aromáticos se han difundido ampliamente en los ambientes costeros y marinos. Su presencia es atribuida a los aportes de tipo antropogénico, derivados principalmente de la combustión incompleta de aceites fósiles (Hites et al. 1977; Smith et al. 1985; Van Vleet et al. 1984; Johnson y Larsen, 1985), así como de otras fuentes pirolíticas (Youngblood y Blumer, 1975). Estos son emitidos a la atmósfera en cantidades considerables y se adsorben a partículas, las cuales son

transportadas a través de los vientos, lluvias, ríos y todo tipo de efluentes hasta llegar al mar. Los derrames de petróleo, las descargas de plantas petroquímicas (Botello y Páez, 1986; Botello y Villanueva, 1987) y los efluentes urbano-industriales (Bayona et al. 1983) también contribuyen en gran medida a la incorporación de los hidrocarburos al medio marino.

Por lo anterior, es importante cuantificar la presencia de los hidrocarburos aromáticos en los ecosistemas marinos para valorar sus repercusiones sobre la estabilidad biológica y ambiental del mar.

Hidrocarburos en Sedimentos Marinos Recientes.

Los sedimentos constituyen el más grande y estable depósito de materiales y sustancias dispersadas en la columna de agua, por lo que su análisis químico es de gran utilidad para diagnosticar la presencia de algunos contaminantes en ecosistemas acuáticos.

La presencia de compuestos de hidrocarburos en los sedimentos es atribuida a diversas fuentes, siendo las ya anteriormente mencionadas (ver Tabla I). Tomando en cuenta las características geoquímicas sedimentarias de la localidad estudiada y a través del análisis metódico de la composición y estructura de los hidrocarburos es posible diferenciar entre los aportes endógenos y aquellos derivados de fuentes antropogénicas. De esta manera, varios estudios realizados en sedimentos marinos recientes no contaminados por petróleo, reflejan la composición de los hidrocarburos provenientes de los organismos que habitan en la zona, caracterizando por exhibir una marcada predominancia de n-alcenos con número de carbono impar (Bray y Evans, 1961; Stevens et al. 1965; Farrington y Quinn, 1973).

En zonas costeras no contaminadas, las concentraciones de hidrocarburos biogénicos en sedimentos recientes son menores a 70 ppm; en zonas oceánicas esta concentración es aún menor (Blumer y Sass, 1972; NAS, 1975).

En los sedimentos de zonas contaminadas, las concentraciones de hidrocarburos de origen fósil pueden variar en un amplio rango dependiendo del origen de la contaminación, su frecuencia y las características del ecosistema; pero siempre llegan a ser más elevadas que las obtenidas en sedimentos no contaminados.

La composición de los hidrocarburos en sedimentos puede ser muy variada, dependiendo del tiempo de residencia en el sedimento y desde luego de la composición original del petróleo. Hoffman y Quinn (1978) y Blumer et al (1971) sugieren que la movilidad del sedimento provocada por fuerzas físicas (huracanes, oleaje intenso, mareas) es un factor más en la variación de la concentración y tiempos de residencia de los hidrocarburos fósiles, así como también los fenómenos de bioturbación.

Los tiempos de residencia de los hidrocarburos fósiles en los sedimentos pueden ser de 3 a 10 años dependiendo de la velocidad de degradación (Moore y Dwyer, 1974).

Estudios enfocados a localizar, evaluar y cuantificar la presencia de hidrocarburos petrogénicos en el sistema marino requieren del análisis de la fracción alifática contenida en los sedimentos recientes; ya que son el tipo de hidrocarburos más abundantes en los sedimentos y son los compuestos más predominantes del petróleo y sus derivados.

En la fracción saturada es posible distinguir varios parámetros, los cuales han sido utilizados en algunos trabajos (Blumer y Sass, 1972; Gearing et al 1976; Farrington y Tripp, 1977; Keizer et al. 1978; Venkatesa et al. 1980 y Van Vleet et al. 1984) como buenas herramientas para evaluar la presencia de hidrocarburos del petróleo, siendo las siguientes: índice de predominancia de carbonos impares (CPI); las relaciones Pristano/fitano, $n-C_{17}/Pristano$, $n-C_{18}/Fitano$ y $n-C_{17}/n-C_{18}$.

La importancia de medir el CPI en sedimentos recientes radica en conocer de manera indirecta y general el tipo de aporte de hidrocarburos que reciben

los sedimentos. De esta manera, valores de CPI mayores a la unidad (donde predominan claramente los n-alcános con número de carbono impar sobre los pares) a partir del n-alcáno C24, refleja un aporte importante de materiales alóctonos (ceras cuticulares de plantas terrestres). En cambio, los valores de CPI cercanos a la unidad, donde no hay o existe una ligera predominancia de carbonos impares sobre los pares) entre el intervalo C14 a C22, indica que el aporte de hidrocarburos al sedimento deriva principalmente de los hidrocarburos del petróleo, y en algunos casos, de ciertos organismos marinos (Koons, 1965; Han y Calvin, 1969; Simonet et al. 1980).

Las relaciones entre los isoprenóides Pristano/fitano y los alcános n-C17/n-C18 son para comparar la proporción existente entre compuestos comunes en el medio marino y los que no lo son.

Finalmente las relaciones n-C17/pristano y n-C18/fitano, ayudan a seguir de manera indirecta la tasa de degradación microbiológica de los hidrocarburos a través del tiempo. Se acepta que los n-alcános de cadena recta se degradan más rápidamente que los de cadena ramificada (Blumer, 1973). Por tal motivo, conociendo la proporción inicial de la relación n-C17/pristano y n-C18/fitano en cada tipo de petróleo derramado en los sedimentos recientemente contaminados, y observando los cambios que representen a través del tiempo, es posible conocer el porcentaje de degradación del petróleo derramado, su tiempo de residencia en los sedimentos y también la presencia de posteriores aportes petrogénicos al sistema marino.

La conjunción de los parámetros anteriormente descritos, así como la detección de hidrocarburos aromáticos en los sedimentos recientes son buenos parámetros en la evaluación de los hidrocarburos antropogénicos presentes en los sistemas marinos.

Efectos de los hidrocarburos en los Organismos Marinos.

Una vez que el petróleo y sus derivados se han dispersado, actúan y producen efectos nocivos sobre los organismos marinos.

Los hidrocarburos entran a la cadena alimenticia marina a través de varias rutas.

- Captación activa del petróleo disuelto y/o disperso.*
- Adsorción a partículas orgánicas seguida de la ingestión de éstas.*
- Pasaje al intestino de peces o invertebrados a través de su alimentación.*

Después de que un organismo incorpora los hidrocarburos, éstos pueden ser excretados sin ninguna alteración o bien metabolizados o almacenados en sus tejidos por cierto tiempo. El contaminante ya presente en los tejidos de los organismos puede bioconcentrarse, bioacumularse y hasta biomagnificarse.

La bioconcentración se refiere a la capacidad de un organismo o una población de organismos del mismo nivel trófico para concentrar en sus tejidos un contaminante del medio exterior.

La bioacumulación de un contaminante es no sólo 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.

No hay evidencias que demuestren la biomagnificación en niveles tróficos de un ecosistema marino con referencia a hidrocarburos del petróleo, pero la bioconcentración se ha observado en algunas especies de peces, ostiones y a nivel experimental en pastos marinos.

Los efectos del petróleo y/o derivados de éste sobre la biota marina pueden variar dependiendo de un gran número de factores, los cuales pueden actuar solos o en combinación; así los daños biológicos dependen principalmente de:

- a) El tipo de petróleo derramado, su composición y características en especial el contenido de compuestos aromáticos de bajo peso molecular, los cuales son considerados como los más tóxicos entre los hidrocarburos. En la práctica se ha confirmado que ejercen mayor toxicidad los compuestos de refinación del petróleo que el petróleo bruto (Moore, 1974).
- b) El grado de intemperismo del petróleo.
- c) La forma en que se encuentre en el medio marino; ya sea en solución, en emulsión, en suspensión o disperso, será fácilmente asimilado por los organismos marinos; mientras que adsorbido en material particulado tenderán a sedimentarse.
- d) La concentración a la cual los organismos se encuentran expuestos y la duración de la exposición.
- e) La especie o grupo de individuos de que se trate (plancton, necton o bentos).
- f) La etapa de desarrollo de las especies, ya que las formas larvarias y juveniles son más sensibles a la presencia de hidrocarburos fósiles que los organismos 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 los cuales facilitan el contacto directo del petróleo con los organismos marinos .

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; en especial la zona intermareal es la más afectada, pues en ella hay una mayor diversidad y abundancia de especies, así como también existen aquí los estadios juveniles de muchas especies oceánicas (Botello, y Pérez).

OBJETIVOS.

- 1) *Determinar y cuantificar la presencia de hidrocarburos en tres islas arrecifales del Puerto de Veracruz, analizando muestras de agua, sedimento reciente y hojns del pasto marino Thalassia testudinum, durante tres épocas diferentes.*

- 2) *Comprobar si estos ecosistemas se encuentran perturbados por la presencia de hidrocarburos de origen petrogénico.*

- 3) *Constatar alguna posible relación causal o dinámica entre el contenido de hidrocarburos en los tres parámetros estudiados.*

- 4) *Evaluar el contenido de materia orgánica en los sedimentos recientes y relacionarlo con la cantidad de hidrocarburos detectados en ellos.*

DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

Generalidades

Las islas que fueron objeto del presente estudio son parte de formaciones coralinas localizadas en las cercanías del Puerto de Veracruz. Una de estas formaciones, ubicada en frente del Puerto esta conformada por 8 arrecifes: A. de la Gallega, A. Galleguillo, A. la Blanquilla, A. Anegada de Adentro, Isla Verde, A. Pájaros, Isla Sacrificios y A. Hornos. La otra formación coralina se localiza al sureste del Puerto y la constituyen 6 arrecifes: A. Blanca, A. Rizo, A. Chopas, Isla Salmedina, Isla de Enmedio y A. Cabezo (Lot-Helguera, 1968). De la primera formación coralina se escogió a Isla Verde e Isla Sacrificios para ser muestreadas, mientras que Isla de Enmedio se consideró adecuada para representar a la segunda formación (Fig.2).

En general todas las formaciones arrecifales de la zona, se disponen como un cayo rodando por una barrera coralina atravesada por numerosos canales, constituyendo de esta forma una laguna central que alcanza una profundidad promedio de 1.10 m.

La principal característica física común entre los arrecifes de Veracruz es su posición y contorno que son debidos a la dirección de llegada de las olas, dando lugar a una forma alargada de los arrecifes en el sentido NW a SE, presentando el punto más bajo al extremo SE del barlovento. El borde de la barrera arrecifal en el lado N se eleva sobre el nivel del mar; esta barrera permite el paso del oleaje y las corrientes generadas son conducidas hacia la parte más profunda del área central del arrecife, donde forman numerosos canales de mareas y corrientes, para salir finalmente hacia el mar profundo por el extremo SE (Lot-Helguera, 1968).

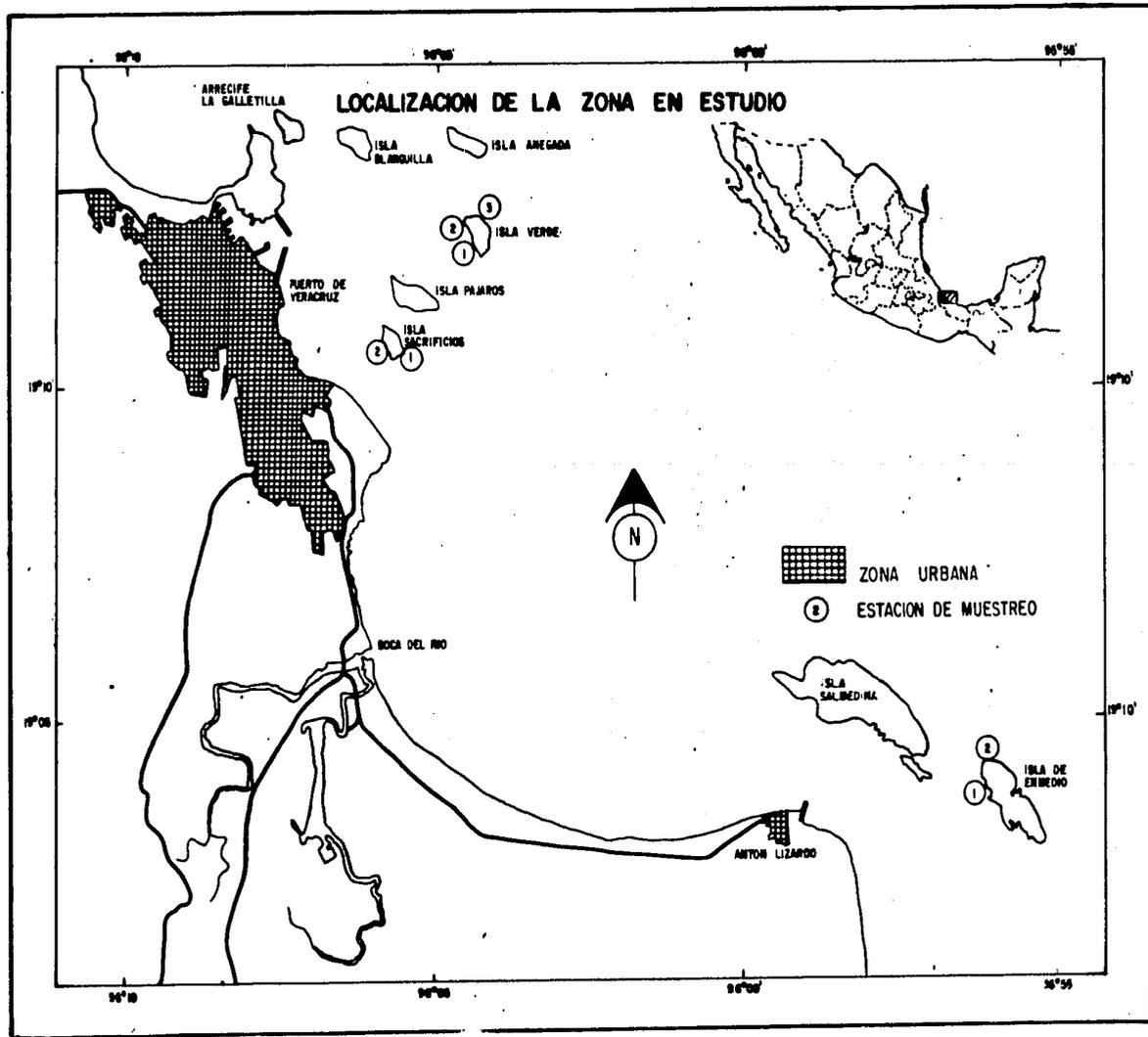
En general, las lagunas arrecifales de las islas se encuentran dominada principalmente por las praderas del pasto marino Thalassia testudinum habitando en menor proporción algunas algas bénticas, por ejemplo : Caulerpa, Halimeda, Padina; algas epífitas de la familia Coralinaceae;

ocasionalmente hay esponjas amarillas, ejemplos: Neopetrosis longleyi o rojas Kaliciona rubens y ciertos corales como el Porites porite, Diploria sp y Acropora palmata (Lot-Helgueras , 1971).

Toda la zona arrecifal de Veracruz presenta un clima "cálido-humedo con lluvias en verano" correspondiendo al A(W ") (W) (i) de la modificación de García a la clasificación de Koeppen según apunta Lot-Helguera (1968). Considerando los datos promedios de los últimos 50 años, el mes más cálido corresponde a Agosto, mientras que el más frío es Enero. Durante Junio y Septiembre se presentan las precipitaciones pluviales más abundantes, mientras que en el mes de Marzo están las más escasas. Relacionado con el dato anterior se tiene que en el mes de Julio la salinidad es muy baja en comparación con el mes de marzo.

Los "nortes" (masas de aire frío originadas en la parte boreal del continente, frecuentes en invierno) son un factor climático, que junto con la "insolación" (cantidad de luz efectiva recibida al día durante las diferentes estaciones del año), tienen una marcada influencia en las condiciones ambientales del arrecife de Veracruz, y que de manera importante afectan el desarrollo y la biología de las comunidades de fanerógamas marinas localizadas en la zona.

FIG. 2 Localización de las estaciones de muestreo correspondientes a las tres islas arrecifales estudiadas (Tomado Carta de la Defensa, escala 1:250 000).



Isla Sacrificios.

Este cayo arrecifal se localiza a $96^{\circ}10'26''$ de latitud N y a $96^{\circ}05'27''$ de longitud W. Su superficie alcanza una extensión de 0.37 km. Esta isla se encuentra a 3/4 de milla del Puerto de Veracruz y hasta fecha reciente funcionaba como lugar de recreo turístico. En su parte oriental se localiza un faro y un pequeño resguardo a cargo de la Secretaría de Marina de dicha entidad (Fig.2).

Isla Sacrificios presenta una forma acircular con el extremo occidental más angosto. En sus inmediaciones se encuentra un gran número de canales que atraviesan la barrera coralina y sirven como impulso dinámico para el recambio y reciclamiento de nutrientes en la zona de la laguna central de esta isla.

En Isla Sacrificios se seleccionaron 2 estaciones de muestreo con los siguientes criterios: la estación 1 se ubicó en el lado del rompeolas de la isla, esto es, al lado contrario en relación al Puerto de Veracruz. Esta localización corresponde al lado de barlovento; la estación 2 de muestreo se localizó al lado opuesto de la anterior, en la región del sotavento y con una ubicación enfrentada con el Puerto.

La localización de las estaciones permite delinear dos zonas donde prevalecen diferentes condiciones físicas y ecológicas y muy posiblemente difieran en grado y tipo de perturbaciones.

Isla Verde

Esta formación coralina se encuentra localizada en las siguientes coordenadas: latitud N $19^{\circ} 11' 50''$ y longitud W $96^{\circ} 04' 00''$. Su extensión abarca un total de 0.54 km. Se encuentra situada en el extremo sur de un arrecife de 1 km de largo y 700 m de ancho en su parte central (Fig. 2). En la parte este del arrecife se encuentra una boca de aproximadamente 50m de longitud que constituye el camino de comunicación entre la zona oceánica y la laguna central (Lot-Helguera, 1968).

Isla Verde tienen en su longitud mayor 300 m y en la parte más ancha 170 m, lo que le confiere una forma alargada, con 2 pequeñas bahías opuestas que la estrechan en la parte media; una se localiza al NE y la otra al SW, al final de la cual se encuentra un faro.

Esta isla dista aproximadamente 8 km del Puerto de Veracruz y hasta hace poco tiempo era objeto de un intenso turismo.

En Isla Verde se seleccionaron 3 estaciones de muestreo; la estación No. 1 se ubicó en la parte oeste de la isla, en las cercanías del faro; la estación No. 2 se localizó en el norte proyectándose hacia la sección más extensa de la laguna central y la estación No. 3 estuvo en el este, en dirección del ya mencionado canal comunicante oceánico.

Isla de Enmedio

Su localización geográfica corresponde a $19^{\circ} 06'$ de latitud N y a $95^{\circ} 57.3$ de longitud. Este cayo arrecifal emerge al NW de la punta de Antón Lizardo y presenta un extensión aproximada de 0,6 km (Fig.2).

Entre los canales de mareas y corrientes que se forman dentro de la laguna arrecifal, el más importante se localiza en dirección NW-SE. Este canal divide en 2 a los "manchones" de *Thalassia testudinum* ubicados en la parte NE de la isla, el "manchón" del este y el "manchón" del oeste. Alrededor de la isla se localiza una serie de canales menores, todos ellos llevando una corriente moderada al interior de la laguna arrecifal.

La forma de la Isla de Enmedio corresponde a un semicírculo con alargamiento o prolongaciones en dirección Nw-SE. En esta isla se construyó un faro y hasta los últimos informes, las visitas de turistas se están restringiendo.

En Isla de Enmedio se seleccionaron 2 estaciones de muestreo, las cuales se ubicaron en la parte oeste y noroeste del lado de barlovento.

M E T O D O L O G Í A

En cada estación de muestreo se colectó agua, sedimento y hojas de Thalassia testudinum para su posterior análisis en el laboratorio, asimismo se registro la temperatura del agua superficial.

La colecta de agua de mar fue de acuerdo a la técnica emitida por IOCARIBE (1980) para medir el contenido de hidrocarburos disueltos y/o dispersos. Las muestras se tomaron en frascos ambar de 3.5 litros aproximadamente a una profundidad de un metro bajo la superficie. Posteriormente se le agregaron 50 ml de hexano en dos porciones sucesivas y los extractos se recogieron en frascos ambar de 125 ml aproximadamente.

Las muestras de sedimento superficial, se obtuvieron utilizando un frasco de vidrio, donde inmediatamente se le agregó de 50 a 100 ml de metanol para conservarlos antes de su análisis químico. Y finalmente se recolectaron manualmente vastagos del pasto marino Thalassia testudinum en cada estación de muestreo.

Las muestras de sedimento, agua de mar y vastagos de la fanerógama marina fueron congeladas a -20°C para su posterior análisis en el laboratorio.

Procedimientos Químicos:

A) Método de Extracción y Purificación de los Hidrocarburos Saturados y Aromáticos Contenidos en los Sedimentos Recientes y Hojas del Pasto Marino Thalassia testudinum.

Antes de iniciar el procedimiento de la extracción de los hidrocarburos, las hojas de la fanerógama marina fueron lavadas con ácido fosfórico al 5% para remover las especies epífitas (Zicman, 1974), y secadas a la intemperie, mientras que los sedimentos fueron secados en la estufa a 60°C. Posteriormente el material secado fue molido y tamizado en una malla de 60 de una longitud de paso de luz de 0.250 mm.

La determinación de hidrocarburos en sedimentos y hojas de Thalassia testudinum se realizaron según la metodología descrita por Botello en 1978, presentando algunas ligeras modificaciones (Fig.3).

Se inicia pesando 75 gr para muestras de sedimento y únicamente 5 gr para las hojas del pasto marino. En seguida cada muestra se hizo reflujar con 150 ml de metanol y después con 150 ml de benceno durante 6 horas en cada disolvente. Posteriormente ambos extractos se combinaron y se trataron con KOH (25% p/v) en metanol durante 3 horas, para saponificar los residuos lipídicos. La fracción no saponificable fue separada de la saponificable por medio de dos sucesivas extracciones de la solución alcalina con 50 ml de hexano, 50 ml de benceno y 10 ml de agua. Se desecha la fracción saponificable, mientras que la otra porción fue concentrada en un rotoevaporador y evaporada a sequedad en una parrilla.

a) Cromatografía de Adsorción.

Los hidrocarburos saturados y los no saturados se aislaron y purificaron en columnas de cromatografía de 30 cm de longitud y 1 cm de diámetro interno empacadas con gel de sílice y óxido de aluminio en proporción 3:1 (v/v). La alúmina y la sílice fueron desactivadas parcialmente al 5% con agua destilada.

El extracto de cada muestra se disolvió en 5 ml de hexano y se eluyó a través de la columna con 25 ml de hexano, 25 ml de benceno y 25 ml de metanol. Después de colectar cada fracción, se evaporó el disolvente a un volumen mínimo. Se colocó en un vial de vidrio previamente pesado y se evaporó a sequedad total. De esta manera se obtuvo el peso seco de cada fracción y finalmente su concentración gravimétrica.

Todo el material de vidrio que fue utilizado se lavo con mezcla crómica y se enjuagó con acetona.

b) Cromatografía de Gases.

Una de las fases más importantes en los estudios enfocados a evaluar los niveles de contaminación por hidrocarburos del petróleo es el análisis por cromatografía de gases.

Algunas fracciones procedentes de sedimentos y hojas del pasto marino fueron analizadas por la cromatografía de gases, empleándose un cromatografo de Gases Hewlett-Packard modelo 5890 equipado con un detector de ionización de flama y con una columna capilar tratada con metil-silicón SE-54 (25 m de largo y 0.33 mm de diámetro interno). La temperatura fue programada de 130 a 330 °C, con un incremento de 10 °C/min. para la fracción saturada y de 6°C/min. para la aromática. La temperatura del detector fue de 330 °C. Como gas de transporte se empleó nitrógeno con un promedio de flujo de 15 ml/min. La inyección fue programada a modo de split.

La abundancia de cada componente fue determinada por su correspondiente área en los picos de cada cromatograma, para ello se uso un integrador electrónico acoplado al sistema.

La identificación de los hidrocarburos contenidos en las fracciones saturadas y aromáticas se realizó comparando los cromatogramas obtenidos con aquellos característicos de estandares de compuestos conocidos que de antemano se sabe, forman parte del grupo de los hidrocarburos.

Con respecto a los cromatogramas correspondientes a la fracción alifática de sedimentos y hojas del pasto marino, se efectuaron ciertas mediciones que ayudarán a evaluar la presencia de hidrocarburos antropogénicos, siendo las siguientes:

- Se calculó el índice de carbono preferencial (CPI) de acuerdo a la siguiente fórmula enunciada por Bray y Evans (1961).

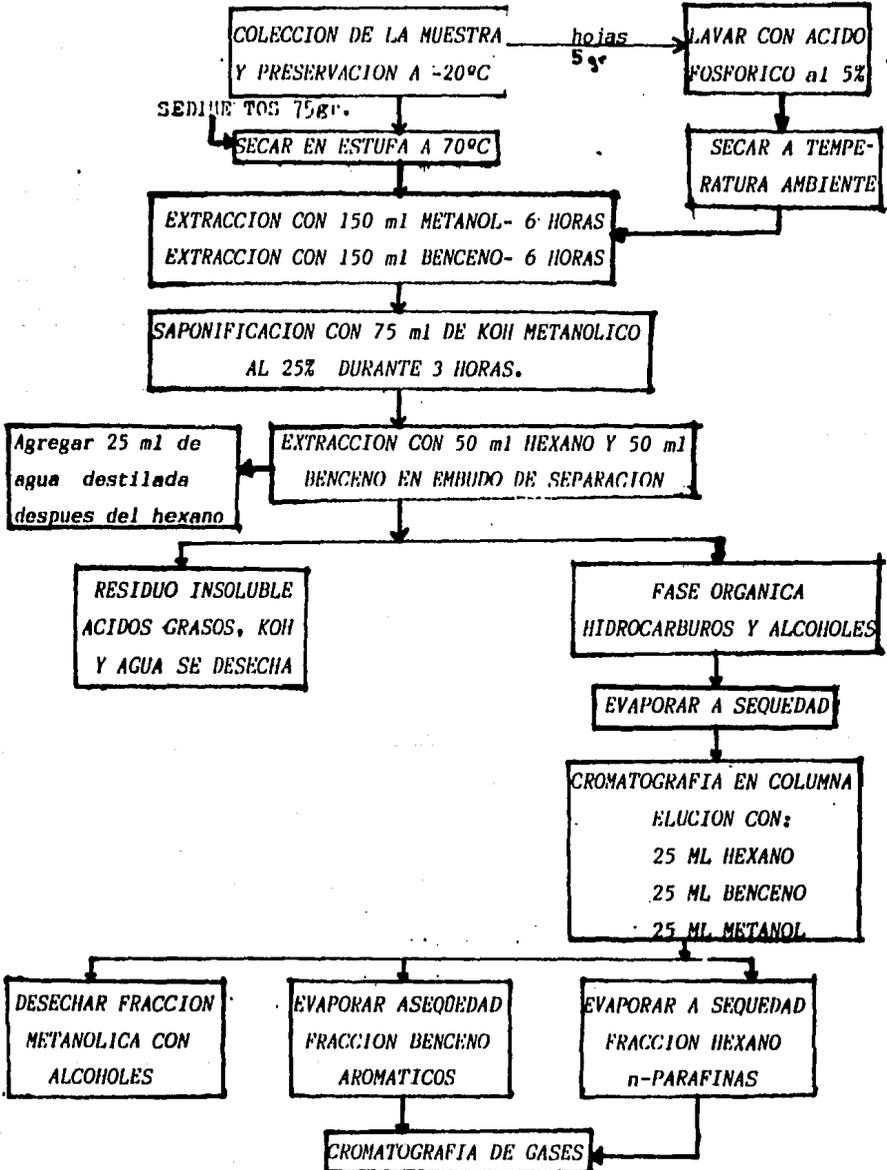
$$CPI = 1/2 \frac{\sum_{n=21}^{n=31} H. \text{ impares}}{\sum_{n=22}^{n=32} H. \text{ pares}} + \frac{\sum_{n=21}^{n=31} H. \text{ impares}}{\sum_{n=20}^{n=30} H. \text{ pares}}$$

Cálculo del CPI en un rango de n-C20 a n-C32.

- Se estimaron las relaciones entre Pristano / Fitano; n-C17 / n-C18; n-C17/Pristano; n-C18/Fitano.

FIGURA 3

Procedimiento químico del análisis de hidrocarburos saturados y aromáticos en muestras de sedimento y hojas del pasto marino (Botello, 1978).



Hidrocarburos Disueltos y Dispersos en el Agua de Mar.

Las muestras de agua tomadas según la técnica emitida por IOCARIBE (1980) son rotoevaporadas hasta 25 ml aproximadamente, después se agrega una cantidad suficiente de Na_2SO_4 anhidro para remover el exceso de agua. Las muestras son colocadas en matraces aforados de 25 ml y posteriormente fueron leídas por medio de un Fluorómetro Varian Mod. SF-3. Las lecturas se compararon con valores de un estandar de criceno previamente preparado. Ambas fracciones se leyeron a una longitud de onda de 310 a 360 nm.

A partir de los valores de emisión obtenidos de las soluciones estandar se construyó una curva, la cual nos dara la concentración de hidrocarburos disueltos y dispersos en las muestras de agua colectadas, valiéndose de la siguiente fórmula.

$$\text{Concentración de Hidrocarburos disueltos/dispersos (ug/l)} = \frac{\text{Conc. del extracto de la muestra ug/ml} \times \text{Volumen del extracto en ml}}{\text{Volumen de la muestra de agua original en lt.}}$$

Determinación de Materia Orgánica .

Para determinar los porcentajes de carbono orgánico se utilizó el método descrito por Gaudette et al. (1974).

RESULTADOS Y DISCUSION

HIDROCARBUROS DISUELTOS Y DISPERSOS EN EL AGUA DE MAR.

En la tabla II se encuentran anotados los resultados de las concentraciones de hidrocarburos disueltos y/o dispersos (ppb) correspondientes a muestras de agua de mar colectadas en la zona lagunar de las islas arrecifales estudiadas, durante las diferentes épocas de muestreo. La estimación de los hidrocarburos disueltos se efectuó a través del método de fluorescencia, por lo que únicamente se cuantificaron los hidrocarburos polinucleares (PAH)

Se advierte que durante los meses de Mayo y Octubre (84) no se registraron concentraciones de hidrocarburos disueltos en casi todas las estaciones de muestreo; mientras que en Marzo (85) sí se obtuvieron valores positivos, los cuales oscilaron en un rango muy estrecho de 1.3 a 4.8 ppb. Por lo tanto, durante el presente estudio, las concentraciones de hidrocarburos disueltos y/o dispersos no llegaron a sobrepasar la norma establecida para aguas contaminadas de 10 ppb (UNESCO, 1976). Sin embargo, al compararlas con los resultados de trabajos previos efectuados en y cerca de la zona arrecifal se encontró una marcada diferencia entre ellos, por ejemplo: Castro en 1983 reportó en las inmediaciones de Isla Verde niveles de hidrocarburos disueltos entre 8-43 ppb, con un valor promedio de 29.2 ppb; asimismo en otra evaluación efectuada en las cercanías al Puerto de Veracruz se detectaron concentraciones entre 0-43 ppb, presentando una media de 10.3 ppb (Botello et al, 1980) y más recientemente, en ese mismo lugar se registraron 14 ppb (Celis et al, 1987).

El hecho de registrar las más bajas concentraciones de hidrocarburos disueltos en la zona arrecifal estudiada no significa necesariamente que hayan cesado o disminuido los vertimientos del petróleo al mar ocasionados principalmente por la intensa actividad marítimo-portuaria que caracteriza a la zona y por el constante lavado de las cisternas de los buques-tanques que

TABLA II

Concentración en ppb de hidrocarburos disueltos y/o dispersos correspondientes a muestras de agua colectadas en las tres islas arrecifales de Veracruz, durante los meses de muestreo.

Localidad	Meses de Muestreo		
	Mayo 1984. (30°C)*	Octubre 1984 (29°C)*	Marzo 1985 (25°C)*
Isla Sacrificios-1	N.D.	N.D.	2.3
Isla Sacrificios-2	N.D.	N.D.	4.8
Isla Verde-1	N.D.	N.D.	3.8
Isla Verde-2	N.D.	N.D.	3.5
Isla Verde-3	N.D.	N.D.	2.3
Isla de Enmedio-1	N.D.	N.D.	3.8
Isla de Enmedio-2	8.5	N.D.	1.3

* Temperatura media mensual.

N.D.= No detectable.

también tienen lugar (Botello, com.pers.,1987). En principio debe considerarse que la cuantificación de los hidrocarburos disueltos y/o dispersos por medio de la técnica empleada, esta sujeta a variaciones ambientales que modifican la composición y permanencia de estos compuestos en el medio marino, así como a posibles ambigüedades durante su determinación, ya que el método además de poco sensitivo, no es específico. Por estas razones los datos obtenidos no son concluyentes en afirmar o descartar un problema de contaminación por petróleo, y deben ser complementados con otros parámetros para obtener una información más veraz sobre la posible presencia de hidrocarburos fósiles en los ecosistemas costeros.

La acción conjunta de los procesos de intemperización posiblemente influyeron a diferentes niveles sobre la composición y cuantificación de los hidrocarburos disueltos y/o dispersos detectados en las zonas de estudio, siendo considerados los siguientes:

1) La evaporación. A través de ella, los PAH de bajo peso molecular son removidos de la columna de agua. En zonas cálidas o semicálidas, la tasa de evaporación se incrementa debido a la conjunción de varios factores como son las altas temperaturas, acción del oleaje y vientos. A este respecto, posiblemente las altas temperaturas ($> 29^{\circ}\text{C}$) registradas en el agua superficial de la zona lagunar de las islas durante Mayo y Octubre (84) fueron en parte responsables de la no detección de hidrocarburos disueltos; mientras que en Marzo (85) al presentarse temperaturas menores ($< 25^{\circ}\text{C}$), la tasa de evaporación disminuyó y por consiguiente se detectaron concentraciones de hidrocarburos disueltos.

La pequeña diferencia de temperatura presente entre los meses de Mayo y Octubre (84) con respecto a Marzo (85) ha sido confirmada también en los reportes climatológicos efectuados en el Puerto de Veracruz (Secretaría de la Marina, 1982), así como los datos fisico-químicos obtenidos anualmente en isla Verde (Camargo, S.F.com. pers.).

La foto-oxidación. En este proceso se degradan principalmente los PAH de alto peso molecular (más de 3 anillos bencénicos). Las áreas donde

prevalecen aguas claras, cálidas, ricas en oxígeno y están expuestas a cambios en la radiación solar -como las zonas arrecifales- son lugares idóneos para la realización de las reacciones de foto-oxidación (Noff, 1979). También debido a la tendencia que poseen los PAH pesados a adherirse a las superficies del material particulado (partículas calcáreas, orgánicas o sólidas) que flotan en la columna de agua, dichos compuestos son más susceptibles a ser fácilmente foto-oxidados.

3) Las lagunas arrecifales se encuentran delimitadas por una barrera coralina, sin embargo en ciertos sitios, ésta se interrumpe por la presencia de canales que permiten una circulación libre de las aguas oceánicas las cuales acarrearán un flujo continuo de sedimento fino originados por la desintegración de las madréporas, de algas calcáreas y de ciertos organismos muertos provenientes de la zona del antearrecife. Considerando lo anterior las películas de petróleo o aceite que contengan las aguas oceánicas muy probablemente ingresarán a las aguas interiores de la laguna arrecifal a través de los canales, ya sean disueltos en el agua o adsorbidos a las partículas de sedimentos finos, las cuales finalmente se depositarán en la laguna.

4) La actividad mareal juega un papel importante en la movilización de los hidrocarburos disueltos y/o dispersos en las zonas costeras someras. Probablemente la fuerza continua, aunque pequeña del oleaje y corrientes superficiales que prevalecen en la zona lagunar de las islas arrecifales, ocasionan inevitablemente la resuspensión y acarreamiento del material calcáreo, arenas finas y partículas orgánicas. De esta manera y debido al carácter hidrofóbico de los PAH son fácilmente adsorbidos a dichos materiales y por lo cual se facilita su sedimentación.

CONCENTRACION GRAVIMETRICA (ppm) DE LOS HIDROCARBUROS SATURADOS Y AROMATICOS
DETECTADOS EN LOS SEDIMENTOS RECIENTES

En las tablas III, IV y V se encuentran anotadas las concentraciones gravimétricas de los hidrocarburos totales (ppm) correspondientes a los sedimentos recientes de las tres islas arrecifales de Veracruz (Isla Sacrificios, Isla Verde e Isla de Enmedio) durante las diferentes épocas de muestreo. Las tablas muestran por separado la concentración de cada fracción de hidrocarburos (saturada y aromática), siendo la suma de ellas el valor de los hidrocarburos totales. Así también se anexaron los valores obtenidos de la relación fracción aromática/parafinas y los porcentajes de carbono orgánico.

Las concentraciones de hidrocarburos totales que registraron los sedimentos a través de las diferentes épocas de muestreo fueron las siguientes: en Mayo (84) los niveles de hidrocarburos oscilaron entre 116 a 171 ppm, con un valor promedio de 144 (Tabla III); en Octubre (84) las concentraciones variaron de 61 a 211 ppm, teniéndose una media de 151 ppm (Tabla IV); y finalmente en Marzo (85) fué donde se presentaron los más bajos niveles de hidrocarburos, entre 46 a 104 ppm, con un valor promedio de 66 ppm (Tabla V).

Con respecto a los niveles de hidrocarburos reportados en los sedimentos pertenecientes a cada isla arrecifal, a lo largo del presente estudio se encontraron los siguientes resultados:

Isla Sacrificios.- Presentó una concentración promedio de hidrocarburos totales de 120 ppm. La estación No. 1 no difirió en los niveles detectados de la estación No. 2, encontrándose valores promedios de 128 ppm y 113 ppm, respectivamente.

TABLA III

Concentración gravimétrica de hidrocarburos saturados, aromáticos y totales (ppm peso seco); relación aromática/saturadas y porcentaje de carbono orgánico en sedimentos recientes correspondientes a las tres islas arrecifales de Veracruz, en el mes de Mayo de 1984.

Localidad	Saturados	Aromáticos	Totales	Art/Sat.	% Carb. org.
Isla Sacrificios-1	84	32	116	0.38	0.53
Isla Sacrificios-2	68	100	168	1.47	0.57
Isla Verde-1	60	111	171	1.85	0.41
Isla Verde-2	45	101	146	2.24	0.49
Isla Verde-3	52	97	149	1.87	0.63
Isla de Enmedio-1	77	57	134	0.74	0.53
Isla de Enmedio-2	65	57	122	0.88	0.64
\bar{X}	64	79	144	1.34	0.54
Mínimo	45	52	116	0.30	0.41
Máximo	84	111	171	2.24	0.64

TABLA IV

Concentración gravimétrica de hidrocarburos saturados, aromáticos y totales (ppm peso seco); relación aromática/saturada y porcentaje de carbono orgánico en sedimentos recientes correspondientes a las tres islas arrecifales de Veracruz, en el mes de Octubre de 1984.

Localidad	Saturados	Aromáticos	Totales	Art/Sat	% Carb. org.
Isla Sacrificios-1	88	123	211	1.4	0.36
Isla Sacrificios-2	63	40	103	0.63	0.39
Isla Verde-1	32	29	61	0.91	0.51
Isla Verde-2	105	89	194	0.85	0.38
Isla Verde-3	76	72	148	0.95	0.68
Isla de Enmedio-1	67	100	167	1.49	0.30
Isla de Enmedio-2	119	51	170	0.43	0.41
\bar{X}	79	72	151	0.95	0.43
Mínimo	32	29	61	0.43	0.30
Máximo	119	123	211	1.49	0.68

TABLA V

Concentración gravimétrica de hidrocarburos saturados, aromáticos y totales (ppm peso seco); relación aromática/saturada y porcentajes de carbono orgánico en sedimentos recientes correspondientes a las tres islas arrecifales de Veracruz, en el mes de Marzo de 1985.

Localidad	Saturados	Aromáticos	Totales	Art/Sat	% Carb. org.
Isla Sacrificios-1	40	17	57	0.43	0.41
Isla Sacrificios-2	40	29	69	0.73	0.40
Isla Verde-1	52	52	104	1.0	0.49
Isla Verde-2	31	41	72	1.32	0.49
Isla Verde-3	31	52	83	1.68	0.47
Isla de Enmedio-1	23	12	35	0.52	0.15
Isla de Enmedio-2	21	25	46	1.19	0.43
\bar{X}	34	33	66	0.98	0.40
Mínimo	21	12	46	0.43	0.15
Máximo	52	52	104	1.68	0.49

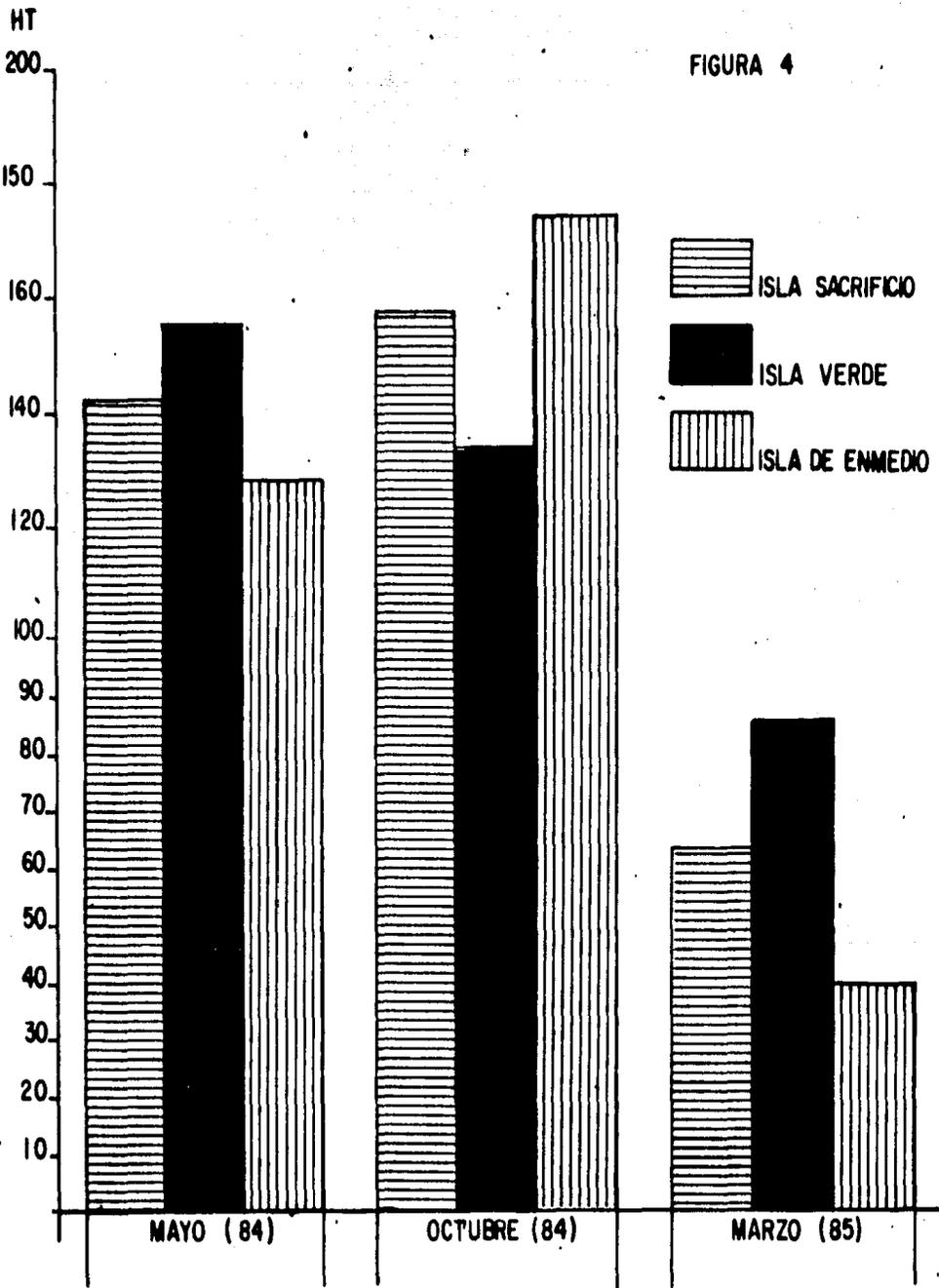
Isla Verde.- Su concentración promedio de hidrocarburos totales fue la más alta, 125 ppm. La estación No. 1 presentó el menor valor promedio de 112 ppm; mientras que las estaciones 2 y 3 tuvieron valores ligeramente superiores siendo de 137 y 126 respectivamente.

Isla de Enmedio.- La concentración de hidrocarburos totales registradas en las dos estaciones fueron iguales, correspondiendo en promedio para la estación No. 1 niveles de 112 ppm y la No. 2 de 113 ppm.

Por otro lado, en la Fig. 4, se visualiza de manera más detallada los resultados anteriormente descritos. Se advierte que los meses de Mayo y Octubre (84) los sedimentos provenientes de las tres islas arrecifales presentaron las más altas concentraciones de hidrocarburos, siendo muy similares entre ellas, estos valores sobrepasaron en gran medida el nivel de las 70 ppm (línea discontinua) el cual ha sido referido por algunos investigadores (Blumer y Sass, 1972 y NAS, 1975) como la concentración máxima de hidrocarburos totales registrada para sedimentos de zonas costeras no contaminadas por petróleo. También estas altas concentraciones de hidrocarburos excedieron las 100 ppm (línea continua) que de acuerdo a Macko y sus colaboradores (1981) califican a las zonas costeras como crónicamente contaminadas por petróleo.

En el mes de Marzo (85) se observa una disminución significativa ($p < 0.001$) en los niveles de hidrocarburos de todas las muestras de sedimento analizadas, siendo sus valores promedios menores o similares a las 70 ppm.

Se cuenta con un estudio previo efectuado en las cercanías al Puerto de Veracruz, (Botello, et al 1981) en el cual se detectaron concentraciones de hidrocarburos totales en los sedimentos recientes de 43 ppm, 52 ppm y 38 ppm durante los meses de Abril, Septiembre y Noviembre de 1981 respectivamente. A pesar de haberse encontrado niveles pequeños de hidrocarburos, los resultados de los análisis por cromatografía evidenciaron finalmente una contaminación incipiente por petróleo en dicha zona.



CONCENTRACION GRAVIMETRICA EN ppm DE HIDROCARBUROS TOTALES (HT) EN SEDIMENTO RECIENTE CORRESPONDIENTE A LAS TRES ISLAS ARRECIFALES DEL PUERTO DE VERACRUZ, EN LAS DIFERENTES EPOCAS

De acuerdo a lo anterior, el haber detectado concentraciones más elevadas de hidrocarburos en sedimentos colectados durante Mayo y Octubre (84) posiblemente refleja la presencia de hidrocarburos no biogénicos. Sin embargo, estos niveles de hidrocarburos no llegan a equipararse con las reportadas en los Rios Coatzacoalcos y Tonalá, ya que en esos sitios se encontraron concentraciones de hidrocarburos promedio de 680 ppm y 1189 ppm respectivamente, por lo cual, estas zonas estuarinas han sido consideradas "áreas críticas" por la intensa contaminación por petróleo, siendo consideradas uno de los sitios más contaminados en el mundo (Botello y Pérez, 1986).

En relación a los resultados de la relación fracción aromática/saturada, en los sedimentos se obtuvo lo siguientes: en el mes de Mayo (84) un poco más de la mitad (57%) de los sedimentos analizados presentaron resultados superiores a los de la fracción saturada; en Octubre (84) solamente un 29% y en Marzo (85) un 43%. Así también al comparar los valores de la relación aromática/saturada entre cada isla, se detectó que más de la mitad de los sedimentos muestreados en isla Verde (67%) presentaron concentraciones de hidrocarburos aromáticos superiores a la de los saturados; en los sedimentos de Isla de Enmedio y en los de Isla Sacrificios se presentó un 50% y un 33% respectivamente (Tablas III, IV y V).

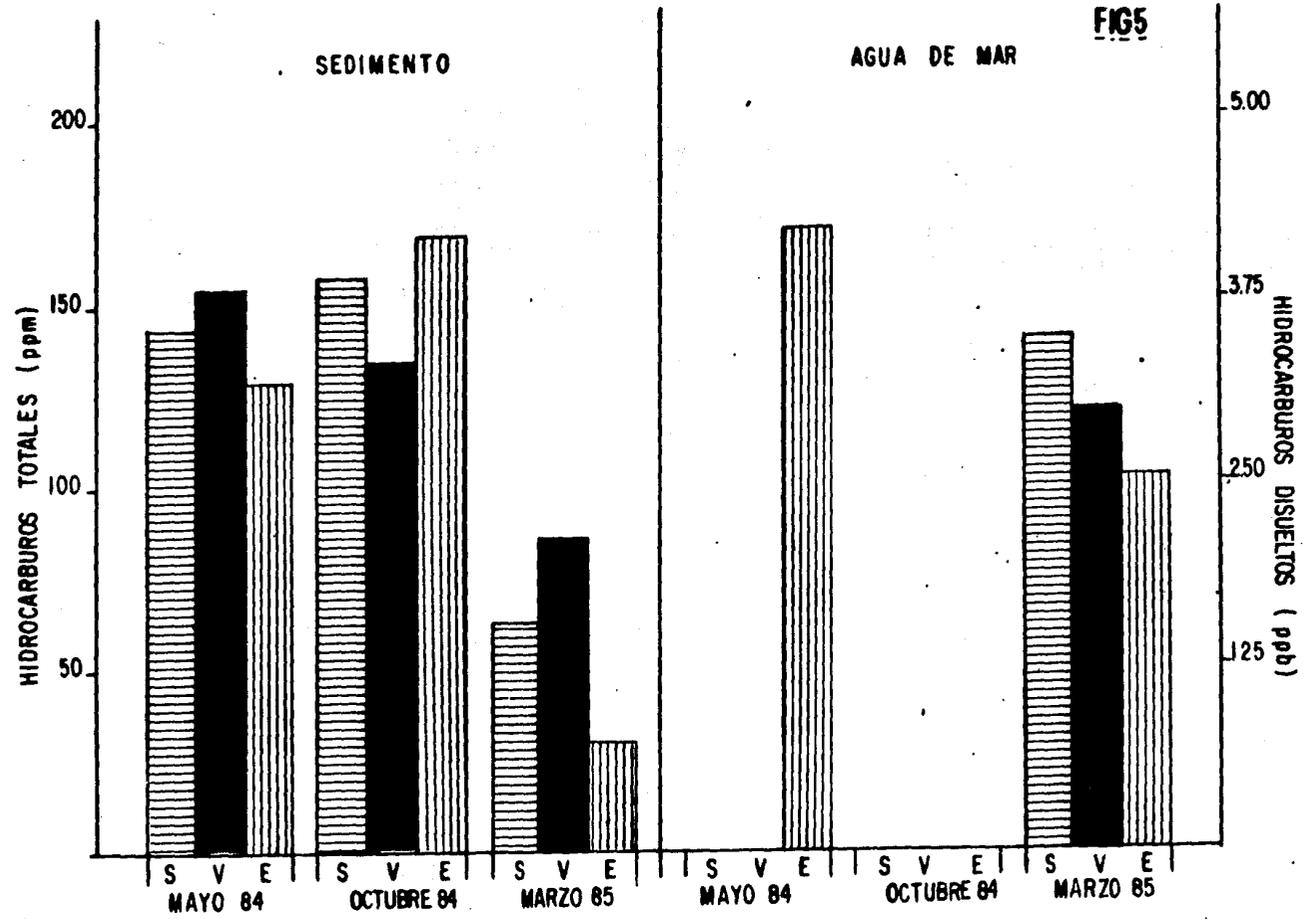
Se ha evidenciado que aquellos sedimentos correspondientes a zonas costeras donde la contaminación por hidrocarburos del petróleo y derivados es ligera o nula, las concentraciones de hidrocarburos saturados sobrepasa a la de los aromáticos, presentándose una relación hasta dos veces mayor (Farrington, 1985). Por tal motivo, el haber encontrado en la mayoría de los sedimentos analizados concentraciones de hidrocarburos aromáticos superiores a la fracción saturada, señala muy probablemente la presencia de hidrocarburos petrogénicos en los sedimentos de las zonas arrecifales. Sin embargo, para reforzar dicha suposición, es necesario contar con los resultados obtenidos por los análisis cromatográficos, los cuales posteriormente serán descritos.

Es importante resaltar la relación inversamente proporcional que prevaleció entre los resultados de las concentraciones de hidrocarburos totales en sedimentos con respecto a los niveles de hidrocarburos disueltos y/o dispersos en la columna de agua a lo largo del presente estudio. Es decir, cuando en Mayo y Octubre (84) no se detectaron concentraciones de hidrocarburos disueltos en el agua, en los sedimentos recientes se presentaron los más altos niveles de hidrocarburos; de manera diferente en Marzo (85) se registraron mayores concentraciones de hidrocarburos disueltos, mientras que los niveles de hidrocarburos en sedimentos disminuyeron en comparación a los anteriores muestreos (Fig. 5).

Botello et al, 1986, encontró que los niveles de hidrocarburos en agua y sedimentos recientes de los ríos Coatzacoalcos, Tonalá y Laguna del Ostión, también confirmaron una relación inversa entre dichas variables. Pareciera ser que la explicación a este fenómeno reside en la importancia que ejercen los procesos de dilución y sedimentación en el flujo de los hidrocarburos presentes en esas áreas estuarinas (Botello, et al 1986). Tomando en cuenta lo anterior, es probable que en el presente estudio se hayan presentado situaciones similares a las descritas, a pesar de las características diferentes que tienen los arrecifes en relación a los estuarios.

En cuanto al contenido de carbono orgánico en los sedimentos estudiados, se detectaron pequeños porcentajes de carbono orgánico. A este respecto, el promedio de carbono orgánico detectado en los sedimentos de todas las estaciones de muestreo colectados en Mayo, Octubre (84) y Marzo (85) fueron de: 0.54%, 0.43% y 0.40% respectivamente. Asimismo la variación promedio en los porcentajes de carbono orgánico entre los sedimentos correspondientes a cada isla estudiada fue mínima, presentándose en Isla Sacrificios 0.44%; en Isla Verde de 0.51% y para Isla de Enmedio fué de 0.47% (Tablas III, IV, V).

Era de esperarse que los valores promedios en el contenido de carbono orgánico de las muestras analizadas fueran bajos, ya que los sedimentos de la laguna arrecifal están constituidos principalmente por arenas mezcladas con restos de coral, a pesar del material orgánico (detritus) que



RELACION DE LAS CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS TOTALES EN SEDIMENTOS Y LOS NIVELES DE HIDROCARBUROS DISUELTOS / DISPERSOS DETECTADOS EN, ISLA SACRIFICIO (S), ISLA VERDE (V), ISLA DE ENMEDIO (E), DURANTE EL PRESENTE ESTUDIO.

suministran los pastizales marinos, el cual es consumido inmediatamente por los subsiguientes niveles tróficos existentes en el ecosistema arrecifal.

En cuanto al contenido de material orgánico y la cantidad de hidrocarburos totales presentes en los sedimentos recientes analizados, no se encontró una relación directa significativa entre ellos ($r = 0.172$). Tal relación ha sido constatada en aquellos sistemas costeros de latitudes templadas (Farrington y Quinn, 1973; Boehm y Quinn, 1978); sin embargo en estudios realizados en zonas tropicales o subtropicales no se ha presentado (Van Vleet et al, 1984).

CONCENTRACIONES GRAVIMÉTRICAS (ppm) DE LOS HIDROCARBUROS TOTALES (saturados y aromáticos) DETECTADOS EN LAS HOJAS DE Thalassia testudinum.

Los resultados de las concentraciones gravimétricas de los hidrocarburos totales en las hojas de Thalassia testudinum, provenientes de las tres islas arrecifales de Veracruz durante el presente estudio se encuentran anotadas en las Tablas VI, VII y VIII, en los cuales se muestran los niveles alcanzados en cada fracción de hidrocarburos (n-parafinas y aromáticos) y los valores de la relación aromáticos/saturados.

En promedio, la concentración global de los hidrocarburos totales presentes en las hojas del pasto marino, para todos los meses de muestreo fue de 1619 ppm, con un rango de 580 ppm a 3180 ppm. Los datos obtenidos en el mes de Mayo (84) oscilaron entre 1320-2080 ppm, con un valor promedio de 1729 (Tabla VI). Para el mes de Octubre (84) los valores estuvieron entre 818 ppm a 3180 ppm con una media de 1731 ppm (Tabla VII). Y finalmente en Marzo (85) se presentó un valor promedio de 1397 ppm en un rango que varió de 580-2220 ppm (Tabla VIII).

De las variaciones en los niveles promedios de hidrocarburos totales que presentó la faunoflora marina establecidas en cada una de las tres islas arrecifales durante el presente estudio, se puede observar lo siguiente:

Isla Sacrificios. En contraste con los resultados en los sedimentos, las praderas localizadas en la estación No. 2 presentaron niveles de hidrocarburos totales mayores en un 19% a los detectados en la estación No. 1. La concentración promedio de hidrocarburos totales para esta isla fue de 1735 ppm.

Isla Verde.- Al igual que los sedimentos, la estación No. 1 registró los niveles más pequeños de hidrocarburos totales en las hojas del pasto marino (1013 ppm). La estación No.2 presentó un incremento del 51% en relación a los valores de la estación No. 1; mientras que la estación No. 3

TABLA VI

Concentración gravimétrica de hidrocarburos saturados, aromáticos, totales (ppm peso seco) y relación aromática/saturada en hojas de Thalassia testudinum correspondientes a las tres islas arrecifales de Veracruz, en el mes de Mayo de 1984.

Localidad	Saturados	Aromáticos	Totales	Art/Sat
Isla Sacrificios-1	480	1260	1740	2.6
Isla Sacrificios-2	952	1119	2071	1.2
Isla Verde-1	660	660	1320	1.0
Isla Verde-2	680	1060	1740	1.6
Isla Verde-3	740	640	1380	0.9
Isla de Enmedio-1	630	1140	1770	1.8
Isla de Enmedio-2	680	1400	2080	2.1
\bar{X}	689	1040	1729	1.6
Mínimo	480	640	1320	0.9
Máximo	952	1400	2080	2.6

TABLA VII

Concentración gravimétrica de hidrocarburos saturados, aromáticos, totales (ppm peso seco) y relación aromática/saturada en hojas de Thalassia testudinum correspondientes a las tres islas arrecifales de Veracruz, en el mes de Octubre de 1984.

Localidad	Saturados	Aromáticos	Totales	Art/Sat
Isla Sacrificios-1	760	800	1560	1.1
Isla Sacrificios-2	1060	1160	2220	1.1
Isla Verde-1	523	295	818	0.6
Isla Verde-2	1280	1900	3180	1.5
Isla Verde-3	640	1620	2260	2.5
Isla de Enmedio-1	960	80	1040	0.1
Isla de Enmedio-2	40	1000	1040	25
\bar{X}	752	979	1731	1.15
Mínimo	40	80	818	0.1
Máximo	1280	1900	3180	2.5

TABLA VIII

Concentración gravimétrica de hidrocarburos saturados, aromáticos, totales (ppm peso seco) y relación, aromática/saturada en hojas de Thalassia testudinum, correspondiente a las tres islas arrecifales de Veracruz, en el mes de Marzo de 1985.

Localidad	Saturados	Aromaticos	Totales	Art/sat
Isla Sacrificio-1	1240	220	1460	0.20
Isla Sacrificio-2	880	480	1360	0.50
Isla Verde-1	40	860	900	21.50
Isla Verde-2	440	780	1220	1.80
Isla Verde-3	1360	680	2040	0.50
Isla de Enmedio-1	360	220	580	0.60
Isla de Enmedio-2	1700	520	2220	0.30
\bar{X}	860	537	1397	0.65
Mínimo	40	220	580	0.20
Máximo	1700	860	2220	1.80

fueron mucho más altos, siendo un 87% superior a la estación No.1. La concentración media de hidrocarburos totales en esta isla fue de 1651 ppm.

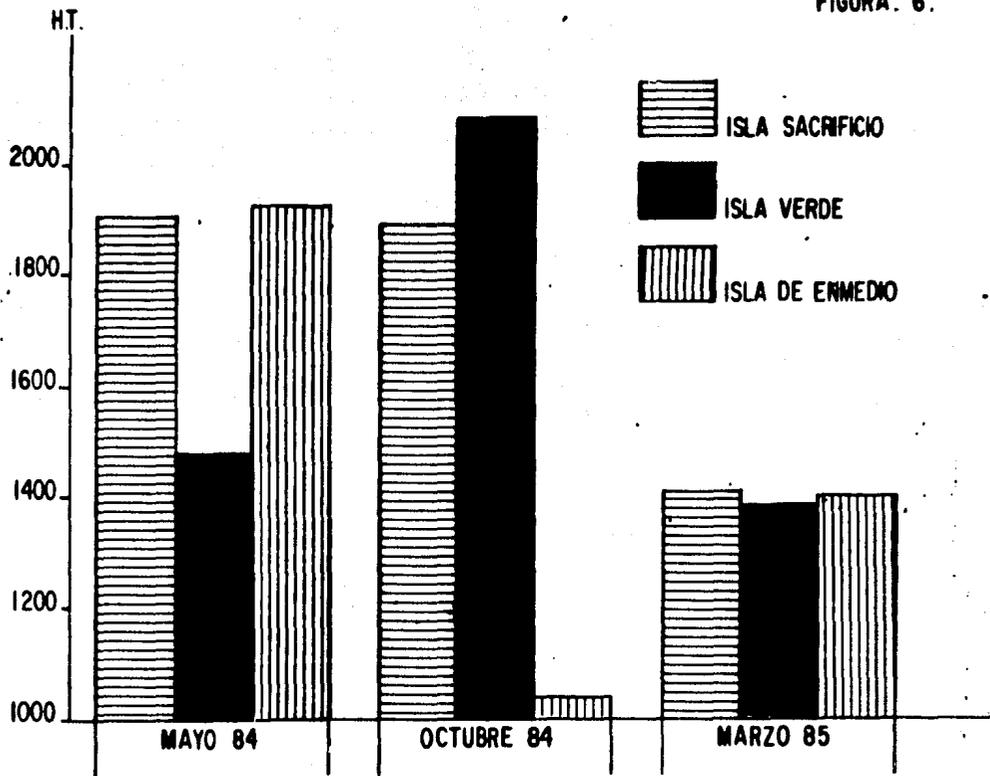
Isla de Enmedio. A diferencia de los datos referentes al sedimento, las estaciones localizadas en esta Isla presentaron valores notoriamente diferentes en el contenido de hidrocarburos totales en las hojas del pasto marino, ya que la estación No.2 fue 58% mayor que la No. 1. La concentración promedio de hidrocarburos fue de 1572 ppm.

De los resultados anteriores se desprende el hecho de que los valores en las concentraciones de hidrocarburos totales en los sedimentos de cada una de las estaciones muestreadas en las tres islas estudiadas no mantuvieron una relación directa con los datos obtenidos en las hojas de la fanerógama marina ($r=0.309$). Sin embargo, de una manera global se observa que los niveles de hidrocarburos totales contenidos en las hojas de Thalassia testudinum de las tres islas arrecifales presentaron variaciones temporales similares a las encontradas en las muestras de sedimento (Figs.4 y 6). Esta similitud en el comportamiento de los resultados gravimétricos entre sedimento y hojas del pasto marino probablemente indiquen la existencia de un reciclamiento de hidrocarburos entre el sedimento y la planta.

Es importante señalar también que las concentraciones de hidrocarburos totales en las hojas del pasto marino fueron notoriamente más altas que las obtenidas en los sedimentos siendo aproximadamente 14 veces superiores.

Muy probablemente esta diferencia se debe a que las hojas de la fanerógama marina contienen cantidades considerables de lípidos no saponificables (fitol, b-caroteno y esteróides) los cuales a través de la técnica de extracción y aislamiento de los hidrocarburos, no llegan a excluirse por completo, por lo cual, debido a su afinidad química y estructural se incorporan a las fracciones de hidrocarburos preferentemente en la aromática.

FIGURA. 6.



CONCENTRACION GRAVIMETRICA EN ppm DE HIDROCARBUROS TOTALES (HT) EN HOJAS DE *Thalassia testudinum* CORRESPONDIENTE A LAS TRES ISLAS ARRECIFALES DEL PUERTO DE VERACRUZ EN LAS DIFERENTES EPOCAS DE MUESTREO

En cuanto a los resultados de la relación de las fracciones aromática/saturadas en las hojas de Thalassia se observa que en Mayo un 86 % del total de las muestras tuvieron niveles de hidrocarburos aromáticos superiores a la de los saturados; en Octubre y Marzo fueron de un 67% y 17% respectivamente . Con respecto a los resultados promedios de la relación aromática/saturada, obtenidos en cada isla, se evidenciaron los siguientes porcentajes: Isla Sacrificios, 67%; Isla Verde, 62% e Isla de Enmedio un 40%.

Los pastos marinos son capaces de biosintetizar hidrocarburos saturados a través de una serie de mecanismos bioquímicos (Youngblood et al, 1971; Youngblood y Blumer, 1973). Sin embargo, no se ha verificado la formación de hidrocarburos aromáticos en sus tejidos.

Se cuenta con estudios previos, enfocados a conocer y cuantificar el contenido de los hidrocarburos biogénicos que poseen los pastos marinos provenientes de zonas costeras, aún no afectadas por la presencia de petróleo crudo y derivados (Botello, 1978; Botello y Mandelli, 1978). Al comparar los niveles promedios de n-parafinas presentados en éstas investigaciones con los detectados en el presente estudio, encontramos de manera general, que en este último presenta valores 8 veces superiores (Tabla IX).

En estudios más recientes (Celis, comunicación personal; Botello et al, 1986) cuyos análisis de hidrocarburos se realizaron de manera paralela a los del presente estudio, se evidenció que los niveles de n-parafinas detectadas en las hojas de Thalassia provenientes de la Laguna de Términos fueron similares a los aquí expuestos; mientras que los valores referidos a las praderas de la Laguna de Nichupté (Bojorquez) fueron 4 veces inferiores (Tabla IX).

Hasta el momento se dispone de evidencias sobre la incorporación y acumulación de hidrocarburos fósiles en los tejidos foliares de Thalassia testudinum (Botello y Mandelli, 1979; Botello, 1980). En dichos trabajos, se observa que las hojas contaminadas presentaron un claro aumento en los

TABLE IX.

Cuadro comparativo de trabajos realizados en el Golfo de México relacionados con características de la fracción n-parafinas de las hojas de *Thalassia testudinum*.

Localidad	n-Parafinas		Valores	Predominancia	Referencias
	Rango	Concentración(ppm)	CPI		
Laguna de Términos, Campeche, Mex.	C16-C25	110	2.39	C17-C23-C24-C20-C25	Botello y Mandelli, 1978
Laguna de Términos, Campeche, Mex.	C16-C25	---	4.04	C17-C19-C25-C21-C18	Botello y Mandelli, 1979
Laguna de Términos, Campeche, Mex.	C14-C25	A-36 D-110	A 6.16 D 2.07	C17-C19-C21-C15 C17-C19-C16-C15-C19(1)	Botello, 1980.
Laguna de Nichupté, Quintana Roo, Mex.	C15-C25	---	5.44	C17-C19-C15-C21-C23	Botello y Mandelli, 1979
Bahía de Redfish, Texas, U.S.A.	C15-C27	---	7.73	C21-C23-C19-C17-C25	Ataway et al, 970.
Bahía de Redfish, Texas, U.S.A.	C17-C25	---	6.33	C17-C15-C19-C21-C23	Botello y Mandelli, 1979
Isla Verde, Veracruz, México.	C15-C25	---	8.00	C17-C19-C15-C21-C23	Botello y Mandelli, 1979
Isla Verde, Veracruz, México.	C14-C23	85	8.18	C17-C19-C21-C15-C23	Botello, 1978.
Isla Verde, Veracruz, México.	C14-C32	790	1.28	C14-C15-C16-C17-C18	Este estudio.
Isla Sacrificios, Veracruz, México.	C14-C32	895	1.25	C14-C15-C16-C17-C18	Este estudio.
Isla de Enmedio, Veracruz, México.	C14-C32	866	1.30	C14-C15-C16-C17-C18	Este estudio.
Laguna de Término, Campeche, México.	C13-C25	935	1.24	-----	Celis, Comunic. personal.
Laguna de Bojórquez, Quintana Roo, Mex.	-----	235	-----	-----	Botello, 1986.

Las letras A y D significan antes y después del derrame del Pozo Ixtoc I (Botello, 1980).

niveles de n-parafinas y la presencia de compuestos aromáticos.

De esta manera, probablemente los niveles elevados de n-parafinas y la presencia de cantidades considerables de hidrocarburos aromáticos señaladas en el presente estudio, indican que además de los hidrocarburos biogénicos que contienen las hojas de Thalassia testudinum se advierte la presencia de hidrocarburos fósiles. Sin embargo, lo anterior será confirmado posteriormente al valorar los resultados obtenidos por el análisis de cromatografía de gases.

IDENTIFICACION Y CUANTIFICACION DE LOS HIDROCARBUROS SATURADOS EN SEDIMENTOS
RECIENTES A TRAVES DEL ANALISIS POR CROMATOGRAFIA DE GASES.

Del total de las muestras de sedimentos extraídos por la técnica de Botello (1978), solamente nueve se analizaron por cromatografía de gases. Para ello se seleccionaron muestras representativas de cada época de muestreo e isla arrecifal, correspondiendo en general valores de concentración gravimétrica altos y bajos para comprobar la existencia de diferencias significativas entre ellas, a través de su identificación cromatográfica. De esta manera en la Tabla X se observan los resultados de la fracción alifática de muestras de sedimento recientes. En el lado izquierdo de la Tabla X se reportan, a modo de comparación, dos formas de expresión de la concentración de la fracción saturada. La calculada por el método gravimétrico (concentración gravimétrica ó CG) y la obtenida por el análisis cromatográfico (concentración cromatográfica ó CC).

Se puede observar que las muestras de Isla Sacrificios registraron una CG media de 57 ppm, mientras que la CC promedio fue de 5.6 ppm. Para Isla Verde la CG media fue de 67 ppm con una CC promedio de 5.7 ppm, y finalmente en Isla de Enmedio la CG media fue de 73 ppm y la CC promedio de 8.0 ppm.

Se advierte que todos los valores de la CG fueron superiores a los de la CC. Este comportamiento era esperado, si consideramos que el proceso requerido para aislar y purificar la fracción de los hidrocarburos por el método gravimétrico, no posee una eficiencia óptima, ya que es imposible evitar la presencia de otros compuestos afines como los isoprenoides, hidrocarburos cíclicos y otros; en cambio las concentraciones obtenidas a través de los análisis cromatográficos son más selectivas, ya que incluyen únicamente los hidrocarburos alifáticos.

Un hecho evidente respecto a las diferencias que prevalecen en los dos modos de referir la concentración de hidrocarburos, es que los valores de la CG son consistentemente 10 veces superiores a los valores de la CC; esta

TABLA X
Concentración gravimétrica (CG), cromatográfica (CC) y estimación de parámetros relacionados con las fracciones saturadas correspondientes a los sedimentos recientes de las tres islas arrecifales de Veracruz, durante el presente estudio.

Localidad de la estación	Concentración		CPI (C14-C26)	Pristano Fitano	n-C17 Pristano	n-C18 Fitano	n-C17 n-C18
	CG (ppm)	CC (ug/g)					
S-I-2	68	6.45	0.82	1.30	2.43	4.06	0.78
S-II-2	63	5.17	1.04	1.98	3.07	4.84	1.26
S-III-2	40	5.09	0.87	1.44	2.26	6.08	0.54
X	57	5.57	0.91±0.05	1.57±0.21	2.59±0.25	4.99±0.59	0.86±0.21
V-I-2	45	1.28	1.00	1.20	2.36	4.06	0.69
V-II-2	105	11.26	0.98	1.66	2.73	4.19	1.08
V-III-1	52	4.67	0.98	1.48	3.15	5.33	0.88
X	67	5.74	0.99±0.005	1.45±0.55	2.75±0.23	4.53±0.40	0.88±0.11
E-I-1	77	8.88	0.92	1.20	2.30	3.99	0.69
E-II-2	119	12.55	0.99	1.80	2.50	4.31	1.05
E-III-1	23	2.62	0.52	1.82	2.45	8.27	0.24
X	73	8.02	0.81±0.12	1.61±0.20	2.42±0.06	5.52±1.38	0.66±0.23

Nota.- La clave de las estaciones debe interpretarse de la siguiente manera:
- La primera letra corresponde a la isla: Sacrificios (S), Verde (V) y Enmedio (E).
- El número romano se refiere a la época de muestreo: Mayo 1984 (I), Octubre 1984 (II) y Marzo 1985 (III).
- El número arábigo indica la estación.

constancia verifica los enunciados anteriormente expuestos y mide indirectamente la eficacia de las técnicas de extracción utilizadas.

Por otro lado, al comparar las concentraciones cromatográficas de los hidrocarburos saturados en los sedimentos recientes analizados con las reportadas por Venkatesan y sus colaboradores (1980) en sedimentos contaminados primordialmente por hidrocarburos del petróleo, de la Isla de San Pedro, E.U.A., se encontró una similitud entre ellas.

Para verificar si la fracción alifática de los sedimentos estudiados se ve modificada por la presencia de hidrocarburos petrogénicos, es necesario hacer referencia de ciertos parámetros que han sido empleados como herramientas para evidenciar tal contaminación, los cuáles posteriormente se mostraran en la Tabla X.

Composición Porcentual de la Fracción Alifática.

De acuerdo con los resultados obtenidos en los registros cromatográficos, se construyó un histograma (Fig. 7), en el que se visualiza globalmente la composición porcentual de las fracciones alifáticas correspondientes a los sedimentos de las tres Islas Arrecifales de Veracruz.

La mayoría de las fracciones parafínicas en los sedimentos muestreados oscilaron entre el C14 al C32. Es evidente que en todos los sedimentos de las tres islas arrecifales estudiadas los niveles porcentuales más altos (7%) estuvieron entre el C14 y el C19 ; a partir del C20 y conforme se incrementa el número de carbonos para cada n-alcano, los niveles porcentuales tendieron a disminuir hasta alcanzar valores mínimos (1%).

La predominancia de n-parafinas de bajo peso molecular ($<C_{23}$) indica que el aporte principal de los hidrocarburos a los sedimentos, probablemente, derive de fuentes marinas (Farrington y Quinn, 1973), mientras que bajos niveles porcentuales de n-alcanos de alto peso molecular ($>C_{23}$) sugiere un

escaso aporte de hidrocarburos terrígenos al sistema marino (Eglinton et al., 1962 y Saliot, 1981).

Hay que hacer notar, sin embargo, que entre las parafinas ligeras limitadas en el rango de C14 a C19, no se destacó una clara predominancia de hidrocarburos impares (n-C15, n-C17 y n-C19), los cuales son característicos de la mayoría de los organismos marinos, como el fitoplancton (Blumer et al. 1971 y Gearing et al., 1976), las cianofitas (Winters et al., 1969), las algas bénticas y pelágicas (Younglood et al., 1971; Youngblood y Blumer, 1973; Clark y Blumer, 1967) y las fanerógamas marinas (Ataway, 1970), sobre los carbonos pares. Es decir el porcentaje entre dichos carbonos se encontró en proporciones similares.

Indice de Carbono Preferencial (CPI).

En la Tabla X se observan los valores de CPI calculados en el intervalo C14 a C26. No se consideraron los n-alcenos superiores al C26 ya que sus niveles porcentuales fueron muy pequeños.

Los sedimentos recientes mostraron valores de CPI que van desde 0.52 a 1.04. Los niveles de CPI promedio para cada isla fueron: Isla Sacrificios, 0.91 ± 0.05 ; Isla Verde, 0.99 ± 0.005 e Isla de Enmedio, 0.81 ± 0.12 . Es claro que los CPI promedio fueron bastante uniformes, lo cual apoya una vez más que la fuente de hidrocarburos detectados en los sedimentos es común en las tres islas.

En general, se considera la no predominancia de carbonos impares/carbonos pares (CPI=1) asociado a la presencia de hidrocarburos petrogénicos en los ecosistemas costeros (Bray y Evans, 1961; Farrington y Quinn, 1973). Sin embargo, existen varios reportes donde se han mostrado que ciertos organismos marinos como son las esponjas y los corales (Koons, 1965); así como algas bénticas o planctónicas (Clark y Blumer, 1967) aportan en una misma proporción n-alcenos con número de carbono par e impar.

A pesar de que en las lagunas arrecifales encontramos estos organismos marinos, no llegan a ser tan abundantes como las praderas del pasto marino Thalassia testudinum, por lo cual, es poco probable que los valores del CPI en los sedimentos analizados dependan de la contribución de dichos organismos; más bien, los sedimentos deberían reflejar prioritariamente la composición parafínica del pasto marino, donde se destacarían los n-alcanos impares como el n-C15, el n-C17, el n-C21 y el n-C23 (Ataway et al, 1970). Sin embargo, la distribución alifática de los sedimentos analizados no muestran la presencia de estos carbonos.

Por otro lado, la posibilidad de considerar a las bacterias como las únicas responsables de propiciar valores de CPI cercanos a la unidad (Han y Calvin, 1969; Simonet et al. 1980 y Nishimura y Baker; 1986) es bastante improbable, debido a la escasez de material orgánico que mostraron los sedimentos, ya que obstaculiza el desarrollo adecuado de las poblaciones bacterianas.

Por las razones anteriores se sugiere que, independientemente del aporte natural de hidrocarburos que reciben los sedimentos recientes, se hace patente otra fuente que lo enriquece específicamente de n-parafinas con número de carbonos pares.

Por lo tanto, es posible sugerir a los hidrocarburos derivados del petróleo como la causa principal de la no predominancia de carbonos impares en los sedimentos recientes de las islas arrecifales; ya que la presencia relevante de n-parafinas con número de carbono par (C16, C18 y C20) son característicos del petróleo crudo (Botello, 1987). Sin embargo, para apoyar tal sugerencia es necesario considerar una serie de parámetros que adicionados a la información del CPI, puedan demostrar con más certeza una contaminación petrogénica. Estos parámetros también están representados en la Tabla X.

Relación Pristano/Fitano.

En la tabla X se encuentran los valores de la relación pristano/fitano correspondientes a los sedimentos recientes de las tres islas arrecifales estudiadas. La relación pristano/fitano oscila en un rango muy estrecho, 1.20 a 1.98. De la misma manera, los valores promedio de este parámetro en cada isla, se mantuvieron muy uniformes. Los datos obtenidos son : Isla Sacrificios 1.57, Isla Verde 1.45 e Isla de Enmedio 1.61 .Es notorio que en todos los sedimentos analizados la relación pristano/fitano tendió a estar muy cercana a la unidad, lo cuál indica que éstos dos compuestos se encontraron en concentraciones muy similares.

En los trabajos donde se reporta contaminación por hidrocarburos petrogénicos en los sedimentos recientes se incluye, por lo regular, la relación pristano/fitano. En esos reportes se hace evidente que los valores de esta relación están siempre cercanos a la unidad y perduran de ese modo durante largo tiempo. Por ejemplo: en la Bahía de Buzzards, Massachusetts, después de 2 años de ocurrido un derrame de petróleo, los sedimentos presentaron valores en la relación pristano/fitano de 1 y 1.4 (Blumer y Sass, 1972); en los sedimentos reciente de las islas de San Pedro y San Nicolas, localizada en el sureste de California, mostraron valores entre 0.6 a 1.3 y de 0.6 a 0.9 respectivamente (Venkatesan et al., 1980); y Macko et al.(1981) estudiaron la persistencia de los hidrocarburos del petróleo contenidos en los sidimentos de Puerto Island, reportando que después de 6 meses de ocurrido un vertimiento de petróleo, la relación pristano/fitano presentó un valor de 1.

Considerando lo anteriormente expuesto y con base en los resultados obtenidos en la relación pristano/fitano, se puede inferir que la presencia de cantidades significativas de fitano en los sedimentos de la zona arrecifal es un punto más que apoya la posibilidad de una contribución de hidrocarburos petrogénicos al ecosistema marino estudiado.

Relación n-C17 / n-C18).

Los resultados de la relación n-C17/n-C18 obtenidos en el presente trabajo se encuentran en un rango de 0.24-1.26 (Tabla X). Los valores promedios de cada isla fueron los siguientes : Isla Sacrificios, 0.86 ± 0.21 ; Isla Verde, 0.88 ± 0.11 e Isla de Enmedio, 0.66 ± 0.23 . Este último valor no mostró diferencia significativa, ($p < 0.001$) al compararlo con los otros dos, debiéndose esto a la dispersión de los datos.

De acuerdo con estos resultados es notable observar que todos los sedimentos recientes analizados contienen cantidades de n-C18 iguales o ligeramente superiores a la del n-C17 (Fig.7 y Tabla X).

La presencia de n-C18 probablemente este relacionada a una contribución reciente de hidrocarburos antropogénicos al sistema marino estudiado.

Relaciones n-C17/Pristano y n-C18/fitano.

El objetivo de presentar las relaciones n-C17 /pristano y n-C18 /fitano en el presente estudio es constatar sus permanencias a través de las tres épocas de muestreo.

Los valores obtenidos en la relación n-C17 /pristano fueron mayores a la unidad, indicando la predominancia de la n-parafina sobre el isoprenoide (Tabla X). Este hecho no es extraño, ya que en la mayoría de los organismos marinos el n-C17 se presenta en concentraciones elevadas, mientras que el pristano se encuentra en menor proporción (Clark y Blumer, 1967; Youngblood et al., 1971).

Los resultados de la relación n-C17 /pristano oscilaron en un rango muy estrecho (2.26-3.15) y no mostraron variaciones significativas al comparar las épocas de muestreo de cada isla estudiada. Tal uniformidad indica, muy probablemente, la existencia de un aporte continuo a partir de fuentes afines.

Los valores de la relación n-C18 /fitano fueron también mayores a la unidad, pero más altos que los obtenidos en la relación n-C17 /pristano. En la Tabla X se manifiesta que la relación n-C18 /fitano varió desde 3.99 hasta 8.27. Es interesante mencionar que en las muestras correspondientes al tercer muestreo se presentan los valores de n-C18 /fitano más altos, el incremento coincidió con una disminución en la relación n-C17 /n-C18 , por lo que se deduce un mayor aporte de n-C18 al sistema. Este hecho sugiere una probable e inesperada contaminación por petróleo en los sedimentos recientes de la zona arrecifal de Veracruz.

Un parámetro que no llega a cuantificarse pero que se distingue en los cromatogramas correspondientes a las fracciones alifáticas de los sedimentos recientes (Fig. 8-10), es el área bajo la curva conocida como "hump" (mezcla compleja de hidrocarburos no resueltos); comprende todos aquellos hidrocarburos cíclicos saturados, ciertas olefinas y algunos aromáticos simples los cuales no llegan a ser resueltos en componentes individuales por la columna de cromatografía empleada. La presencia del "hump" indica la incorporación de hidrocarburos fósiles a los sedimentos recientes (Farrington y Quinn, 1973; Blumer et al., 1970).

Se ha criticado que el "hump" no es un buen parámetro para evaluar la contaminación por petróleo, ya que su concentración esta en función de las condiciones cromatográficas utilizadas (Gearing et al., 1976). Sin embargo al implementarse recientemente las columnas capilares en la cromatografía de gases se ha demostrado que la medición del "hump" es un buen indicador de la contaminación por petróleo (Venkatesan et al., 1980).

En general, el tamaño que muestra el "hump" en los cromatogramas, es pequeño, lo cual muy probablemente sugiera que si existe alguna contaminación por petróleo, esta sea muy reciente, ya que Macko y sus colaboradores (1981) han demostrado que la magnitud del "hump" en los sedimentos contaminados se va incrementando conforme se intempericen los hidrocarburos fósiles a través del tiempo.

A modo de resumen, en las Figuras 8-10 se ilustran con ejemplos específicos, en este caso cromatogramas de la fracción alifática de sedimentos provenientes de diferentes estaciones, las observaciones generales que anteriormente se enunciaron, siendo las siguientes:

- Un rango amplio de n-alcenos (C14 - C32).
- Una alta concentración de n-alcenos ligeros (C14 - C18).
- Niveles similares de n-alcenos impares (C15, C17, C19) y n-alcenos pares (C16 , C18, C20). Por lo cual los valores de CPI son cercanos a la unidad.
- Fitano y Pristano en proporciones similares.
- La presencia de un ligero "hump"

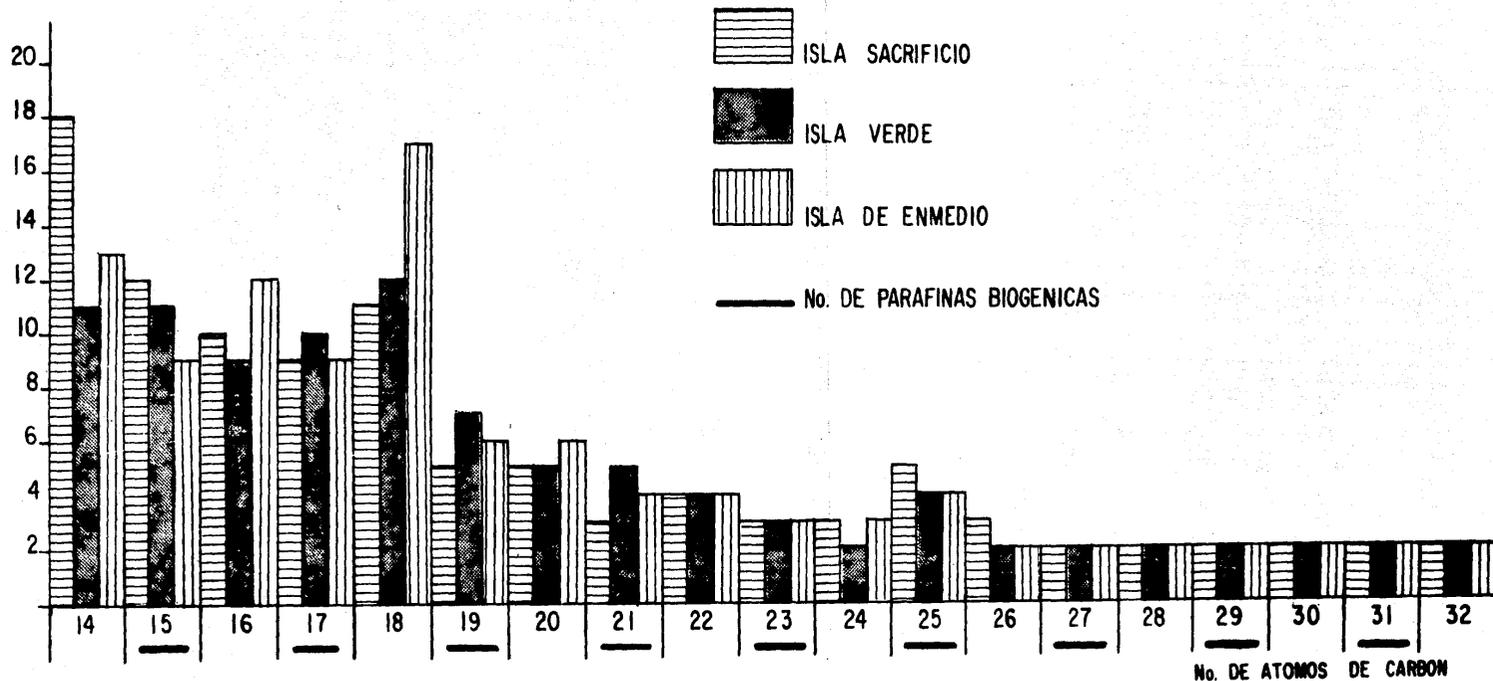
Con base en los datos y conceptos hasta aquí expuestos se puede adelantar que las 3 islas arrecifales muestreadas en el presente estudio presentan una evidente contaminación por hidrocarburos petrogénicos.

Por otro lado, con el fin de confirmar si el n-alceno C18 que se encuentra presente en todas las muestras de sedimento (Figs. 8, 9 y 10) es dicho compuesto o se trata de algún isómero muy afín a éste, se consideró la muestra de sedimento proveniente de Isla de Enmedio (estación No. 2 Marzo, 1985) para ser analizada por la técnica de Espectrometría de Masas. Dicho examen fue realizado en colaboración con el laboratorio de Química Analítica en la Unidad de Posgrado de la Facultad de Química. Los resultados se muestran en la Fig. 11; en el inciso A se tiene el espectro total de la muestra de sedimentos; el registro B corresponde únicamente al fragmentograma de n-alceno C18 perteneciente a la muestra de sedimento y en el inciso C se muestra el fragmentograma del C-18 estándar.

Es evidente la similitud existente entre el registro B y C; de esta manera sin lugar a duda se reafirma la presencia del n-alceno C18 en el sedimento analizado. Asimismo se comprueba que el análisis por cromatografía de gases basado en columnas capilares es una herramienta bastante eficiente para identificar y cuantificar los hidrocarburos presentes en las muestras analizadas.

FIGURA 7

% Frac. Alifatica



COMPOSICION GLOBAL PORCENTUAL DE LAS FRACCIONES ALIFATICAS EN SEDIMENTOS RECIENTES CORRESPONDIENTES A LAS TRES ISLAS ARRECIFALES DEL ESTADO DE VERACRUZ, VER.

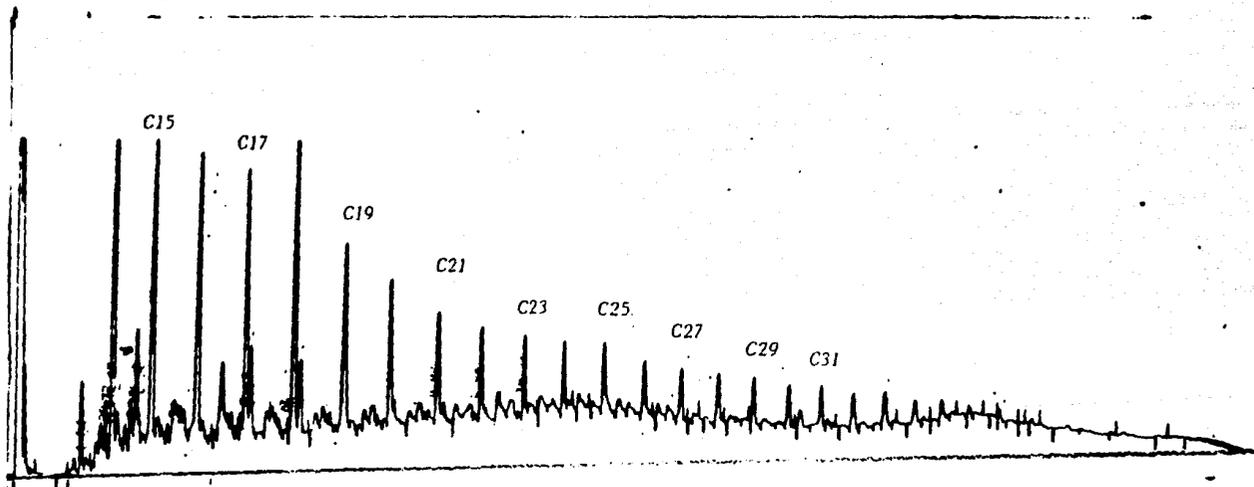


FIG. 8 Cromatograma de la distribución de n-parafinas en los sedimentos recientes provenientes de la estación No. 2 de Isla Sacrificios, colectados en el mes de Mayo de 1984.

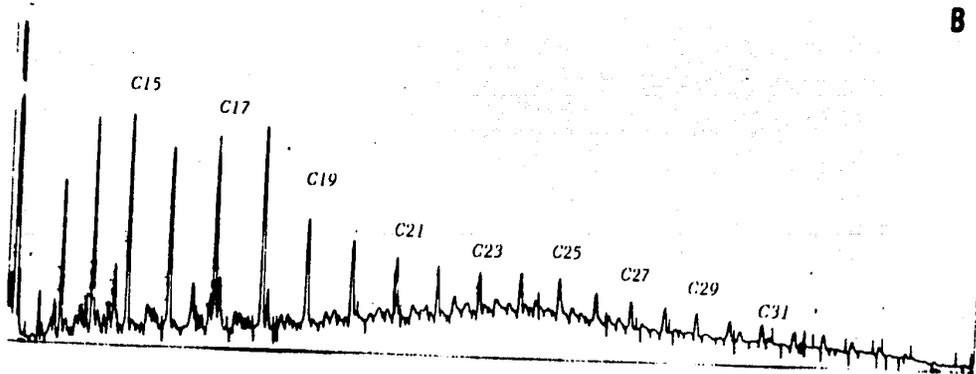
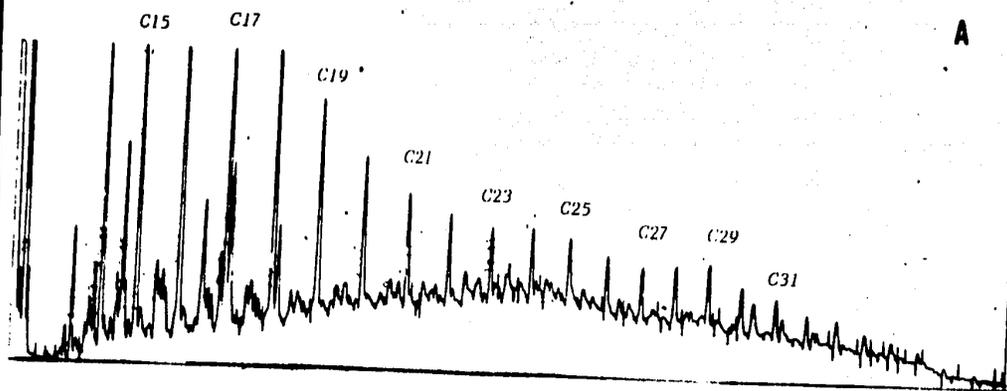


FIG. 9 Cromatogramas de la distribución de n-parafinas en sedimentos recientes correspondientes a la estación No. 1 (A) y la estación No. 2 (B) de Isla Sacrificios, siendo colectados en Octubre de 1984.

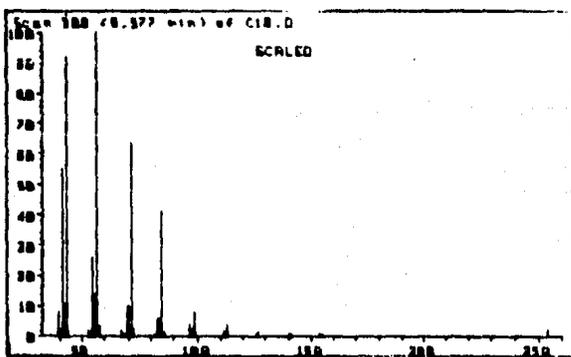
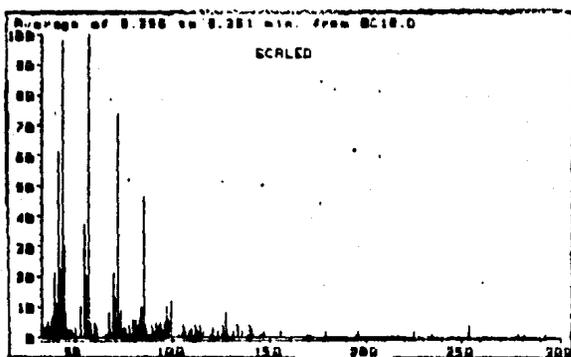
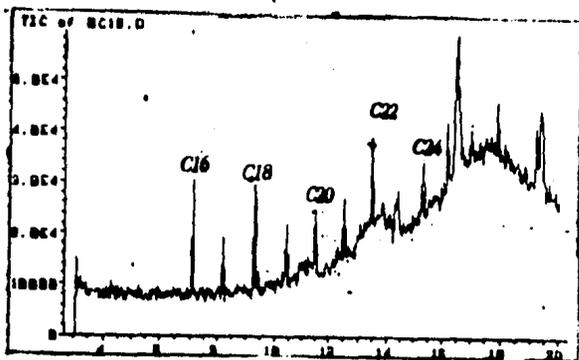


FIG. 11 Resultados de los análisis por Espectrometría de Masas realizados en una muestra de sedimento.

- A) Cromatograma de las n-parafinas presentes en el sedimento de Isla de Enmedio. (estación 2-Marzo, 1985).
- B) Fragmentograma del n-alkano C18 perteneciente al sedimento analizado.
- C) Fragmentograma del n-alkano C18 estandar.

IDENTIFICACION Y CUANTIFICACION DE LOS HIDROCARBUROS SATURADOS EN LAS HOJAS
DE Thalassia testudinum.

Se eligieron 8 muestras representativas de la fracción saturada correspondiente a las hojas de Thalassia testudinum para ser analizadas por cromatografía de gases.

En la Tabla XI se muestra a modo de comparación las dos formas de expresar la concentración de la fracción alifática (Método Gravimétrico y Método Cromatográfico), así como las relaciones de algunos parámetros evaluadores de la presencia de hidrocarburos fósiles en dicha fracción.

Al igual que los sedimentos, las concentraciones gravimétricas (CG) de los hidrocarburos saturados en Thalassia testudinum fueron aproximadamente 9 veces superiores a los registrados en el análisis por cromatografía de gases (CC). Este comportamiento en que se mantienen las mismas relaciones indica que, a pesar de las sensibilidades diferentes entre ambos métodos, suministran una información cualitativamente consistente.

Con referencia a los resultados cromatográficos, se advierte que la fracción parafínica de Thalassia testudinum supera en 20 veces a la encontrada en los sedimentos (Tablas X y XI). Este singular hecho indica que los tejidos foliares del pasto marino asimilaron y acumularon hidrocarburos del medio exterior. Esta demostración despeja las dudas que surgieron en los resultados gravimétricos, en donde no se estaba seguro de la naturaleza de los compuestos detectados ya que se contaba únicamente con los valores gravimétricos.

TABLA XI

Concentración gravimétrica (CG), cromatográfica (CC) y estimación de parámetros relacionados con las fracciones saturadas de las hojas de Thalassia testudinum, correspondientes a las tres islas arrecifales de Veracruz durante el presente estudio.

Localidad de la estación	Concentración				
	CG (ppm)	CC (ug/g)	CPI	Pristano Fitano	n-C17 n-C18
S-I-2	925	84.88	1.26	1.5	0.8
S-II-2	1060	241.94	1.14	1.5	1.1
S-III-1	1240	106.38	1.36	2.2	1.5
\bar{X}	1075	144.40	1.25±0.06	1.73±0.19	1.13±0.17
V-I-2	680	83.49	1.45	1.8	1.0
V-II-2	1280	241.96	1.14	1.5	1.0
V-III-3	1360	97.05	1.26	1.5	1.3
\bar{X}	1107	140.83	1.28±0.074	1.6±0.082	1.1±0.082
E-I-1	630	59.07	1.32	1.5	0.9
E-III-2	1700	185.06	1.28	1.5	1.5
\bar{X}	1165	122.06	1.30±0.01	1.5	1.2±0.21

Nota: La clave de las estaciones se interpreta de la misma manera que la Tabla X.

Composición Porcentual de la fracción alifática.

En la Fig. 12 se visualiza la distribución global de las n-parafinas contenidas en las hojas del pasto marino estudiado. En general, las fracciones alifáticas abarcaron un rango amplio entre n-C14 a n-C32. La distribución de los n-alcenos presentó un comportamiento homogéneo en todas las muestras analizadas; no se destacó la predominancia de los carbonos impares (n-C21 ; n-C23 ; n-C19 ; n-C17 ; n-C25) que son características de Thalassia testudinum (Ataway et al, 1970). Por el contrario se presentan en cantidades muy similares los n-alcenos con número de carbono par (C14 ; C16 ; C18 ; C20), los cuales no son biosintetizados por la planta (Ataway et al, 1970; Botello, 1978; Gearing et al., 1976; Botello y Mandelli, 1978 y 1979).

Indice de Carbono Preferencial (CPI).

Los resultados del CPI, calculados en el rango de n-C14 a n-C26 de las fracciones alifáticas de Thalassia testudinum oscilaron entre 1.14 a 1.45. (Tabla XI).

Al igual que los sedimentos, se advierte que los valores de CPI correspondientes a la fanerógama marina fueron pequeños y muy cercanos a la unidad, manteniéndose uniformes a lo largo del presente estudio.

A modo de comparación en la tabla IX se muestran los valores de CPI de algunos reportes bibliográficos después de ser recalculados por la fórmula de Bray y Evans (1961) la cual fue empleada en el presente trabajo.

Al analizar los valores de CPI de la Tabla IX y al compararlos con los datos del presente estudio, se confirmó que aquellos fueron mayores a excepción del dato referido para la fanerógama marina de Laguna de Términos.

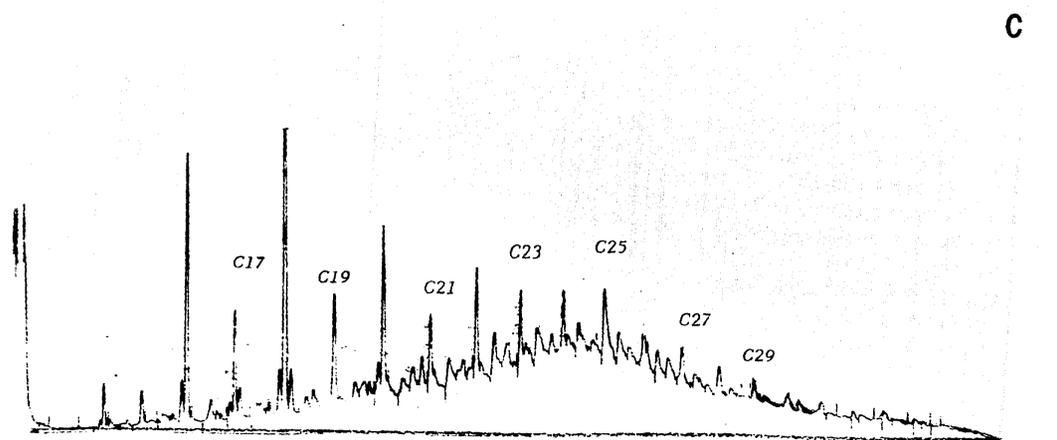
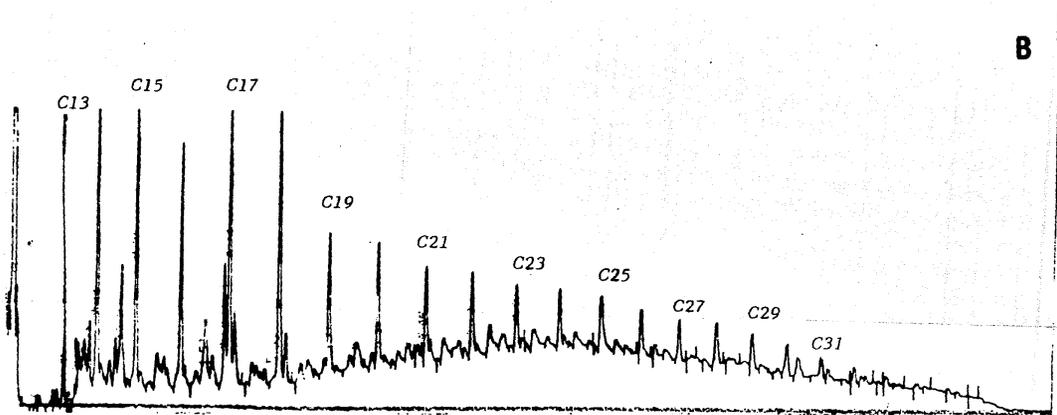
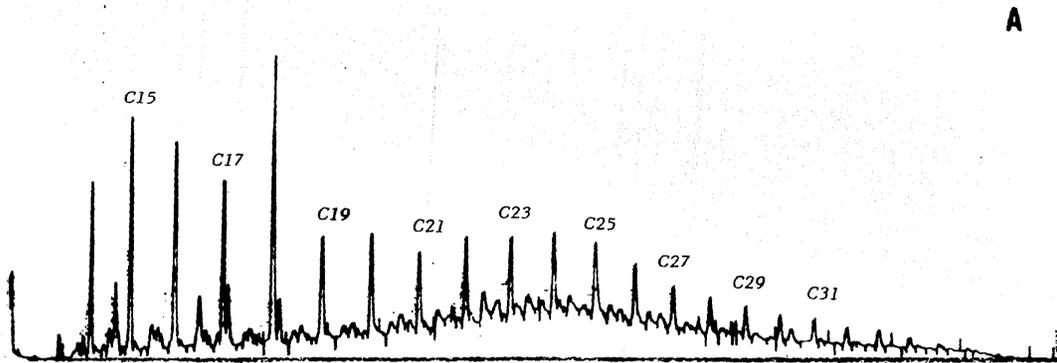
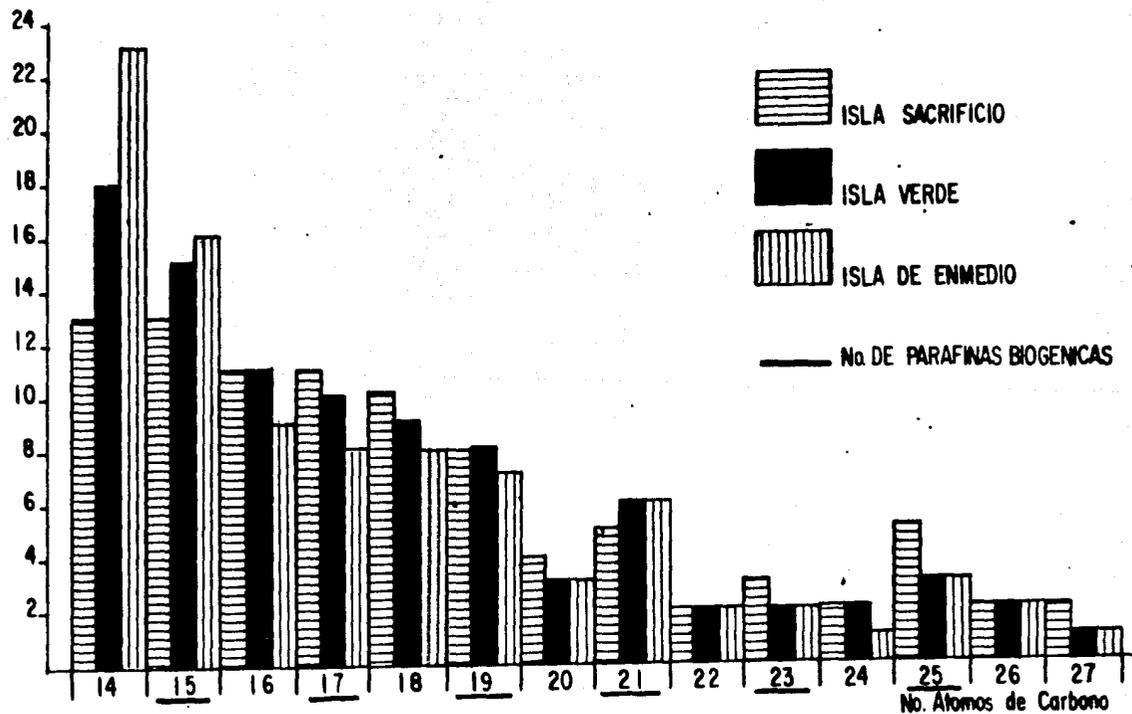


FIG. 10 Cromatogramas de la distribución de n-parafinas en sedimentos recientes correspondientes a la estación No. 2 de Isla Sacrificios (A) y estación No. 1 en Isla Verde (B) y la estación No. 1 de Isla de Enmedio, las cuales se colectaron en Marzo de 1985.

% Frac. Alifatica

FIGURA 12.



COMPOSICION GLOBAL PORCENTUAL DE LAS FRACCIONES ALIFATICAS, EN HOJAS DE T. testudinum. CORRESPONDIENTES A LAS TRES ISLAS ARRECIFALES DEL PUERTO DE VERACRUZ, VER.

Es de singular importancia el contar con datos previos sobre la evaluación de los hidrocarburos presentes en las hojas de Thalassia testudinum provenientes de Isla Verde (Botello, 1978 y Botello y Mandelli, 1979) ya que sus resultados muestran el contenido de hidrocarburos típico y normal de dicha fanerógama en esa localidad. Los registros cromatográficos de la fracción alifática confirman claramente la predominancia de los n-alcános impares (n-C17 , n-C19 , n-C21 y n-C15) y por consecuencia valores de CPI altos de 8.0 (Fig. 13).

Al comparar estos resultados previos con los cromatogramas obtenidos durante el presente estudio, correspondientes a las fracciones alifáticas de Thalassia testudinum de diferentes islas y épocas de muestreo (Figs. 14-16) se destacan varias diferencias:

- 1) En todos los registros obtenidos, no es posible observar una clara predominancia de carbonos impares entre n-C13 y n-C20 , a diferencia del cromatograma de la Fig. 13. Por el contrario, en proporciones similares se encuentran las n-parafinas C14, C16 , C18 , C20 consideradas como típicas del petróleo crudo (Botello y Mandelli, 1979; Botello y Villanueva, 1987).
- 2) En algunos de los cromatogramas (Figs. 14-16) se observa un amplio rango en la fracción saturada, abarcando de C14 a C32 ; mientras que en la Fig. 13 el rango va de C15 a C26 .
- 3) Valores del CPI derivados de los cromatogramas de las Figs. 14-16 resultaron significativamente menores al calculado a partir del cromatograma de la Fig. 13 (Tablas IX y XI).

Lo anteriormente expuesto, confirman diferencias entre el contenido de hidrocarburos en las hojas de Thalassia testudinum de los estudios previos y el actualmente realizado.

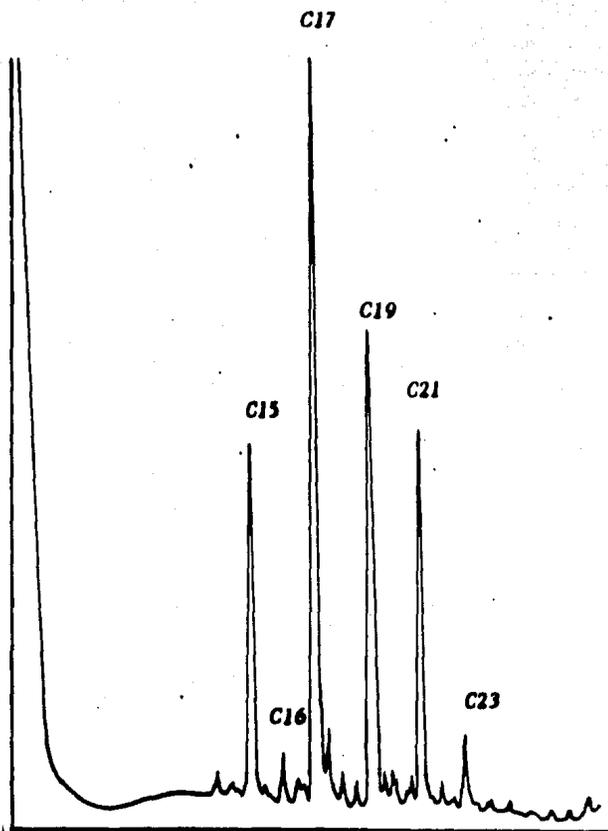


FIG. 13 Cromatograma de la distribución de las n-parafinas en hojas de *Thalassia testudinum* provenientes de Isla Verde, Veracruz, México. (Tomado del Artículo de Botello, 1978).

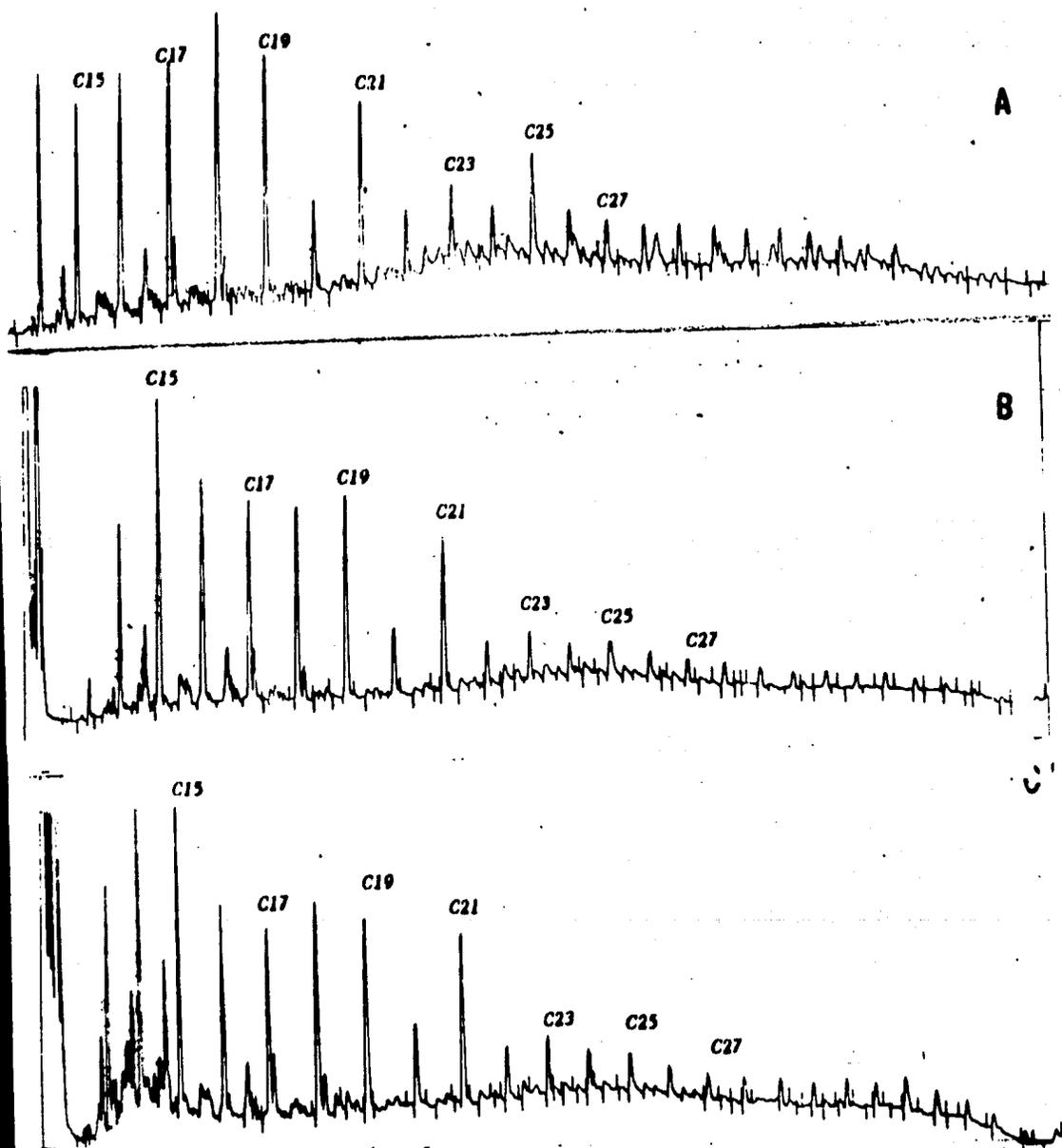


FIG.14 Cromatogramas de la distribución de n-parafinas en hojas de *Thalassia testudinum* provenientes de la estación No.2 I. Sacrificios (A), estación No. 2 en I. Verde (B) y estación No. 1 en I. de Sanedio. (C), colectadas en Mayo de 1984.

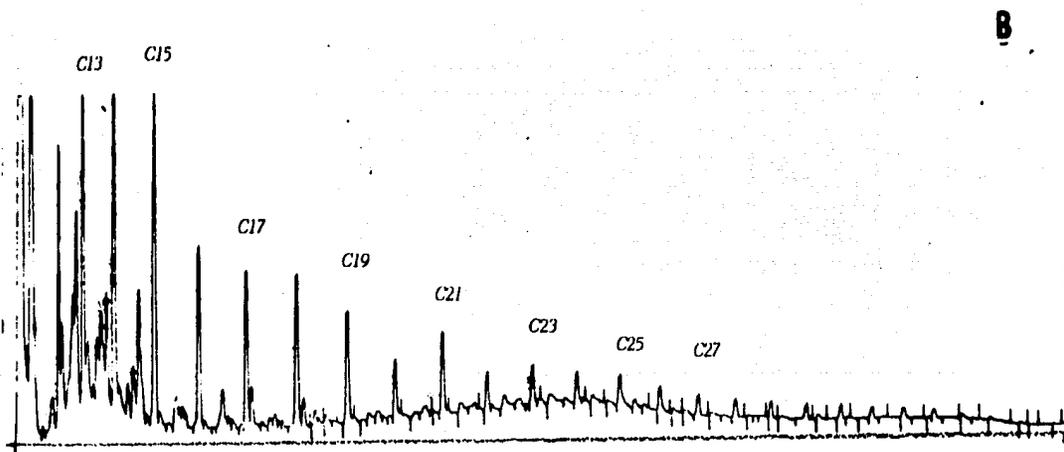
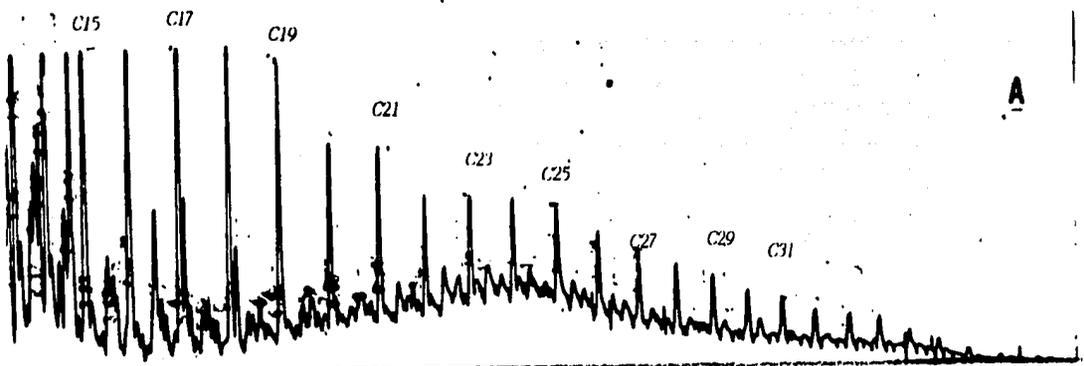


FIG. 15 Cromatogramas de la distribución de n-parafinas en las hojas de *Thalassia testudinum* provenientes de la estación N.º.2 de Isla Sacrificios (A) y de la estación No. 2 de Isla Verde (B),siendo colectadas en Octubre 1984.

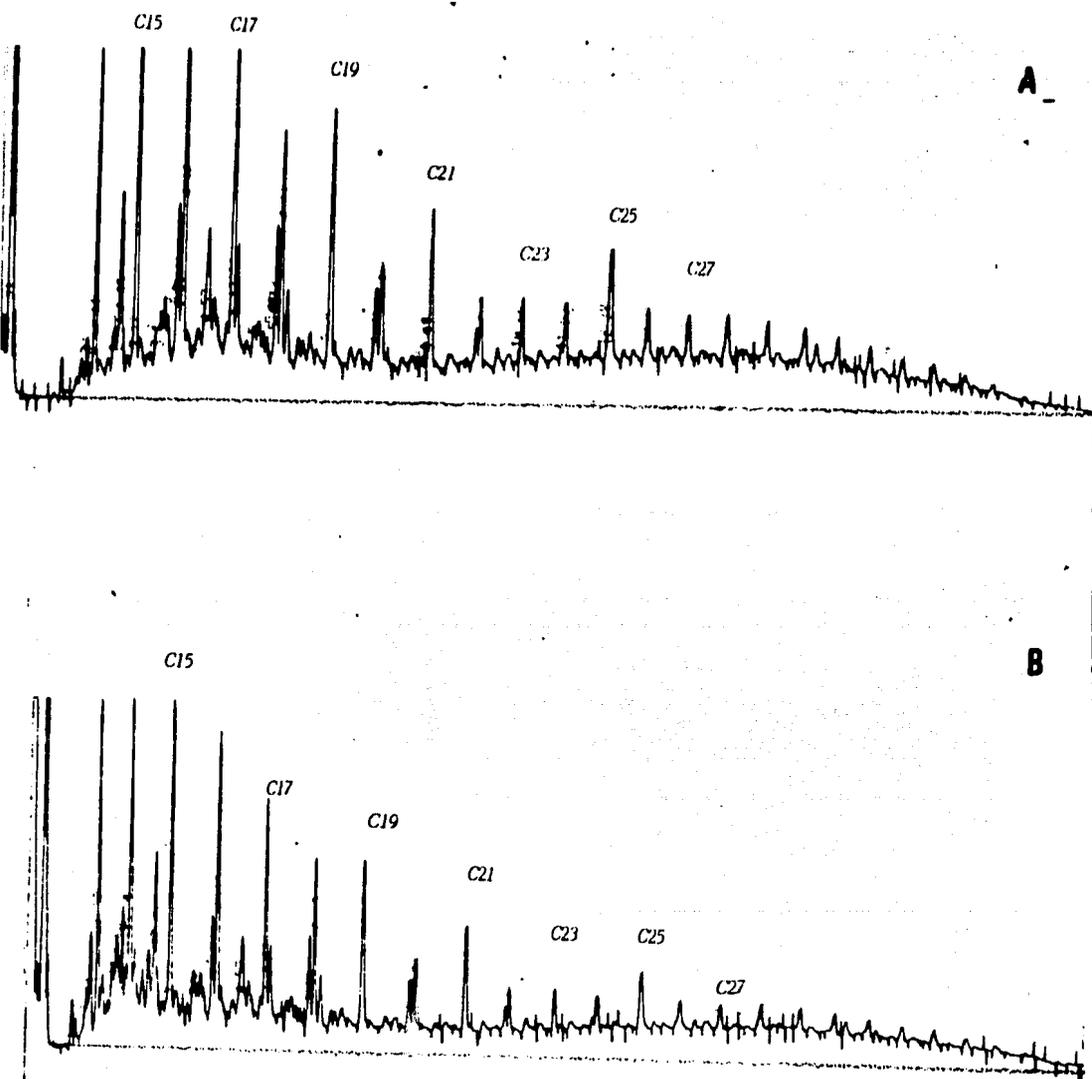


FIG. 16 Cromatogramas de la distribución de n-parafinas en las hojas de *Thalassia testudinum* provenientes de la estación No. 1 de Isla Sacrificios (A) y estación No.3 en Isla Verde (B), siendo colectadas en Marzo de 1985.

Hasta el momento existen dos estudios en los cuales se evidencian la acumulación de hidrocarburos del petróleo en la fanerógama marina Thalassia testudinum (Botello y Mandelli, 1979 y Botello, 1980). En dichos trabajos se revela un incremento en los niveles de hidrocarburos totales en las hojas del pasto marino; la presencia de cantidades significativas de n-C16 y n-C18 y valores pequeños de CPI.

De acuerdo con lo anterior, las características hasta aquí señaladas sobre el contenido en las fracciones alifáticas de las hojas analizadas, sugieren la presencia de hidrocarburos no biogénicos en sus tejidos.

Relación Pristano/fitano.

De la misma manera que los sedimentos, en todos los cromatogramas de la fracción saturada de las hojas del pasto marino se detectaron los dos hidrocarburos isoprenoides, - fitano y pristano - en proporciones similares (Figs. 14-16). La relación pristano/fitano presentó valores dentro de un rango muy estrecho de 1.5 a 2.2 (Tabla XI).

No es raro encontrar pristano en los tejidos foliáres del pasto marino, ya que muy probablemente lo biosinteticen y/o lo asimilen del medio exterior.

Por el contrario, el fitano no ha sido identificado en organismos marinos provenientes de medios exentos a la presencia del petróleo (Blumer y Snyder, 1965; Youngblood, et al, 1971). Burns y Teal (1973) al cuantificar el contenido de hidrocarburos de la planta pelágica conocida como Sargassum en un medio altamente expuesto a la presencia del petróleo, se confirmó que poseía cantidades significativas de fitano en sus tejidos, así como otras características que califican a un organismo contaminado por petróleo, como son: amplio rango de la fracción alifática; distribución uniforme de las n-parafinas; CPI cercanos a 1 etc.

De acuerdo con lo anterior, la presencia de cantidades considerables de

fitano en las hojas de Thalassia testudinum analizadas, sugieren que la planta ha estado en contacto con los hidrocarburos del petróleo .

Relación n-C17 / n-C18 .

Como se ha mencionado anteriormente la n-parafina C17 es una de las más abundantes en los tejidos foliares de la planta; en cambio, no se ha registrado cantidades significativas del n-alcano C18 (Ataway et al, 1970; Botello, 1978; Botello y Mandelli, 1978 y 1979); ya que dicho compuesto está relacionado con la presencia de hidrocarburos petrogénicos (Botello y Mandelli, 1979 y Botello y Villanueva, 1987).

Los resultados obtenidos de la relación n-C17 / n-C18 , así como los cromatogramas correspondientes a la fracción alifática de las hojas del pasto marino (Figs. 14-16) muestran de manera sorprendente a estos dos n-alcanos, en proporciones tan similares y hasta en algunos casos el n-C18 ligeramente supera al n-C17 . También se comprueba en todos los cromatogramas la presencia del n-alcano C16 , el cual presenta cantidades similares al n-C17 .

Con respecto a la presencia de un "hump" en los cromatogramas de la fracción alifática de las hojas de Thalassia testudinum se observa que su magnitud es pequeña, por lo cual este hecho al igual que los sedimentos probablemente indica una reciente incorporación de hidrocarburos a los tejidos de la planta .

Antes de finalizar esta sección, es necesario destacar la similitud prevaeciente entre los resultados obtenidos en la fracción saturada de las hojas de Thalassia testudinum con los del sedimento. En la Fig. 17 se muestran los cromatogramas correspondientes a la fracción alifática del sedimento (A) y de las hojas del pasto marino (B) pertenecientes a la estación No. 2 de Isla Verde colectadas en Octubre (84).

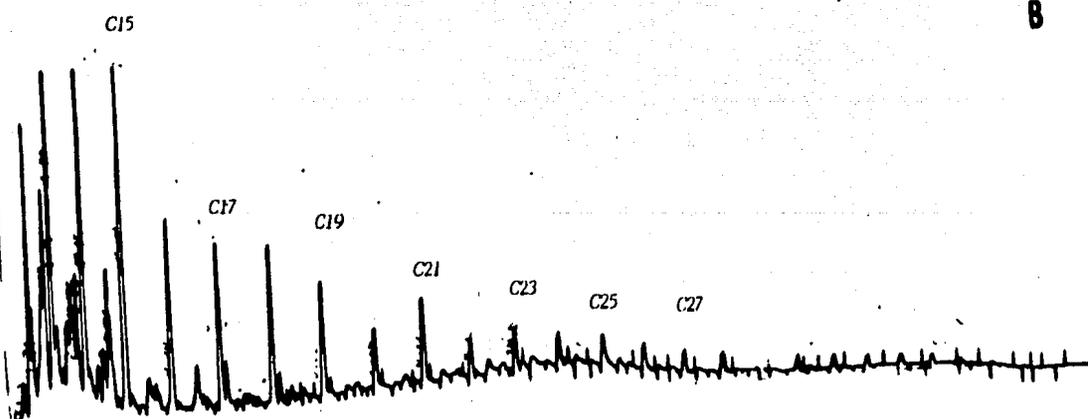
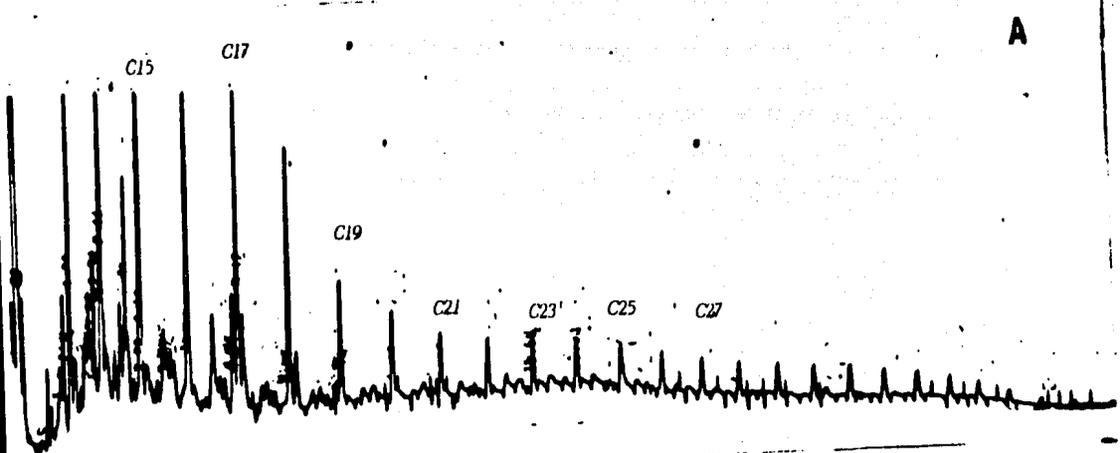


FIG. 17 Cromatogramas de la distribución de n-parafinas en sedimento (A) y hojas de *Thalassia testudinum* (B) correspondientes a la estación No.2 de Isla Verde, colectadas en Octubre de 1984.

Es sorprendente observar en los dos registros un mismo patrón en la distribución de los n-alcenos es decir, se muestran altas concentraciones de n-alcenos entre C13-C19 ; la no predominancia de carbonos impares; el CPI en los dos casos refleja valores pequeños; se detectaron pristano y fitano en proporciones semejantes. De acuerdo a las semejanzas anteriores se ponen de manifiesto una vez más las estrechas relaciones que prevalece entre los sedimentos y la fanerógama marina . Se sugiere que la planta se encuentra asimilando o incorporando hidrocarburos ajenos a los de su aparato biosintético en sus tejidos foliares ya sea que los tome del sedimento a través de sus rizomas o lo realiza de una manera directa, captándolos en la columna de agua a través de sus hojas.

**IDENTIFICACION Y CUANTIFICACION DE LOS HIDROCARBUROS AROMATICOS (PAH's) EN
SEDIMENTOS RECIENTES A TRAVES DEL ANALISIS POR CROMATOGRAFIA DE GASES.**

Se realizó el análisis por cromatografía de gases de ocho fracciones aromáticas correspondientes a los sedimentos recientes de las tres islas arrecifales estudiadas en diferentes épocas de muestreo.

En la tabla XII, a modo de comparación se anotaron las concentraciones de la fracción aromática obtenidas por el método gravimétrico (concentración gravimétrica o CG) y las registradas por cromatografía de gases (concentración cromatográfica). Al igual que la fracción saturada del sedimentos y hojas del pasto marino, es evidente observar que los niveles de hidrocarburos aromáticos alcanzados por el método gravimétrico fueron mayores a los registrados por cromatografía de gases, sin embargo la diferencia que prevalece entre dichos valores es mucho más aparente que las anteriores (la relación CG/CC fue de 52). Asimismo en la Tabla XII se muestran el porcentaje de los PAH's identificados en cada fracción aromática. Del total de los compuestos resueltos en la fracción aromática, se reconocieron menos de la mitad ya que únicamente se identificaron aquellos hidrocarburos aromáticos derivados de fuentes antropogénicas.

La concentración de los PAH's identificados por cromatografía de gases en los sedimentos estudiados oscilaron en un rango estrecho de 0.56 ug/g a 5.374 ug/g, siendo los valores promedios por isla los siguientes: Isla Sacrificios 1.768 ug/g + 0.23; Isla Verde de 2.556 ug/g + 1.42 e Isla de Enmedio fue de 1.033 ug/g + 0.3. No se encontró variaciones significativas ($p < 0.001$) entre los valores promedios de cada isla arrecifal. Es interesante observar que las concentraciones de los PAH's aquí obtenidas fueron 2 veces superiores a las registradas en el Río Calzadas y el área pantanosa que se encuentran muy cercanas a la planta petroquímica de Minatitlán en el Estado de Veracruz (Botello y Villanueva, 1987).

TABLA XII

Concentración gravimétrica (CG), cromatográfica (CC) y porcentaje de PAH^os identificados en la fracción aromática de sedimentos recientes correspondientes a las tres islas arrecifales de Veracruz, en diferentes épocas de muestreo.

C O N C E N T R A C I O N . . .			
Localidad de las estaciones	(CG) (ppm)	(CC) (ug/g)	% de PAH ^o s identificados

S-I-2	100	1.482	29
S-II-1	123	2.054	43
\bar{X}	111	1.768	36
V-I-1	111	0.836	10
V-II-2	89	5.374	30
V-III-1	52	1.458	14
\bar{X}	84	2.556	18
E-I-2	57	0.949	29
E-II-1	100	1.588	26
E-III-2	25	0.561	21
\bar{X}	61	1.033	25

En la Tabla XIII se enlistan las concentraciones individuales de los hidrocarburos aromáticos identificados en los sedimentos correspondientes a las tres islas arrecifales estudiadas, en diferentes períodos de muestreo.

Asimismo en las Figuras 18-20 se muestran los cromatogramas correspondientes a dichos sedimentos.

Se registraron compuestos aromáticos de 2 (Naftaleno) hasta 5 (Benzo(ghi)perileno) anillos bencénicos. Es sorprendente observar que en todas las muestras se presentaron los mismos compuestos, aunque sus cantidades variaron ligeramente (Tabla XIII). Asimismo, se advierte en los cromatogramas una distribución constante de los PAH^os ; no existiendo diferencias significativas entre islas y épocas de muestreo.

Dentro de los hidrocarburos aromáticos identificados en los sedimentos, los más comunes y abundantes fueron los compuestos metil derivados del naftaleno (con 2 o 3 radicales metílicos), los cuales alcanzaron concentraciones totales de 1.084 ug/g a 2.957 ug/g. En especial, el compuesto 1,3 dimetil naftaleno (5) alcanzó las más altas concentraciones en los sedimentos a lo largo del presente estudio (Tabla XIII y Figs. 18-20).

Otro hidrocarburo aromático que fue común en todas las muestras de sedimentos aunque se registró en cantidades pequeñas fue el fenantreno (10). Y finalmente de manera esporádica se detectaron cantidades ínfimas de Naftaleno, Dibenzotiofeno, Pireno, Antraceno y sus derivados metílicos, y el Benzo (ghi) perileno.

Con el objetivo de observar de manera más detallada la distribución de los hidrocarburos polinucleares (PAH^os) contenidos en los sedimentos a través de las diferentes épocas de muestreo, se contruyó las Fig. 21. Una vez más se confirma que independientemente del lugar y época a la que pertenece cada sedimento, el patrón de distribución de los PAH^os fue bastante homogéneo y por tal motivo se infiere que el aporte de los hidrocarburos

TABLA, XIII

Concentración (ug/g) individual de hidrocarburos aromáticos identificados en los sedimentos recientes, correspondientes a las tres islas arrecifales de Veracruz, en las diferentes épocas de muestreo.

COMPUESTOS	S-I-2	S-II-1	V-I-1	V-II-2	V-III-1	E-I-2	E-II-1	E-III-2	Total
Naftaleno	N.D.	N.D.	N.D.	0.244	0.112	N.D.	N.D.	N.D.	0.356
1-metil naftaleno	0.144	0.316	0.073	1.243	0.153	N.D.	0.076	0.028	2.033
2-metil naftaleno	0.061	0.229	0.026	1.262	0.197	N.D.	0.040	0.015	1.830
1,2-dimetil naftaleno	0.221	0.212	0.141	0.213	0.091	N.D.	0.159	0.047	1.084
1,3-dimetil naftaleno	0.336	0.481	0.209	1.002	0.237	0.110	0.465	0.117	2.957
2,6-dimetil naftaleno	0.180	0.302	0.096	0.692	0.182	0.059	0.255	0.076	1.842
1,5+1,4+1,3-dimetil naftaleno	0.110	0.257	0.052	0.451	0.135	0.050	0.285	0.077	1.417
2,3,5-dimetil naftaleno	0.231	0.163	0.136	0.181	0.114	0.204	0.211	0.064	1.304
Dibenzotiofeno	0.081	N.D.	N.D.	N.D.	0.031	0.109	N.D.	0.021	0.242
Fenantreno	0.118	0.094	0.103	0.086	0.081	0.147	0.097	0.045	0.771
Antraceno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.021	N.D.	N.D.	N.D.	0.021
2-metil antraceno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.051	N.D.	N.D.	0.051
9-metil antraceno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.021	N.D.	N.D.	0.017	0.038
Pireno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.022	0.067	N.D.	0.023	0.112
Benzo(g,h,i) perileno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.061	N.D.	N.D.	0.031	0.092
CONCENTRACION									
TOTAL (ug/g)	1.482	2.054	0.836	5.374	1.458	0.949	1.588	0.561	14.30

N.D. = No detectable.

Tipo de Compuesto.

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| 1.- Naftaleno | 9.- Dibenzotiofeno |
| 2.- 1-Metil naftaleno | 10.- Fenantreno |
| 3.- 2-Metil naftaleno | 11.- Antraceno |
| 4.- 1,2-Dimetil naftaleno | 12.- 2-Metil Antraceno |
| 5.- 1,3-dimetil naftaleno | 13.- 9-metil antraceno |
| 6.- 2,6-Dimetil naftaleno | 14.- Pireno |
| 7.- 1,5-1,4-2,3-Dimetil naftaleno | 15.- Benzo (ghi) perileno |

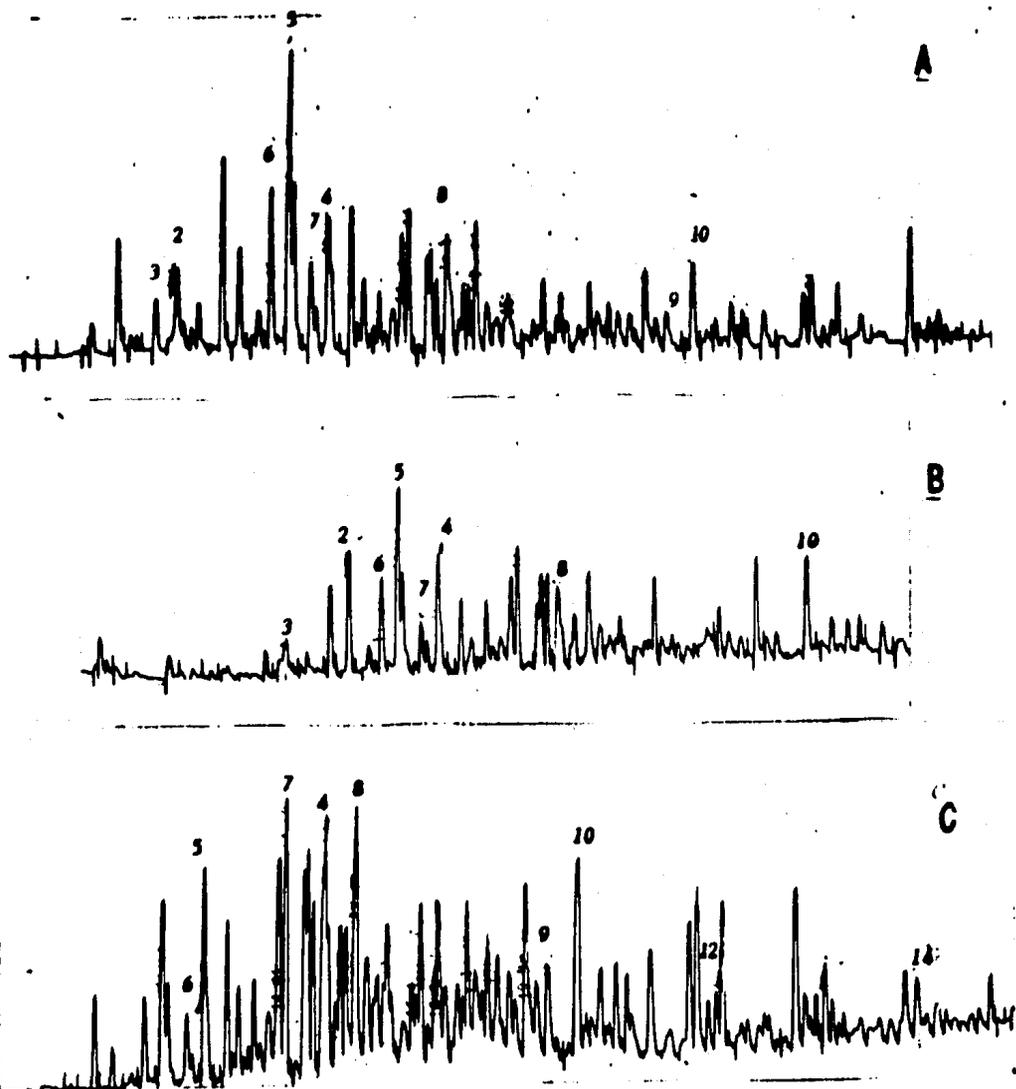


FIG. 18 Cromatogramas de los compuestos aromáticos presentes en los sedimentos recientes provenientes de la estación No.2 de I. Verde (A), de la estación No. 1 en I. Sacrificios (B) y de la estación No.2 de I. de Enmedio., siendo colectadas en Mayo de 1984.

Tipo de Compuesto.

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| 1.- Naftaleno | 9.- Dibenzotiofeno |
| 2.- 1-Metil naftaleno | 10.- Fenantreno |
| 3.- 2-Metil naftaleno | 11.- Antraceno |
| 4.- 1,2- Dimetil naftaleno | 12.- 2-Metil antraceno |
| 5.- 1,3-Dimetil naftaleno | 13.- 9-Metil antraceno |
| 6.- 2,6-Dimetil naftaleno | 14.- Pireno |
| 7.- 1,5-1,4-2,3-Dimetil naftaleno | 15.- Benzo (ghi) PERILENO |
| 8.- 2,3,5-Trimetil naftaleno. | |

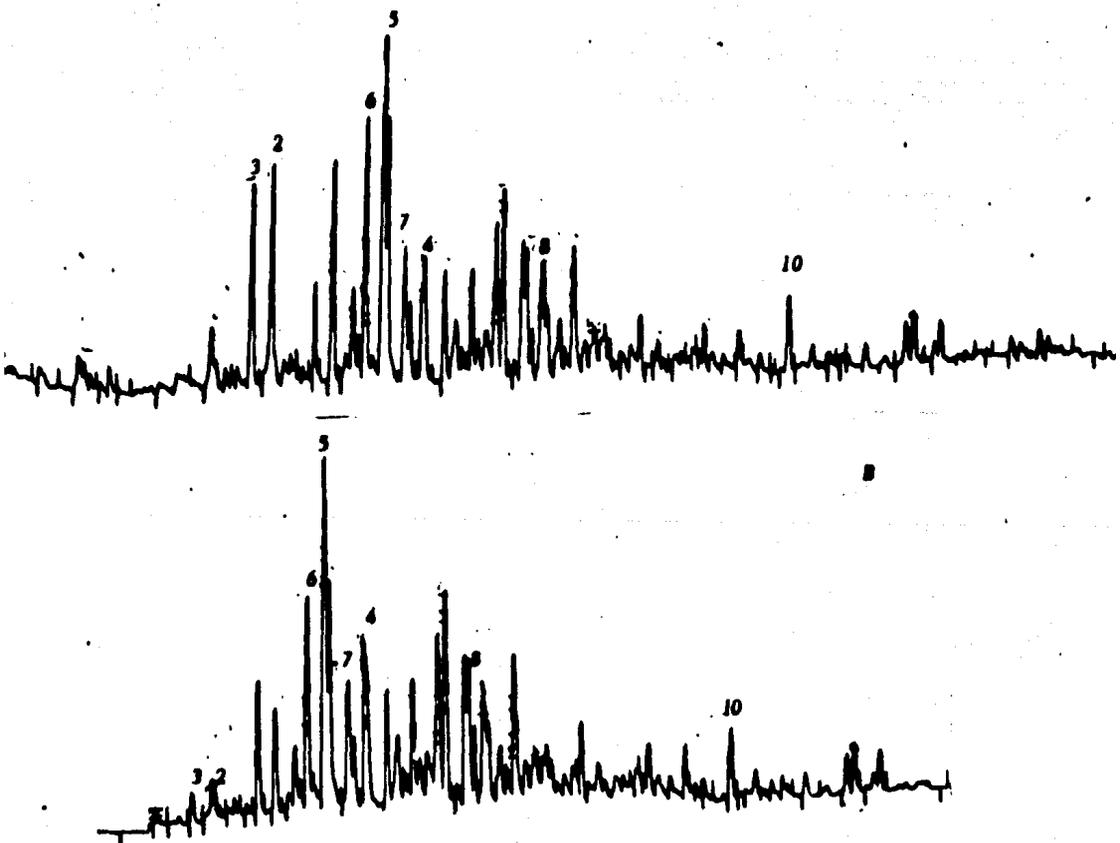
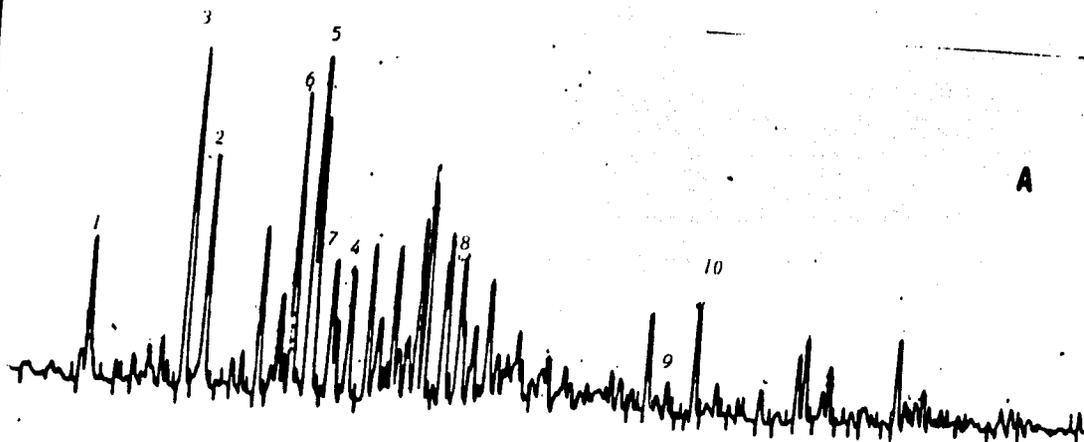
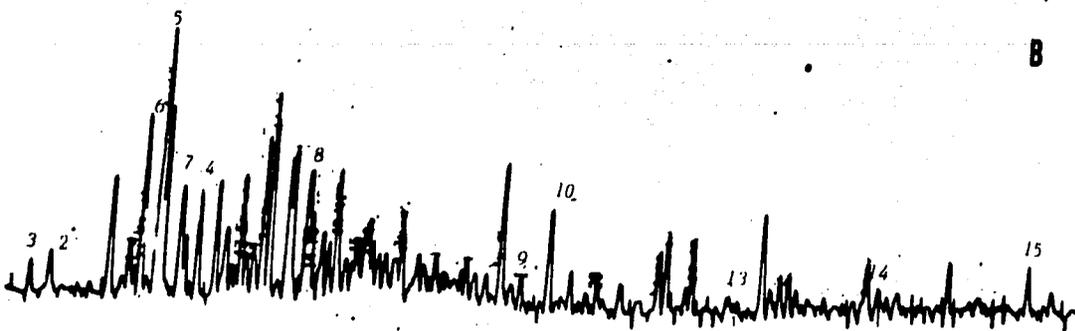


FIG. 19 Cromatogramas de los compuestos aromáticos presentes en los sedimentos recientes correspondientes a la estación No. 1 de Isla Sacrificios (A) y la estación No. 1 de Isla de Ensenada (B), siendo colectadas en Octubre de 1984.

- | Tipo. de Compuesto | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| 1.- Naftaleno | 10.- Fenantreno |
| 2.- 1-Metil naftaleno | 11.- Antraceno |
| 3.- 2-Metil naftaleno | 12.- 2-Metil antraceno. |
| 4.- 1,2-Dimetil naftaleno | 13.- 9-Metil antraceno |
| 5.- 1,3-Dimetil naftaleno | 14.- Pireno |
| 6.- 2,6-Dimetil naftaleno | 15.- Benzo (ghi) perileno |
| 7.- 1,5-1,4-2,3-Dimetil naftaleno | |
| 8.- 2,3,5-Trimetil naftaleno | |
| 9.- Dibenzotiofeno | |

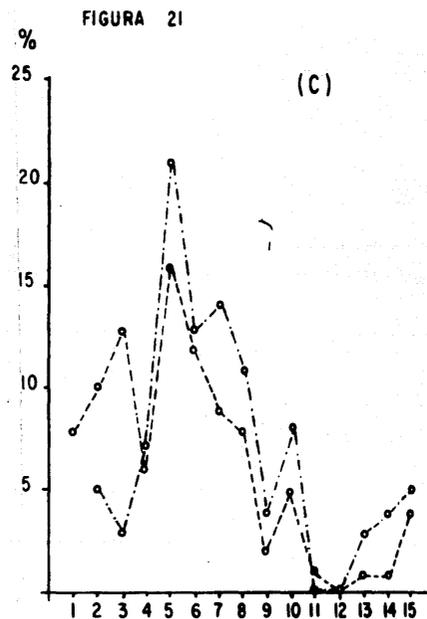
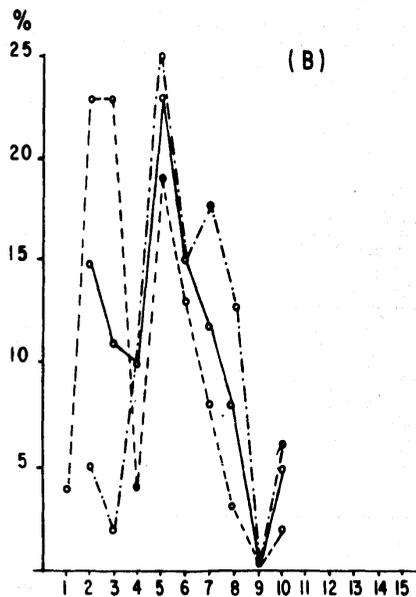
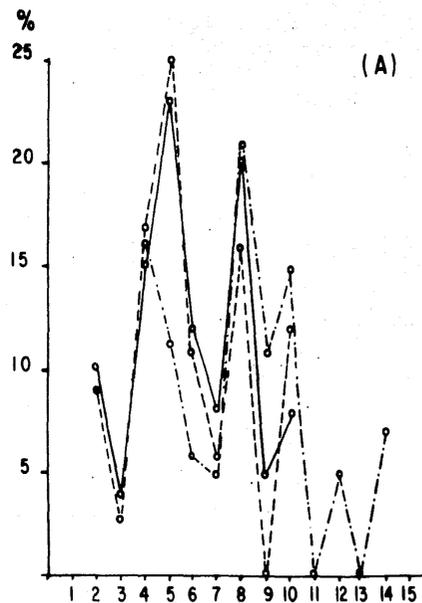


A



B

FIG. 20 Cromatogramas de los compuestos aromáticos presentes en sedimentos provenientes de la estación No. 1 de Isla Verde (A) y estación No. 2 de Isla de Enmedio (B) siendo colectadas en Marzo 1985.



1- NAFTALENO
 2 1-METIL NAFTALENO
 3- 2-METIL NAFTALENO
 4- 1-2 DIMETIL NAFTALENO
 5- 1-3 DIMETIL NAFTALENO

6- 2,6 DIMETIL NAFTALENO
 7 1,5 1,4 2,3 DIMETIL NAFTALENO
 8- 2,3,5 TRIMETIL NAFTALENO
 9- DIBENZOTIOFENO
 10- FENANTRENO

11- ANTRACENO
 12 2-METIL ANTRACENO
 13- 9-METIL ANTRACENO
 14- PIRENO
 15- BENZO (ghi) PERILENO

ISLA SACRIFICIOS —————
 ISLA VERDE - - - - -
 ISLA DE ENMEDIO - - - - -

PATRON TEMPORAL DE LA DISTRIBUCION DE LOS HIDROCARBUROS AROMATICOS (PAH's) DE LOS SEDIMENTOS RECIENTES DE TRES ISLAS ARRECIFALES DE VERACRUZ A MAYO (1984), B OCTUBRE (1984), C MARZO (1985).

aromáticos proviene de una misma fuente. En todos los casos, los homólogos alquílicos del naftaleno representaron aproximadamente el 80% del total de los PAH. Así también el compuesto 1,3 dimetil naftaleno (5) ocupa los más altos niveles ($> 20\%$); en menor proporción le siguen el 2,6 dimetil naftaleno (6); 2,3,5, trimetil naftaleno (8); 1,2 dimetil naftaleno (4); la mezcla de 1,5+1,4+2,3 dimetil naftaleno (7), 1-metil naftaleno (2) y el 2-metil naftaleno, siendo generalmente este último compuesto el menos abundante dentro del grupo de los derivados del naftaleno.

También constantemente se detectó el Fenantreno, reportando los más altos porcentajes en el mes de Mayo (84). Sin embargo el Dibenzotiofeno, el Antraceno con sus homólogos metílicos, así como el Pireno y Benzo(ghi)perileno estuvieron ausentes durante el mes de Octubre (84), mientras que en Mayo y Marzo se registraron cantidades muy pequeñas de estos compuestos en los sedimentos de las Isla de Enmedio e Isla Verde.

Como se mencionó en la introducción, la presencia de hidrocarburos aromáticos en el medio marino es atribuida principalmente a dos tipos de fuentes, la relacionada con los diversos procesos de combustión interna y la propiciada por las actividades de extracción, manejo, procesamiento y utilización de los hidrocarburos del petróleo.

Para comprobar si efectivamente la presencia de hidrocarburos aromáticos contenidos en los sedimentos analizados es atribuida al petróleo y/o derivados es necesario tomar en cuenta el porcentaje correspondiente a los hidrocarburos aromáticos de tipo alquilados, ya que su abundancia relativa y la distribución de dichos compuestos esta dependiendo fuertemente de la temperatura a la cual fue sometida durante su formación. De esta manera, bajo condiciones de temperatura relativamente bajas ($100-150^{\circ}\text{C}$) tal como se formó el petróleo, predominan los hidrocarburos aromáticos polinucleares con sustituciones alquílicas. Mientras que a temperaturas altas (2000°C) como las requeridas en los diversos procesos de combustión, los hidrocarburos poliaromáticos no ramificados son los más abundantes y los de tipo alquilados son escasos (Blumer, 1976).

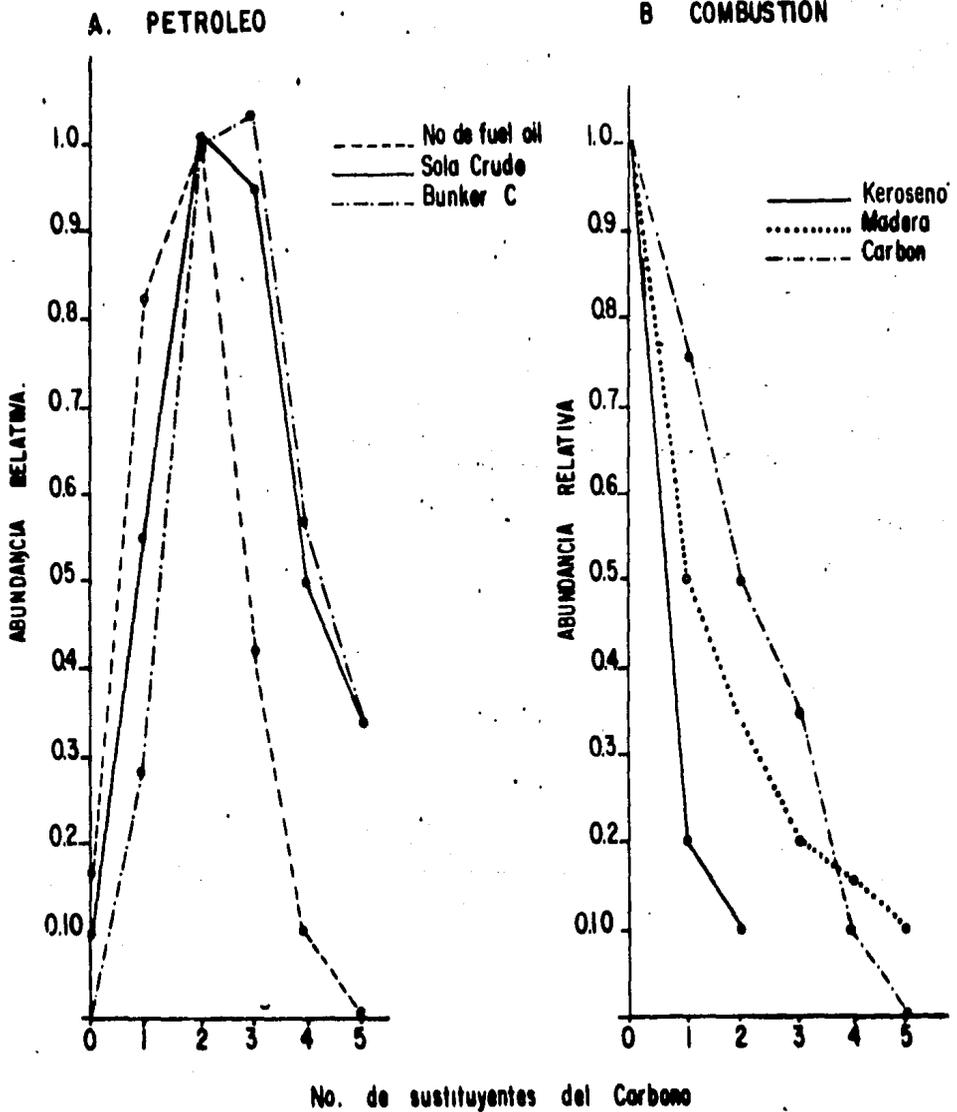
Existen varios estudios, (Youngblood y Blumer, 1975; Blumer, 1976; LaFlame y Hites, 1978), en los cuales el porcentaje de los hidrocarburos aromáticos de tipo alquilado ha sido una herramienta útil para diferenciar los aportes petrogénicos de los pirolíticos, y es confiable por que su naturaleza química, distribución y permanencia en el medio marino no son significativamente alterados por los procesos de intemperización o degradación biológica (Van Vleet et al., 1984).

Para ejemplificar lo anteriormente expuesto, en la Fig. 22 se muestra la distribución de los compuestos homólogos alquílicos del fenantreno provenientes de varios petróleos y por otro lado, se muestra un producto derivado de la combustión incompleta de materiales orgánicos, como es el pireno (Youngblood y Blumer, 1975; LaFlame y Hites, 1978). A este respecto, en los diferentes petróleos (A), los homólogos del fenantreno con 2 o 3 sustituciones alquílicas fueron los más abundantes. Asimismo los homólogos del naftaleno presentan este mismo comportamiento, especialmente los derivados dimetilados, que son los más abundantes en el petróleo y sus aceites refinados (Tabla XIV). Por el contrario, los homólogos alquílicos del pireno (B) son escasos en materiales pirolizado, ya que las altas temperaturas facilitan la pérdida de dichos compuestos.

En base a los conceptos anteriores se analizaron de manera global el contenido de naftaleno y sus derivados metilados de las fracciones aromáticas de los sedimentos analizados, graficando los resultados de manera análoga a la Fig. 22. Los datos se encuentran representados en la Fig. 23. Se comprueba que la mayor proporción de los derivados naftalénicos corresponde a los compuestos di y tri metilados en los tres muestreos realizados. Estos resultados refuerzan de manera notable la hipótesis de una presencia petrogénica en el área de estudio.

Cantidades muy pequeñas de compuestos aromáticos con 3 a 5 anillos bencénicos, revelan una discreta contaminación por fuentes de tipo pirolítico; muy probablemente se deba a la distancia existente entre el Puerto y las islas arrecifales de Veracruz, aunado a la dirección de las

FIGURA 22.

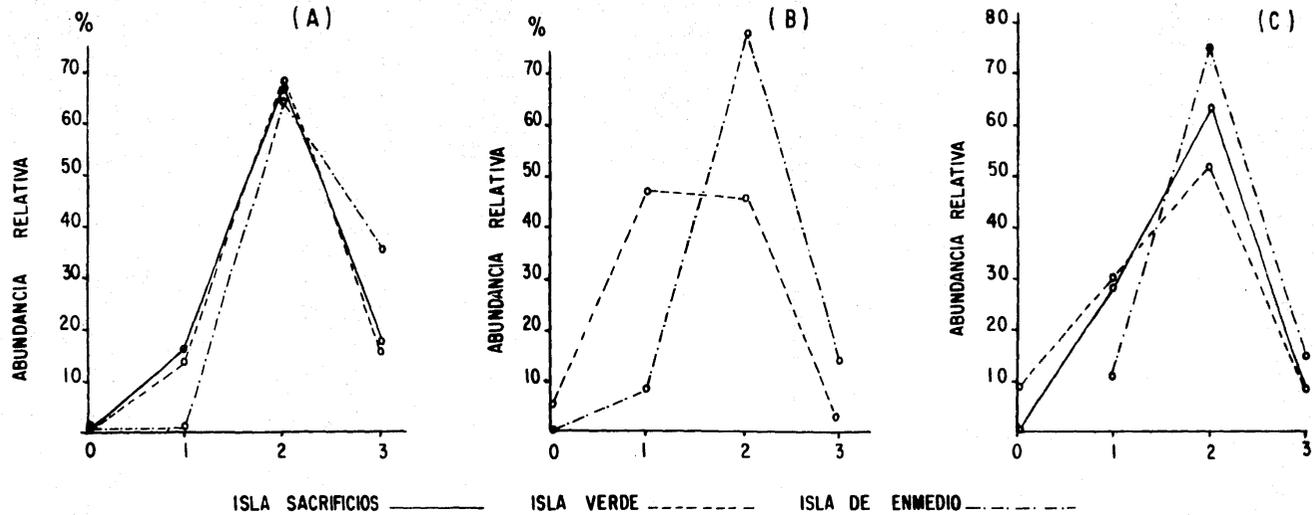


DISTRIBUCION DE LOS HOMOLOGOS ALQUILICOS DE LOS PAH's DERIVADOS DE A) PRODUCTOS DEL PETROLEO (Fenantrenos) Y B) PRODUCTOS DE COMBUSTION (Pirenos). (TOMADO DE VAN VLEET, 1984)

TABLA XIV.
 Concentración (mg/kg ó ppm) individual de los PAH's contenidos en dos
 petróleos crudos y dos petróleos destilados. (Tomado Neff, 1979)

Compuestos Aromáticos	C o n c e n t r a c i o n			
	Crudo del Sur Louisiana	Crudo de Kuwait	Aceite de Petróleo No. 2	Aceite Residual Bunker C
Naftaleno	400	400	4 000	1 000
1-metilnaftaleno	800	500	8 200	2 800
2-metilnaftaleno	900	700	18 900	4 700
dimetilnaftaleno	3 600	2 000	31 100	12 300
trimetilnaftaleno	2 400	1 900	18 400	8 800
Fluorenos	200	100	3 600	2 400
Fenantreno	70	26	429	482
1-metilfenantreno	111	---	173	43
2-metilfenantreno	144	89	7 677	828
Fluorantreno	5.0	2.9	37	240
Pireno	3.5	4.5	41	23
Benzo(a)antraceno	1.7	2.3	1.2	90
Criseno	17.56	6.9	2.2	196
Benzo(ghi)fluorantreno	1	1	----	----
Benzo(h)fluorantreno	0.5	1	----	----
Benzo(j)fluorantreno	0.9	1	----	----
Benzo(k)fluorantreno	1.3	1	----	----
Benzo(a)pireno	0.75	2.8	0.6	44
Benzo(e)pireno	2.5	0.5	0.1	10
Perileno	34.8	0.1	----	22
Benzo(ghi)perileno	1.6	1	----	----

FIGURA 23.



DISTRIBUCION DE LOS HOMOLOGOS ALQUILICOS DERIVADOS DEL NAFTALENO CONTENIDOS EN LOS SEDIMENTOS RECIENTES DE LAS TRES ISLAS ARRECIFALES DE VERACRUZ, COLECTADAS EN MAYO DE 1984 (A), OCTUBRE 1984 (B) Y MARZO 1985 (C)

corrientes y vientos, las cuales dispersarían irregularmente dichos compuestos.

Por otro lado, es un hecho sorprendente el encontrar cantidades considerables de PAH's de bajo peso molecular en los sedimentos provenientes de zonas subtropicale, ya que estos compuestos son removidos más fácilmente del medio marino a través de la evaporación y/o degradación microbiana, por lo cual su presencia este relacionada muy posiblemente a las siguientes razones:

1) Se trata de una contaminación reciente por petróleo y/o derivados sobre los sistemas arrecifales estudiados. Varios estudios (Teal et al., 1978; Macko et al., 1981) han confirmado a través del tiempo que los compuestos aromáticos de bajo peso molecular (Naftalenos-Fenantrenos) son removidos más rápidamente que los compuestos pesados (3 o más anillos bencénicos). La velocidad de removimiento también esta en función con la temperatura de la zona; en áreas cálidas es más intenso que en áreas frías. Las observaciones anteriores han sido comprobadas en condiciones *in vitro*, donde el tiempo de residencia para los compuestos alquilados del Naftaleno y Fenantreno abarca de 2 hasta 20 días.

Otra característica que va de acuerdo a la propuesta de una contaminación reciente, es que en los cromatogramas de la fracción alifática y aromática de los sedimentos analizados no se presenta un elevado "hump". Se ha reportado que los sedimentos contaminados por hidrocarburos del petróleo, conforme va transcurriendo el tiempo, sus fracciones presentan un mayor "hump" (Jonas et al., 1983 y Macko et al., 1981).

2) Aunque la descarga de petróleo no sea reciente, pueden ocurrir otras situaciones:

- a) Debido a la pequeña solubilidad que presentan en el agua y a su carácter hidrofóbico, comunmente los PAH's son fácilmente adsorbidos al material particulado (carbón activado, material calcáreo, sílica,

partículas sólidas inorgánicas y orgánicas) y superficies sólidas que flotan en el agua de mar. Muy probablemente de esta manera y a través de la actividad mareal los PAH son incorporados inmediatamente al sedimento antes de ser intemperizados. Lo anterior se confirma al no registrar hidrocarburos disueltos y/o dispersos en la columna de agua durante este trabajo.

b) En los sedimentos arenosos de las islas estudiadas, se encontró un escaso contenido de material orgánico (Tablas III-V). Este hecho, como ya se mencionó en otra sección, se relaciona con una baja actividad microbiana, lo que trae como consecuencia una tasa disminuida en la biodegradación de los PAH's contenidos en los sedimentos.

c) A través del fenómeno llamado bioturbación, la capa externa del sedimento se mezcla constantemente con las internas gracias a la intensa actividad de la epifauna y la infauna del fondo marino. A consecuencia de este hecho, el petróleo se incorpora paulatinamente en capas de sedimentos más profundas donde el rango de degradación decrece considerablemente a causa de la reducida actividad bacteriana.

Todos los sucesos anteriores muy posiblemente estén actuando paralelamente y dando como consecuencia los resultados anteriormente expuestos.

IDENTIFICACION Y CUANTIFICACION DE LOS HIDROCARBUROS AROMATICOS (PAH's)
EN HOJAS DE Thalassia testudinum.

Se analizaron en total 7 muestras de tejido foliar de Thalassia testudinum para determinar la concentración y la clase de hidrocarburos aromáticos presentes en estos vegetales.

En la Tabla XV se muestran los resultados correspondientes a la concentración de la fracción aromática obtenida por el método gravimétrico y el cromatográfico. Es claro, que al igual que en los sedimentos, los datos de las concentraciones gravimétricas (CG) fueron notadamente superiores a los obtenidos por cromatografía de gases (CC), siendo 42 veces mas elevados los primeros (en sedimentos, la relación CG/CC fue de 52).

De manera global, los resultados de Isla Verde fueron superiores a los de las otras dos islas, sin importar la manera de expresar la concentración.

Con respecto a los datos cromatográficos de la fracción aromática registrados en las hojas del pasto marino, estos fueron 18 veces superiores a los obtenidos por el mismo método en sedimentos. Este comportamiento de bioacumulación presentado por el pasto marino, también se verificó al considerar la fracción alifática.

En la Tabla XVI se anotaron los compuestos aromáticos identificados en las fracciones aromáticas de las hojas del pasto marino, con sus respectivas concentraciones. Asi también en los cromatogramas (Figs. 24-26) en donde se identificaron un 25% de los picos registrados, se encontró, al igual que los sedimentos el compuesto 1,3 dimetil naftaleno como el más común y abundante. Otros compuestos que de manera consistente se presentaron enriquecidos en la fracción aromática fueron (de una mayor a menor proporción) el 2,6 - dimetil naftaleno, el fenantreno, el 1-metil naftaleno, el 1,2 dimetil naftaleno y el 2,3,5 trimetil naftaleno.

TABLA XV.

Concentración gravimétrica (CG), cromatográfica (CC) y porcentaje de PAH's identificados en la fracción aromática de las hojas de Thalassia testudinum correspondientes a las tres islas arrecifales de Veracruz, en diferentes épocas de muestreo.

Estación	C O N C E N T R A C I O N .		% de PAH's identificados
	(CG) (ppm)	(CC) (ug/g)	
S-II-2	1160	35.513	29
V-I-2	1060	30.459	22
V-II-2	1900	109.872	31
V-III-1	860	26.107	22
\bar{X}	1273	45.479	25
E-I-1	1140	13.740	73
E-II-2	1000	12.566	72
E-III-2	520	14.308	76
\bar{X}	887	13.540	74

TABLA XVI

Concentración (ug/g) individual de los hidrocarburos aromáticos identificados en las hojas de Thalassia testudinum pertenecientes a las tres islas arrecifales de Veracruz, en diferentes épocas de muestreo.

COMPUESTO	S-II-2	V-I-2	V-II-2	V-III-1	E-I-1	E-II-2	E-III-2	TOTAL
Naftaleno	N.D.	0.559	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.559
1-Metil naftaleno	2.449	4.482	18.222	0.926	0.537	N.D.	N.D.	26.616
2-Metil naftaleno	1.163	3.525	14.217	0.522	N.D.	N.D.	N.D.	19.427
1,2-Dimetil naftaleno	3.249	4.776	9.827	6.491	N.D.	N.D.	1.271	25.614
1,3-Dimetil naftaleno	10.450	6.980	21.617	5.501	5.055	2.130	3.401	55.134
2,6-Dimetil naftaleno	6.622	4.009	14.979	2.580	0.945	1.593	1.880	32.608
1,5+1,4+2,3-Dimetil naftaleno	5.796	1.110	3.984	1.956	1.860	4.360	1.982	21.048
2,3,5-Trimetil naft.	3.913	2.520	5.970	2.772	1.605	2.326	2.349	21.472
Dibenzotiofeno	N.D.	0.510	0.902	0.423	N.D.	0.619	0.618	3.072
Fenantreno	1.791	1.425	18.314	2.409	1.815	1.538	2.408	29.700
Antraceno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-----
2-Metil antraceno	N.D.	N.D.	0.789	N.D.	0.315	N.D.	N.D.	1.104
9-Metil antraceno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.435	N.D.	N.D.	0.435
2,10-Dimetil antraceno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.275	N.D.	N.D.	1.275
Fluorantreno	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.750	N.D.	N.D.	0.750
Pireno	N.D.	0.563	1.138	0.573	N.D.	N.D.	0.399	2.673
Benzo (e) pireno	N.D.	N.D.	N.D.	1.004	N.D.	N.D.	N.D.	1.004
Benzo (a) pireno	N.D.	N.D.	N.D.	0.950	N.D.	N.D.	N.D.	0.950
CONCENTRACION TOTAL (ug/g).	35.433	30.459	109.959	26.107	14.592	12.566	14.308	243.441

N.D.= No Detectable

Tipo de Compuestos.

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| 1.- Naftaleno | 10.- Fenantreno |
| 2.- 1-Metil naftaleno | 11.- Antraceno |
| 3.- 2-Metil naftaleno | 12.- 2-Metil antraceno |
| 4.- 1,2-Dimetil naftaleno | 13.- 9-Metil antraceno |
| 5.- 1,3-Dimetil naftaleno | 14.- 9,10-Dimetil antraceno |
| 6.- 2,6-Dimetil naftaleno | 15.- Fluorantreno |
| 7.- 1,5-1,4-2,3-Dimetil naftaleno | 16.- Pireno |
| 8.- 2,3,5-Trimetil naftaleno | 17.- Benzo (e) pireno |
| 9.- Dibenzotiofeno | 18.- Benzo (a) pireno |

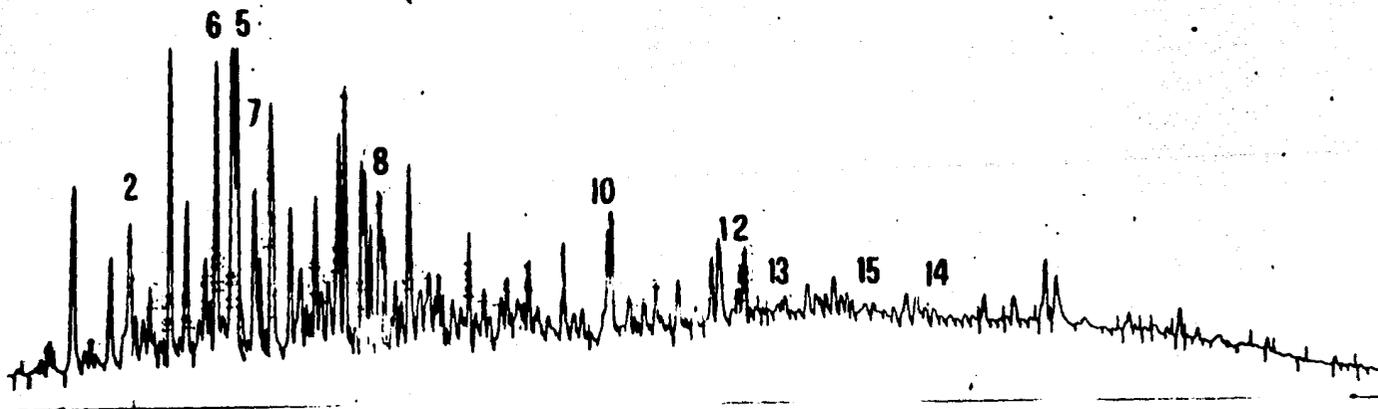


FIG.24 .Cromatograma de los compuestos aromáticos presentes en las hojas de Thalassia testudinum provenientes de la estación No. 1 en Isla de Enmedio, siendo colectadas en Mayo de 1984.

- | | Tipo de Compuesto. |
|----|--------------------------------|
| 1 | Naftaleno |
| 2 | 1-metil Naftaleno |
| 3 | 2-metil Naftaleno |
| 4 | 1,2-dimetil Naftaleno |
| 5 | 1,3-dimetil Naftaleno |
| 6 | 2,6-dimetil Naftaleno |
| 7 | 1,5 1,4 2,3-dimetil Naftaleno. |
| 8 | 2,3,5-trimetil Naftaleno. |
| 9 | Dibenzotiofeno. |
| 10 | Fenantreno. |
| 11 | Antraceno |
| 12 | 2-metil Antraceno |
| 13 | 9-metil Antraceno |
| 14 | 9,10-dimetil Antraceno |
| 15 | Fluorantreno. |
| 16 | Pireno. |
| 17 | Benzo(e)pireno. |
| 18 | Benzo (a) pireno. |

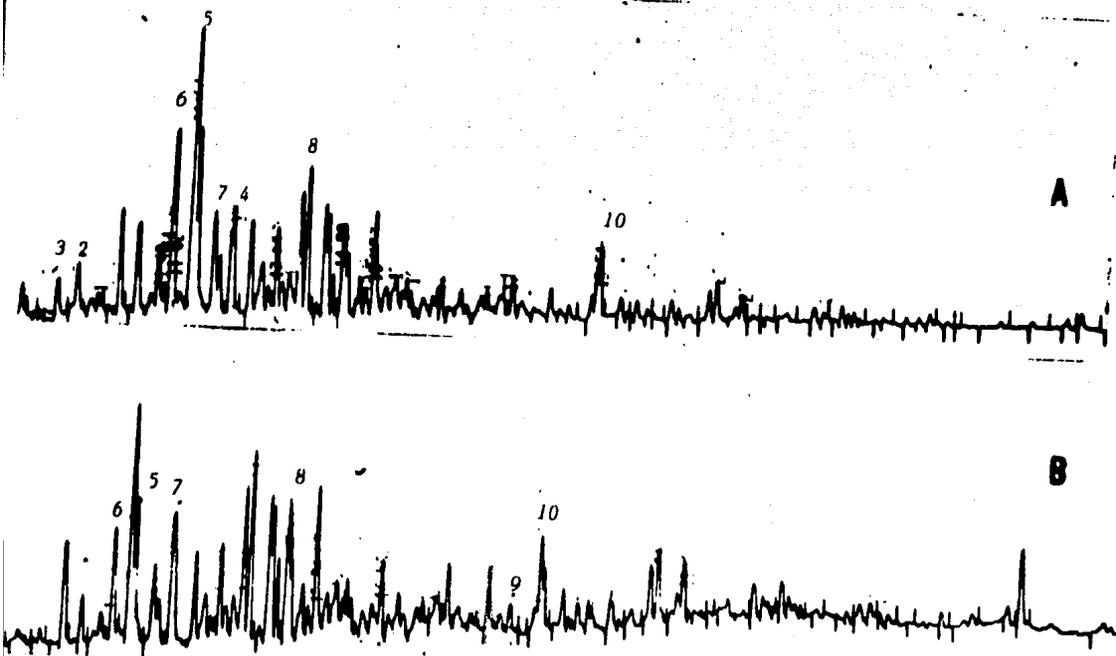


FIG. 25 Cromatogramas de los compuestos aromáticos presentes en las hojas de *Thalassia testudinum* provenientes de la estación No.2 en Isla Sacrificios (A) y la estación No.2 de Isla de Enmedio (B), siendo colectadas en el mes de Octubre de 1984.

Tipo de Compuestos

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| 1.- Naftaleno | 12.- 2-Metil antraceno |
| 2.- 1-Metil naftaleno | 13.- 9-Metil antraceno |
| 3.- 2-Metil naftaleno | 14.- 9,10-Dimetil antraceno |
| 4.- 1,2-Dimetil naftaleno | 15.- Fluorantreno. |
| 5.- 1,3-Dimetil naftaleno | 16.- Pireno |
| 6.- 2,6-Dimetil naftaleno | |
| 7.- 1,5-1,4-2,3-Dimetil naftaleno | |
| 8.- 2,3,5-Trimetil naftaleno | |
| 9.- Dibenzotiofeno. | |
| 10.- Fenantreno | |
| 11.- Antraceno | |

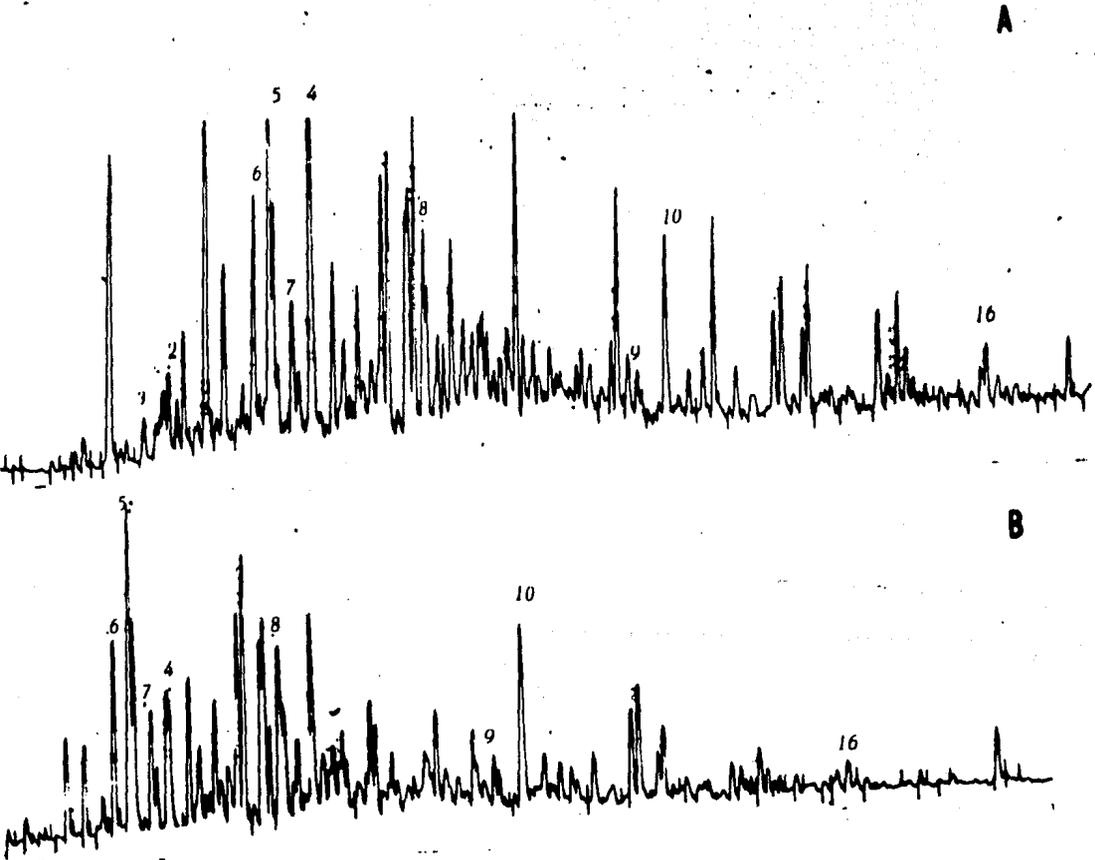


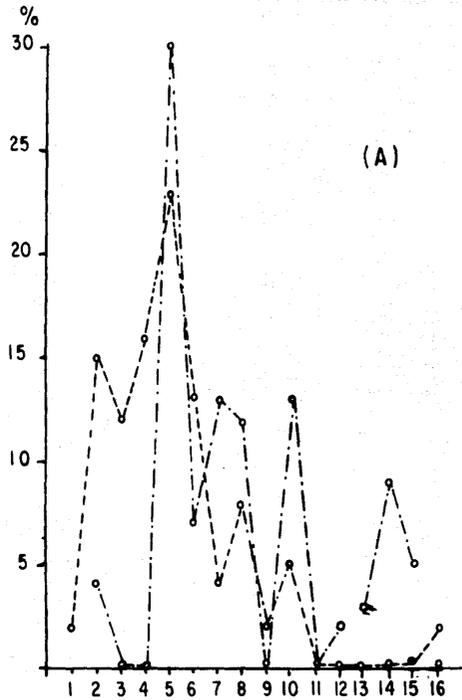
FIG. 26 Cromatogramas de los compuestos aromáticos presentes en las hojas de *Thalassia testudinum*, provenientes de la estación No. 1 en Isla Verde (A) y la estación No. 2 de Isla de Enmedio (B), siendo colectadas en Marzo de 1985.

Es evidente que los cromatogramas de las fracciones aromáticas del pasto marino fueron muy similares a los presentados en los sedimentos analizados, sin embargo la concentración del fenantreno fue mayor en el pasto que en los sedimentos recientes.

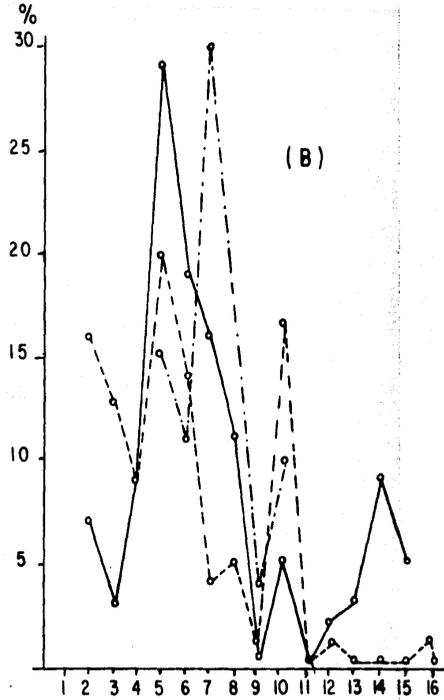
El fenantreno es un compuesto aromático que presenta un arreglo angular que le permite ser disuelto en el agua de mar y permanecer estable más tiempo que el resto de los PAH. Este hecho permite que las hojas de Thalassia testudinum interaccionen con el fenantreno directamente, tomándolo de la columna de agua e incorporándolo a sus tejidos. De lo anterior, se sugiere que el mayor contenido de fenantreno en las hojas del pasto marino muy posiblemente proviene del agua de mar, más que por un transporte rizomal desde el sedimento.

Por otro lado, en la Fig. 27 es posible observar que en general las hojas de Thalassia testudinum desplegaron el mismo patrón de composición porcentual de la fracción aromática en las 3 islas estudiadas a lo largo del presente estudio que puede sintetizarse de la siguiente manera: una alta proporción de derivados naftalénicos dimetilados y una insignificante presencia de compuestos pesados. Es conveniente notar que este mismo comportamiento o presentaron los sedimentos, con lo cual se refuerza la observación de que la principal fuente de hidrocarburos al sistema marino es de origen petrogénico, ya que los compuestos que se consideran como característicos de fuentes pirolíticas se encuentran en proporciones insignificantes.

En la Fig. 28 se observa el cromatograma de la fracción aromática de una muestra de tejido foliar de Thalassia testudinum comparándose con el cromatograma correspondiente al sedimento obtenido de manera paralela en la misma estación y época de muestreo. Es notable la similitud en ambos casos, en el contenido de homólogos alquílicos del naftaleno. Por otro lado, se advierte en las hojas una alta concentración de fenantreno, al cotejarlo con el sedimento. Estas observaciones sugieren fuertemente que tanto la planta como el sustrato han estado expuestos a la presencia de hidrocarburos petrogénicos. Asimismo, los tejidos foliares del pasto marino, se encuentran



(A)



(B)

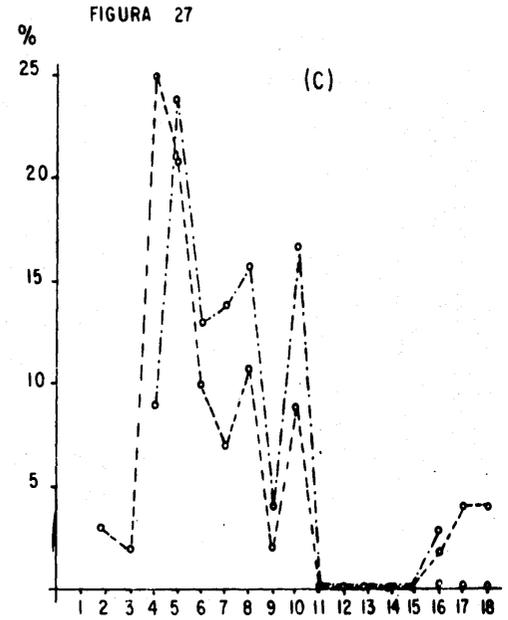


FIGURA 27

(C)

HIDROCARBUROS AROMATICOS

- 1- NAFTALENO
- 2- 1-METIL NAFTALENO
- 3- 2-METIL NAFTALENO
- 4- 1,2 DIMETIL NAFTALENO
- 5- 1,3- DIMETIL NAFTALENO
- 6- 2,6 DIMETIL NAFTALENO

- 7- 1,5,1,4,2,3- DIMETIL NAFTALENO
- 8- 2,3,5 TRIMETIL NAFTALENO
- 9- DIBENZOTIOFENO
- 10- FENANTRENO
- 11- ANTRACENO
- 12- 2-METIL ANTRACENO

- 13- 9-METIL ANTRACENO
- 14- 9-10-DIMETIL ANTRACENO
- 15- FLUORANTRENO
- 16- PIRENO
- 17- BENZO (e) PIRENO
- 18- BENZO (a) PIRENO

ISLA SACRIFICIOS —————
 ISLA VERDE - - - - -
 ISLA DE ENMEDIO - · - · -

PATRON TEMPORAL DE LA DISTRIBUCION DE LOS HIDROCARBUROS AROMATICOS (PAH's) CONTENIDOS EN LAS HOJAS DE *Thalassia testudinum* CORRESPONDIENTES A LAS TRES ISLAS ARRECIFALES DE VERACRUZ. A MAYO (1984), B OCTUBRE (1984), C MARZO (1985)

Tipo de Compuesto.

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| 1.- Naftaleno | 12.- 2-Metil antraceno |
| 2.- 1-Metil naftaleno | 13.- 9-Metil antraceno |
| 3.- 2-Metil naftaleno | 14.- 9,10-Dimetil antraceno |
| 4.- 1,2-Dimetil naftaleno | 15.- Fluorantreno |
| 5.- 1,3-Dimetil naftaleno | 16.- Pireno |
| 6.- 2,6-Dimetil naftaleno | 17.- Benzo (e) pireno. |
| 7.- 1,5-1,4-2,3-Dimetil naftaleno | 18.- Benzo (a) pireno |
| 8.- 2,3,5-Trimetil naftaleno | |
| 9.- Dibenzotiofeno. | |
| 10.- Fenantreno | |
| 11.- Antraceno | |

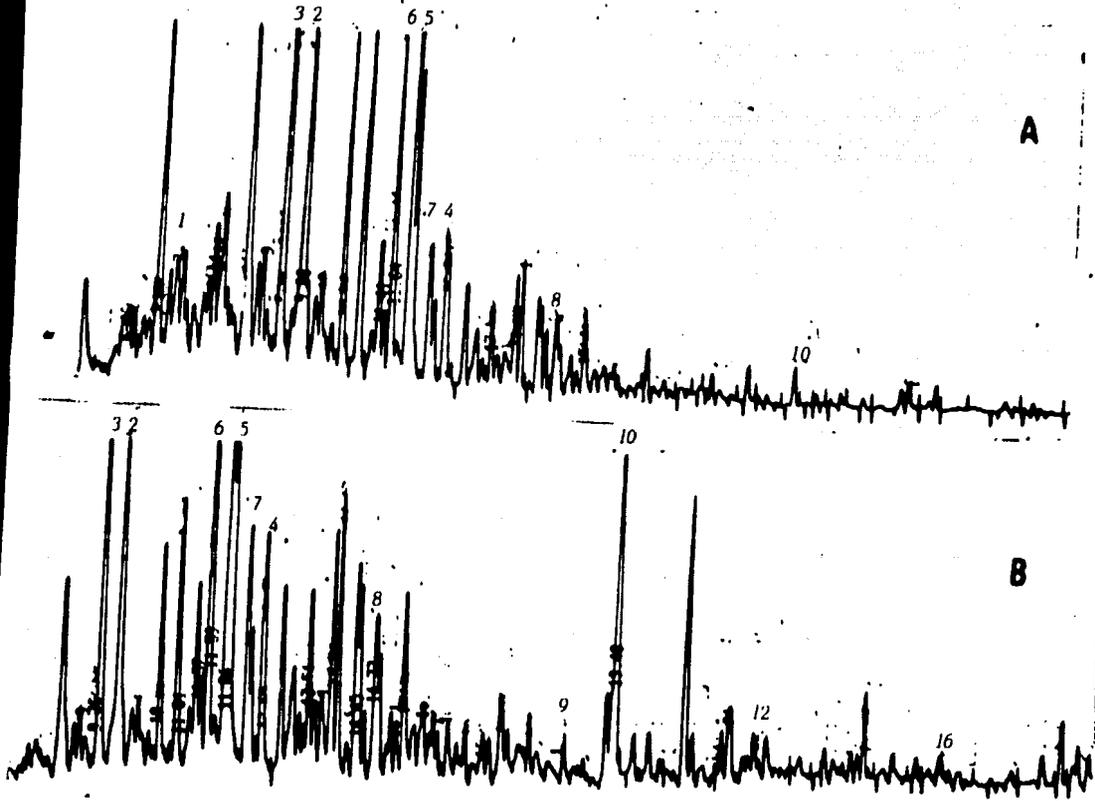


FIG. 28 Cromatogramas de los compuestos aromáticos presentes en sedimentos (A) y hojas de *Thalassia testudinum* (B) provenientes de la estación No. 2 en Isla Verde, siendo colectadas en Octubre 1984.

bioacumulando dichos contaminantes ya que presentaron concentraciones más elevadas que las registradas en el medio exterior.

Varios investigadores han observado que las algas marinas expuestas a dosis crónica de Naftaleno, Fenantreno, o sus derivados metílicos, muestran una disminución en el crecimiento y la tasa fotosintética, infiriéndose que tal vez dichos compuestos ejercen un efecto inhibitor sobre la síntesis de ATP (Vandermeulen y Ahern, 1976).

Con respecto al pasto marino, se está empezando a experimentar, encontrándose que los hidrocarburos del petróleo en forma dispersa son más nocivos que el mismo petróleo crudo, de esta manera altas concentraciones de hidrocarburos durante largos períodos de tiempo, provoca una disminución en el crecimiento de estas plantas. Asimismo, se ha verificado que Thalassia testudinum es uno de los pastos marinos más resistentes a los danos generados por los hidrocarburos (Thorhaug et al 1986).

El desarrollo y crecimiento de las comunidades de Thalassia testudinum en las zonas arrecifales del Puerto de Veracruz se ven perturbadas por una gran variedad de cambios climáticos y todas aquellas alteraciones provocadas por el hombre. En especial, el presente trabajo hace énfasis en que la contaminación por petróleo y sus derivados es un factor, entre otros, que interfiere en el buen desarrollo y crecimiento de las poblaciones de esta fanerógama, constituyéndose en un elemento de perturbación del ecosistema costero.

CONCLUSIONES

- Se evidenció la presencia de hidrocarburos petrogénicos en muestras de sedimento y hojas de Thalassia testudinum provenientes de las tres islas arrecifales del Puerto de Veracruz, durante los muestreos realizados.
 - El análisis de las fracciones saturadas y aromáticas a través de la cromatografía de gases verificaron resultados similares tanto en sedimento como en las hojas del pasto marino, siendo los siguientes:
 - 1) Un rango amplio de n-alcenos (C14-C30).
 - 2) Altas concentraciones de n-alcenos ligeros (C14 a C18).
 - 3) La no predominancia de carbonos impares (C15,C17,C19) sobre los pares (C16,C18,C20).
 - 4) Valores de CPI muy cercanos a la unidad.
 - 5) Presencia de fitano en proporciones similares a las del pristano.
 - 6) Se verificó un ligero "hump"
 - 7) Del total de los hidrocarburos aromáticos identificables, aproximadamente el 85% correspondieron a los compuestos metilados del naftaleno.
- De lo anterior se demuestra una marcada influencia de los hidrocarburos petrogénicos sobre las muestras analizadas.
- Isla Verde presentó las mayores concentraciones de hidrocarburos saturados y aromáticos tanto en sedimento y hojas del pasto marino, lo que sugiere una mayor perturbación en esta isla.

- Se manifestó una relación inversa entre los hidrocarburos disueltos y/o dispersos en el agua de mar y el contenido de hidrocarburos en sedimentos recientes, este hecho posiblemente confirma la importancia que tienen los procesos de disolución y sedimentación en la laguna arrecifal de cada isla.
- No se evidenció una relación directa entre el contenido de materia orgánica presente en los sedimentos con la cantidad de hidrocarburos.
- De acuerdo con los niveles de hidrocarburos detectados en las hojas de Thalassia testudinum, éstos fueron aproximadamente 18 veces superiores a los presentados en los sedimentos, por lo cual se sugiere un proceso de bioacumulación de hidrocarburos fósiles en sus tejidos foliares.
- La presencia de elevadas concentraciones de hidrocarburos de bajo peso molecular en las fracciones alifáticas y aromáticas de los sedimentos y hojas del pasto marino, muy posiblemente sugieren un aporte continuo o un vertimiento reciente de petróleo y/o derivados.

LITERATURA CITADA.

- ALBAIGES, J., 1981. The fate and source identification of petroleum tars in the marine environment. *GEOCHIM. COSMOCHEM. Acta* 48:233-249.
- ATAWAY, D. H., P. L. PARKER and J.A. HEARS, 1970. Normal alkanes of five coastal spermatophytes. *CONTR. MAR. SCI. UNIV. TEX.*, 15:13-19.
- AVIGAN, J. and M. BLUMER, 1968. On the origin of pristane in marine organisms. *J. LIP. RES.*, 9:350-352.
- BAYONA, J. M., J. GRIMALT y J. ALBAIGES, 1983. Aportes de hidrocarburos aloctonos y autoctonos a la plataforma continental mediterranea. In: Castellvi, J. (Edit.). *Estudio Oceanografico de la Plataforma Continental. Cadiz, Espana.*, 333-343.
- BLUMER, M., and W.D. SNYDER., 1965. Isoprenoid hydrocarbons in recent sediments: presence of pristane and probable absence of phytane. *SCIENCE*, 150: 1588-1589.
- BLUMER, M., M. M. MULLIN and R. R. L. GUILLARD, 1970. A polyunsaturated hydrocarbon (3,6,9,12,15,18-heneicosahexaene) in the marine food web. *MAR. BIOL.*, 6: 226-235.
- BLUMER, M., R. R. L. GUILLARD and T. CHASE, 1971. Hydrocarbons of marine phytoplankton. *MAR. BIOL.*, 8:183-189.
- BLUMER, M. and J. SASS, 1972. Oil Pollution: Persistence and degradation of spill fuel oil. *SCIENCE.*, 176:1120-1122.
- BLUMER, M., M. EHRHARDT and J. H. JONES, 1973. The environmental fate of stranded crude oil. *DEEP-SEA. RES.*, 20:239-259.

- BLUMER, M., 1976. Polycyclic aromatic compounds in nature. *SCI. AMERICAN.*, 234:35-45.
- BOEHM, P. D., J.G. QUINN., 1973. Solubilization of hydrocarbons by the dissolved organic matter in sea water. *GEOCHIM. COSMOCHIM. Acta*, 37:2459-2477.
- BOTELLO, A. V., 1978. Presencia de hidrocarburos fosiles en sistemas costeros y estuarios del Golfo de Mexico, Tesis Doctoral, Centro de Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Auton. Mexico.
- BOTELLO, A. V., 1978., Presencia de hidrocarburos fosiles en ecosistemas estuarinos del Golfo de Mexico. *REV. BIOL. TROP.*, 26(Supl. 1): 135-151.
- BOTELLO, A. V. and E. F. MANDELLI., 1978. Distribution of n-paraffins in seagrasses, benthic, algae, oysten and recent sediments from Terminos Lagoon, Campeche, Mexico. *BULL. ENVIRON. CONTAM. TOXICOL.*, 19(2):162-170.
- BOTELLO, A. V. and E. F. MANDELLI., 1979., Distribution of normal paraffins in the leaves of Thalassia testudinum from the Gulf of Mexico. *BULL. MAR. SCI.* 29 (3): 436-440.
- BOTELLO, A. V., 1980., Cuantificacion de un derrame petrolero ocurrido en la Laguna de Terminos, Campeche, Mexico, 1976. *AN. CENTRO. CIENC. DEL MAR y LIMNOL. UNIV. NAL. AUTON. MEXICO.*, 7(1):169-176.
- BOTELLO, A. V., S. CASTRO, L. CELIS Y J. CORTES., 1981. Concentracion de hidrocarburos fosiles en sedimentos marinos recientes de las cercanias al Puerto de Veracruz, Mexico. *Reporte Tecnico. INST. CIENC. DEL MAR y LIMNOL. UNIV. NAL. AUTON. MEXICO.*

- BOTELLO, A. V., Y F. PAEZ., 1986. El problema crucial : la contaminacion. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos. Centro de Ecodesarrollo, Mexico.**
- BOTELLO, A. V., S. VILLANUEVA Y M. MENDELEWICZ., 1986. Programa de Vigilancia de los hidrocarburos fosiles en sedimentos del Golfo de Mexico y Caribe Mexicano: 1978-1984. CARIB. J. SCI., 23(1): 29-39.**
- BOTELLO, A. V., y S. VILLANUEVA., 1987. Evaluacion Geoquimica el Rio Calzadas: los impactos del petroleo. En: Toledo, A., A.V. Botello y M. Herzig. El pantano: una riqueza que se destruye. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos. Centro de Ecodesarrollo, Mexico.**
- CASTRO, S., 1983. Hidrocarburos disueltos en costas mexicanas 1980-1983. Trabajo presentado para obtener creditos de investigacion en la Maestria de Ciencias del Mar del ICM y L. CCH, U.N.A.M., Mexico.**
- CELIS, L., A. V. BOTELLO., M. MENDELEWICZ and G. DIAZ., 1987. Actividades del proyecto Caripol, en la zona costera de Mexico: I Hidrocarburos Disueltos. CARIB. J. SCI., 23(1): 11-18.**
- CLARK, R. C. and M. BLUMER., 1967. Distribuion of n-paraffins in marine organisms and sediment. LIMNOL OCEANOGR., 12:79-87.**
- CHAVEZ, E., E. HIDALGO, M. L. SEVILLA., 1970. Datos acerca de las comunidades bentonicas del arrecife de Lobos, Veracruz, REV. SOC. MEX. HIST. NAT., 31:211-280.**
- EGLINTON, G., A. G. GONZALEZ., R. J. HAMILTO and R. A. RAPHAEL. 1962. Hydrocarbon constituents of the wax coatings of plant leaves: a taxonomia survey. PHYTOCHEMISTRY, 1: 89-102.**

- FARRINGTON, J.W. and J.G. QUINN., 1973. Petroleum hydrocarbons in Narragansett Bay: Survey of hydrocarbons in sediments and clams (*Mercenaria mercenaria*). ESTUAR. COASTAL MAR. SCI., 1:71-79.
- FARRINGTON, J. W. and P.A. MEYERS., 1975. Hydrocarbons in the marine environment. In: Eglinton G. (ed.). Environmental Chemistry. The Chemical Society, London.
- FARRINGTON, J.W. and B.W. TRIPP., 1977. Hydrocarbons in western north Atlantic surface sediments. GEOCHIM. COSMOCHIM. Acta, 41:1627-1641.
- FARRINGTON, J.W. 1985. Oil in the Sea. Inputs, fates, and effects. National Academy Press. Washington, D.C.
- GALLEGOS, M. M.. 1976. Primeras etapas de la regeneracion del coibadal de *Thalassia testudinum* (Fanerogama Marina) en Isla de Enmedio, Veracruz. Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias. Univ. Nal. Auton. Mexico.
- GAUDETTE, H. E., W. R. FLIGHT., L. TONER and D.W. FOLGER., 1974. An inexpensive tritration method for the determination of organic carbon in recent sediments. J. SEDIMENT. PETROL., 449(1): 249-253.
- GEARING, P., J. N. GEARING, T. F. LYTLE and J.S. LYTLE., 1976. Hydrocarbons in 60 northeast Gulf of Mexico shelf sediments: a preliminary survey. GEOCHIM. COSMOCHIM. Acta, 40:1005-1017.
- GERLACH, S., 1981. Marine Pollution. Diagnosis and Therapy. Berlin Heidelberg New York. 71-103
- GESAMP., 1977. Joint group of experts on the scientifics of marine pollution "Impact of oil on the marine environment". Report and studies, No. 6. 255pp.

GOLDBERG, E., 1979. La salud de los oceanos. UNESCO. 127-147.

HAN, J. and M. CALVIN., 1969. Hydrocarbon distribution of algae and bacteria and microbiological activity in sediments. PROC. NATL. ACA. SCI. U.S.A. 64: 436-443.

HITES, R. A., 1976. Sources of polycyclic aromatic hidrocarbons in aqueous environments. In: Sources, effects, and sink of hydrocarbons in the aquatic environment. American Institute of Biological Sciences. 325-332.

HITES, R. A., R. E. LaFLAMME and J.W. FARRINGTON., 1977. Sedimentary polycyclic aromatic hydrocarbons: the historical record. SCIENCE. 198:829-831.

HOFFMAN, E.J., and J.G. QUINN., 1978. A comparison of Argo Merchant oil and sediment hydrocarbons from Nantucket Shoals. Proc. Conf. on In the Wake of the Argo Merchants. C.O.M.S., University of Rhode Island, Kingston, R.I.

HORNELAS, Q. Y., 1975. Comparacion de la biomasa, densidad y de algunos aspectos morfometricos de la fanerogama marina Thalassia testudinum, Konig 1805, en tres diferentes areas geograficas del Golfo de Mexico. Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias, Univ. Nal. Auton. Mexico.

IOCARIBE., 1980. Manual de Caripol para la Vigilancia de la Contaminacion por Petroleo. UNESCO.

JERNELOV, A. and O. LINDEN., 1981. Ixtoc I: a case study of the world's largest oil spill. AMBIO., 10 (6):299-306.

- JOHNSON, A. C., P. F. LARSEN, D. F. GADBOIS, A.W.HUMASON., 1985. The distribution of polycyclic aromatic hidrocarbons in the surficial sediments of Penobscot Bay (Maine, U.S.A.) in relation to possible sources and to other sites worldwide. MAR. ENVIR. RES., 15:1-16.
- JONES, D. M., A.G. DOUGLAS, R.J. PARKER, J.TAYLOR, W.GIGER and C. SCHAFFNER., 1983. The recognition of biodegraded petroleum-derived aromatic hidrocarbons in recent marine sediments. MAR. POLLUT. BULL., 14 (3):103-108.
- KEIZER, P. D., J. DALE and D. C. GORDON. 1978. Hydrocarbons in surficial sediments from the Scotian Shelf. GEOCHIM. COSMOCHIM. ACTA. 42:165-172.
- KOONS, L. J., D. DALIL and J. R. HARWOOD., 1985. Normal alkane distribution in marine organisms; posible significance to petroleum origin. BULL. AMER. ASSOC. PETRO. GEOLOG. 49(3):301-316.
- LaFLANNE, R.E. and R. A. HITES. 1978. The global distribution of polycyclic aromatic hidrocarbons in recent sediment. GEOCHIM. COSMOCHIM. Acta 42:289-303.
- LEE, R. R., 1980. Proceses afecting the fate of oil in the sea. In: Ceyer, R.A. (edts.). Marine Environmental Pollution: I Hidrocarburos. Elsevier Oceanography Series. 337-351.
- LOT-HELGUERAS, A. 1968. Estudios sobe fanerogamas marinas en las cercanias de Veracruz, Ver. Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias. Univ. Nal. Auton. Mexico.

- LOT-HELGUERAS, A., 1971 Estudios sobre fanerogamas marinas en las cercanias de Veracruz, Ver. AN. INST. BIO. UNIV. NAL. AUTON. Mexico, 42(1): 1-48.**
- LOT-HELGUERAS, A., 1977. General status of research on sea-grasses ecosystem in Mexico. In: Mc.Roy, C.P. and C. Helfferich (eds). Seagrass Ecosystems; an scientific perspective marine science. Leiden, Netherlands. 233-245.**
- MACKO, S.A., P.L., P. L. PARKER and A.v. BOTELLO., 1981. Persistence of spilled oil in a Texas salt Marsh. ENVIRON. POLLUT. (Serie B): 119-128.**
- MAPMOPP.,1981. Global oil pollution (results of MAPMOPP, the IGSS Pilot. Proyect on Marine Pollution Petroleum) monitoring IOC. Halifax, Canada.**
- MC ROY, C. P., and C. MC MILLAN.,1977. Production ecology and physiology of seagrasses. In: Mc Roy, C.P. and C. Helfferich (eds.). Seagrass Ecosystems: a scientific perspective. Marcel Dekker, New. York. 53-88.**
- MOORE, S.F.; 1974. Effects of oil on marine organism: a critical assessment of published data. WATER RESEARCH., 8:819-827.**
- NAS., 1975. Petroleum in the marine environment, Washington, D.C. National Academy of Science.**
- NEFF,J.W., 1979. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment. Sources, fates and biological effects. Applied Science Publishers, London.**
- NISHINURA, M and E.W.BAKER.,1986. Possible origin of n-alkanes with a remarkable even-to- odd predominance in recent marine sediments. GEOCHIM. COSMOCHIM. Acta 50:299-305.**

- NOVELO, R. L., 1976. Observaciones ecologicas de las poblaciones de Thalassia testudinum König (Hydrocharitaceae Marina) en una zona arrecifal de Veracruz. Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias. Univ.Na.Auton. Mexico. 33pp.
- PHILLIPS, R. C., 1978. Seagrasses and the Coastal Marine Environment. OCEANUS 21(3):30-40.
- SALIOT, A., 1981. Natural hydrocarbons in sea water. In: Durson, E.K. y R.Dawson (eds.). Marine Organic Chemistry, Evolution, Composition, Interactions and Chemistry of Organic Matter in Seawater. Elsevier. Oceanography Series.
- SECRETARIA DE LA MARINA, 1982. Muestreo secuencial en la bahia del Puerto de Veracruz, Ver. Direccion General de Oceanografia. Mexico.
- SECRETARIA DE LA MARINA, 1982. Comportamiento fisico-quimico del agua en el arrecife de Isla Verde, Ver. Direccion General de Oceanografia. Mexico.
- SMITH, J.D., J.Y. HAUSER AND J. BAGG, 1985. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of the Great Barrier Reef Region, Australia. MAR. POLL. 16(3): 110-114.
- STEVENS, N.P., E.E. BRAY AND E.D. EVANS, 1965. Hydrocarbons in sediments of Gulf of Mexico. ASSOC. PETROL. GEOL. 40:975-983.
- SPC/SPEC/ESCAP/UNEP, 1985. Ecological interactions between tropical coastal ecosystems. Regional Seas Reports and Studies. 73, UNEP.
- TEAL, J.M., K. BURNS, J. FARRINGTON, 1978. Analysis of aromatic hydrocarbons in intertidal sediments resulting from two spills of No. 2 fuel oil in Buzzards Bay, Massachusetts. J. FISH. RES. BIOL. CAN. 35:510-520.

- THORHAUG, A., 1981. *Biology and Management of seagrass in the Caribbean.* ANBIO. 10(6):295-298.
- THORHUAG, A., J. MARCUS AND F. BOOKER, 1986. *Dispersed oil on subtropical and tropical seagrasses in laboratory studies.* MAR. POLL. BULL. 17(8):357-361.
- TRAYER, G.W., D.A. WOLFE Y R.B. WILLIAMS, 1975. *The impact of man on seagrass systems.* AMER. SCI. 63(3):288-296.
- UNESCO, 1976. *Guide to operational procedures for the IGOSS pilot project on marine pollution (petroleum). Monitoring Manual and Guide No.7.*
- UNESCO, 1983. *Coral reefs, seagrass beds and mangrove: their interactions in the coastal zones of the Caribbean.* UNESCO reports in marine source. St. Croux, U.S. Virgin Islands.
- VANDERNEULEN J.H., Y T.P. AHERN, 1976. *Effect of petroleum hydrocarbons on algal physiology: review and progress report.* In Lockwood A.P.M. (ed.) *Effects of pollutants on aquatic organisms.* Cambridge University Press.
- VAN VLEET E.S., R.H. PIERCE, R.C. BROWN Y S.B. REINHARDT, 1984. *Sedimentary hydrocarbons from a subtropical marine estuary.* ORG. GEOCHEM. 5(4):56-67.
- VAZQUEZ DE LA CRUZ, A.M., 1983. *Corrientes marinas en las cercanías al Puerto de Veracruz en febrero de 1980.* Direccion General de Oceanografía. Mexico.
- VANKATESAN, M.J., S. BRENNER, E. RUTH, J. BONILLA E I.R. KAPLAN, 1980. *Hydrocarbons in age-dated sediment core from two basins in the southern California Bay.* GEOCHIM. COSMOCHIM. ACTA 44:789-802.

WINTERS K. 1969. Hydrocarbons of blue-green algae: geochemical significance. *SCIENCE* 163:467-468.

YAÑEZ-ARANCIBIA, A. 1982. Usos, recursos y ecología de la zona costera. *CIENCIA Y DESARROLLO. CONACYT marzo-abril, No. 43, ano VIII, pp. 58-63.*

YOUNGBLOOD, W.W., M. BLUMER, R. L. GUILLARD and F. FIORE., 1971. Saturated and unsaturated hydrocarabons in marine benthic algae. *MAR. BIOL.* 8:190-201.

YOUNGBLOOD, W.W. AND M. BLUMER, 1973. Alkanes and alkenes in marine benthic algae. *MAR. BIOL.* 21:163-172.

YOUNGBLOOD, W.W. AND M. BLUMER, 1975. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the inveroment: homologous series in soils and recent marine sediments. *GEOCHIM. COSMOCHIM. Acta* 39:1303-1314.

ZIEMAN, J.C., 1974. Methods for the study of growth and production of turtle grass, *Thalassia testudinum*. *AQUACULTURE.*, 4:139-143.

ZIEMAN, J.C., 1975. Tropical seagrass ecosystems and pollution. En: *Tropical marine pollution*. E.J. Ferguson and R.E. Johannes (Eds.) Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York.

APENDICE I

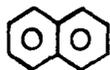
FORMULA DE LOS COMPUESTOS ISOPRENOIDES DETECTADOS EN EL PRESENTE ESTUDIO

PRISTANO = 2, 6, 10, 14 - Tetrametilpentadecano

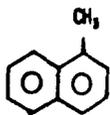


FITANO = 2, 6, 10, 14 - Tetrametilheptadecano





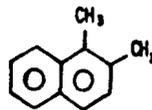
NAFTALENO



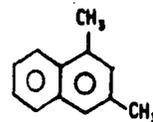
1-METIL NAFTALENO



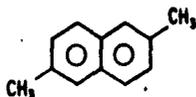
2-METIL NAFTALENO



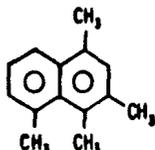
1,2-DIMETIL NAFTALENO



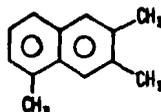
1,3-DIMETIL NAFTALENO



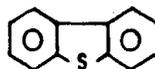
2-6 DIMETIL NAFTALENO



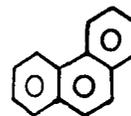
1,3-1,4,1,5 DIMETIL NAFTALENO



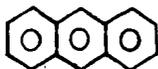
2,3,5 TRIMETIL NAFTALENO



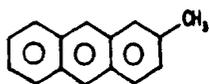
DBENZOTIOFENO



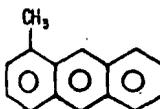
FENANTRENO



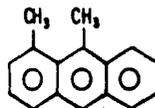
ANTRACENO



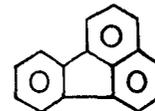
2-METIL ANTRACENO



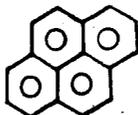
9-METIL ANTRACENO



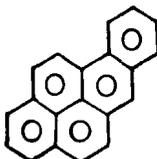
9-10 DIMETIL ANTRACENO



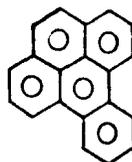
FLUORANTENO



PIRENO



BENZO (a) PIRENO



BENZO (e) PIRENO



BENZO (ghi) PERILENO

APENDICE II FORMULA DE LOS PAH's ENCONTRADOS EN EL PRESENTE ESTUDIO.