

# HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (PAH's) EN ÁREAS COSTERAS DEL GOLFO DE MÉXICO

*Alfonso Vázquez-Botello, Guadalupe Ponce-Vélez  
y Gilberto Díaz-González.*

*Laboratorio de Contaminación Marina,  
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM,  
Apartado Postal 70-305, México 04510, D.F.*

## RESUMEN

Este trabajo presenta la información generada sobre hidrocarburos del petróleo, particularmente los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH's), a través de diversas evaluaciones de los ecosistemas costeros del Golfo de México. Las concentraciones más altas de PAH's corresponden a las lagunas La Mancha y Salada, Veracruz, con  $5.01\mu\text{gg}^{-1}$  para sedimentos y  $4.82\mu\text{gl}^{-1}$  para agua superficial. Por otro lado, los sedimentos de la plataforma continental de Tamaulipas y Veracruz también registran valores altos de PAH's ( $4.45$  y  $3.30\mu\text{gg}^{-1}$ ); existe una dominancia de los compuestos formados por 4, 5 y 3 anillos bencénicos en la zona costera del Golfo de México. Organismos como los ostiones de los géneros *Crassostrea* y *Brachidontes*, y los peces de los géneros *Eugerres* y *Centropomus*, también presentan niveles altos de PAH's, sobre todo en los sistemas lagunares de Tabasco, con  $6.5$  y  $21.7\mu\text{gg}^{-1}$ , respectivamente.

Con base en la composición de PAH's identificados, las posibles fuentes de estos hidrocarburos son la pirólisis, la quema de vegetales en tierras de cultivo, el transporte atmosférico y la diagénesis de la materia orgánica. La detección de compuestos como el Benzo(a)Pireno, Criseno, encontrados en los ambientes costeros del Golfo de México, revela el peligro que existe para la biota marina y el hombre debido a su potencialidad carcinogénica.

**PALABRAS CLAVE:** PAH's, hidrocarburos policíclicos, sistemas lagunares, Golfo de México.

## ABSTRACT

The information collected on the presence and distribution of petroleum hydrocarbons and PAH's along the mexican coastline of the Gulf of Mexico is presented.

The highest total concentrations of hydrocarbons correspond to Mancha and Salada lagoons in Veracruz, State ( $5.01\mu\text{gg}^{-1}$  for sediments and  $4.82\mu\text{gl}^{-1}$  for superficial water).

On the other hand the sediments of the continental shelves of Tamaulipas and Veracruz also showed high levels ( $4.45$  and  $3.3\mu\text{gg}^{-1}$ ).

Of paramount importance is the presence of PAH's in coastal lagoons because of their ecological importance, specially those compounds conformed by 3, 4 and 5 benzene rings because their carcinogenic properties as Benzo(a)pyrene and Crysene.

The composition of the PAH's identified is related with their main sources as pyrolysis, burn of vegetation, oil spills, diagenesis of organic matter, seeps and atmospheric transport.

Thus, the presence of PAH's in coastal ecosystems of the Gulf of Mexico as lagoons, estuaries, rivers and continental shelf is of paramount importance because their carcinogenic properties as well as their risks for human health.

**KEY WORDS:** PAH's, polycyclic hydrocarbons, coastal lagoons, Gulf of Mexico.

## INTRODUCCIÓN

Los PAH's están ampliamente distribuidos en el mar y en áreas costeras, así como en ríos, suelos y sedimentos. La presencia de estos compuestos en los organismos marinos se han atribuido principalmente a derrames, pero también son fuentes im-

portantes el transporte aéreo, las descargas municipales e industriales, los aportes terrestres y en menor grado la biosíntesis (Neff, 1979). En la actualidad existe una vasta literatura sobre los niveles de PAH's en los ecosistemas costeros y se le ha dado una atención especial a aquellos compuestos aromáticos considerados potencial-

mente carcinogénicos (NRC, 1975; NRC, 1985).

Los PAH's pueden originarse de diversas maneras:

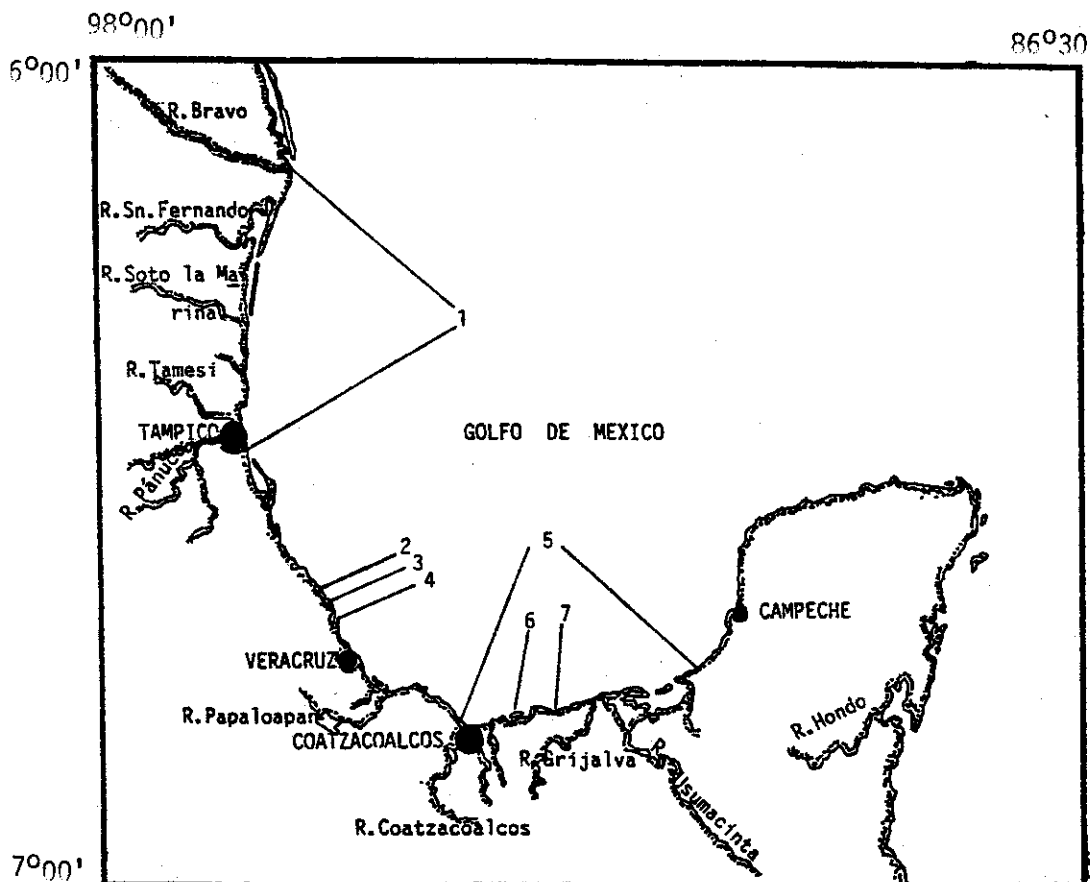
— Por biosíntesis directa principalmente de algunos microorganismos y plantas (Rose, 1977).

— Por diagénesis de la materia orgánica sedimentaria a través de procesos de baja temperatura o moderada, la cual produce a largo plazo combustibles fósiles (Guerin *et al.*, 1978).

— Por pirólisis de la materia orgánica o de los combustibles fósiles a temperatura alta (aproximadamente 800°C) (Suess, 1976).

— Las actividades domésticas también aportan cantidades significativas de PAH's y tales actividades abarcan las emanaciones de los vehículos con motores de combustión interna, la incineración de basura y de campos de cultivo.

— El transporte atmosférico debe considerarse como una vía de PAH's hacia los sistemas costeros, ya que muchos de estos compuestos se transportan a grandes dis-



**Figura 1.** Localización de las áreas de estudio en el litoral del Golfo de México: 1. Plataforma continental de Tamaulipas, 2. Laguna Salada (Ver.), 3. Laguna El Llano (Ver.), 4. Laguna La Mancha (Ver.), 5. Plataforma continental de Veracruz, Tabasco y Campeche, 6. Laguna Carmen-Machona (Tab.), 7. Laguna Mecoacán (Tab.).

tancias hasta llegar a la zona costera y depositarse en estos ecosistemas.

Es importante evaluar la presencia de PAH's en los tres compartimentos de un ecosistema costero: agua, sedimentos y organismos. El estudio de los PAH's disueltos y dispersos en la columna de agua es una actividad importante en los programas de vigilancia de la contaminación por petróleo; además, en esta forma (disuelta y dispersa) los PAH's están disponibles para los organismos acuáticos, lo cual es altamente peligroso debido a su toxicidad y a su potencialidad cancerígena y mutagénica (Bouloubassi y Saliot, 1991; Corbin, 1993).

El análisis de PAH's en los sedimentos costeros pueden sugerir un proceso de acumulación de estos compuestos, así como del tipo de fuentes de los mismos. Es por ello que evaluar el contenido de los aromáticos en los sedimentos puede servir como un indicador de la entrada de estos compuestos al medio acuático; los sedimentos tienen un efecto sustancial integral sobre los patrones temporales de entrada de PAH's, y ofrecen un buen esquema geográfico sobre todo cuando se conocen parámetros ambientales como patrones de corrientes, origen de los sedimentos, tasas de sedimentación, entre otros (Neff, 1979).

Para propósitos de los programas de vigilancia se ha incrementado la evaluación de los niveles de PAH's en moluscos bivalvos, ya que con esto se puede determinar el estado de las zonas costeras que pueden presentar una contaminación por petróleo (Wade *et al.*, 1988).

Incluir organismos en un estudio de este tipo es primordial, ya que son ellos los que finalmente interactúan con el hombre cuando se incluyen en su alimentación y los contaminantes presentes en sus tejidos pueden provocar problemas de salud humana (Badawy *et al.*, 1993). Los PAH's en los organismos se acumulan de forma diferente dependiendo de diversos factores,

como son: hábitos alimenticios, etapa del ciclo de vida, sistemas enzimáticos de desintoxicación, sexo, tipo y concentración de PAH's, entre otros. Cabe señalar que es importante seleccionar aquellos organismos que tengan características de indicadores como los moluscos bivalvos, particularmente los ostiones; asimismo, deben constituir un recurso pesquero importante para la región en estudio y además de su valor ecológico deben ser de interés alimenticio, y por tanto económico y social (Wade *et al.*, 1988).

Por otro lado, la región costera del Golfo de México, principalmente la zona sur, representa una de las áreas más productivas de petróleo crudo y gas natural del continente. Derivado de esto, existe una gran infraestructura relacionada con la explotación, explotación, procesamiento y transporte del petróleo en tierra firme y en mar abierto, como ejemplo están las plataformas petroleras marinas y las monoboyas de abastecimiento en la Sonda de Campeche; además, el asentamiento de grandes complejos petroquímicos e industriales en los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y Campeche, lo cual representa un riesgo de contaminación por petróleo en esta región.

## ÁREAS DE ESTUDIO

Las zonas de estudio comprenden lagunas costeras y plataforma continental localizadas entre los 18° 10' y 25° 41' de latitud norte y los 93° 50' y 97° 13" de longitud oeste, esto es, desde el litoral de Tamaulipas al noroeste del Golfo de México hasta el estado de Campeche en la región sur del Golfo (Fig. 1).

Las lagunas costeras estudiadas son:

Lagunas La Mancha, El Llano y Salada en el estado de Veracruz; Carmen-Machona y Mecoacán en Tabasco.

Tabla 1. Metodología para el análisis de PAH's

Gas	Flujo	Pureza	Programa de Temperatura	
Acarreador Nitrógeno	1mlmin <sup>-1</sup>	99%	Temp. inicial tpo. inicial	60°C 0.5 min
			Rampa 1	10°C min <sup>-1</sup>
Auxiliar Nitrógeno	30mlmin <sup>-1</sup>	99%	Temp. final 1 tpo. final 1	170°C 0.0 min
			Rampa 2	6°C min <sup>-1</sup>
Para Detector Aire	300mlmin <sup>-1</sup>	99%	Temp. final 2 tpo. final 2	300°C 22 min
Hidrógeno	30mlmin <sup>-1</sup>	99%	Tiempo Purga	1.0 min

Del mismo modo fueron evaluados sedimentos y organismos de la plataforma continental de los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y Campeche.

Las lagunas antes mencionadas han sido objeto de estudio por diversos investigadores y existe una descripción detallada hecha por Contreras (1993), donde se presenta información climática, geográfica, así como de características hidrodinámicas.

Con respecto a la zona de plataforma continental, se han descrito los aspectos oceanográficos tanto geológicos como físicos y químicos de la región en los trabajos de Pica-Granados *et al.* (1991), Pica-Granados y Pineda-López (1991) y Ponce-Vélez *et al.* (1991).

## MATERIALES Y MÉTODOS

La colecta de los sedimentos y organismos fue realizada durante el período 1989-1990 para los sistemas costeros de Tamaulipas, Tabasco y Campeche, y en 1992-1993 para las lagunas costeras de Veracruz. En la plataforma continental la colecta se llevó a cabo entre las isobatas de los 200-400 m de profundidad, mientras que en los sistemas lagunares osciló entre 0.5 y 1.8 m.

La metodología utilizada para el análisis de PAH's en agua, sedimentos y organismos fue la propuesta en el manual CARIPOL (1986), la cual consiste básicamente en la Tabla 1.

## Agua

En el campo se colectó un volumen de 3.5l de muestra de agua subsuperficial en recipiente ámbar, y se realizó una extracción con hexano destilado concentrado (100 ml) para atrapar los compuestos aromáticos; se colocó en refrigeración hasta su análisis en el laboratorio, donde se concentró a un volumen de 2-3 ml; se purificó el extracto por cromatografía en columna empacada con alúmina y sulfato de sodio, eluyendo con hexano para obtener parafinas (fracción 1); posteriormente, con una mezcla hexano: diclorometano y diclorometano al 100%, se obtuvo la fracción aromática. Se llevó a cabo un análisis global por espectrofluorometría; finalmente, se efectuó la cuantificación e identificación de los compuestos aromáticos por cromatografía de gases capilar de alto rendimiento. En el análisis cromatográfico se utilizó un Cromatógrafo de Gases marca Hewlett Packard modelo 5890, equipado con detector de ionización de llama y columna capilar de 25 m de longitud, 0.25 mm de diámetro interno, 0.52µm de grosor de capa, de fenil

**Tabla 2.** Niveles de PAH's en sedimentos de diversos sistemas costeros del Golfo de México (valores en  $\mu\text{g g}^{-1}$ , peso seco)

ECOSISTEMA	CONC.	TOTAL X(MÍN-MÁX)	ANILLOS DOMINANTES (SUMA TOTAL POR ANILLOS)
<b>VERACRUZ:</b>			
L. MANCHA	5.01	(0.60 - 15.47)	4 > 5 > 3 > 6 (1.06) (0.68) (0.28) (0.27)
L. LLANO	3.08	(0.03 - 17.33)	4 > 5 > 3 (1.20) (0.73) (0.17)
L. SALADA	3.35	(0.03 - 13.27)	4 > 5 > 3 (1.25) (0.52) (0.29)
<b>TABASCO:</b>			
L. CAR.-MACH.	2.84	(0.01 - 1.23)	4 > 3 > 5 > 2 (0.46) (0.23) (0.12) (0.02)
L. MECOACÁN	2.89	(0.01 - 0.89)	4 > 3 > 5 > 2 (0.51) (0.31) (0.16) (0.03)
<b>PLATAFORMA CONTINENTAL:</b>			
TAMAULIPAS	4.45	(0.23 - 29.56)	4 > 3 > 5 > 2 > 6 (66.13) (3.71) (3.31) (2.24) (0.15)
VERACRUZ	3.30	(0.09 - 12.36)	4 > 5 > 3 > 6 > 2 (16.69) (2.70) (2.62) (1.49) (0.34)
TABASCO	1.05	(0.45 - 3.12)	5 > 3 > 6 > 4 > 2 (0.36) (0.19) (0.15) (0.14) (0.07)
CAMPECHE	0.25	(0.09 - 0.47)	4 > 3 (0.21) (0.023)

metil silicón al 5%; las condiciones de trabajo fueron las siguientes:

según el caso y se congelaron hasta su análisis en el laboratorio.

#### *Sedimentos y organismos*

Los sedimentos se colectaron con una draga van Veen, tomando aproximadamente los primeros 10 cm de la columna sedimentaria; con ayuda de una espátula metálica se tomó una porción y se colocó en frasco de vidrio previamente lavado; se les añadió metanol para evitar la degradación microbiana y se congelaron hasta su análisis en el laboratorio. Los organismos se colectaron manualmente en el caso de los moluscos y con artes de pesca los crustáceos y peces; los individuos fueron colocados en frascos de vidrio o bolsas de plástico

El material de la colecta se descongeló a temperatura ambiente, los sedimentos se secaron a 50° C y una vez secos fueron macerados en morteros de porcelana, pasados por un tamiz de abertura de malla de 0.25 mm, para uniformar el tamaño de grano y evitar interferencia de este parámetro. Los organismos colectados fueron moluscos, ostiones y mejillones de los géneros *Crassostrea* y *Brachidontes*, crustáceos (camarones) del género *Penaeus* y peces de los géneros *Centropomus* y *Eugerres*, todos los organismos se procesaron en húmedo; en el caso de los moluscos y crustáceos, se analizaron individuos completos sin exoesqueletos (tejidos blandos), tomando 20 especímenes por género; para

el análisis de los peces solamente se tomó el músculo; los tejidos fueron homogeneizados en morteros de porcelana.

Los sedimentos se extrajeron con potasa metanólica a reflujo constante durante 5 horas, mientras que los organismos se digirieron con sosa o potasa a 30°C en baño María durante 15 horas. A los extractos se les realizó una separación de los hidrocarburos con hexano destilado (sedimentos) o éter (organismos) en embudos de separación; posteriormente, se purificaron por cromatografía en columna, para los sedimentos, empaçados de forma similar al análisis de agua y para los organismos se utilizó un empaque con sílica gel, alúmina y sulfato de sodio; el orden de elución es similar en todos los casos. Al igual que en el análisis de agua, una vez obtenido el grupo de los PAH's, se utiliza la cromatografía de gases capilar bajo las mismas condiciones anteriormente mencionadas, para cuantificar y conocer los siguientes 15 compuestos aromáticos: Naftaleno, Acenaftileno, Acenafteno, Fluoreno, Fenantreno, Antraceno, Fluoranteno, Pireno, Benzo(a) Antraceno, Criseno, Benzo (b y k)

fluorantenos, Benzo (a) Pireno, Benzo (ghi) Perileno, Indeno (1, 2, 3-cd)Pireno.

Cabe mencionar que previamente se introduce al equipo cromatográfico de gases una tabla de calibración, realizada con una mezcla de estándares que contiene estos compuestos de marca Chemical Service con una concentración de 100 mg l<sup>-1</sup>. Cuando se efectúan los análisis de muestras para detectar PAH's, se corre paralelamente un duplicado que lleva un compuesto aromático para conocer la eficiencia del método, así como uno de blanco de reactivos para eliminar la posible contaminación que existiera a lo largo del proceso metodológico. De esta forma, se ha observado un porcentaje de recuperación entre el 70 y el 90% para los compuestos formados por cuatro y cinco anillos bencénicos [Criseno, Benzo (a) Pireno].

Los análisis de muestras ambientales por cromatografía de gases capilar de alto rendimiento son sumamente costosos, ya que los equipos son de importación así como los estándares; los solventes usados son de alta pureza al igual que los gases, lo cual

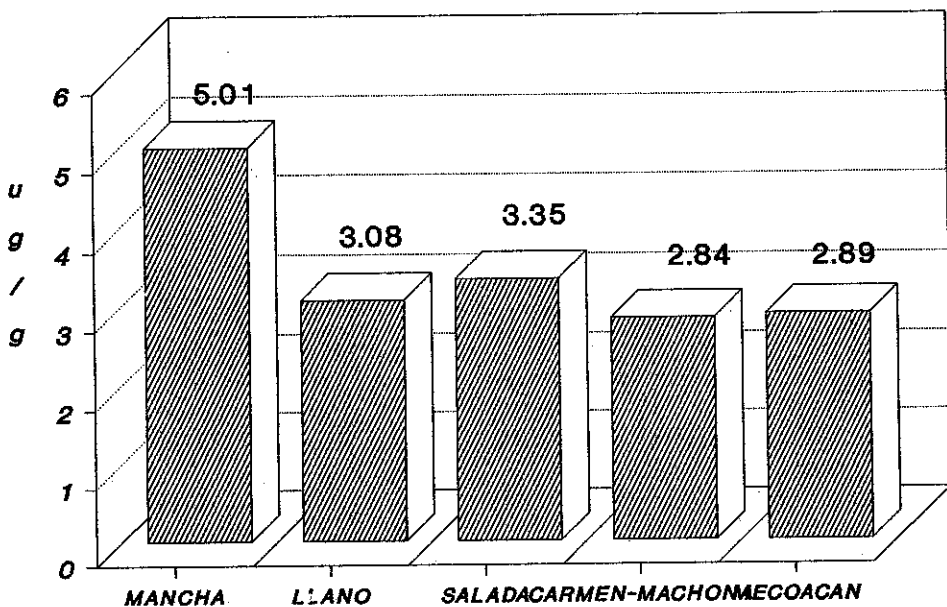


Figura 2. Niveles de PAH's en sedimentos de diversas lagunas costeras del Golfo de México. Valores promedio.

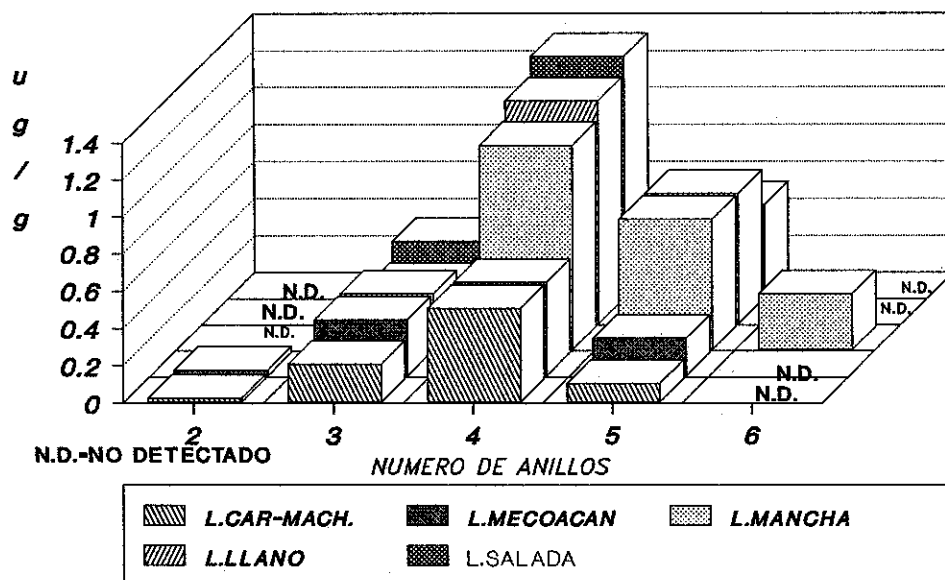


Figura 3. Composición y concentración de PAH's en sedimentos de los sistemas costeros de Veracruz y Tabasco, México.

encarece aún más estos estudios; es por ello que para calcular la precisión y exactitud se necesitaría realizar por lo menos diez veces el análisis cromatográfico de una muestra elegida al azar, pero no se cuenta con el presupuesto suficiente para ello.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los estudios realizados en diversos ecosistemas costeros del Golfo de México para evaluar los niveles de hidrocarburos en los sedimentos, la columna de agua y los organismos destinados al consumo humano se han venido efectuando desde la década de los setenta; con el avance de las técnicas analíticas, actualmente se pueden efectuar la detección e identificación del grupo de PAH's, cuyo análisis tiene importancia por el potencial carcinogénico que estos compuestos presentan y, por lo tanto, el peligro que constituyen para la biota y en particular para el hombre.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el Laboratorio de Con-

taminación Marina del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, con respecto a la evaluación de los niveles de PAH's en diversos sistemas costeros del Golfo de México. Se hace énfasis en el compartimento sedimentario, ya que éste ofrece ventajas para su análisis y representa un aspecto significativo en la acumulación y disponibilidad de los hidrocarburos en un ecosistema costero.

En la tabla 1 podemos observar que el valor promedio más alto de PAH's en sedimentos fue de  $5.01 \mu\text{g g}^{-1}$ , con un máximo de 15.5 en la Laguna de La Mancha, en el estado de Veracruz cerca de la planta nuclear del país; en este sistema se registró una dominancia de aquellos compuestos formados por cuatro anillos aromáticos con una suma promedio de  $1.06 \mu\text{g g}^{-1}$ ; como ejemplos están el Criseno y los Benzo(a)fluorantenos (a y b); destaca la presencia de compuestos más pesados como el Benzo(a)pireno. Otra de las lagunas analizadas en sus sedimentos fue la Salada, donde descarga el agua que enfría el reactor

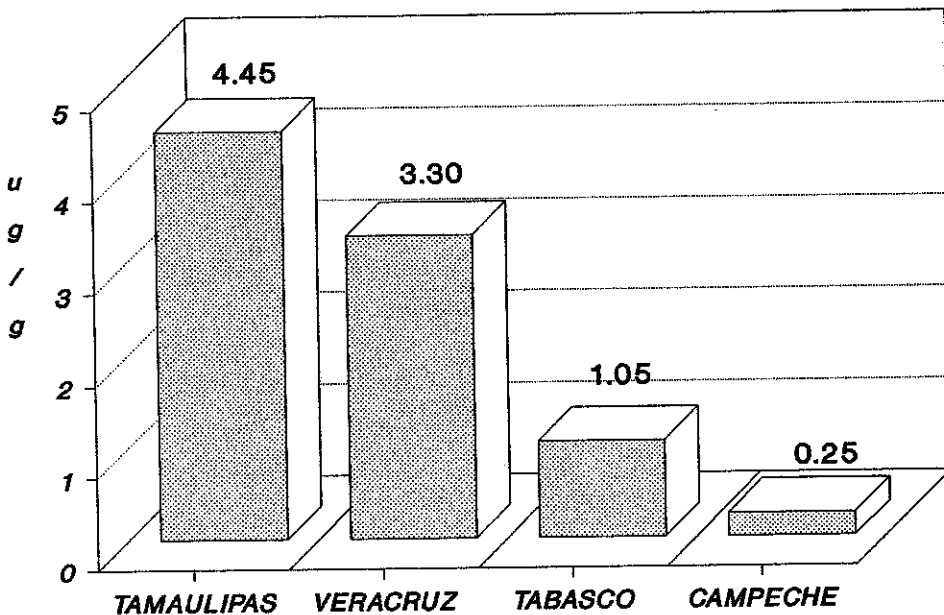


Figura 4. Niveles de PAH's en sedimentos de la plataforma continental del Golfo de México. Valores promedio.

de la planta nuclear nacional, que registró un valor total promedio de  $3.35 \mu\text{g g}^{-1}$  (Fig. 2) y un patrón similar al sistema lagunar anterior.

En el estado de Tabasco se analizaron dos lagunas costeras: Carmen-Machona y Mecoacán, donde los valores de PAH's totales para sedimentos fueron muy similares  $2.84$  y  $2.89 \mu\text{g g}^{-1}$ , respectivamente; se observa, para ambos sistemas, un patrón de dominancia de los compuestos formados por cinco y seis anillos bencénicos, además fueron detectados PAH's ligeros como los naftalenos (Fig. 3).

Los sedimentos de la plataforma continental del Golfo de México también han sido evaluados para conocer los niveles de PAH's. De la misma forma, en la tabla 1 se puede notar que en la región de Tamaulipas (noroeste del Golfo) se registró una concentración promedio total de  $4.45 \mu\text{g g}^{-1}$  con un máximo de  $29 \mu\text{g g}^{-1}$ , mientras que para Veracruz el promedio fue de  $3.30 \mu\text{g g}^{-1}$  y la concentración mayor de  $12.4 \mu\text{g g}^{-1}$ , observándose una dominancia de los PAH's de

cuatro, tres y cinco anillos para estos sistemas.

Hacia Tabasco y Campeche decreció el valor total de PAH's, fue de  $1.05$  y  $0.25 \mu\text{g g}^{-1}$ , respectivamente (Fig. 4); sin embargo, en la Sonda de Campeche fue registrada la mayoría de los PAH's, incluidos los ligeros (Fig. 5), lo cual es una indicación del aporte de petróleo crudo en esas áreas.

Reportes previos para la plataforma continental de Tabasco, en el sur del Golfo de México, han demostrado que existen concentraciones altas de hidrocarburos que indican la influencia de las actividades petroleras (Botello *et al.*, 1991). Asimismo, se ha reportado la presencia de PAH's como pireno, Benzo(a)antraceno y Criseno en los sedimentos de la plataforma continental del sur del Golfo (Tabasco y Campeche) de origen pirolítico (Botello *et al.*, 1993).

En estudios realizados en programas regionales, como el coordinado por la NOAA, se reportan niveles de PAH's totales en sedimentos entre  $<0.005$  y  $36.7 \mu\text{g g}^{-1}$ , con una dominancia de aquellos compuestos



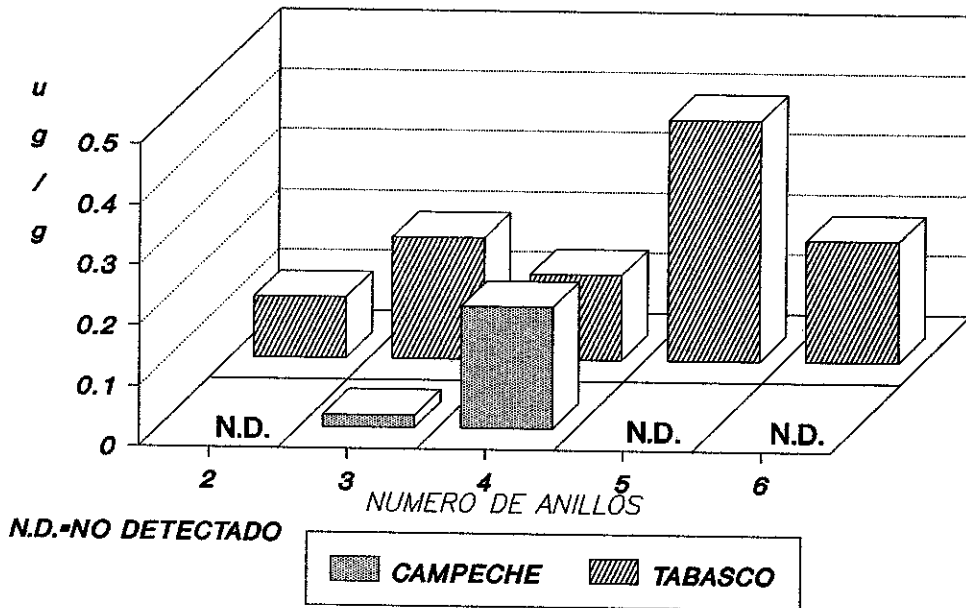


Figura 5. Composición y concentración de PAH's en sedimentos de la plataforma continental del sur del Golfo de México.

provenientes de la pirólisis de materiales orgánicos derivados de varios procesos: combustión incompleta de combustibles fósiles, carbonización del carbón, incendios forestales, entre otros (Wade *et al.*, 1988).

Los PAH's también han sido detectados en la columna de agua de diferentes sistemas costeros. En la tabla 2 se observa que en la Laguna Salada, Ver., se registró la concentración total promedio mayor con  $4.82 \mu\text{g l}^{-1}$ , aunque los valores con respecto a los otros ecosistemas fueron muy similares (Fig. 6); pudo registrarse la presencia de PAH's formados por cuatro, cinco y tres anillos de forma preponderante, y en algunos casos fue posible detectar a los aromáticos ligeros como el Naftaleno.

Las actividades terrestres asociadas con el almacenamiento, transporte marítimo en la zona costera, así como el tránsito de embarcaciones de gran calado y las maniobras relacionadas con el petróleo, son algunas de las fuentes de donde se originan los hidrocarburos disueltos y dispersos presentes en el medio marino (Corbin, 1993; Esteves y Commendatore, 1993).

En algunas zonas costeras del Mediterráneo, como el delta del río Rhin, la evaluación de PAH's en la columna de agua ha mostrado que, en la forma disuelta, los hidrocarburos aromáticos se presentan en niveles más altos ( $0.04 \mu\text{g l}^{-1}$ ) y se encuentran más disponibles hacia los organismos que en la fase particulada ( $0.009 \mu\text{g l}^{-1}$ ), pero es finalmente ésta la que se deposita en los sedimentos (Bouloubassi y Saliot, 1991). En otro reporte del Mediterráneo se detectaron niveles de  $0.05 \mu\text{g l}^{-1}$  de PAH's disueltos y su composición sugiere a los procesos de combustión incompleta como la fuente principal de este ensamble de aromáticos (Ehrhardt y Petrick, 1993).

Como puede notarse, los valores obtenidos en este estudio rebasan por mucho a lo reportado para otras regiones del mundo, lo cual puede deberse a que en los sistemas costeros mexicanos está ocurriendo una contaminación por petróleo, misma que había sido señalada por Atwood *et al.* en 1987.

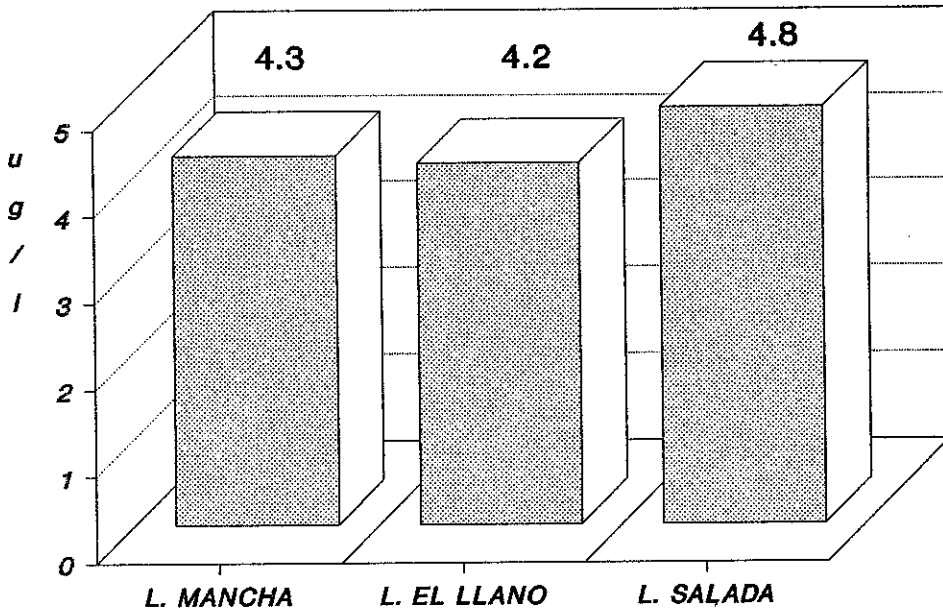


Figura 6. Niveles de PAH's presentes en agua superficial de lagunas costeras de Veracruz, México, Valores promedio.

Los organismos también han sido objeto de análisis para detectar PAH's en diferentes áreas costeras del Golfo de México. En la tabla 3 se observa que los moluscos de los sistemas evaluados de Veracruz, registraron las concentraciones más altas, con  $8.59 \mu\text{gg}^{-1}$  en mejillones (*Brachidontes* sp.),  $4.3 \mu\text{gg}^{-1}$  en ostiones (*Crassostrea* sp.) de la Laguna La Mancha y  $2.2 \mu\text{gg}^{-1}$  en ostiones (*Crassostrea* sp.) de la Laguna El Llano (Fig. 7), donde los compuestos dominantes fueron aquellos formados por cuatro, cinco y tres anillos aromáticos (Fig. 8); en los sistemas de Tabasco los ostiones evaluados

presentaron niveles homogéneos, con  $6.6$  y  $6.5 \mu\text{gg}^{-1}$  para las lagunas Carmen-Machona y Meacoacán (Fig. 7). En los ostiones de estos sistemas se observó que hubo una dominancia de los PAH's pesados (seis y cinco anillos) sobre los intermedios; se detectaron también los ligeros (Tabla 3).

Para los camarones (*Penaeus* sp.) se obtuvo que aquellos organismos colectados en la plataforma continental de Tabasco registraron el nivel mayor con  $1.77 \mu\text{gg}^{-1}$  de PAH's totales, mientras que en La Mancha, Ver., fue de  $0.16 \mu\text{gg}^{-1}$ ; también se presentó

TABLA 3. Hidrocarburos aromáticos policíclicos en agua subsuperficial de diversos sistemas costeros del Golfo de México (Valores promedio)

Región	Conc. Promedio (máx.-min.) (µg/l)	Anillos dominantes (suma total por anillo)
<b>VERACRUZ:</b>		
L. LA MANCHA	4.26 (0.68 - 13.62)	4 > 5 > 3 (1.1) (0.62) (0.19)
L. EL LLANO	4.17 (1.67 - 11.49)	5 > 4 > 3 (0.84) (0.79) (0.23)
L. SALADA	482 (0.19 - 16.6)	4 > 2 > 5 > 3 (0.99) (0.72) (0.49) (0.30)

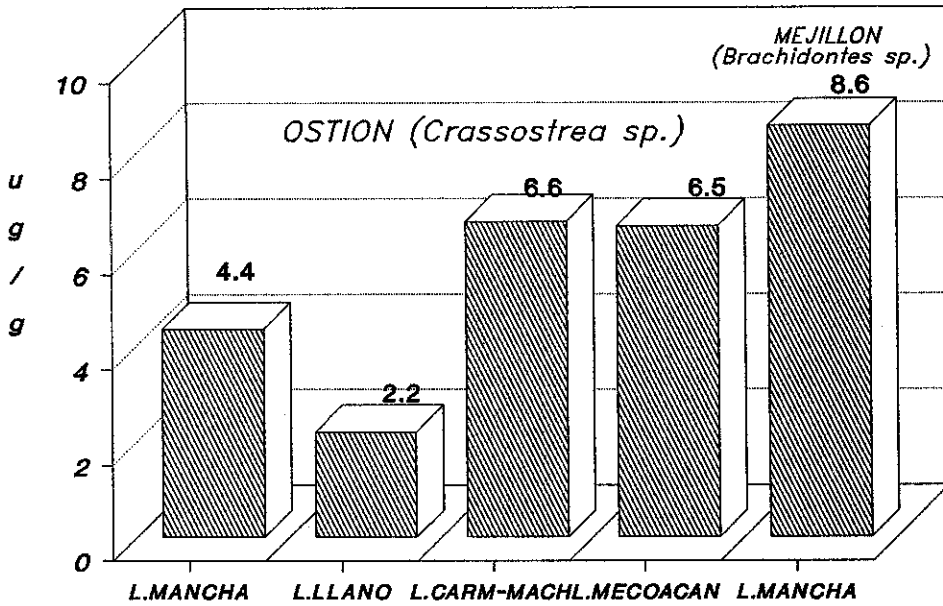


Figura 7. Niveles de PAH's en organismos (moluscos bivalvos) de lagunas costeras del Golfo de México.

una dominancia de los compuestos constituidos por cuatro y cinco anillos bencénicos.

Del grupo de los peces evaluados en Tabasco (*Centropomus* y *Eugerres*) se puede notar que los colectados en las lagunas cos-

teras ocuparon los valores mayores, con  $21.7$  y  $10.9\mu\text{g}\text{g}^{-1}$  para Carmen-Machona y Mecoacán, respectivamente, mientras que los colectados en la plataforma continental sólo tuvieron  $1.10\mu\text{g}\text{g}^{-1}$  (Tabla 3). En estos organismos se registró una dominante de

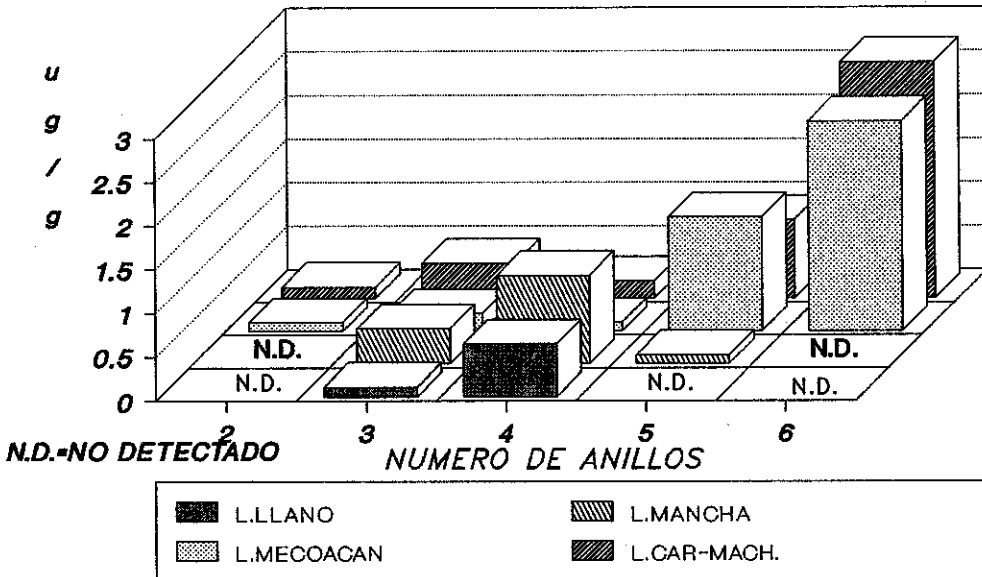


Figura 8. Composición y concentración de PAH's en peces de áreas costeras del sur del Golfo de México.

TABLA 4. Hidrocarburos aromáticos policíclicos en organismos del Golfo de México (Valores promedio)

Región	Organismos ( $\mu\text{gg-1}$ )	Anillos dominantes (suma total por anillos)
<b>VERACRUZ:</b>		
L. LA MANCHA	0.16b (CAMARÓN)	5 > 4 > 3 (0.11) (0.1) (0.01)
	4.35c (OSTIÓN)	4 > 3 > 5 (1.01) (0.37) (0.07)
	8.59c (MEJILLÓN)	4 > 3 (1.93) (1.87)
	0.01c (ALMEJA)	3 (0.01)
L. EL LLANO	2.19c (OSTIÓN)	4 > 3 (0.58) (0.11)
<b>TABASCO:</b>		
PLATARFORMA CONTINENTAL		
	1.10a (PEZ)	3 > 4 > 2 (0.37) (0.15) (0.02)
	1.77b (CAMARÓN)	4 > 3 > 2 (0.86) (0.04) (0.03)
L. CARMEN-MACHONA	21.69a (PEZ)	2 > 4 > 3 (12.14) (4.49) (0.57)
	6.59c (OSTIÓN)	6 > 5 > 3 > 4 > 2 (2.7) (0.93) (0.35) (0.2) (0.13)
L. MECOACÁN	10.87a (PEZ)	5 > 4 > 2 (2.94) (0.61) (0.32)
	6.45c (OSTIÓN)	6 > 5 > 3 > 4 > 2 (2.43) (1.28) (0.19) (0.14) (0.09)

a=PECES (*Centropomus* sp., *Eugerres* sp.) b=Crustáceos (camarón *Penaeus* sp.),  
c=MOLUSCOS (ostión *Crassostrea* sp., mejillón *Brachidontes* sp., almeja no identificada)

los compuestos ligeros en el sistema Carmen-Machona y en la plataforma continental; mientras que los peces de Mecoaacán presentaron hidrocarburos aromáticos pesados como el Benzo(a)pireno (Fig. 9).

Con base en la composición dominante de los PAH's detectados puede sugerirse el origen de estos hidrocarburos. Para los sedimentos, el patrón de dominancia fue muy similar (cuatro y cinco anillos), lo cual denota un origen pirolítico, probablemente ligado con el transporte atmosférico como mecanismo principal para llegar a la zona

costera; en algunos casos se observa un componente petrogénico al presentarse los aromáticos de dos y tres anillos. Este patrón es similar al detectado en la columna de agua de los sistemas lagunares, como un claro ejemplo se puede apreciar el comportamiento de las lagunas veracruzanas (Fig. 10).

En caso de los organismos, el comportamiento es un poco irregular y depende de la especie que se trate: en los moluscos (ostiones del género *Crassostrea* sp. y mejillones del género *Brachidontes* sp.), el pa-

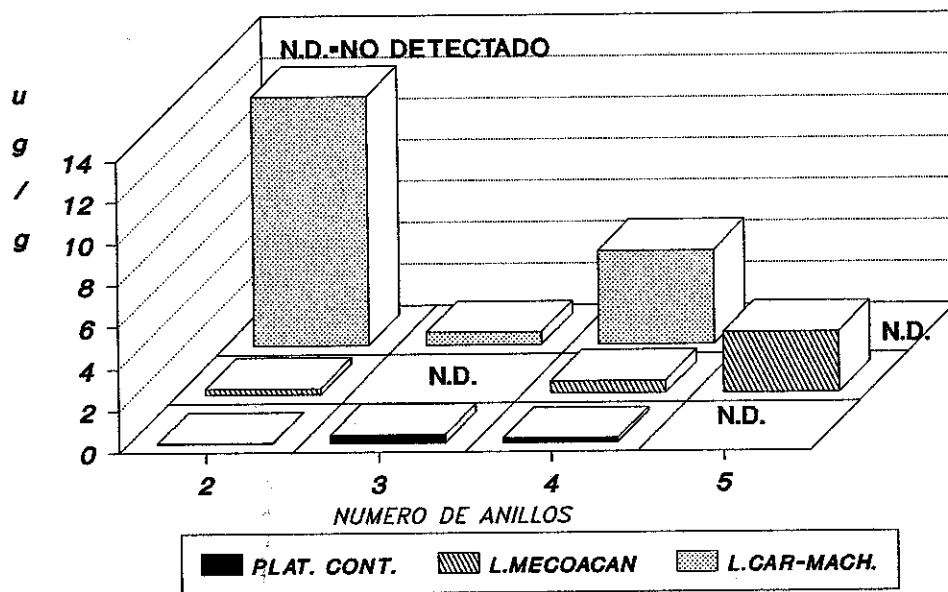


Figura 9. Concentración y composición de PAH's en peces de áreas costeras del sur del Golfo de México.

trón es igual a lo registrado en sedimentos; en los peces (tanto *Centropomus* como *Eugerres*), los PAH's detectados son de tipo petrogénico, recientes, ya que son los compuestos ligeros los que fueron detectados y éstos se pierden rápidamente por evapo-

ración o foto-oxidación, lo cual puede indicar un aporte continuo de PAH's provenientes del petróleo, situación que concuerda con la intensa actividad petrolera que tiene esta región del Golfo de México.

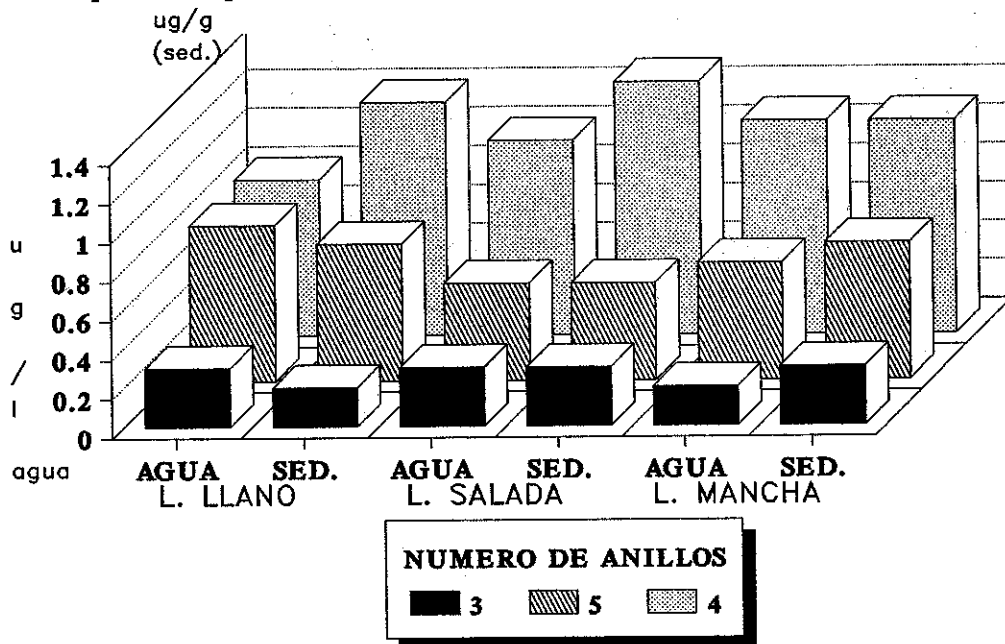


Figura 10. Comparación entre la concentración y la composición de PAH's en agua superficial y sedimentos de los sistemas costeros de Veracruz, México.

De este análisis pueden emanar las siguientes consideraciones:

1. Con base en la composición de los PAH's encontrada en los sedimentos, tanto lagunares-estuarinos como de plataforma continental del Golfo de México, se puede decir que las fuentes de origen de estos hidrocarburos son principalmente: pirólisis, quema de campos de cultivo, incendios forestales, diagénesis de la materia orgánica, el petróleo y material movilizado mediante el transporte atmosférico.

2. La plataforma continental recibe lo exportado por los ecosistemas litorales (lagunas y ríos) y en el Golfo de México existen caudales importantes, principalmente en el sur (Grijalva-Usumacinta), que constituyen una fuente primordial de materia orgánica y sedimentos donde es probable que los hidrocarburos, al igual que otros contaminantes, adsorbidos. Esto se confirma al presentarse la misma composición de PAH's en los sedimentos de la plataforma continental que en sistemas litorales.

3. La presencia de PAH's como el Benzo(a)Pireno en los ecosistemas costeros del Golfo de México pone de manifiesto el riesgo que existe para los organismos marinos y la salud humana, ya que esta región es una de las más importantes en recursos pesqueros de alta mar (escama y camarón) y de estuarios (ostión, almeja); además, existe una literatura muy amplia sobre potencialidades y características carcinogénicas de éste y otros PAH's similares.

## REFERENCIAS

- ATWOOD, D.K., F.J. BURTON, J.E. CORREDOR, G.R. HARVEY, A.J. JIMÉNEZ, A. VÁZQUEZ-BOTELLO. B.A. WADE, 1987. Results of the CARIPOL petroleum monitoring project in the wider Caribbean. *Mar. Poll. Bull.*, 18: 540-548.
- BADAWY, M.I., I.S. AL-MUJAINY y M.D., HERNÁNDEZ, 1993. Petroleum-derived hidrocarburos in water, sediment and biota from the Mina al Fahal Coastal Waters. *Mar. Poll. Bull.*, 26(8): 457-460.
- BOTELLO, A.V., C. GONZÁLEZ y G. DÍAZ, 1991. Pollution by petroleum hidrocarburos in sediments from continental shelf of Tabasco State, México. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 47: 565-571.
- BOTELLO, A.V., G.G. DÍAZ, S.F. VILLANUEVA y S.L. SALAZAR, 1993. Presence of PAH's in coastal environments of the south east Gulf of México, México. Supplement to Vol. 3 of the J. Polycyclic Aromatic Compounds, pp.397-404. In: P. Garrigues y M. Lamote (Eds). *Polycyclic Aromatic Compounds, Synthesis, Properties, Analytical Measurements, Occurrence and Biological Effects, PAH XIII*. Gordon a Breach Sciences Publishers.
- BOULOUBASSI, I. y A. SALIOT, 1991. Composition and sources of dissolved and particulate PAH in surface waters from the Rhone Delta (NW Mediterranean). *Mar. Poll. Bull.*, 22(12): 588-594.
- CARIPOL, 1986. Manual para el análisis de hidrocarburos del petróleo en sedimentos y organismos marinos. Subcomisión IOCARIBE/COI. Cartagena, Colombia.
- CONTRERAS, F., 1993. Ecosistemas costeros mexicanos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. UAM-Iztapalapa. México. 415 p.
- CORBIN, 1993. Petroleum contamination of the coastal environment of St. Lucia. *Mar. Poll. Bull.*, 26(10): 579-580.
- EHRHARDT, M. y G. PETRICK, 1993. On the composition of dissolved and particle-associated fossil fuel residues in Mediterranean surface water. *Mar. Chem.*, 42: 57-70.
- ESTEVEZ, J.L., y M.G. COMMENDATORE, 1993. Total aromatic hidrocarburos in water and sediment in a coastal zone of Patagonia, Argentina. *Mar. Poll. Bull.*, 26(6):341-342.
- GUERIN, M.R., J.L. ELPER, W.H. GRIES, B.R. CLARK y T.K. RAO, 1978. Polycyclic aromatic hidrocarburos from fossil fuel conversion processes. Carcinogenesis. A comprehensive Survey. 3: 21-34 *Polynuclear Aromatic Hydrocarburos*. Second International Symposium on Analysis, Chemistry and Biology, in P.W. Jones (Comp). New York, Raven.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1975, *Petroleum in the Marine Environment*. National Academy of Sciences, Washington, D.C. 107 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1985. *Oil in the sea. Inputs, Fates and Effects*. National Academy Press. Washington, D.C. 601 p.