



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**ANÁLISIS DE DERIVADOS DEL PETRÓLEO HAPs
EN SISTEMAS LAGUNARES COSTEROS DEL
ESTADO DE TABASCO, MÉXICO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**B I O L O G A
P R E S E N T A:**

NADIA LIBERTAD VELÁZQUEZ TAVERA

**DIRECTOR DE TESIS:
Dr. ALFONSO VÁZQUEZ BOTELLO**

2011





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta 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.

Hoja de datos del jurado

- 1- Datos del alumno.
Apellido paterno: Velázquez
Apellido Materno: Tavera
Nombre(s): Nadia Libertad
Teléfono: 56 37 47 76
Universidad Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Carrera: Biología
Número de cuenta: 30108355-7
- 2- Datos del tutor.
Grado: Dr.
Nombre: Alfonso
Apellido paterno: Vázquez
Apellido materno: Botello
- 3- Datos del propietario 1.
Grado: Dra.
Nombre: Guadalupe Judith
Apellido paterno: de la Lanza
Apellido materno: Espino
- 4- Datos del propietario 2.
Grado: Dra.
Nombre: María Martha
Apellido paterno: Reguero
Apellido materno: Reza
- 5- Datos del suplente 1.
Grado: Dr.
Nombre: Gabriel
Apellido paterno: Núñez
Apellido materno: Nogueira
- 6- Datos del suplente 2.
Grado: M en C
Nombre: María Guadalupe
Apellido paterno: Ponce
Apellido materno: Vélez
- 7- Datos del trabajo escrito.
Título: "Análisis de derivados del petróleo (HAPs) en sistemas lagunares coteros del estado de Tabasco, México".
Número de páginas: 52.
Año: 2011.

Dedicatoria

A Daniel Velázquez Gonzales en el otro mundo; y, en este mundo a, Otilia Tavera Díaz:

Por ser mis héroes y mí ejemplo a seguir, por transmitirme la sabiduría, la perseverancia, el carácter, todo su amor y tiempo, pero sobre todo por la educación que solo los mejores padres pudieron brindarme, los amo.

A mi hermano Iván:

Quien admiro, por ser el mejor y enseñarme lo que es el éxito, por su cariño e infinito apoyo.

A mi hermano Rodrigo:

Por hacer de su vida una aventura día a día, por ser leal a sus principios y por cada bello momento que hemos pasado juntos.

A Luis:

Por ser la fortaleza, mi mejor amigo, mi mejor sueño y la inspiración para lograr esta meta, te amo.

A la familia Velázquez y Tavera:

Por ser únicos, el pilar en mi vida y los mejores seres humanos que están conmigo.

Agradecimientos

A la familia que yo escogí: Marisol, Paola, Lorena, Aremi, Laura, Marina, Isabel, Fabián y Miguel, por ser los mejores amigos que uno necesita, por estar en todo momento y brindarme su apoyo y cariño.

A los amigos y compañeros del ICMYL de la UNAM: Claudia, Alaidee, Alfonso, Oscar y Juan Carlos, por las palabras de aliento, las sonrisas y lágrimas en cada momento que pasamos juntos.

Agradezco a mi tutor: Dr. Alfonso Vázquez Botello por la oportunidad de formarme profesionalmente, por todo el tiempo, la dedicación y su apoyo siempre incondicional plasmados en esta tesis.

A la Dra. Martha Reguero., Dra. Guadalupe de la Lanza., Mtra. Guadalupe Ponce y Dr. Gabriel Núñez por ser mis sinodales y mi mano derecha para que este trabajo fuera de calidad, por su entrega a la investigación y por su tiempo dedicado a mi formación.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
SUMMARY.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
MARCO TEÓRICO.....	5
OBJETIVOS.....	7
ÁREA DE ESTUDIO.....	8
METODOLOGÍA.....	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
CONCLUSIONES.....	44
BIBLIOGRAFÍA.....	45

RESUMEN

Se identificó la presencia de contaminantes, como los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs), y se comparó y determinó la concentración en las lagunas Julivá, Santa Anita, Carmen, Machona y Mecoacán, del Estado de Tabasco, México, mediante el análisis de muestras de sedimentos superficiales y de ostiones de la especie *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791), con la finalidad de obtener información ambiental e inferir el comportamiento espacio-temporal de los (HAPs), así como de las posibles fuentes de contaminación por éstos compuestos orgánicos que afectan química, física y biológicamente, la dinámica de los sistemas lagunares.

El promedio de HAPs en sedimentos superficiales en el sistema Julivá obtuvo el valor más alto ($0.37 \pm 0.2 \mu\text{gg}^{-1}$), seguido del que se registró en laguna Carmen ($0.30 \pm 0.14 \mu\text{gg}^{-1}$), que fue muy similar, luego Santa Anita ($0.22 \pm 0.08 \mu\text{gg}^{-1}$) y Machona ($0.15 \pm 0.09 \mu\text{gg}^{-1}$), el nivel más bajo se encontró en el sistema Mecoacán ($0.13 \pm 0.07 \mu\text{gg}^{-1}$). Las mayores concentraciones de indeno(1,2,3-cd)pireno y el criseno se cuantificaron en las lagunas Julivá y Santa Anita, respectivamente, así como el dibenzo(a,h)antraceno en la laguna Carmen y Machona, todos de tipo cancerígeno. El origen de los HAPs fue variado, en Carmen y Mecoacán fue pirolítico, en Machona mixto, y mixto con tendencia a petrogénicos en Julivá y Santa Anita.

Los organismos de *Crassostrea virginica* recolectados, mostraron niveles similares en relación con el contenido total de HAPs. En Machona se registró la concentración más alta ($2.13 \pm 0.81 \mu\text{gg}^{-1}$), y consecutivamente a ésta se encontraron Mecoacán ($2.01 \pm 0.66 \mu\text{gg}^{-1}$) y laguna Carmen ($1.92 \pm 0.29 \mu\text{gg}^{-1}$). Los HAPs de origen cancerígeno tuvieron un comportamiento similar, existiendo un ligero aumento en los provenientes de Mecoacán; en tanto que el benzo(b)fluoranteno fue dominante en todas las lagunas. El origen de los HAPs fue de tipo mixto, con una tendencia a la pirólisis y la existencia de un componente petrogénico.

La presencia de estos contaminantes orgánicos de alto riesgo ambiental en los sedimentos costeros y en *Crassostrea virginica*, son evidencia de un estrés antropogénico y resultan un riesgo potencial para la salud, ya que estos organismos están dentro de la cultura de consumo humano, lo que plantea un monitoreo constante y la instauración de límites máximos en los organismos en México y el resto del mundo.

SUMMARY

The presence of PAHs was compared and quantified in five different lagoons in Tabasco, Mexico. Juliva, Santa Anita, Carmen, Machona and Mecoacan showed the presence of these pollutants. Recent sediments and oysters (*C. virginica*) were analyzed in order to obtain environmental information and compare time-space PAH behavior and determine possible sources that are affecting physically, chemically and biologically the dynamic of these lagoons.

The PAHs average value in recent sediments showed a gradient, being the Juliva System the highest, followed by Carmen, Santa Anita and Mecoacan. The highest concentration of Indeno(123-cd)pyrene and Chrysene were found in Juliva and Santa Anita, respectively. Dibenzo(a, h)anthracene in Carmen and Machona and all these compounds are carcinogenic.

The oysters *C. virginica* showed similar levels, Machona recorded the highest concentration, followed by Mecoacan and Carmen. Mecoacan had the highest concentration the carcinogenic, while benzo(b)fluoranthene was dominant in all lagoons.

The presence of these pollutants in recent sediments and *C. virginica* are evidence of an anthropogenic stress and a health risk, because these organisms are eat. A constant monitoring and maximum limits for consumption must be established in Mexico and the rest of the world.

INTRODUCCIÓN

La zona costera y sus procesos se encuentran perturbados por diversas actividades humanas, actualmente se realizan operaciones de extracción, refinación, transporte, almacenamiento y el uso del petróleo (Integrated Ocean Observing System - IOOS, 2010), asimismo es utilizada para la descarga de aguas residuales e industriales, alterando en gran medida las propiedades fisicoquímicas del agua y su dinámica.

El Golfo de México se considera una de las regiones petroleras más grandes del mundo, ya que sólo la porción sureste contiene más del 80 % de las reservas totales de crudo en México (Brooks, 1990), siendo la contaminación marina por petróleo y sus derivados el problema de mayor importancia ecológica en las costas. Los compuestos aromáticos son derivados del petróleo, su composición básica es el benceno, configurando un anillo; al agruparse más de dos anillos se forman Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) (Botello *et al.*, 2005), éstos forman parte de los contaminantes orgánicos más tóxicos en la zona costera (Hoong *et al.*, 2001).

La mayoría de los HAPs poseen propiedades mutagénicas y/o cancerígenas y han sido relacionados con ciertos tipos de cáncer (pulmón, riñón, colon, rectal y piel) (Grimmer, 1993; Azevedo *et al.*, 1999; Pereira-Netto *et al.*, 2001). La Agencia de Protección Ambiental de E.U.A (US Environmental Protection Agency – USEPA, 1990), identificó 16 HAPs dentro de los principales contaminantes y potenciales cancerígenos.

La presencia de estos compuestos en zonas costeras fue registrada por Jackim y Lake (1978) y su presencia en organismos se atribuye principalmente a derrames de petróleo, pero también son importantes el transporte aéreo, las descargas municipales e industriales y los aportes terrestres (Lake y Neff, 1979). Otras fuentes son la diagénesis (Guerin *et al.*, 1978), la biosíntesis, la pirólisis (Suess, 1976) y la producida por los organismos (Zanardi *et al.*, 1999).

El análisis en sedimentos superficiales, proporciona información para inferir o conocer el posible destino y la dinámica de los contaminantes, con la finalidad de elaborar estrategias de manejo y evaluar las medidas de control de contaminación reciente. También los organismos bentónicos han sido utilizados como indicadores de contaminación, por la estrecha relación que tienen con los sedimentos (Botello y Villanueva, 1998; Luna *et al.*, 2002), tal es el caso del ostión *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) que, además, en las costas del Golfo de México es un recurso comercial.

Evaluaciones recientes muestran que estos ambientes están en constante degradación y en muchos sitios se ha intensificado (Gesamp, 2001). En México el mal manejo de los desechos genera la necesidad de realizar estudios para obtener información ambiental, así como biomonitorio para implementar medidas que favorezcan un buen uso de la zona costera y sus recursos (CENICA-SEMARNAT- PLANAME, 2002).

ANTECEDENTES

En las costas del Golfo de México se han efectuado diversas investigaciones, ya que se trata de un ecosistema de los más diversos y ricos del planeta. Desde el año 1971, con la primera prospección marina en la Sonda de Campeche, Petróleos Mexicanos (PEMEX) detectó un potencial petrolero de gran magnitud (Instituto Mexicano del Petróleo - IMP, 1987), a partir de 1974 se descubrió el pozo Chac y varios campos petroleros de grandes dimensiones (Santiago y Baro, 1992), en 1978 dio inicio la perforación del pozo Ixtoc, a 94 km al NW de Ciudad del Carmen, Campeche, y el 3 de junio de 1979, al perforar a 3,627 metros de profundidad, el pozo se descontroló (Instituto Mexicano del Petróleo - IMP, 1987), considerándose el mayor derrame a escala mundial, ya que se vertieron al mar más de 3,100,000 barriles de petróleo crudo (Botello *et al.*, 2005), por lo que el gobierno de México promulgó en 1981 el Plan Nacional de Contingencias para combatir y controlar derrames de hidrocarburos y otras sustancias nocivas en el mar, así como el programa coordinado de estudios ecológicos en la Sonda de Campeche.

La intensa actividad que desarrolla PEMEX se ve reflejada en la contaminación por petróleo y sus derivados en el ambiente marino, siendo los de mayor preocupación los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs), debido a sus propiedades cancerígenas y mutagénicas (United States National Academy of Sciences - NAS, 1975). Los primeros casos documentados de estos contaminantes hablaban de la composición natural de los mismos; el benzopireno fue encontrado en asbesto (Harrington y Commins, 1964; Boiteau *et al.*, 1972), fluoranteno en mercurio (Geissman *et al.*, 1967) y el pireno en arcillas y lodos carbonados (Orr y Grandy, 1967; Niaussat y Auger, 1970; Aizenshtat, 1973). El mayor aporte se registró cerca de aeropuertos y zonas altamente industrializadas (Smirnov, 1970; Audere *et al.*, 1973), las primeras extracciones de HAPs fueron descritas por Blumer y Rugrum (1970) y fueron retomadas por Youngblood y Blumer (1973), una fracción de sedimento marino demostró su presencia en diferentes ambientes (Ginger y Blumer, 1974; Blumer y Youngblood, 1974; Hites y Biemann, 1974).

Trabajos, sobre el impacto de estos contaminantes en costas del Golfo de México fueron presentados por Rosales y Álvarez (1979), siendo éste uno de los primeros estudios sobre niveles de contaminación costera en Tabasco; también se llevaron a cabo estudios sobre el uso de bivalvos como biomarcadores para evaluar la calidad del sistema (Farrington *et al.*, 1983); en particular, la especie *Crassostrea virginica* Gmelin (1791) fue usada en las lagunas de Tabasco (Noreña Barroso *et al.*, 1999); asimismo, la Comisión para el Desarrollo de las Zonas Petroleras del Estado de Tabasco - CODEZPET (1985), realizó un diagnóstico general de la actividad petrolera para el desarrollo de Tabasco; trabajos realizados por Botello (1980, 1988) reflejan el continuo aporte de contaminantes a la zona costera; los procesos de degradación, fueron descritos por Varanasi (1989); Ponce-Vélez (1995) presentó los niveles de HAPs en la plataforma continental, desde Tamaulipas hasta Tabasco; Botello *et al.* (1997), encontraron que, dentro del comportamiento del contaminante, existen procesos de filtraciones al fondo marino y Fernández *et al.* (1997) se refirieron a su persistencia en los sedimentos. Modelos para la predicción de las distribuciones de HAPs entre ostiones y sedimentos marinos fueron descritos por Cantillo *et al.* (1997) y Thompson *et al.* (2000), que además reportaron los niveles y tendencias de los contaminantes en moluscos y sedimentos. En México, en el año 2008, se implementó la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2008, la cual estableció los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo y la remediación

(Diario Oficial de la Federación – DOF, 2010). No existe en México una normatividad para sedimentos, pero ésta al ser la única que especifica los límites máximos permisibles de HAPs puede ser utilizada, con la limitante de la comparación entre ellos, ya que las presiones fisicoquímicas presentan características y comportamientos distintos para los HAPs, la única alternativa es comparar los datos con normas fuera del país. Existen índices para concentraciones mínimas y máximas en las que se observa daño al bentos como son las propuestas por la Administración Nacional Atmosférica y Oceánica de Estados Unidos - NOAA (por sus siglas en inglés), Screening Quick Reference Tables (SQuiRTs) (Buchman, 2008).

Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos HAPs

Los ambientes costeros presentan un gran aporte de hidrocarburos, que pueden ser de tipo biogénico o diagénicos provenientes de una transformación microbiana o química a partir de moléculas biogénicas; básicamente son compuestos químicos conformados por hidrógeno y carbono en una proporción 50-98 % (Botello *et al.*, 2005), el número de carbonos y su estructura química determinan su clasificación.

Los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos HAPs son compuestos orgánicos formados por la unión de dos o más anillos de benceno (Botello *et al.*, 2005), pueden estar en una conformación recta, angulada o ramificada Mastandrea (2005), su estado de agregación es líquido o sólido a temperatura ambiente y pueden ser poco polares o no polares (Botello *et al.*, 2005).

Los HAPs son importantes como hidrocarburos diagenéticos, por lo que son contaminantes que representan un alto riesgo ambiental, esto debido a sus propiedades carcinógenas y mutagénicas (U.S National Academy of Science - NAS, 1975). Por ello, sus efectos en el ambiente son ampliamente estudiados por diversos organismos internacionales. La Unión Europea los clasificó a modo de contaminantes primordiales (European Commission, 2002) y la USEPA realizó una lista, donde identificó a 16 HAPs dentro de los contaminantes prioritarios.

Desde las primeras descripciones de HAPs en estado natural (Harrington y Commins, 1964; Geissman *et al.*, 1967; Orr y Grandy, 1967; Niauxsat y Auger, 1970; Boiteau *et al.*, 1972; Aizenshtat, 1973; Blumer y Youngblood, 1974; Ginger y Blumer, 1974; Hites y Biemann, 1974); éstos han tenido una distribución cosmopolita (Neff, 1979); pueden provenir tanto de la naturaleza, como de la actividad humana (Marc, 2005), su formación se debe a la combustión incompleta de materia orgánica a elevadas temperaturas (Botello *et al.*, 2005), conocida como pirólisis, en ella se producen fragmentos de moléculas y radicales libres que se combinan para generar al HAP. Su composición depende del combustible y la temperatura, originando los productos en forma de vapores. De manera natural, algunos organismos y plantas los generan por biosíntesis directa; la diagénesis de la materia orgánica sedimentaria a través de procesos de baja temperatura produce a largo plazo combustibles fósiles, y los contaminantes (Guerin *et al.*, 1978), las actividades domésticas, así como el derrame directo u origen petrogénico (fugas de tanques y ductos de petróleo), son importantes emisiones al sistema (Botello *et al.*, 1993).

Los HAPs presentan una amplia distribución y se calcula que cada año ingresan al medio marino 230,000 toneladas (Witt, 1995), a través de la destilación global, la cual, es el transporte de compuestos mediante su volatilización y condensación.

De manera que, cuando estos contaminantes están en regiones cálidas, pasan a la fase gaseosa y son trasladados por el viento, al disminuir la temperatura, los compuestos se asocian y condensan a líquidos o sólidos del ambiente; al ingresar a la zona costera se vinculan con partículas y coloides en la columna de agua, de ésta manera están disponibles para la biota y se bioacumulan en el tejido lipídico de los organismos (Pereira *et al.*, 1992), como es el caso de *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791).

Los tres procesos de intercambio más importantes que definen el destino de los HAPS en el ambiente son: **disolución, volatilización y adsorción**, que dependerán de la naturaleza, estructura del sedimento y del contaminante (Botello *et al.*, 2005). Los HAPs de bajo peso molecular de 152 a 202 g/mol, están formados por dos y tres anillos aromáticos, poseen características de toxicidad aguda, son más volátiles y solubles; mientras que los de alto peso molecular de 228-278 g/mol, con cinco o más anillos, muestran un potencial cancerígeno mayor (Wit, 1995) y alta hidrofobicidad (Botello *et al.*, 2005).

La transformación de los HAPs puede llevarse a cabo por procesos físicos y químicos; en general estas transformaciones están dominadas por fotodegradación y biodegradación. La biodegradación es el proceso prioritario, y usa como herramientas eventos que ocurren de manera natural. Utiliza organismos que rompen los compuestos para satisfacer sus necesidades fisiológicas, cuyas enzimas pueden oxidar los substratos que contienen los HAPs de alto peso molecular; al aumentar el número de anillos, aumenta la resistencia de biodegradación (Solanas, 2009). La fotodegradación, es una reacción química que se produce bajo la influencia de la luz (Prado, 2007). La Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (International Union of Pure and Applied Chemistry – IUPAC) la define como: la transformación fotoquímica de una molécula en otras de menor peso molecular, es realizada por la estructura que absorbe la radiación ultravioleta y la visible. Otra posibilidad es llevada a cabo indirectamente, si otra molécula (ácidos húmicos y fúlvicos) o un substrato sólido (mineral u orgánico) toma el lugar de cromóforo (átomos de una molécula responsables de su color); la época del año, hora del día, latitud, altitud y la presencia de nubes son condicionantes (Prado, 2007).

El grado de oxidación de un HAP en el ambiente acuático, depende de las características del contaminante y del cuerpo de agua. Así, en zonas tropicales, la degradación es mayor que en zonas templadas, debido a la disponibilidad de oxígeno, nutrientes, luz, sustrato, temperatura, aunado a la comunidad microbiana abundante y diversa (Botello *et al.*, 2005). En condiciones óptimas, la vida media de los HAPs puede ser de menos de una hora (Conell, 2005), pero su baja solubilidad definirá la misma (Jaward y Col., 2004).

OSTIÓN *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791)

Los bivalvos son moluscos que habitan los cuerpos de agua de todo el mundo, han sido usados como indicadores biológicos, para la detección de sustancias contaminantes, esto a niveles fisiológicos, bioquímicos, genéticos e investigaciones toxicológicas (Salazar y Salazar, 1991). Debido a su biología y comportamiento se consideran organismos centinelas en los estudios de contaminación (Farris y Van Hassel, 2007), son organismos bentónicos y sésiles (García y Reguero, 2007), con rutas de exposición variable y de relativa tolerancia; sin embargo, también son capaces de cerrar sus valvas en condiciones no favorables y su potencial de biotransformación es menor que en otros grupos (Guzmán, 2007).

El ostión *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) es un molusco que habita cuerpos de agua salobres; en México se distribuye en lagunas y esteros, a lo largo de la costa, desde Tamaulipas hasta Campeche y parte de Yucatán (García-Cubas y Reguero, 2007). Su cuerpo tiene simetría bilateral, está comprimido lateralmente y posee una concha de dos valvas calcáreas, la valva derecha es más pequeña y aplanada que la izquierda, éstas son controladas por músculos aductores (García-Cubas y Reguero, 2007).

Son filtradores, la filtración del alimento y la respiración son llevadas a cabo por las branquias (García-Cubas y Reguero, 2007), este hábito alimenticio permite concentrar Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) en los tejidos blandos (Rand y Petrocelli, 1985). Los HAPs son absorbidos a través de las branquias, produciendo una concentración que varía hasta alcanzar un nivel de estabilidad, que resulta del balance entre ingestión (desde el agua, los sedimentos y la dieta) y depuración (excreción directa y biotransformación). La degradación y la tasa de biodisponibilidad de los HAPs están asociadas con agregados fecales (Baker *et al.*, 1991) y partículas suspendidas (Lacerda *et al.*, 1987), lo que permite su logística en la columna de agua y la ingesta por *Crassostrea virginica*, los daños causados estarán en función de: la concentración, tipo de petróleo, duración del contacto, sensibilidad del organismo y localización geográfica del derrame (Fernández *et al.*, 1997).

La acumulación de contaminantes desde la columna de agua se conoce como bioconcentración y se da cuando la tasa de incorporación supera la de eliminación (Guzmán, 2007). El ostión *Crassostrea virginica* a pesar de ser filtrador, usualmente no alcanza el estado de equilibrio dinámico, donde la concentración de los HAPs en tejido permanece constante durante la exposición, por lo cual, la magnitud de la concentración puede ser el principal agente que determine el factor de bioacumulación (Environmental Protection Agency - EPA, 1984).

Crassostrea virginica es una de las especies capturadas en el Golfo de México y es el ostión de mayor consumo en el país; sin embargo en Tabasco y otros estados existe la problemática de comercialización, ya que este recurso solo se consume en el mercado local y nacional sin ningún esquema de precios.

Debido a su baja calidad, el recurso carece de la certificación sanitaria correspondiente por parte de la Secretaría de Salud y la Ley Federal de Pesca, la cual determina la talla mínima y los niveles de HAPs en los organismos (Sernapam, 2011). En México debe ser permanente el monitoreo de los cuerpos de agua, con la finalidad de establecer medidas concluyentes, para mejorar el entorno que afecta a las poblaciones ostrícolas de las lagunas costeras del estado de Tabasco, y conseguir las condiciones sanitarias requeridas en los organismos, tanto para consumo interno como para exportación (Botello *et al.*, 2005).

OBJETIVOS

Obtener información ambiental de los sistemas lagunares: Julivá, Santa Anita, Carmen, Machona y Mecoacán, en el Estado de Tabasco, México, con el fin de caracterizar y cuantificar la presencia de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs), tanto en sedimentos como en *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791), e inferir el comportamiento espacio-temporal en cada sistema.

Objetivos particulares

- Comparar el contenido de HAPs en las lagunas: Julivá, Santa Anita, Carmen, Machona y Mecoacán, con base en los datos obtenidos en el análisis por detector de ionización de flama (FID) en 2009 y los reportados en 1996.
- Identificar y cuantificar la concentración de HAPs, utilizando ostiones de la especie *Crassostrea virginica* recolectados en: Carmen, Machona y Mecoacán.
- Inferir el comportamiento espacio-temporal y las posibles fuentes de contaminación utilizando la información relacionada con el número de anillos aromáticos que constituyen a cada HAP.

ÁREA DE ESTUDIO

El estado de Tabasco se localiza al sureste de México, entre las coordenadas geográficas 17° 15' - 18° 39' de latitud norte y 91° 00' - 94° 17' de longitud oeste, abarca el 1.58 % de la costa del país, esto es, 11,593 km del territorio. Hidrográficamente, cuenta con un sistema de escurrimientos complejos, llanuras deltaicas, sistemas lagunares, esteros, marismas, entre otros; su población es de 1, 989,969 habitantes (Instituto Nacional de Estadística y Geografía - INEGI, 2005), dividida en 17 municipios del estado. La mayor parte de Tabasco está cubierta por selva tropical y pantanos. El clima de la región es del tipo Am(f)w'(i)g (tropical lluvioso, cálido-húmedo, con lluvias en verano); la precipitación invernal es de 8.5% del total anual; la estación más seca es en invierno; la temperatura media del mes más frío es mayor de 18 °C y su media anual es de 25°C, se presentan dos estaciones lluviosas, separadas por una temperatura seca corta en el verano y una larga en la mitad más fría del año (invierno - primavera). Las precipitaciones decrecen desde la sierra sur, donde caen 400 mm anuales, hasta la zona costera en el norte, en donde se registran 1,700 mm y la evaporación media anual de 1,965.5 mm. Los vientos dominantes vienen del noroeste, con velocidades aproximadas de 0 a 3 m/s. Se presentan vientos alisios, monzones y boreales (nortes) (Vázquez *et al.*, 1994).

Las características geomorfológicas de la llanura costera del suroeste del Golfo de México se generan de las llanuras aluviales de los ríos Mezcalapa y Grijalva – Usumacinta, que desembocan en forma de delta, lo cual, origina seis lagunas litorales que cubren un frente marino de casi 60 km (INEGI, 2005).

Sistema lagunar Carmen-Machona.

El sistema está formado por dos cuerpos de agua principalmente y un canal que los une (West *et al.*, 1985). Laguna Carmen, se localiza al norte del estado, entre los paralelos 18° 14' y 18° 18' de latitud norte y los meridianos 93° 45' y 93° 53' de longitud oeste, posee una extensión aproximada

de 8 800 ha (Contreras, 1985) y una profundidad media de 1.80 m, la temperatura mínima es de 23.8 °C y la máxima 31.8 °C, se comunica permanentemente con el mar en su extremo poniente por un canal denominado "Barra de Santa Ana", esta barra resta el efecto de erosión marina a las playas, también existe una barra interior en la cual hay invasión de arenas hacia la laguna (Vázquez *et al.*, 1994). En cuanto a su origen, Lankford (1977), la clasificó dentro del tipo II-A; Carranza-Edwards *et al.* (1975), en la unidad morfométrica III. Los sedimentos son principalmente limo-arcillosos y limo-arenosos (Gutiérrez *et al.*, 1994). Laguna Carmen está rodeada de mangle (Thom, 1967) y tiene un par de lagunas asociadas, La Palma con 11 km² y La Redonda con 6 km², la primera es producto de inundación y la segunda tiene un origen igual a Carmen (Vázquez *et al.*, 1994).

La composición planctónica se da principalmente por algas, grandes comunidades de diatomeas *Skeletonema*, *Rhizosolenia*, *Biddulphia*, entre otras y diversas poblaciones de dinoflagelados (*Ceratium*, *Peridinium*, *Goniaulax* y *Dinophysis*) (Santoyo y Signoret, 1981); el zooplancton es temporal y se distinguen principalmente estados larvarios de algunos decápodos, larvas de *Callinectes sp* y larvas de *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791). El zooplancton permanente se caracteriza por foraminíferos, copépodos y ostrácodos, entre otros (Flores, 1984, 1987).

La fauna malacológica se distingue por 95 especies de moluscos pertenecientes a 63 géneros, 49 familias, 34 superfamilias, 11 órdenes, 5 subclases y 2 clases, como; *Acteosina canaliculata*, *Rangia cuneata*, *Littoridina sphinctostoma*, *Cerithidea oliculosa*, *Rangia flexuosa* y *Mulina latrealis* (Antolí y García-Cubas, 1985).

En el extremo noroeste de la laguna está la punta el caballito, frente a la cual se localiza el campo Arjona, plataformas petroleras abandonadas hace más de 20 años; en su extremo noreste se encuentra la villa de Sánchez Magallanes, siendo su principal actividad la pesca del ostión y cangrejo, cuenta con instalaciones de Petróleos Mexicanos - PEMEX: Campo Magallanes, Cinco Presidentes y San Remo.

El principal afluente de agua dulce es el río San Felipe (Gutiérrez *et al.*, 1994).

La laguna Machona pertenece al municipio de Cárdenas, se ubica entre los 18° 20' con 18° 24' de latitud norte y los 93° 45' y 93° 55' de longitud oeste y una superficie aproximada de 6.5 ha, con una profundidad media de 2.50 m (Contreras, 1985), en la parte sureste cuenta con una boca artificial "Boca de Panteones", que fue abierta a finales de 1975, y representa un desequilibrio en el sistema (Salvador y Reséndez, 1991), el sedimento es limoso, limo-arcilloso y limo arenoso (Gutiérrez *et al.*, 1994). En cuanto a su origen, Lankford (1977) la denomina de tipo II-A; Carranza-Edward *et al.* (1975), la ubican en la unidad morfométrica III. Esta Laguna posee menor superficie que la de Carmen y en ella desemboca el río Santa Ana (Contreras, 1985).

Al sureste de Laguna La Machona se localiza el municipio de Cárdenas, el cual reporta el mayor número de vías o ductos en cuanto a la industria petrolera, con 378.79 km de corredores y ductos petrolíferos en todo el estado (Petróleos Mexicanos - Pemex, 2001), y la ganadería, la pesca, el cultivo caña de azúcar, cacao, coco y arroz representa el sostén de la economía (Instituto Nacional de Estadística y Geografía – INEGI, 2005). En el extremo noroeste de Machona se divisa un canal profundo (50 m de ancho y 4 m de profundidad), que comunica a la Laguna El Arrastradero con Machona. Ésta ocupa una superficie de 4.5 km² (Contreras, 1985).

Ambas lagunas se comunican por un cuerpo de agua llamado El Pajonal; formando un solo sistema (Fig. 1), el cual, por su origen y evolución se asocia a los procesos de sedimentación terrígena del río Mexcalapa. En términos generales, el sistema presenta condiciones salobres, con salinidad de

12 a 20 ups; el oxígeno es bajo, con valores inferiores al punto de saturación; la temperatura es homogénea, sin estratificación vertical, y la turbidez es alta. Se encuentra rodeado de mangle y en su interior se desarrollan importantes bancos ostrícolas de la especie *Crassostrea virginica* (Gutiérrez *et al*, 1994).

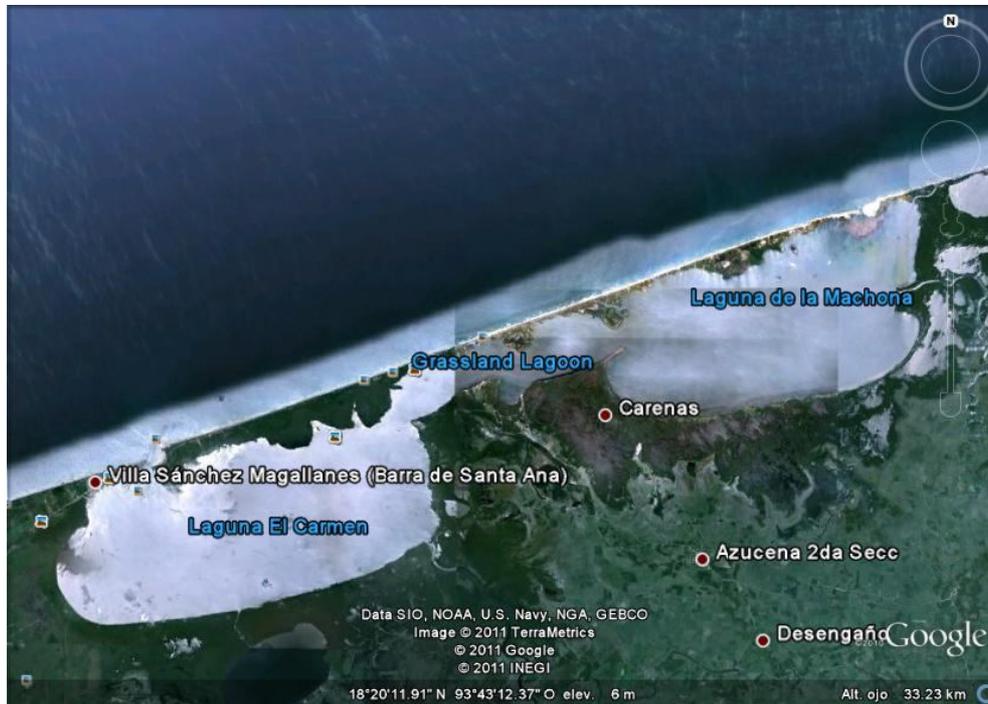


Figura 1. Sistema lagunar Carmen-Machona, Tabasco, México. (Google Earth, 2011)

Laguna Mecocacán

Este sistema se ubica en la zona litoral del Golfo de México, entre los meridianos $93^{\circ} 04'$ y $93^{\circ} 14'$ y los paralelos $18^{\circ} 16'$ y $18^{\circ} 26'$; el sistema forma parte del cuerpo deltaico de los ríos Grijalva y Usumacinta, conforma un área de 5 168 ha. La laguna está orientada en dirección este-oeste y es paralela a la línea de costa; mide 11.5 km de norte a sur y 7 km en su parte más ancha; el clima de la región es cálido húmedo con lluvias todo el año; la precipitación del mes más seco es mayor a 60 mm (García, 1973).

Según Lankford (1977), la laguna corresponde al tipo II-A; Carranza-Edwards *et al.* (1975), la clasifican en la unidad morfométrica III. La profundidad fluctúa entre 0.30 y 2.30 m y el promedio es de 1 m (Contreras, 1985). La Laguna está conformada por un par de cuerpos ovalados que se comunican permanentemente al mar a través de la Barra de dos Bocas, desemboca el río Escarbado por la parte oriental de la laguna (15 m de ancho), el cual sirve de enlace con el río González, que desemboca al Golfo de México, diversos afluentes son el río Cuxcuchapa (15 m de ancho) y el río Seco (100 m de ancho) que desembocan al sureste y noroeste de la laguna (Castro-Gessner, 1981).

Su litología está relacionada con la dinámica del agua y con la existencia de bancos ostrícolas, la mayoría de los sedimentos son areno-limoso, con cantidades menores de arcilla. La tasa promedio de sedimentación oscila en 1.5 cm/año (Galáviz *et al.* 1987, citado por Díaz, 1994). La vegetación es mangle y popal (López Portillo, 1982, citado por Contreras, 1993).

El aporte principal de materia orgánica proviene del manglar que rodea a la laguna, la temperatura mínima de la laguna es de 24.1°C y la máxima de 30.2°C. En la laguna de Mecoacán habitan comunidades fitoplanctónicas y hay predominio de dinoflagelados, diatomeas centrales y penales; en el zooplancton se han registrado ostrácodos, copépodos, foraminíferos, larvas zoea, larvas de ostión y, en el bentos, 42 especies de moluscos (García *et al.*, 1990).

El zooplancton está constituido por 6 grupos: crustáceos, como *Cardisoma guanhumi* o cangrejo azul, *Balanus*, tres especies de camarón: *Penaeus setiferus*, *P. aztecus* y *Xiphopenaeus krogeri*. Hay reptiles: la tortuga *Eretmochelys imbricata* y la tortuga verde *Chelonia mydas*. El 3 % del área, está ocupado por los bancos ostrícolas de *Crassostrea virginica*, distribuidos de manera natural hacia el suroeste del sistema, encontrándose principalmente en las islas en la boca de la laguna (Contreras, 1985).

La concentración urbana se ubica en la zona noroeste de la laguna, donde destaca el puerto Dos Bocas, éste es el principal puerto petrolero del estado y uno de los más importantes del País, ya que manejan volúmenes provenientes de la zona marina de Tabasco y Campeche, que son exportados a todo el mundo (Secretaría de Comunicaciones y Transportes – SCT, 2011). A lado del importante puerto, se ubican las localidades de Torno Largo, Puerto Ceiba y paso El Bellote, así como los municipios José María Morelos y Paraíso, siendo este último uno de los más importantes del estado, ya que aunadas a la intensa actividad petrolera, posee importantes entradas económicas derivadas de la pesca y el cultivo del ostión *Crassostrea virginica*, así como del turismo, el cual provee de grandes asentamientos hoteleros a las orillas de la laguna (Instituto Nacional de Estadística y Geografía - INEGI, 1998). La morfología de la laguna se presenta en la figura 2.



Figura 2. Sistema lagunar Mecoacán, Tabasco, México. (Google Earth, 2011).

Lagunas Julivá-Santa Anita

La laguna Julivá se ubica en el municipio de Nacajuca en el estado de Tabasco; presenta una forma semi-ovoide, de origen fluvial y aproximadamente 407.7 ha de superficie; se comunica con el río El Naranjo y el canal Escarbado, presenta una línea de costa de 21.1 km, longitud máxima de 3.3 km, anchura máxima de 1.92 km y una proporción largo/ancho de 1.72 km; su vegetación aledaña se conforma de comunidades hidrófitas, selva mediana y pastizales; tiene mezcla completa durante todo el año (Rodríguez, 2002). La laguna Santa Anita se localiza en el municipio de Centla; presenta una superficie lagunar de 1,360.2 ha, con una línea de costa de 17.8 km, longitud máxima de 5.2 km, ancho máximo de 3.9 km y proporción largo/ancho de 1.3 km; se comunica por tres pequeños afluentes con el río San Pedrito, es de forma regular y semi-dendrítica; de origen deltaico y tiene facies hidrófitas como vegetación aledaña, presenta mezcla completa todo el año (Rodríguez, 2002), estos cuerpos forman un sistema lagunar (Fig. 3).



Figura 3. Lagunas Julivá-Santa Anita, Tabasco, México. (Google Earth, 2011).

Las actividades desarrolladas por Petróleos Mexicanos - PEMEX en el Golfo de México desde los años 70's se han visto reflejadas en la contaminación por petróleo y sus derivados. PEMEX realiza la mayor actividad en la llamada Sonda de Campeche, que se divide en dos regiones, la Región Marina Noroeste (RMNE) y la Región Marina Suroeste (RMSO) (García, 2004), en las cuales se realizan la exploración de nuevos yacimientos, transporte y comercialización de hidrocarburos a los centros de venta (Instituto Mexicano del Petróleo - IMP, 2001). La RMNE, con 1,508 km lineales

de ductos marinos es la zona de mayor producción a nivel nacional, ésta se encarga de distribuirlos productos hacia, terminales marinos, monoboya y a la RMSO, la cual produce crudo ligero y se contacta a una estación de bombeo que conduce el recurso al puerto Dos Bocas, Tabasco.

METODOLOGÍA

Para el muestreo en campo se utilizó una lancha con motor fuera de borda, las muestras de sedimentos superficiales fueron tomadas con una draga tipo van Veen, posteriormente se guardaron en envases de vidrio, tapa de plástico, previa contratapa de aluminio y se colocaron en hieleras, para mantener los sedimentos a 0 °C, hasta su análisis en laboratorio.

Los ostiones de la especie *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1979), fueron recolectados en los bancos ostrícolas, directamente con los pescadores de la zona, los cuales realizaron la captura por el método de pesca Nasa, después fueron colocaron en hieleras para mantenerlos a 0 °C hasta su análisis.

El material de referencia sedimentario utilizado fue el IAEA-417 para HAPs (Tabla 1).

Tabla 1. Materiales de referencia para HAPs, valores en μgg^{-1} .

HAPs	^a LCM-ICMYL, UNAM		IAEA-417	
	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Naftaleno	0,10	0,09	0,150	0,110
Acenaftileno	*	*	0,042	0,035
Acenafteno	0,11	0,04	0,180	0,062
Fluoreno	0,19	0,07	0,230	0,110
Fenantreno	3,75	1,25	3,900	1,500
Antraceno	0,93	0,07	0,630	0,240
Fluoranteno	8,79	2,33	7,700	3,000
Pireno	7,63	1,57	6,000	2,200
Benzo(a)antraceno	3,42	0,55	3,200	1,200
Criseno	5,07	0,61	3,600	1,700
Benzo(b)fluoranteno	4,36	0,58	4,100	2,000
Benzo(k)fluoranteno	*	*	2,000	0,300
Benzo(a)pireno	3,47	0,52	2,800	1,200
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	3,11	0,43	2,700	0,370
Dibenzo(a,h)antraceno	*	*	1,100	1,100
Benzo(g,h,i)perileno	3,54	0,45	2,300	1,300

^a LCM-ICMYL, UNAM Laboratorio de Contaminación Marina, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

* No reportado

Los estándares analíticos utilizados para la determinación por cromatografía de gases-FID, fueron de la empresa Chemical Service, INC. En una mezcla de 16 analitos con clave de producto PPH-10RPM, ésta mezcla estándar se utilizó tanto en sedimentos como en organismos.

A continuación se presentan las lagunas analizadas con el número de estaciones, posición geográfica (latitud/longitud) y las fechas de recolecta.

Tabla 2. Localización geográfica de las estaciones de recolección. Mayo, 2009.

Relación de muestras de los sistemas lagunares de Tabasco					
Código	Laguna	No. Muestras	Latitud N	Longitud W	Fecha de recolección
Jul-01-S-HC	Julivá	1	18° 22' 19"	92° 59' 14"	27/05/2009
Jul-02-S-HC	Julivá	1	18° 21' 58"	92° 59' 07"	27/05/2009
Jul-03-S-HC	Julivá	1	18° 21' 51"	92° 58' 34"	27/05/2009
Sta-01-S-HC	Santa Anita	1	18° 23' 29"	92° 58' 29"	27/05/2009
Sta-02-S-HC	Santa Anita	1	18° 23' 03"	92° 58' 00"	27/05/2009
Sta-03-S-HC	Santa Anita	1	18° 23' 17"	92° 57' 44"	27/05/2009
Sta-04-S-HC	Santa Anita	1	18° 23' 35"	92° 58' 08"	27/05/2009
Car-01-S-HC	Carmen	1	18° 16' 13"	93° 52' 25"	28/05/2009
Car-03-S-HC	Carmen	1	18° 15' 02"	93° 49' 20"	28/05/2009
Car-07-S-HC	Carmen	1	18° 19' 24"	93° 43' 02"	28/05/2009
Car-09-S-HC	Carmen	1	18° 18' 08"	93° 48' 36"	28/05/2009
Mach-02-S-HC	Machona	1	18° 19' 07"	93° 38' 43"	28/05/2009
Mach-05-S-HC	Machona	1	18° 21' 13"	93° 34' 52"	28/05/2009
Mach-07-S-HC	Machona	1	18° 22' 35"	93° 36' 39"	28/05/2009
Mach-09-S-HC	Machona	1	18° 21' 45"	93° 38' 43"	28/05/2009
Mec-02-S-HC	Mecoacán	1	18° 21' 57"	93° 06' 25"	29/05/2009
Mec-04-S-HC	Mecoacán	2	18° 22' 53"	93° 03' 58"	29/05/2009
Mec-06-S-HC	Mecoacán	1	18° 23' 41"	93° 07' 45"	29/05/2009
Mec-07-S-HC	Mecoacán	1	18° 24' 40"	93° 07' 32"	29/05/2009
Mec-08-S-HC	Mecoacán	2	18° 04'	93° 25' 42"	29/05/2009
Mec-09-S-HC	Mecoacán	1	18° 25' 12"	93° 08' 29"	29/05/2009



Figura 4. Localización de las estaciones de recolección de sedimentos en el sistema lagunar Carmen-Machona, Tabasco, México. (Google Earth, 2011).

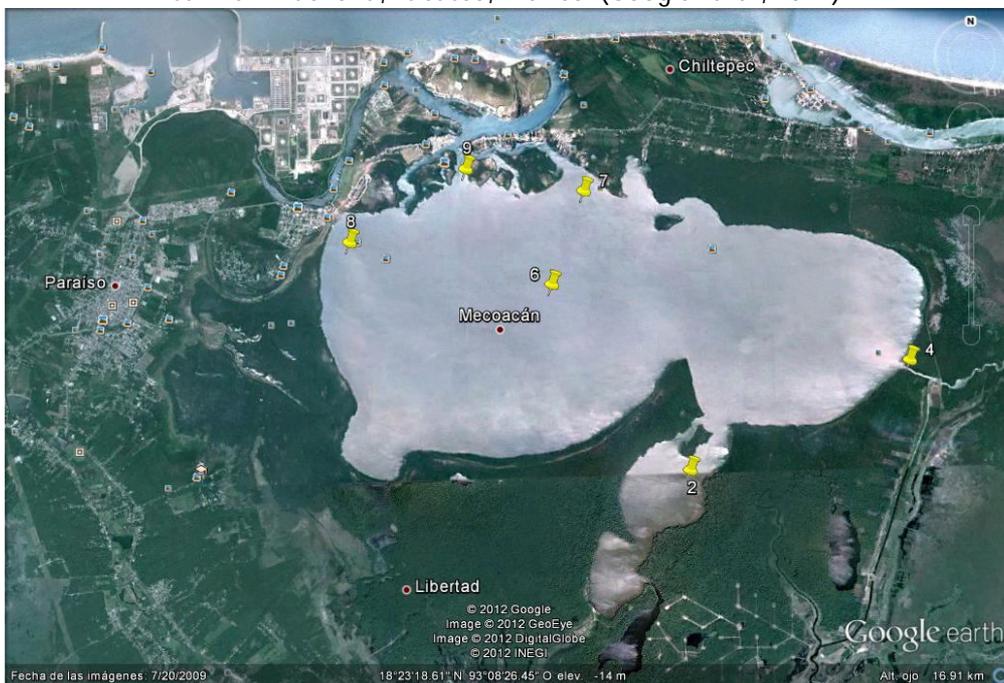


Figura 5. Localización de las estaciones de recolección de sedimentos en la laguna Mecoacán, Tabasco, México. (Google Earth, 2011).



Figura 6. Localización de las estaciones de recolección de sedimentos en las lagunas Julivá-Santa Anita, Tabasco, México. (Google Earth, 2011).

Trabajo de laboratorio

Para la extracción de hidrocarburos del petróleo en sedimentos marinos se utilizó la técnica propuesta por la UNEP/IOC/IAEA (1992).

El sedimento se secó a una temperatura de 40 °C, se maceró en mortero de porcelana y se tamizó en una malla de 250 µm. Se tomó una submuestra del sedimento tamizado y homogeneizado de 5 g en base peso seco para realizar la extracción.

Para la extracción se colocó la alícuota de 5 g en equipo Soxhlet, utilizando un disco de papel filtro Whatman No. 2 previamente lavado con hexano. Se agregaron 250 ml de una mezcla hexano: cloruro de metileno al matraz de balón de 500 ml. Se extrajo durante 8 horas con ciclos de sifón de 10 minutos.

El extracto se concentró en un rotoevaporador hasta que se obtuvo un volumen entre 5 y 8 ml. La temperatura del baño no debió exceder de 40 °C y la presión de la bomba de vacío debió estar en 40 psi. Si quedó sedimento en el balón de 500 ml, debió centrifugarse a 2,500 rpm durante 5 min y se trasvasó a un matraz de balón de 50 ml y se rotoevaporó aproximadamente a 5 ml.

Para la limpieza del extracto se utilizó columna de vidrio de 2 cm de diámetro interno y 30 cm de longitud. Se empacó en el siguiente orden: fibra de vidrio, hexano, 5 g de sílica (en hexano), después, 10 g de alúmina (en hexano), se añadió sulfato de sodio anhidro, todo inmerso en hexano, no debe secarse la columna. Tanto la sílica como la alúmina se activaron a 200 °C durante 4 horas y se desactivaron al 5 % peso/peso con agua tridestilada. Se añadió la muestra, se dieron varios enjuagues al matraz de balón (3-5 ml con hexano), se agregaron 20 ml de hexano para

obtener la fracción 1 (donde estarán contenidos los hidrocarburos alifáticos) recolectándolos en un matraz de balón de 50 ml. La fracción 2 contuvo los HAPs y se obtuvieron eluyendo con 20 ml de una mezcla hexano: cloruro de metileno (dcm) (8:2), seguidos por una mezcla de 20 ml de hexano: cloruro de metileno (50:50), se recolectó en un matraz de 125 ml. Se concentraron las dos fracciones en un rotoevaporador hasta un volumen entre 2 y 5 ml, se trasvasó a viales y con nitrógeno de alta pureza se llevó a sequedad y se analizó con detector de ionización de flama (FID) (Fig. 7).

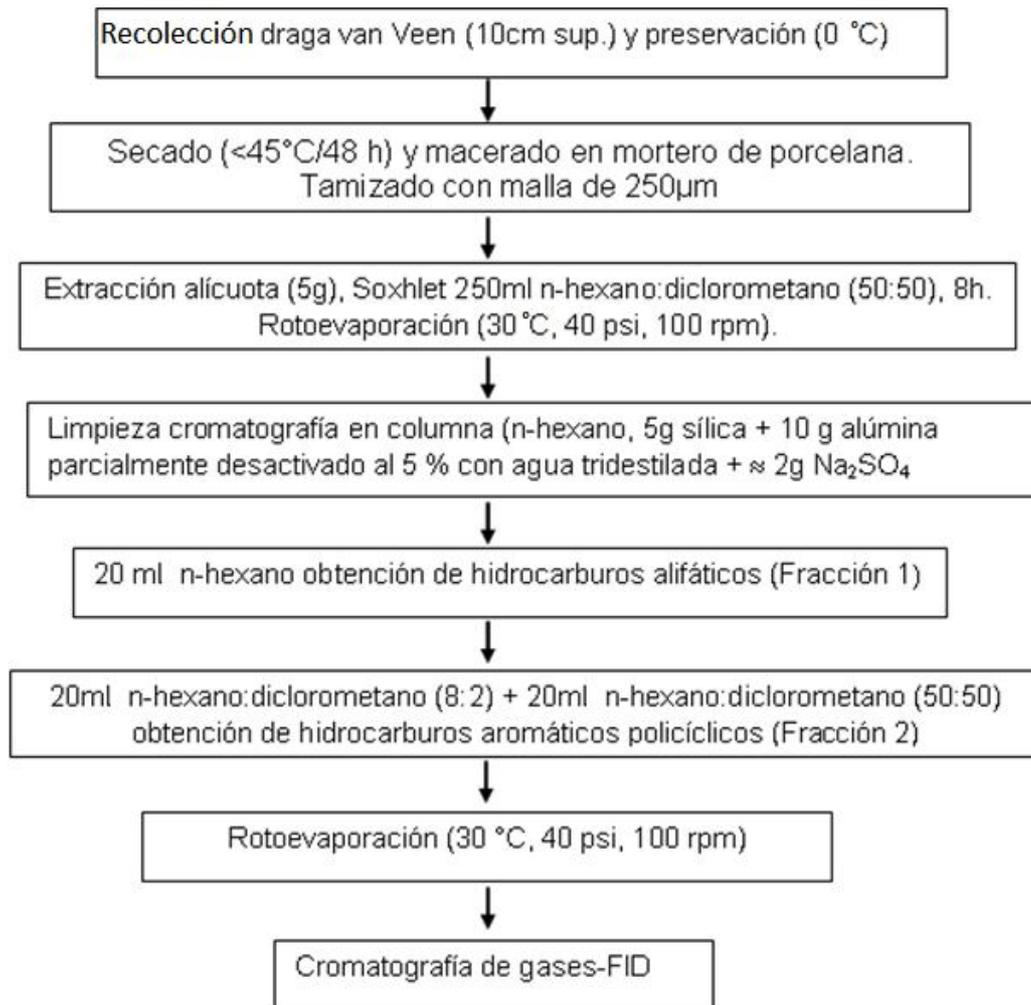


Figura 7. Metodología para el análisis de hidrocarburos del petróleo en muestras de sedimentos superficiales marinos. (UNEP/IOC/IAEA, 1992).

La técnica de extracción utilizada para hidrocarburos del petróleo en muestras biológicas fue la propuesta por UNEP/FAO/IOC/IAEA (1993).

El tejido muscular se secó a una temperatura entre los 40 y 50 °C, se maceró en mortero de porcelana y se tamizó.

Se pesó una submuestra del tejido de 5 g en base peso seco para realizar la extracción. Se puso en el extractor Soxhlet el tejido, utilizando como soporte un papel filtro. Se agregaron 250 ml de metanol en un matraz de balón de 500 ml. Se extrajo por 8 horas. Se añadieron 20 ml de KOH 0.7 M y 30 ml de agua tridestilada al matraz de balón y se dejó la extracción por dos horas más.

Se colocaron los extractos de las muestras en embudos de separación de 500 ml o de 1 l. Se enjuagaron varias veces los matraces de balón a fin de evitar pérdidas. Se añadieron 90 ml de hexano, se agitó, hasta la formación de 2 fases, las fases hexánicas se recolectaron en matraces de 250 ml.

Se concentró la fase hexánica en un rotoevaporador hasta aproximadamente 5 ml. La temperatura del baño María no debió exceder los 40 °C, la presión de la bomba de vacío debió ser de 40 psi.

Para la limpieza del extracto en columnas de adsorción, se utilizaron columnas de vidrio de 2 cm de diámetro interno y 30 cm de longitud. Se empacaron igual que las columnas para sedimentos.

Se añadió la muestra, se dieron varios enjuagues al matraz de balón (con hexano), se agregaron 20 ml de hexano como eluyente y se estableció un goteo lento para una buena separación. Esta es la fracción 1, que contiene los hidrocarburos alifáticos, parafinas o saturados y se recolectó en un matraz de balón de 50 ml. Se agregaron 30 ml de una mezcla hexano: cloruro de metileno (dcm) (9:1) y constituye la fracción 2, formada por los hidrocarburos no saturados y aromáticos, se recolectó en matraz de balón de 50 ml.

Las dos fracciones se concentraron en un rotoevaporador, se trasvasaron a viales. Se utilizó nitrógeno para llevar a sequedad los viales y se analizó por detector de ionización de flama (FID) (Fig. 8).

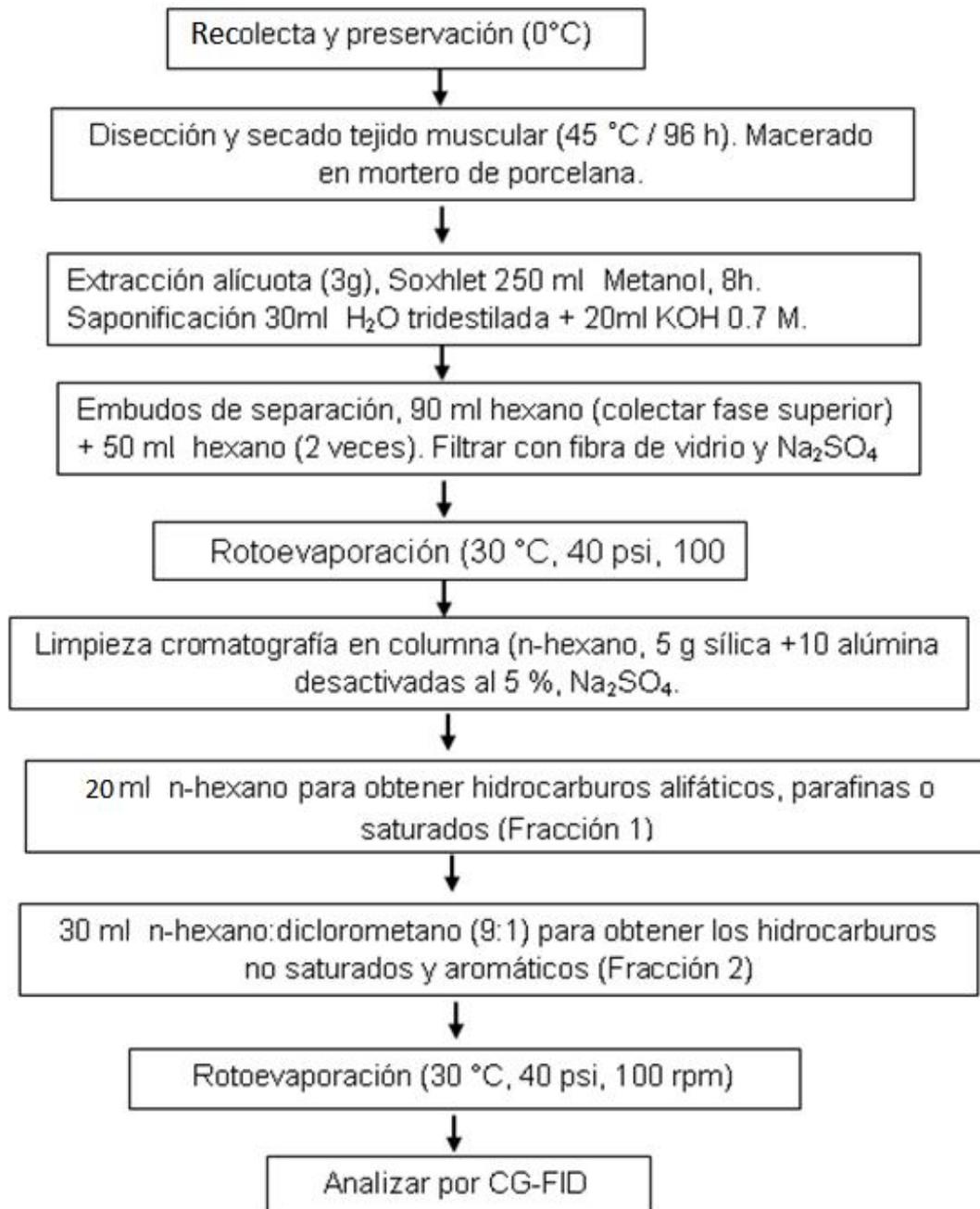


Figura 8. Metodología para análisis de hidrocarburos del petróleo en muestras de organismos marinos. (UNEP/IAEA/FAO/IOC, 1993).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sistema lagunar Carmen-Machona.

Sedimentos.

La red de estaciones para la recolección de sedimentos superficiales correspondiente al sistema lagunar Carmen-Machona, constó de 4 estaciones para cada una de las lagunas que componen este ecosistema: Carmen (1, 3, 7 y 9) y Machona (2, 5, 7 y 9).

En la Tabla 3 se presentan las concentraciones de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (Σ HAPs), sobresaliendo la estación 1 de la laguna Carmen con el nivel más alto $0.70 \mu\text{gg}^{-1}$ y, en orden decreciente se ubicó la estación 3 con $0.24 \mu\text{gg}^{-1}$; para Machona, la estación 5 con $0.39 \mu\text{gg}^{-1}$ fue el principal, seguido por la estación 2 con $0.18 \mu\text{gg}^{-1}$ (Fig. 9). El valor promedio de HAPs fue mayor para laguna Carmen, con $0.30 \pm 0.14 \mu\text{gg}^{-1}$, ya que el obtenido para Machona fue de $0.15 \pm 0.09 \mu\text{gg}^{-1}$.

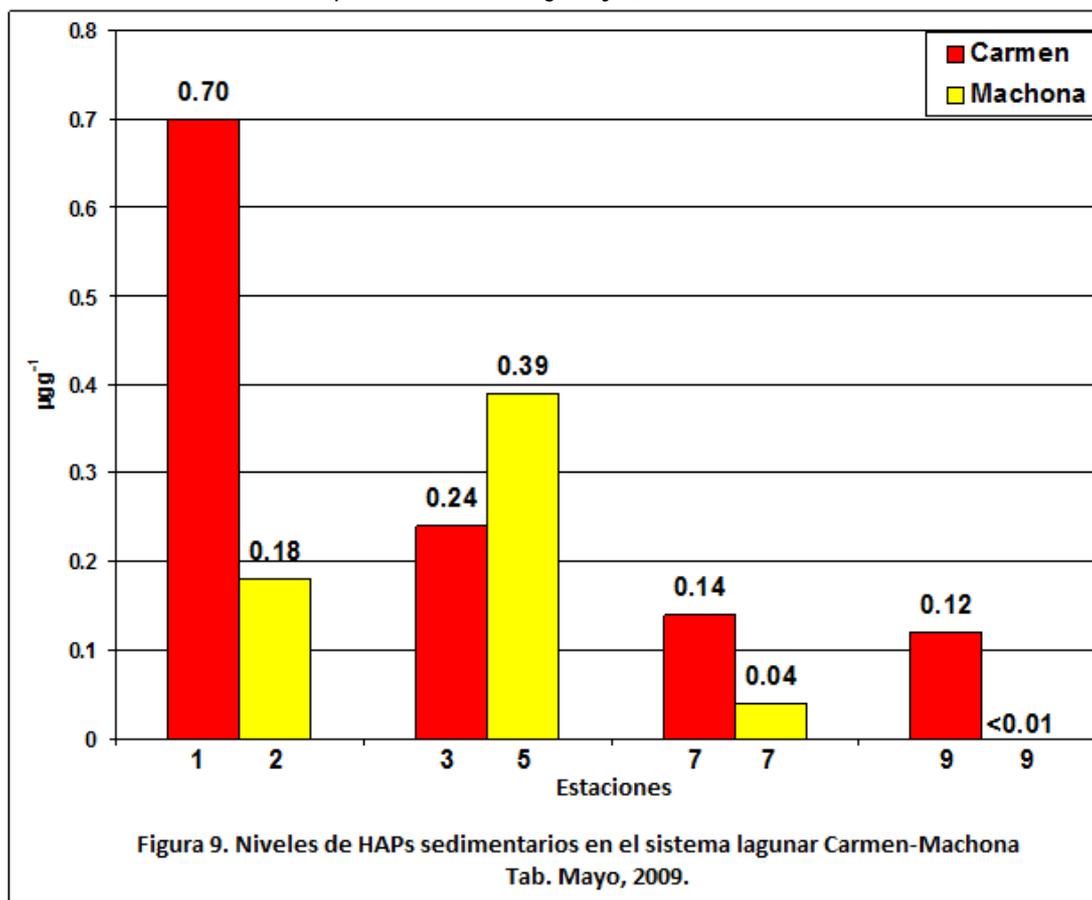
Tabla 3. Hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos superficiales del sistema lagunar Carmen-Machona, Tab. Mayo, 2009. Valores en μgg^{-1} peso seco.

N° ANILLOS	COMPUESTOS	Laguna Carmen				Laguna Machona				ERL	ERM
		1	3	7	9	2	5	7	9		
		(Long <i>et al.</i> , 1995)									
2	NAFTALENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.16	2.1
2	ACENAFTALENO	0.05	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.04	0.64
2	ACENAFTENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.02	0.5
2	FLUORENO	0.06	N.D	N.D	N.D	N.D	0.05	N.D	N.D	0.02	0.54
3	FENANTRENO	0.08	N.D	N.D	N.D	N.D	0.05	0.04	N.D	0.24	1.5
3	ANTRACENO	0.05	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.09	1.1
3	FLUORANTENO	0.06	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.6	5.1
4	PIRENO	0.03	N.D	N.D	N.D	N.D		N.D	N.D	0.67	2.6
4	BENZO(a)ANTRACENO	0.04	N.D	N.D	N.D	N.D	0.03	N.D	N.D	0.26	1.6
4	CRISENO	0.07	N.D	N.D	N.D	N.D	0.09	N.D	N.D	0.38	2.8
4	BENZO(b)FLUORANTENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D		
4	BENZO(k)FLUORANTENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D		
5	BENZO(a)PIRENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.43	1.6
5	INDENO(12-cd)PIRENO	0.17	N.D	N.D	0.12	0.08	N.D	N.D	N.D		
5	DIBENZO(ah)ANTRACENO	N.D	0.14	0.14	N.D	N.D	0.13	N.D	N.D	0.06	0.26
6	BENZO(ghi)PERILENO	0.09	0.1	N.D	N.D	0.1	N.D	N.D	N.D		
CONCENTRACIÓN TOTAL (ΣHAPs)		0.7	0.24	0.14	0.12	0.18	0.39	0.04	N.D	4.02	44.8

N.D < $0.01 \mu\text{gg}^{-1}$. **ERL** (Effects Range-Low), el nivel por debajo del cual hay baja probabilidad de que un contaminante provoque efectos adversos sobre los organismos. **ERM** (Effects Range-Median), el nivel por encima del cual hay una mayor probabilidad de que un contaminante provoque efectos adversos en los organismos. Efectos biológicos frecuentes: $4.02-44.8 \mu\text{gg}^{-1}$ (Long *et al.*, 1995).

Concentraciones promedio de HAPs: Carmen $0.30 \pm 0.14 \mu\text{gg}^{-1}$. Machona $0.15 \pm 0.09 \mu\text{gg}^{-1}$.

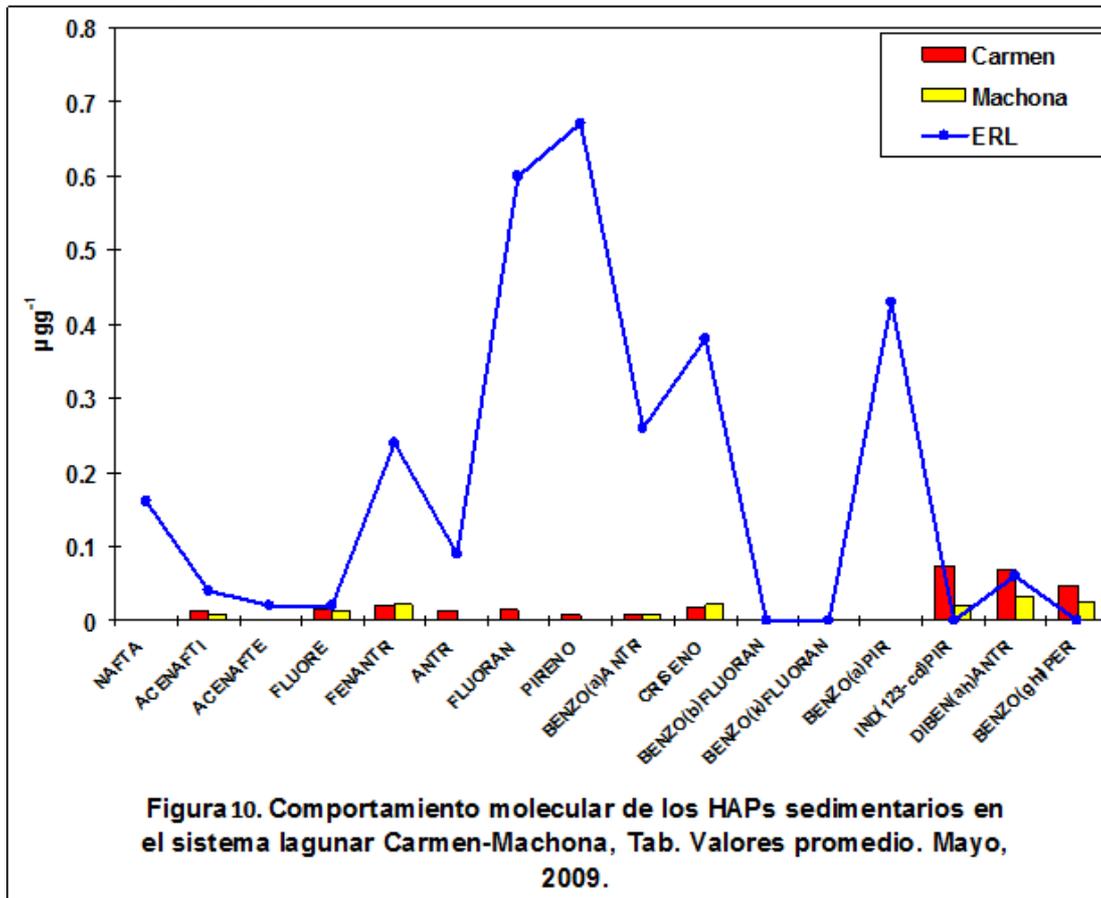
La región occidental de laguna Carmen (estación 1) fue la que registró mayor contenido de ΣHAPs ($0.70 \mu\text{g g}^{-1}$), con una tendencia al decremento hacia el sur de la laguna, y disminuyendo aún más en el canal denominado Pajonal, hacia el oriente, siendo el borde norte (hacia la línea de costa) el área con menor contenido de poliaromáticos (Figs. 4 y 9).



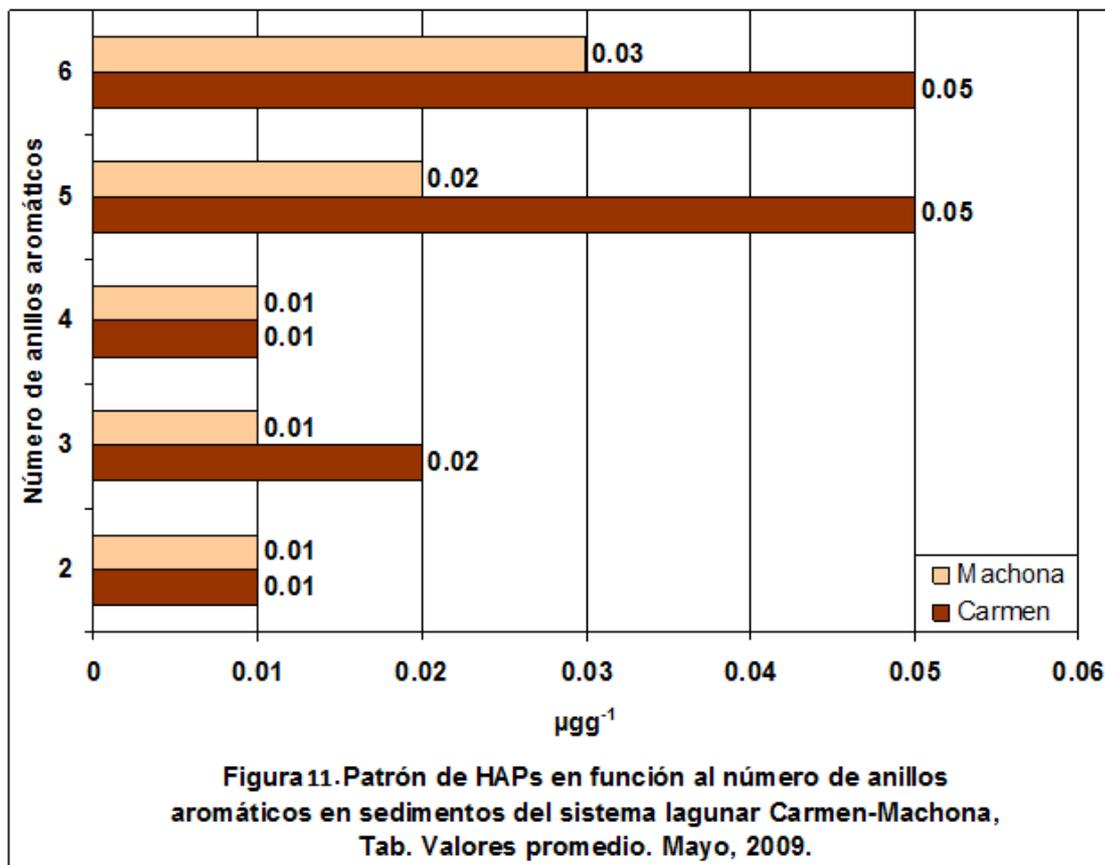
Los HAPs individuales que dominaron en los sedimentos superficiales de la laguna Carmen fueron en orden decreciente: dibenzo(ah)antraceno, indeno(123-cd)pireno, benzo(ghi)perileno, criseno, fluoranteno, fenantreno y fluoreno, en un intervalo entre 0.07 y $0.02 \mu\text{g g}^{-1}$; para Machona los compuestos mostraron el siguiente patrón: dibenzo(ah)antraceno = benzo(ghi)perileno > indeno(123-cd)pireno > criseno > fenantreno, con niveles promedio entre 0.03 y $0.02 \mu\text{g g}^{-1}$ (Fig. 10).

Existen valores establecidos como guías de calidad sedimentaria derivados de diversos estudios ecotoxicológicos, donde se ha medido la toxicidad intrínseca de los sedimentos costeros y marinos sobre diversas especies de organismos bentónicos; uno de estos valores se conoce como Effects Range Low - ERL (por sus siglas en inglés) y representa la concentración menor a partir de la cual se puede provocar daño al bentos (Long *et al.*, 1995; Buchman, 2008); cabe mencionar que estos criterios, fueron desarrollados y son utilizados por la Administración Nacional Atmosférica y Oceánica de Estados Unidos - NOAA (por sus siglas en inglés).

Al considerar los promedios por laguna, solamente la laguna Carmen registró al dibenzo(ah)antraceno con un nivel superior al del valor de referencia ambiental mencionado con $0.07 \pm 0.04 \mu\text{g g}^{-1}$; sin embargo, a nivel puntual de las estaciones de recolección, la estación 5 de Machona también presentó una alta concentración en estos contaminantes con $0.13 \mu\text{g g}^{-1}$ y las estaciones 3 y 7 de laguna Carmen con $0.14 \mu\text{g g}^{-1}$, representando el doble del criterio de calidad de sedimentos (Tabla 2).



Para inferir el posible origen de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos - HAPs en los ambientes costeros y marinos se utiliza la información relacionada con el número de anillos aromáticos que constituyen a estos compuestos. En la figura 11 se presenta el patrón mostrado por los datos registrados para este sistema lagunar, en donde puede observarse que para ambos cuerpos lagunares que conforman el ecosistema, los compuestos más pesados de 5 y 6 anillos bencénicos dominaron, por lo que el origen pirolítico es el principal; cabe mencionar, que en la laguna Carmen se presentó el grupo de los hidrocarburos formados por 2 y 3 anillos, que son de tipo preponderantemente petrogénico como acenaftileno y fluoreno, solamente en la estación 1 (lado occidente), mientras que para la laguna Machona este registro se detectó en la estación 5, ubicada exactamente en el lado opuesto (borde oriente) (Fig. 11).



La información ambiental derivada de la estimación de las concentraciones de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos – HAPs en la matriz sedimentaria, permite calcular una serie de parámetros geoquímicos con la finalidad de conocer los orígenes preponderantes de estos compuestos orgánicos, así como el posible grado de contaminación provocado específicamente por este grupo de contaminantes orgánicos persistentes. En la tabla 4 se presentan los índices moleculares calculados con la información analítica obtenida para este ecosistema y se aprecia que la estación 1 de la laguna Carmen se puede clasificar como contaminada por el valor de la Σ HAPs (Maliszewska-Kordybach, 1996), con un origen pirolítico dominante de los compuestos registrados; las estaciones 3 y 9 de esta misma laguna resultaron como poco contaminados con base en la concentración total de poliaromáticos siendo también la pirolisis el proceso de origen mayoritario de estas sustancias; la estación 7 se calificó como no contaminada y el único compuesto que presentó, el dibenzo(ah)antraceno, es pirolítico con características de riesgo ambiental, como ya se mencionó anteriormente. En la laguna Machona solamente la estación 5 (borde oriental) fue considerada como poco contaminada con un origen mixto en los HAPs detectados y las estaciones restantes se clasificaron como no contaminados por estos compuestos orgánicos (Sicre *et al.*, 1987; Budzinsky *et al.*, 1997; Soclo *et al.*, 2000; Yunker *et al.*, 2002; Tolosa *et al.*, 2003; Cai *et al.*, 2007).

Tabla 4. Índices moleculares de origen y grado de contaminación para HAPs en sedimentos superficiales del sistema lagunar Carmen–Machona, Tab. Mayo, 2009.

Índices Moleculares y Grados de Contaminación	Laguna Carmen				Laguna Machona			
	1	3	7	9	2	5	7	9
^a Antr / (Antr+Fenant)	0.39	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C
^a Fluorant / (Fluorant+Pir)	0.67	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C
^b Fenantr/Antr	1.60	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C
^b Fluorant/ Pir	2.00	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C
^b Cris/B(a)antr	1.75	N.C	N.C	N.C	N.C	3.00	N.C	N.C
^c R<3/>4	0.75	N.C	N.C	N.C	N.C	0.56	N.C	N.C
^d ΣHAPs	0.70	0.24	0.14	0.12	0.18	0.39	0.04	N.D
^e B(a)PIR	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
^{abc} FUENTE DOMINANTE	PIR	PIR	PIR	PIR	PIR	M	PET	N.D
^d Grado de Contaminación por ΣHAPs	CONT	PC	NOC	PC	NOC	PC	NOC	N.D
^e Grado de Contaminación por B(a)PIR	L	L	L	L	L	L	L	L

N.C= No calculado (sin datos); N.D= No detectado ($<0.01\mu\text{gg}^{-1}$); ^a=Yunker *et al.* (2002); ^b=Budzinsky *et al.* (1997), Soclo *et al.* (2000); Cai *et al.* (2007), Ping *et al.* (2007); ^d = Maliszewska-Kordybach (1996), valores en μgg^{-1} ; ^e B(a)PIR benzo(a)pireno, Canada (CCME, 1991); M= origen mixto (pirolítico y petrogénico); PIR= pirogénico; PET= petrogénico; MTPIR= mixto con tendencia pirolítica; MTPET= mixto con tendencia petrogénica; A=altamente contaminado ($>1.0\mu\text{gg}^{-1}$ de ΣHAPs); CONT= contaminado ($6.0\text{-}1.0\mu\text{gg}^{-1}$ de ΣHAPs); PC=poco contaminado ($0.2\text{-}0.6\mu\text{gg}^{-1}$ de ΣHAPs); NOC= no contaminado ($0.2\mu\text{gg}^{-1}$ de ΣHAPs); L=limpio ($\text{BaP}<0.1\mu\text{gg}^{-1}$).

Desde hace varias décadas, los hidrocarburos aromáticos policíclicos han sido estudiados para reunir información científica sobre sus características bioquímicas y su relación con la generación de cáncer (IARC, 2002); en la tabla 5 se presentan los datos de los siete HAPs considerados hoy en día como cancerígenos, notándose que la estación 1 de la laguna Carmen fue la que registró mayor contenido de estos compuestos peligrosos, seguida por la estación 5 de la laguna Machona con 0.28 y $0.25\mu\text{gg}^{-1}$. En términos generales, Carmen tuvo mayor contenido de estos hidrocarburos cancerígenos respecto a Machona, ya que en esta última solamente se detectaron en el 50% de las estaciones sedimentarias evaluadas. Los compuestos con propiedades carcinogénicas que tuvieron las concentraciones más altas fueron: indeno(123-cd)pireno ($0.17\mu\text{gg}^{-1}$) en la estación 1 de Carmen, dibenzo(a, h)antraceno con $0.14\mu\text{gg}^{-1}$ en las estaciones 3 y 7 de esta misma laguna así como en la estación 5 de Machona; cabe señalar que el benzo(a)pireno no fue detectado en ninguna de las áreas estudiadas ($<0.01\mu\text{gg}^{-1}$).

Tabla 5. Cancerígenos en los Sedimentos Superficiales del Sistema Lagunar Carmen- Machona, Tab. Mayo, 2009. Valores en μgg^{-1} .

SISTMA COSTERO / ESTACIONES	B(a)ANTR	CRIS	B(b)FLUORANT	B(k)FLUORANT	B(a)PIR	I(123-cd)PIR	D(ah)ANTR	Σ HAPs
LAGUNA CARMEN								
1	0.04	0.07	N: D	N: D	N: D	0.17	N: D	0.28
3	N: D	N: D	N: D	N: D	N: D	N: D	0.14	0.14
7	N: D	N: D	N: D	N: D	N: D	N: D	0.14	0.14
9	N: D	N: D	N: D	N: D	N: D	0.12	N: D	0.12
LAGUNA MACHONA								
2	N: D	N: D	N: D	N: D	N: D	0.08	N: D	0.08
5	0.03	0.09	N: D	N: D	N: D	N: D	0.13	0.25
7	N: D	N: D	N: D	N: D	N: D	N: D	N: D	N: D
9	N: D	N: D	N: D	N: D	N: D	N: D	N: D	N: D

N.D=<0.01 μgg^{-1} ; B(a)ANTR=benzo(a)antraceno; CRIS=criseno; B(b)FLUORANT=benzo(b)fluoranteno; B(k)FLUORANT=benzo(k)fluoranteno; B(a)PIR=benzo(a)pireno; I(123-cd)PIR=indeno(123cd)pireno; D(ah)ANTR=dibenzo(a,h)antraceno, Σ HAPs= sumatoria de los 5 HAPs cancerígenos.

***Crassostrea virginica* (Gmelin, 1971).**

Se analizaron organismos de la especie *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1971) procedentes de los bancos ostrícolas localizados en las estaciones de La Isla (A y B) y estación 2 de la laguna Carmen y en las estaciones 1, 1A y 2 de la laguna Machona (Fig. 12). En la tabla 7 se presentan los resultados obtenidos para HAPs y se observa que en la región de la laguna Carmen, el banco la Isla B (sección apartada de La Isla A), registró el mayor contenido de poliaromáticos, con 2.4 μgg^{-1} , seguido por La Isla A y la estación 2, con 1.96 y 1.39 μgg^{-1} respectivamente. En la laguna Machona, la estación 1A tuvo la Σ HAPs más alta con 3.67 μgg^{-1} , seguida por la estación 1 y 2 con 1.79 y 0.93 μgg^{-1} en ese orden. Los materiales de referencia fueron los mismos utilizados para sedimentos y el porcentaje de recuperación (tabla 6), mostro valores sobrestimados, los cuales deben manejarse sólo como valores de referencia.

Los compuestos que dominaron *Crassostrea virginica* en ambos cuerpos lagunares de este ecosistema fueron, el benzo (b) fluoranteno y el fluoranteno, con concentraciones superiores a lo registrado en los sedimentos evaluados. Es importante mencionar que no se registraron benzo(a)pireno y dibenzo(ah)antraceno, hidrocarburos de alto riesgo ambiental, debido a sus propiedades cancerígenas en animales y humanos (Boffeta *et al.*, 1997); también fueron detectados HAPs ligeros, como acenaftileno y fluoreno evidenciando aportes recientes de hidrocarburos que llegan a los bancos ostrícolas de diversas fuentes y que son almacenados por estas especies, ya sea al filtrar el agua circundante para su proceso respiratorio, así como al adquirir alimento particulado del medio donde habitan (Fig. 13).

Tabla 6. Materiales de referencia IAEA-417 y porcentaje de recuperación.

HAPs	^a LCM-ICMYL, UNAM		IAEA-417		% R
	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	
Naftaleno	0,10	0,09	0,150	0,110	66
Acenaftileno	*	*	0,042	0,035	0
Acenafteno	0,11	0,04	0,180	0,062	61
Fluoreno	0,19	0,07	0,230	0,110	82
Fenantreno	3,75	1,25	3,900	1,500	96
Antraceno	0,93	0,07	0,630	0,240	147
Fluoranteno	8,79	2,33	7,700	3,000	114
Pireno	7,63	1,57	6,000	2,200	127
Benzo(a)antraceno	3,42	0,55	3,200	1,200	106
Criseno	5,07	0,61	3,600	1,700	140
Benzo(b)fluoranteno	4,36	0,58	4,100	2,000	106
Benzo(k)fluoranteno	*	*	2,000	0,300	0
Benzo(a)pireno	3,47	0,52	2,800	1,200	123
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	3,11	0,43	2,700	0,370	115
Dibenzo(a,h)antraceno	*	*	1,100	1,100	0
Benzo(g,h,i)perileno	3,54	0,45	2,300	1,300	153

^a LCM-ICMYL, UNAM Laboratorio de Contaminación Marina, Instituto de Ciencias del Mar y

Limnología, UNAM

* No reportado

% R: Porcentaje de recuperación.



Figura 12. Localización de las estaciones de recolección de ostiones en el sistema lagunar Carmen-Machona, Tabasco, México. (Google Earth, 2011).

Tabla 7. Hidrocarburos aromáticos policíclicos en los ostiones del sistema lagunar Carmen-Machona, Tab. Mayo, 2009.

N° ANILLOS	COMPUESTOS	Laguna Carmen			Laguna Machona		
		BANCO La ISLA A	BANCO La ISLA B	2	1	1A	2
2	NAFTALENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
2	ACENAFTALENO	0.04	N.D	N.D	N.D	N.D	0.02
2	ACENAFTENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
2	FLUORENO	0.04	0.04	N.D	N.D	0.07	N.D
3	FENANTRENO	N.D	0.1	N.D	N.D	0.05	N.D
3	ANTRACENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
3	FLUORANTENO	0.09	0.14	0.24	0.30	0.68	0.26
4	PIRENO	0.06	0.04	0.09	0.08	0.23	0.08
4	BENZO(a)ANTRACENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
4	CRISENO	0.04	N.D	0.07	0.30	0.27	0.06
4	BENZO(b)FLUORANTENO	1.69	2.08	0.89	1.11	2.37	0.51
4	BENZO(k)FLUORANTENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
5	BENZO(a)PIRENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
5	INDENO(123-cd)PIRENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
5	DIBENZO(ah)ANTRACENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
6	BENZO(ghi)PERILENO	N.D	N.D	0.1	N.D	N.D	N.D
CONCENTRACION TOTAL (ΣHAPs)		1.96	2.4	1.39	1.79	3.67	0.93

N.D. <0.01µgg⁻¹ CONCENTRACION PROMEDIO DE HAPs: Carmen 1.92±0.29µgg⁻¹. Machona 2.13±0.81µgg⁻¹

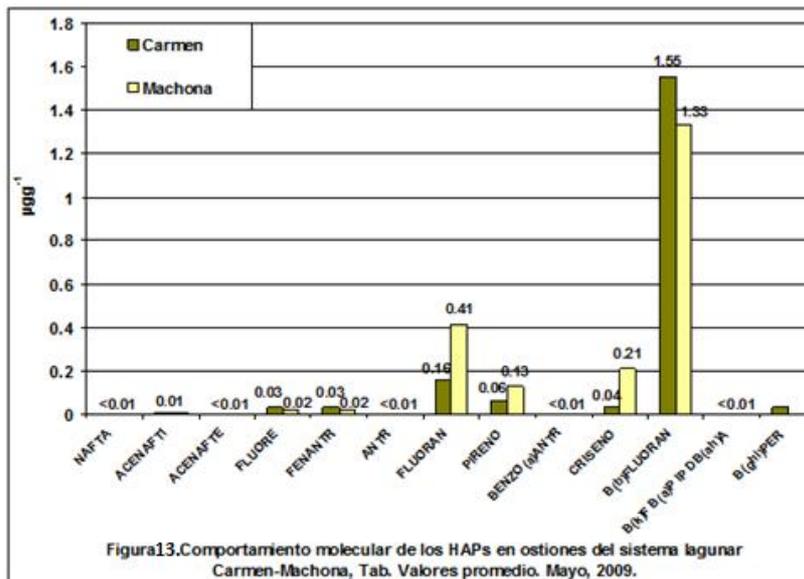
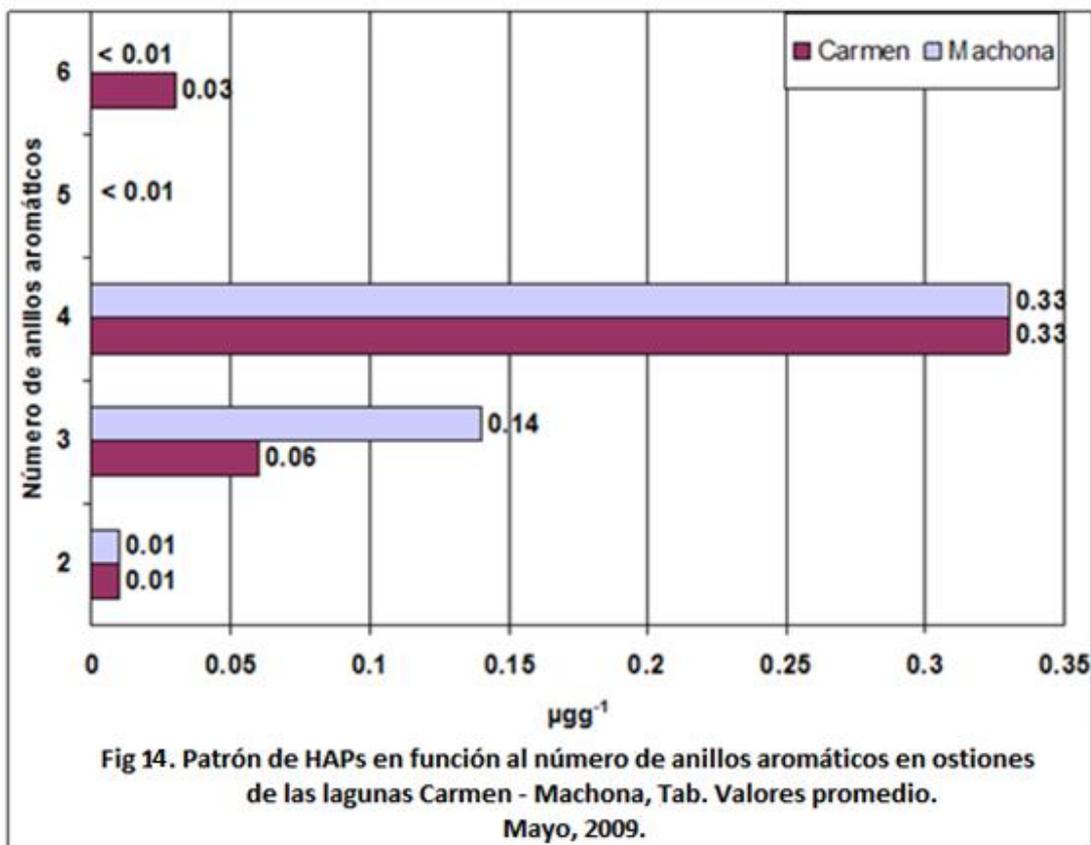


Figura13. Comportamiento molecular de los HAPs en ostiones del sistema lagunar Carmen-Machona, Tab. Valores promedio. Mayo, 2009.

A diferencia de los sedimentos lagunares del ecosistema Carmen-Machona, en organismos de la especie *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791), que se capturan en este lugar y que se destinan al consumo humano, local, regional y nacional, el origen de los HAPs encontrados en sus tejidos es de tipo mixto con una tendencia a la pirólisis y con la presencia de un componente petrogénico, siendo más evidente en la laguna Machona, al presentar un mayor contenido de los hidrocarburos formados por 3 anillos aromáticos, con un promedio de $0.14 \pm 0.08 \mu\text{gg}^{-1}$ contra $0.06 \pm 0.03 \mu\text{gg}^{-1}$ de la laguna Carmen (Fig. 14).



Los HAPs de alto riesgo ambiental por ser considerados cancerígenos, tuvieron una baja detección en los tejidos de los ostiones evaluados; en la tabla 8 se puede observar que solamente el criseno y el benzo(b)fluoranteno fueron los compuestos peligrosos registrados, siendo este último el que presentó la concentración más alta, con $2.37 \mu\text{gg}^{-1}$, en la estación 1A de la laguna Machona seguido muy de cerca por el Banco La Isla B de la laguna Carmen con $2.08 \mu\text{gg}^{-1}$; ambos compuestos son de tipo pirolítico y pueden estar llegando al ecosistema y a los organismos bivalvos en forma particulada vía transporte atmosférico.

Tabla 8. Cancerígenos en los ostiones del sistema lagunar Carmen- Machona, Tab. Mayo, 2009.
Valores en μgg^{-1}

SISTMA COSTERO / ESTACIONES	B(a)ANTR	CRIS	B(b)FLUORANT	B(k)FLUORANT	B(a)PIR	I(123-cd)PIR	D(ah)ANTR	ΣHAPs
LAGUNA CARMEN								
Banco de la Isla A	N: D	0.04	1.69	N: D	N: D	N: D	N: D	1.73
Banco de la Isla B	N: D	N: D	2.08	N: D	N: D	N: D	N: D	2.08
2	N: D	0.07	0.89	N: D	N: D	N: D	N: D	0.96
LAGUNA MACHONA								
1	N: D	0.3	1.11	N: D	N: D	N: D	N: D	1.41
1 ^a	N: D	0.27	2.37	N: D	N: D	N: D	N: D	2.64
2	N: D	0.06	0.51	N: D	N: D	N: D	N: D	0.57

N.D= $<0.01\mu\text{gg}^{-1}$. B(a)ANTR= benzo(a)antraceno; CRIS= criseno; B(b)FLUORANT= benzo(b)fluoranteno; B(k)FLUORANT= B(a)pireno; I(123-cd)pireno; D(ah)ANTR= dibenzo(a,h)antraceno; ΣHAPs =sumatoria de los 5 HAPs cancerígenos.

Laguna Mecoacán

Sedimentos.

En la tabla 9 se presentan los resultados de las concentraciones de HAPs en sedimentos superficiales de la laguna Mecoacán, en 6 estaciones de colecta durante mayo 2009. La ΣHAPs más alta correspondió a la estación 2 con $0.43\mu\text{gg}^{-1}$, la cual está ubicada en la laguna interior de Los Ángeles en el sureste del sistema y que desemboca en el cuerpo principal por la boca del mismo nombre (Fig. 2); en segundo lugar estuvo la estación 8 con μgg^{-1} , el cual se encuentra en el borde occidental del sistema lagunar, con influencia de centros turísticos locales y de población como Puerto Ceiba, Paraíso, entre otros. Se registraron pocos compuestos en los sedimentos analizados, los más pesados estuvieron presentes de forma más evidente en la estación 2 con el benzo(ghi)perileno en primer lugar, seguido del indeno(123-cd)perileno, ambos persistentes y que pueden reflejar contaminación antigua para estos compuestos orgánicos; también el fenantreno fue detectado en las estaciones 2 y 6, el benzo(a)antraceno y el criseno en las estaciones 7 a 9, todos ellos derivados principalmente de fuentes pirolíticas; los ligeros, de 2 anillos aromáticos no fue posible registrarlos, así como algunos de mayor peso molecular (pireno, benzofluoranteno) ($<0.01\mu\text{gg}^{-1}$) (Fig. 15).

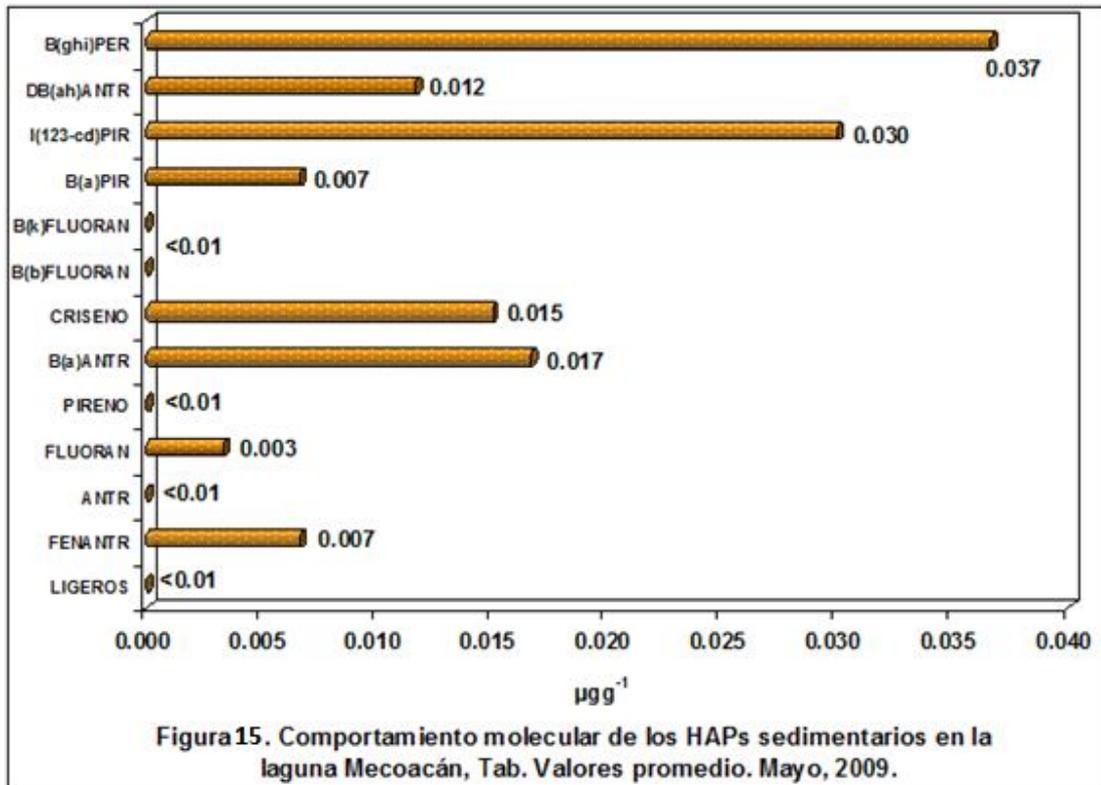
Tabla 9. Hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos superficiales de la laguna Mecoacán, Tab. Mayo, 2009. Valores en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco.

N° ANILOS	COMPUESTOS	2	4	6	7	8	9	ERL	ERM
								(Long <i>et al.</i> , 1995)	
2	NAFTALENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.16	2.1
2	ACENAFTALENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.04	0.64
2	ACENAFTENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.02	0.5
2	FLUORENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.02	0.54
3	FENANTRENO	0.02	N.D	0.02	N.D	N.D	N.D	0.24	1.5
3	ANTRACENO	N.D	N.D		N.D	N.D	N.D	0.09	1.1
3	FLUORANTENO	N.D	N.D	0.02	N.D	N.D	N.D	0.60	5.1
4	PIRENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.03	0.67	2.6
4	BENZO(a)ANTRACENO	N.D	N.D	N.D	N.D	0.07	N.D	0.26	1.6
4	CRISENO	N.D	N.D	N.D	0.03	0.06	0	0.38	2.8
4	BENZO(b)FLUORANTENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D		
4	BENZO(k)FLUORANTENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D		
5	BENZO(a)PIRENO	0.04	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.43	1.6
5	INDENO(123-cd)PIRENO	0.13	N.D	N.D	N.D	0.05	N.D		
5	DIBENZO(ah)ANTRACENO	0.07	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.06	0.26
6	BENZO(ghi)PERILENO	0.17	N.D	0.05	N.D	N.D	N.D		
CONCENTRACION TOTAL (ΣHAPs)		0.43	0	0.09	0.03	0.18	0.03	4.02	44.8

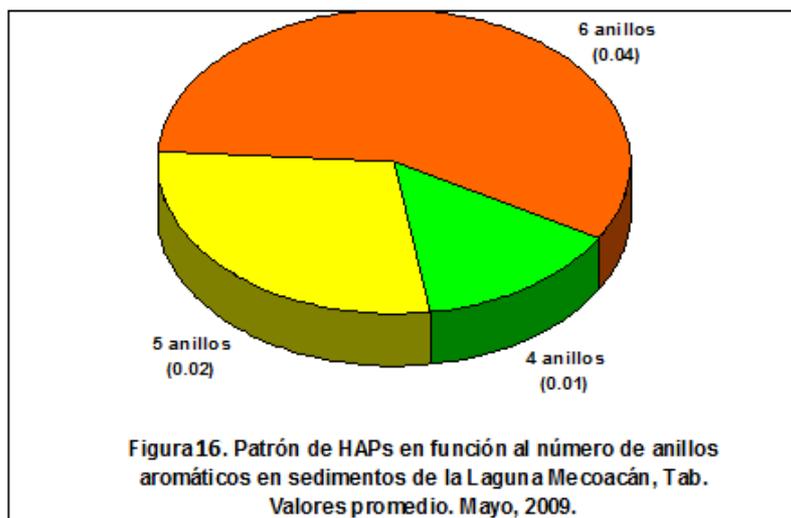
N.D. $<0.01\mu\text{g g}^{-1}$

CONCENTRACION PROMEDIO DE HAPS: $0.13\pm 0.07\mu\text{g g}^{-1}$

EFFECTOS BIOLOGICOS ADVERSOS FRECUENTES: $4.02-44.8\mu\text{g g}^{-1}$ (Long *et al.*, 1995).



El origen pirolítico dominó a los HAPs encontrados en los sedimentos de laguna Mecocán, en orden decreciente estuvieron los de 6 > 5 > 4 anillos aromáticos, provenientes probablemente de partículas atmosféricas, generadas por motores de combustión interna, incendios de zonas agrícolas aledañas y quema de combustibles fósiles (Fig. 16).



Los sedimentos de la laguna Mecoacán evaluados en mayo de 2009, presentaron un comportamiento ambiental respecto a su contenido de HAPs, mejor que el sistema lagunar Carmen-Machona; en la tabla 10 se muestran los índices moleculares para conocer el origen de estos compuestos, así como el grado de contaminación puntual por su presencia y solamente las estaciones 2 y 8, resultaron clasificadas como poco contaminadas por el parámetro Σ HAPs; la estación 4 fue la que tuvo mejor calidad ambiental, respecto a los hidrocarburos aromáticos, todos estuvieron libres de benzo(a)pireno y son de tipo pirolítico.

Los HAPs cancerígenos encontrados en este sistema costero, tuvieron la concentración mayor en la estación 2 ($0.28 \mu\text{g g}^{-1}$) con el indeno(123-cd)pireno, ocupando el primer lugar ($0.13 \mu\text{g g}^{-1}$); en segundo lugar estuvo la estación 8 ($0.18 \mu\text{g g}^{-1}$) en el borde occidental de la laguna con influencia antropogénica evidente y tuvo al benzo(a)antraceno como el hidrocarburo de mayor nivel ($0.07 \mu\text{g g}^{-1}$), equiparable al dibenzo(ah)antraceno registrado para la estación 2, donde fue posible registrar al benzo(a)pireno con una concentración baja ($0.04 \mu\text{g g}^{-1}$) (Tabla 11). Cabe mencionar que los poliaromáticos sedimentarios registrados, estuvieron por debajo de los criterios de calidad sedimentaria establecidos, para evaluar la toxicidad intrínseca de los sedimentos hacia la comunidad bentónica.

Tabla 10. Índices moleculares de origen y grado de contaminación para HAPs en sedimentos superficiales de la laguna Mecoacán, Tab. Mayo, 2009.

Índices Moleculares y Grados de Contaminación	2	4	6	7	8	9
^a Antr / (Antr+Fenant)	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.
^a Fluorant / (Fluorant+Pir)	N.C.	N.C.	1.00	N.C.	N.C.	N.C.
^b Fenant/Antr	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.
^b Fluorant/ Pir	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.
^b Cris/B(a)antr	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	0.86	N.C.
^c R<3/>4	0.05	N.C.	0.8	N.C.	N.C.	N.C.
^d Σ HAPs	0.43	N.C.	0.09	0.03	0.18	0.03
^e B(a)PIR	0.04	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
^{abc} FUENTE DOMINANTE	PIR	N.C.	PIR	PIR	PIR	PIR
^d Grado de Contaminación por Σ HAPs	PC	NOC	NOC	NOC	PC	NOC
^e Grado de Contaminación por B(a)PIR	L	L	L	L	L	L

N.C.= No calculado (sin datos); N.D.= No detectado ($<0.01 \mu\text{g g}^{-1}$); ^a=Yunker *et al.* (2002); ^b=Budzinsky *et al.* (1997), Socloet *et al.* (2000); ^c= Cai *et al.* (2007).

Ping *et al.* (2007);^d = Maliszewska-Kordybach (1996) valores en $\mu\text{g g}^{-1}$; B(a)PIR benzo(a)pireno, Canada (CCME, 1991); M= origen mixto (pirolítico y petrogénico); PIR=pirogénico; PET= petrogénico; MTPIR= mixto con tendencia pirolítica; MTPET= mixto con tendencia petrogénica; A= altamente contaminado ($>1.0\mu\text{g g}^{-1}$ de ΣHAPs); CONT= contaminado ($6.0-1.0\mu\text{g g}^{-1}$ de ΣHAPs); PC=poco contaminado ($0.2-0.6\mu\text{g g}^{-1}$ de ΣHAPs); NOC= no contaminado ($0.2\mu\text{g g}^{-1}$ de ΣHAPs); L=limpio(BaP $<0.1\mu\text{g g}^{-1}$).

Tabla 11. HAPs cancerígenos en los sedimentos superficiales de la laguna Mecoacán, Tab. Mayo, 2009. Valores en $\mu\text{g g}^{-1}$

ESTACIONES	B(a)ANTR	CRIS	B(b)FLUORANT	B(k)FLUORANT	B(a)PIR	I(123-cd)PIR	D(ah)ANTR	ΣHAPs
2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.04	0.13	0.07	0.24
4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0
6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0
7	N.D.	0.03	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.03
8	0.07	0.06	N.D.	N.D.	N.D.	0.05	N.D.	0.18
9	0.03	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.03

N.D.= $<0.01\mu\text{g g}^{-1}$. B(a)ANTR= benzo(a)antraceno; CRIS= criseno; B(b)FLUORANT= benzo(b)fluoranteno; B(k)FLUORANT= B(a)pireno; I(123-cd)pireno; D(ah)ANTR= dibenzo(a,h)antraceno; ΣHAPs = sumatoria de los 5 HAPs cancerígenos.

Crassostrea virginica (Gmelin, 1971)

Se analizaron dos muestras de ostiones, cada una con 25 ejemplares, provenientes de los bancos ostrícolas Puente de Ostión (A) y Boca de Los Ángeles (B), (Fig. 17). En la tabla 12 se presentan los resultados del contenido de HAPs en tejidos de esta especie comestible y puede observarse que la muestra B tuvo mayor nivel de ΣHAPs con $2.66\mu\text{g g}^{-1}$, ya que la muestra A registró $1.35\mu\text{g g}^{-1}$; de igual forma, la muestra B de este banco ostrícola presentó mayor diversidad de poliaromáticos, siendo el benzo(b)fluoranteno, el que tuvo el nivel más alto con $2.03\mu\text{g g}^{-1}$, al igual que en la muestra A con una concentración de $1.2\mu\text{g g}^{-1}$.



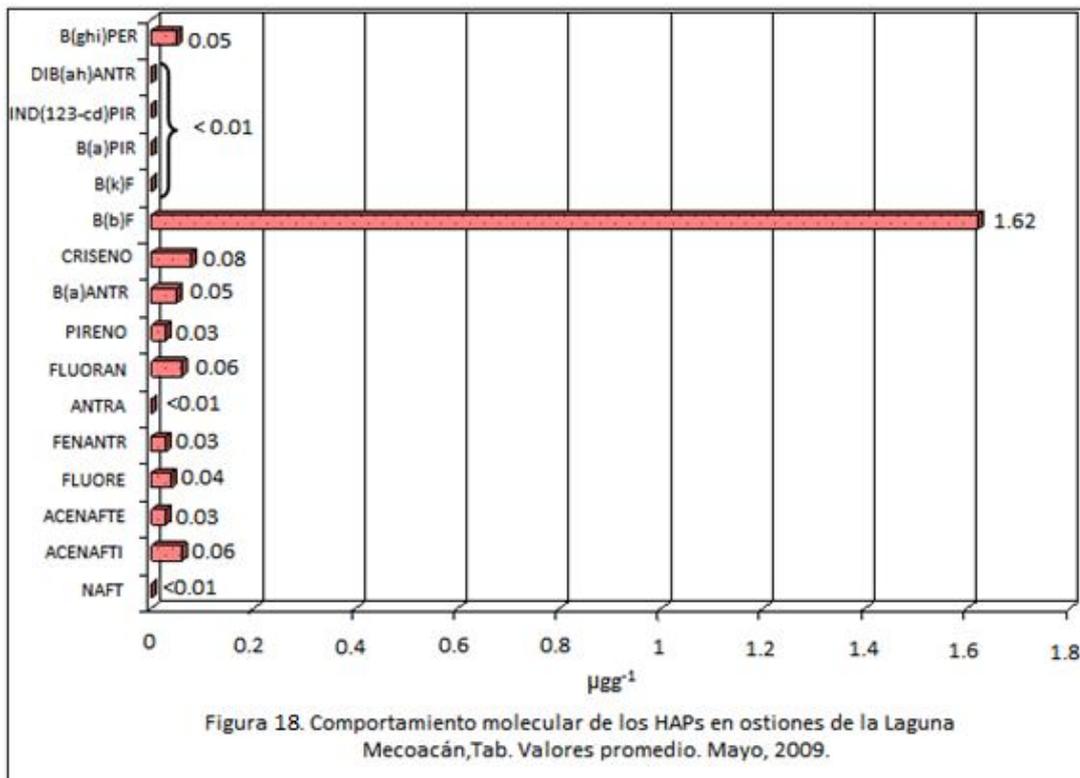
Figura 17. Localización de las estaciones de recolección de ostiones en Mecoacán, Tabasco, México. (Google Earth, 2011).

Tabla 12. Hidrocarburos aromáticos policíclicos en moluscos bivalvos de la laguna Mecocacán, Tab. Mayo, 2009. Valores en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco.

N° ANILLOS	COMPUESTOS	Puente de Ostión y Boca de Los Ángeles A	Puente de Ostión y Boca de Los Ángeles B
2	NAFTALENO	N.D.	N.D.
2	ACENAFTALENO	0.03	0.08
2	ACENAFTENO	N.D.	0.05
2	FLUORENO	N.D.	0.07
3	FENANTRENO	N.D.	0.05
3	ANTRACENO	N.D.	N.D.
3	FLUORANTENO	0.03	0.08
4	PIRENO	N.D.	0.05
4	BENZO(a)ANTRACENO	N.D.	0.09
4	CRISENO	0.09	0.07
4	BENZO(b)FLUORANTENO	1.20	2.03
4	BENZO(k)FLUORANTENO	N.D.	N.D.
5	BENZO(a)PIRENO	N.D.	N.D.
5	INDENO(123-cd)PIRENO	N.D.	N.D.
5	DIBENZO(ah)ANTRACENO	N.D.	N.D.
6	BENZO(ghi)PERILENO	N.D.	0.09
CONCENTRACION TOTAL (ΣHAPs)		1.35	2.66

N.D. < 0.01 $\mu\text{g g}^{-1}$ CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE HAPs: 2.01 \pm 0.66 $\mu\text{g g}^{-1}$

Existió una mayor diversidad de HAPs ligeros, se registraron acenaftileno, acenafteno y fluoreno todos ellos de tipo petrogénico, los pesados y más persistentes de 4 a 6 anillos aromáticos tuvieron menor diversidad y no pudieron detectarse al benzo(a)pireno, dibenzo(ah)antraceno e indeno(123-cd)pireno (<0.01 $\mu\text{g g}^{-1}$) (Fig. 18).



El comportamiento de los hidrocarburos aromáticos policíclicos, considerando el número de anillos aromáticos que constituyen sus moléculas, pone de manifiesto el origen mixto de éstos contaminantes orgánicos persistentes bioacumulados en los ostiones de la laguna Mecoacán; el grupo de los HAPs de 4 anillos fue el dominante con un promedio de $0.35 \pm 0.22 \mu\text{g g}^{-1}$, un orden de magnitud mayor que los petrogénicos de 2 anillos ($0.03 \pm 0.01 \mu\text{g g}^{-1}$); es importante señalar que las concentraciones por anillos estructurales fueron mayores en los organismos bivalvos que en los sedimentos estuarinos evaluados (Fig. 19), ya que el factor de concentración registrado fue de 15.46, lo que demostró la bioconcentración de los HAPs.

Respecto a los HAPs cancerígenos en estos organismos, solamente se registraron 3 de los 7 reportados con estas propiedades, siendo el benzo(b) fluoranteno el de mayor concentración y la muestra B del banco ostrícola evaluado ocupó el primer lugar de la Σ HAPs cancerígena, con $2.19 \mu\text{g g}^{-1}$; también fueron encontrados benzo(a)antraceno y criseno en niveles entre 0.07 y $0.09 \mu\text{g g}^{-1}$ (Tabla 13).

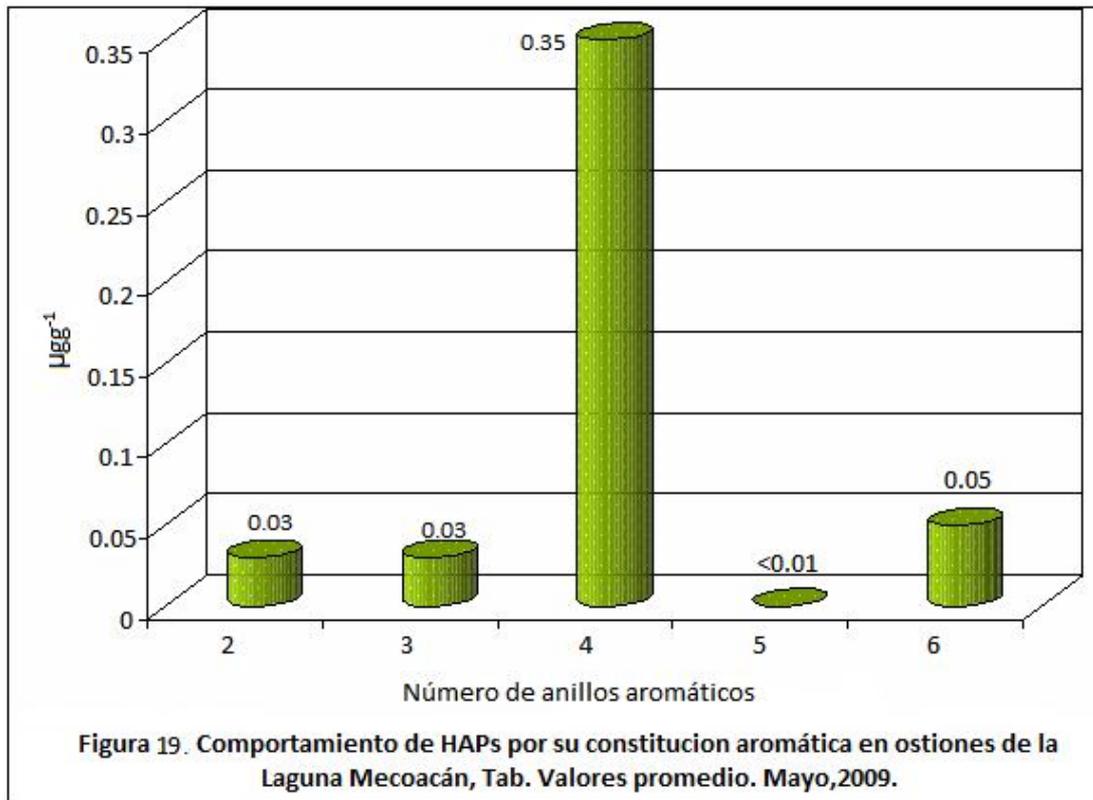


Tabla 13. HAPs cancerígenos en los ostiones de la laguna Mecoacán, Tab. Mayo, 2009. Valores en µg g⁻¹.

ESTACIONES	B(a)ANTR	CRIS	B(b)FLUORANT	B(k)FLUORANT	B(a)PIR	I(123-cd)PIR	D(ah)ANTR	ΣHAPs
Puente de Ostión y Boca de los Ángeles A	N.D.	0.09	1.2	N: D	N: D	0.12	N: D	0.29
Puente de Ostión y Boca de los Ángeles B	0.09	0.07	2.03	N: D	N: D	0.08	N: D	2.19

N.D= <0.01 µg g⁻¹. B(a)ANTR=benzo(a)antraceno; CRIS=criseno; B(b)FLUORANT=benzo(b)fluoranteno; B(k)FLUORANT=B(a)pireno; I(123-cd)pireno; D(ah)ANTR=dibenzo(a,h)antraceno; ΣHAPs=sumatoria de los 5 HAPs cancerígenos.

Sistema lagunar Julivá-Santa Anita

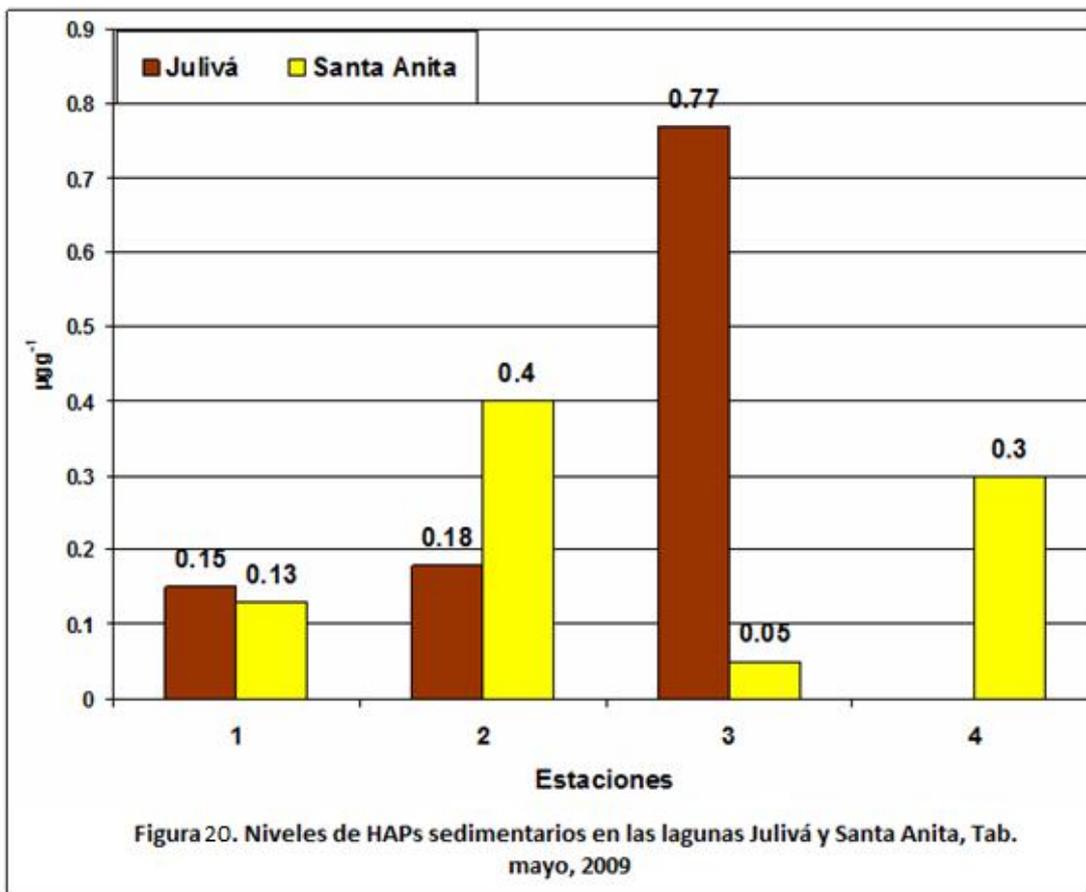
Sedimentos.

Este sistema lagunar localizado hacia el noreste del estado de Tabasco en dirección de la región de Frontera, Tab., fue evaluado para conocer su contenido de HAPs sedimentario y se dividió en la laguna Julivá con 3 estaciones y la laguna Santa Anita con 4 estaciones de recolección (Fig. 6). En la tabla 14 se presentan los resultados obtenidos para este sistema y la laguna Julivá, tuvo un promedio mayor respecto a Santa Anita (0.37 ± 0.2 vs $0.22 \pm 0.08 \mu\text{gg}^{-1}$); dentro del primer sistema lagunar mencionado, la estación 3 fue la que registró mayor nivel con $0.77 \mu\text{gg}^{-1}$ y se localiza al este del área de estudio, mientras que las estaciones 1 y 2 tuvieron concentraciones de HAPs similares y están ubicadas en el borde occidental del sistema; para la laguna Santa Anita, la estación 2 tuvo la concentración mayor, con $0.4 \mu\text{gg}^{-1}$ y se sitúa en el sur del cuerpo lagunar, le siguió muy de cerca el sitio 4 ($0.3 \mu\text{gg}^{-1}$), que se encuentra en el noreste del sistema y el menor nivel de HAPs fue para la estación 3 ($0.05 \mu\text{gg}^{-1}$) establecida en el borde oriental del área de estudio (Fig. 20).

Tabla 14. Hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos superficiales del sistema lagunar Julivá- Santa Anita, Tab. Mayo, 2009. Valores en μgg^{-1} peso seco.

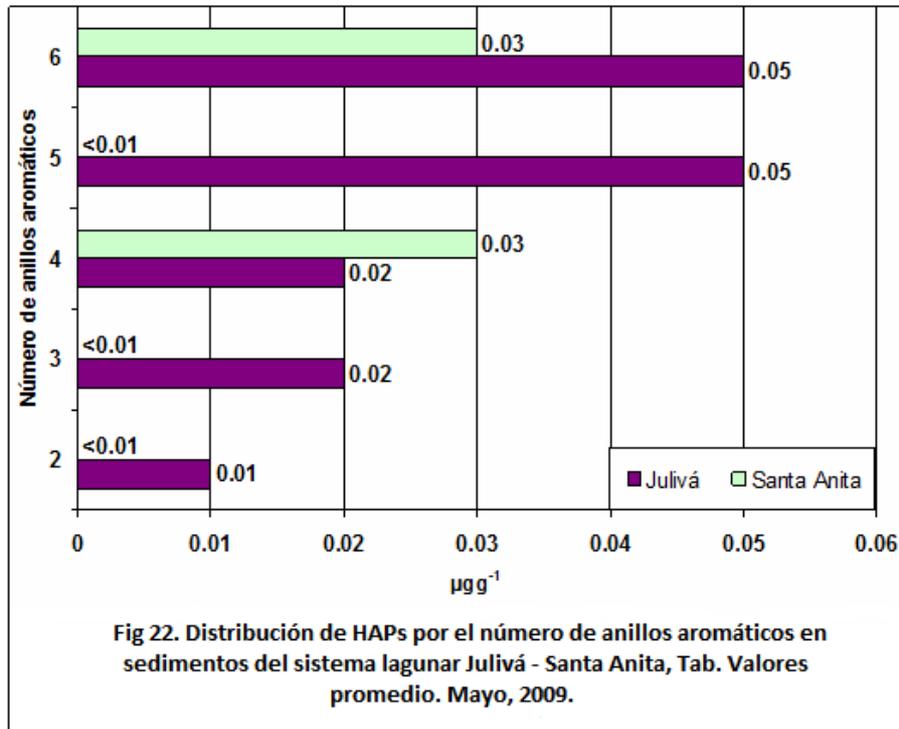
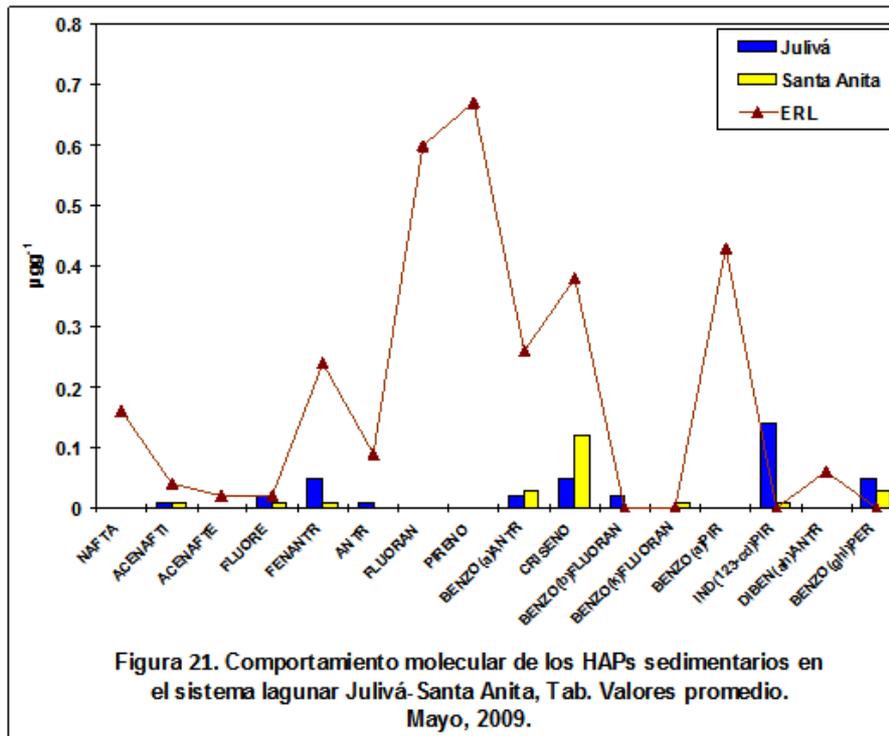
N° ANILLOS	COMPUESTOS	Laguna Julivá			Laguna Santa Anita				ERL	ERM
		1	2	3	1	2	3	4		
		(Long <i>et al.</i> 1995)								
2	NAFTALENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.16	2.1
2	ACENAFTALENO	0.01	N.D	0.02	N.D	N.D	N.D	0.03	0.04	0.64
2	ACENAFTENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.02	0.5
2	FLUORENO	N.D	0.02	0.04	N.D	N.D	N.D	0.03	0.02	0.54
3	FENANTRENO	0.03	0.03	0.08	N.D	N.D	N.D	0.04	0.24	1.5
3	ANTRACENO	N.D	0.02	0.02	N.D	N.D	N.D	N.D	0.09	1.1
3	FLUORANTENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.01	0.60	5.1
4	PIRENO	N.D	N.D	0.01	N.D	N.D	N.D	N.D	0.67	2.6
4	BENZO(a)ANTRACENO	0.02	N.D	0.03	0.11	N.D	N.D	0.02	0.26	1.6
4	CRISENO	0.04	0.05	0.06	N.D	0.35	0.05	0.06	0.38	2.8
4	BENZO(b)FLUORANTENO	N.D	N.D	0.05	N.D	N.D	N.D	N.D		
4	BENZO(k)FLUORANTENO	N.D	N.D	N.D	0.02	N.D	N.D	N.D		
5	BENZO(a)PIRENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.43	1.6
5	INDENO(123-cd)PIRENO	0.05	0.06	0.31	N.D	N.D	N.D	0.05		
5	DIBENZO(ah)ANTRACENO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D		0.06	0.26
6	BENZO(ghi)PERILENO	N.D	N.D	0.15	N.D	0.05	N.D	0.06		
CONCENTRACION TOTAL (ΣHAPs)		0.15	0.18	0.77	0.13	0.40	0.05	0.30	4.02	44.8

N.D. $<0.01 \mu\text{gg}^{-1}$. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE HAPs: Julivá $0.37 \pm 0.2 \mu\text{gg}^{-1}$. Santa Anita $0.22 \pm 0.08 \mu\text{gg}^{-1}$. EFECTOS BIOLÓGICOS ADVERSOS FRECUENTES: 4.02-44.8 μgg^{-1} (Long *et al.*, 1995).



De los compuestos individuales de este grupo de contaminantes orgánicos, el indeno(123-cd)pireno de los sedimentos de Julivá ocupó el primer lugar con $0.14 \mu\text{gg}^{-1}$ y para Santa Anita lo fue el criseno con $0.12 \mu\text{gg}^{-1}$; el fluoreno tuvo un nivel equiparable al criterio de calidad sedimentaria (ERL), por lo que es importante considerar el aspecto de toxicidad y el efecto que esta tiene sobre el bentos; no fueron detectados ($<0.01 \mu\text{gg}^{-1}$) hidrocarburos ligeros como el naftaleno y el acenafteno, así como uno de los de mayor riesgo ambiental, el dibenzo(ah)antraceno (Fig. 21).

Al haber registrado HAPs de diversos grupos de anillos bencénicos, se indica un origen mixto de estos compuestos, tal es el caso de la laguna Julivá, que a pesar de estar mezclada en sus fuentes de procedencia, hay una clara tendencia hacia los pirolíticos (5 y 6 anillos), mientras que para Santa Anita solamente pudo detectarse a estos últimos sin tener el componente petrogénico presente, por lo que la quema de combustibles fósiles, madera y algún otro tipo de materia orgánica, son las más importantes en el área de estudio evaluada (Fig. 22).



Los índices moleculares calculados a partir de los datos originales de HAPs, muestran que las estaciones 1 y 3 de Julivá presentaron un origen mixto de estos hidrocarburos con tendencia hacia los petrogénicos, al igual que la estación 4 de Santa Anita; además, por la magnitud de la Σ HAPs las estaciones 2 y 3 de Julivá son catalogadas como contaminadas y las estaciones 1 y 3 de Santa Anita como no contaminados por estos compuestos persistentes; en todos los casos, no hubo registro de benzo(a)pireno y en función de este parámetro de riesgo ambiental se clasifican como sedimentos limpios (CCME, 1991).

Tabla 15. Índices moleculares de origen y grado de contaminación para HAPs en sedimentos superficiales del sistema lagunar Julivá-Santa Anita, Tab. Mayo, 2009.

Índices Moleculares y Grados de Contaminación	Laguna Julivá			Laguna Santa Anita			
	1	2	3	1	2	3	4
^{a,d} Antr / (Antr+Fenant)	N.C.	0.40	0.2	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.
^a Fluorant / (Fluorant+Pir)	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	1
^b Fenant/Antr	N.C.	1.5	4	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.
^b Fluorant/ Pir	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.
^b Cris/B(a)antr	2.00	N.C.	2	N.C.	N.C.	N.C.	3
^c R _{<3/>4}	0.36	0.64	0.26	N.C.	N.C.	N.C.	0.58
^d Σ HAPs	0.15	0.18	0.77	0.13	0.4	0.05	0.3
^e B(a)PIR	N.C.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
^{abc} FUENTE DOMINANTE	MTPET	PIR	MTPET	N.C.	N.C.	N.C.	MTPET
^d Grado de Contaminación por Σ HAPs	PC	CONT	CONT	NOC	PC	NOC	PC
^e Grado de Contaminación por B(a)PIR	L	L	L	L	L	L	L

N.C.= No calculado (sin datos); N.D.= No detectado ($<0.01\mu\text{gg}^{-1}$); a=Yunker *et al.* (2002); ^b=Budzinsky *et al.* (1997), Soclo *et al.* (2000); ^c= Cai *et al.* (2007), Ping *et al.* (2007); ^d = Maliszewska-Kordybach (1996) valores en μgg^{-1} ; ^e B(a)PIR benzo(a)pireno, Canada (CCME, 1991); M= origen mixto (pirolítico y petrogénico); PIR= pirogénico; PET= petrogénico; MTPET=mixto con tendencia pirolítica; MTPET=mixto con tendencia petrogénica; A=altamente contaminado ($>1.0\mu\text{gg}^{-1}$ de Σ HAPs); CONT=contaminado ($6.0-1.0\mu\text{gg}^{-1}$ de Σ HAPs); PC=poco contaminado ($0.2-0.6\mu\text{gg}^{-1}$ de Σ HAPs); NOC= no contaminado ($0.2\mu\text{gg}^{-1}$ de Σ HAPs); L=limpio ($\text{BaP}<0.1\mu\text{gg}^{-1}$).

Del grupo de los HAPs considerados como cancerígenos, en la tabla 16 se agrupan los datos correspondientes y se puede observar que la estación 3 de la laguna Julivá tuvo el mayor nivel de ellos con $0.45\mu\text{gg}^{-1}$, siendo el indeno (123-cd) pireno el mayoritario; las estaciones 1 y 2 de este mismo sistema lagunar registraron una Σ HAPs cancerígenos similar con $0.11\mu\text{gg}^{-1}$, por lo que el área sureste puede ser la de mayor riesgo ambiental por la presencia de este tipo de compuestos. Para la laguna Santa Anita la estación 2 ocupó el primer lugar con $0.35\mu\text{gg}^{-1}$, se ubica en el sur

del sistema, con un único hidrocarburo cancerígeno, el criseno, mientras que las estaciones 1 y 4 tuvieron la misma cantidad total de estas sustancias, con $0.13 \mu\text{gg}^{-1}$, ambas localizadas en el norte del ecosistema y la estación 3 (zona oriente), fue la que presentó el contenido más bajo de este grupo de HAPs con $0.05 \mu\text{gg}^{-1}$. El criseno fue el hidrocarburo más frecuente en los sedimentos del sistema lagunar en su conjunto, los benzofluorantenos se presentaron en una estación y no se registraron ($<0.01 \mu\text{gg}^{-1}$) benzo(a)pireno y dibenzo (ah) antraceno.

Tabla 16. HAPs cancerígenos en los sedimentos superficiales del sistema lagunar Julivá-Santa Anita, Tab. Mayo, 2009. Valores en μgg^{-1} .

SISTMA COSTERO / ESTACIONES	B(a)ANTR	CRIS	B(b)FLUORANT	B(k)FLUORANT	B(a)PIR	I(123-cd)PIR	D(ah)ANTR	Σ HAPs
LAGUNA JULIVÁ								
1	0.02	0.04	N.D.	N.D.	N.D.	0.05	N.D.	0.11
2	N: D	0.05	N.D.	N.D.	N.D.	0.06	N.D.	0.11
3	0.03	0.06	0.05	N.D.	N.D.	0.31	N.D.	0.45
LAGUNA SANTA ANITA								
1	0.11	N.D.	N.D.	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	0.13
2	N: D	0.35	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.35
3	N: D	0.05	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.05
4	0.02	0.06	N.D.	N.D.	N.D.	0.05	N.D.	0.13

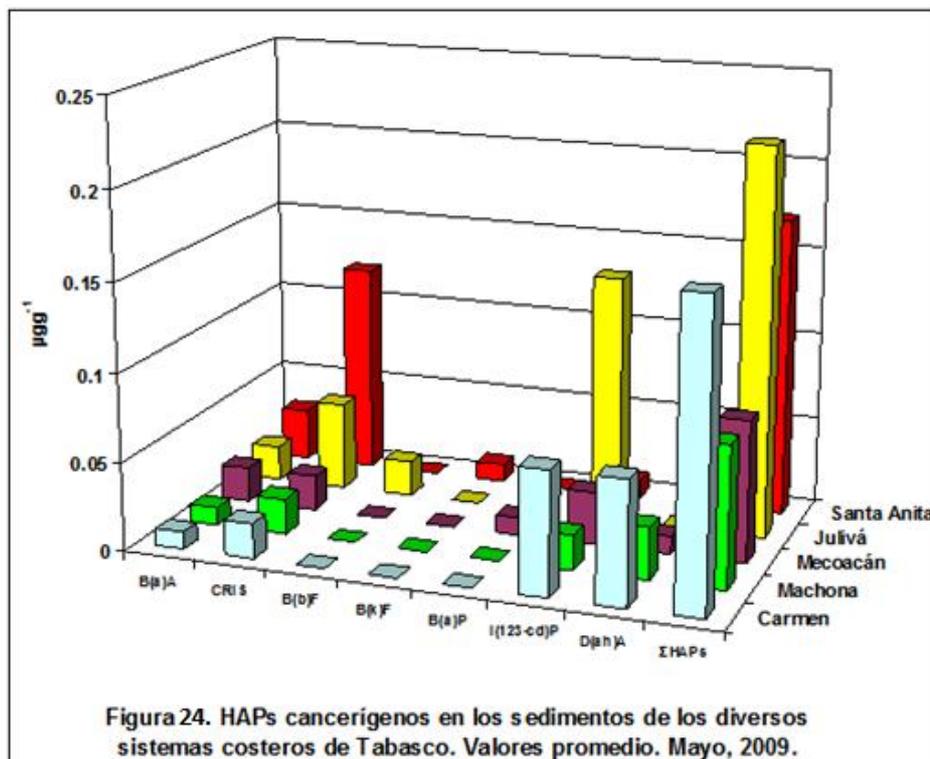
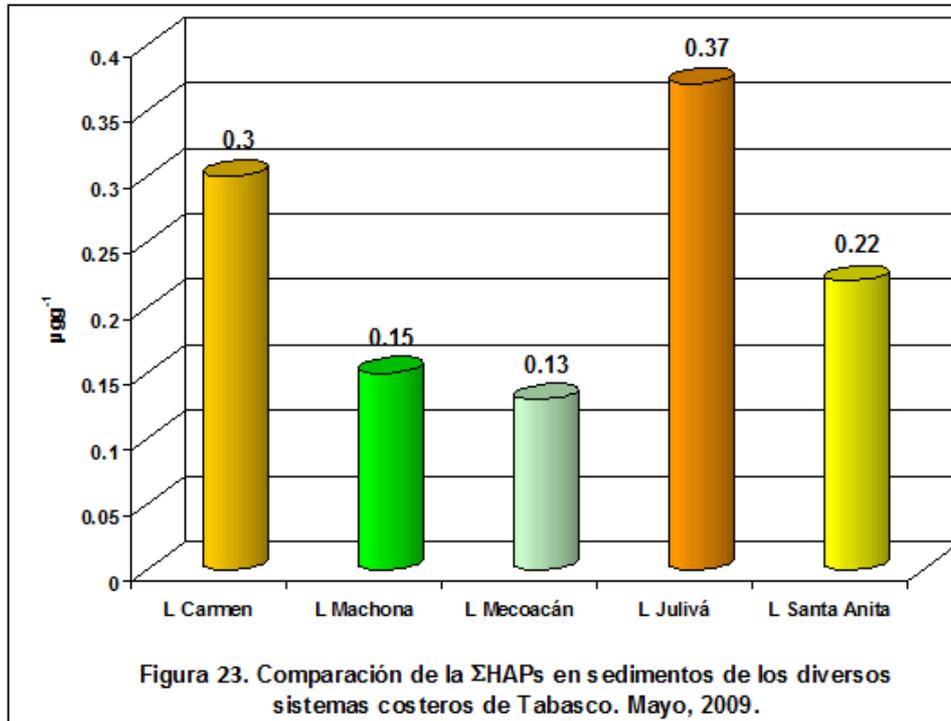
N.D= $<0.01 \mu\text{gg}^{-1}$. B(a)ANTR= benzo(a)antraceno; CRIS= criseno; B(b)FLUORANT= benzo(b)fluoranteno; B(k)FLUORANT= B(k)pireno; I(123-cd)pireno; D(ah)ANTR= dibenzo(a,h)antraceno; Σ HAPs= sumatoria de los 5 HAPs cancerígenos.

Comportamiento General de los Sistemas Costeros Evaluados.

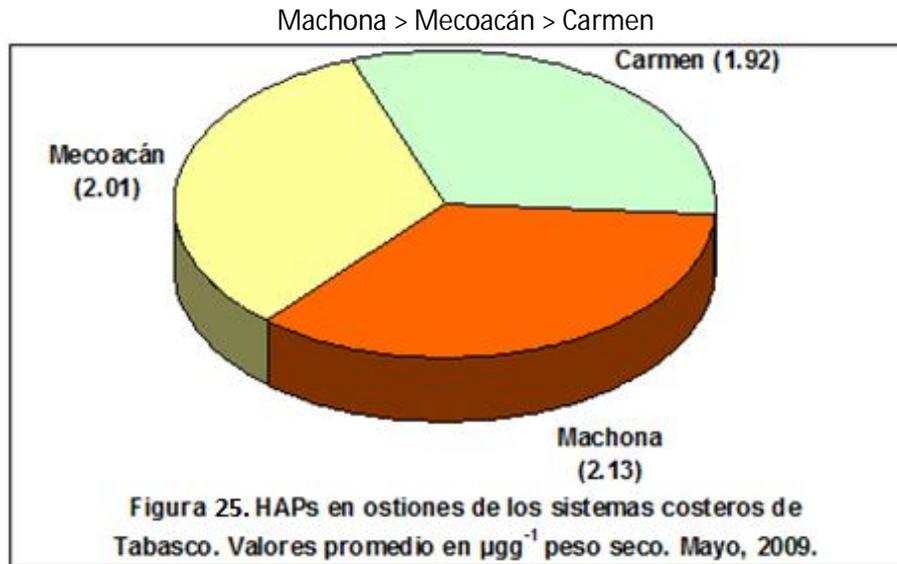
En la figura 23 se presenta el comportamiento general de los niveles de HAPs en los sedimentos superficiales de las cinco lagunas costeras, que conforman tres sistemas lagunares en el estado de Tabasco. Puede observarse que el contenido de Σ HAPs en la laguna Julivá es parecido al registrado en la laguna Carmen, ocupando los primeros lugares, seguidos por lo detectado en la laguna Santa Anita para quedar con los niveles más bajos las lagunas Machona y Mecoacán.

El contenido de HAPs cancerígenos sedimentarios fue mayor en la laguna Julivá ($0.22 \mu\text{gg}^{-1}$), seguido por las lagunas Santa Anita y Carmen ($0.17 \mu\text{gg}^{-1}$), con los niveles más pequeños Mecoacán y Machona ($0.08 \mu\text{gg}^{-1}$); de este grupo de HAPs de alto riesgo ambiental, el indeno(123-cd)pireno y el criseno fueron los de mayor concentración en Julivá y Santa Anita respectivamente, mientras que el dibenzo(ah)antraceno lo fue para la laguna Carmen (Fig. 24).

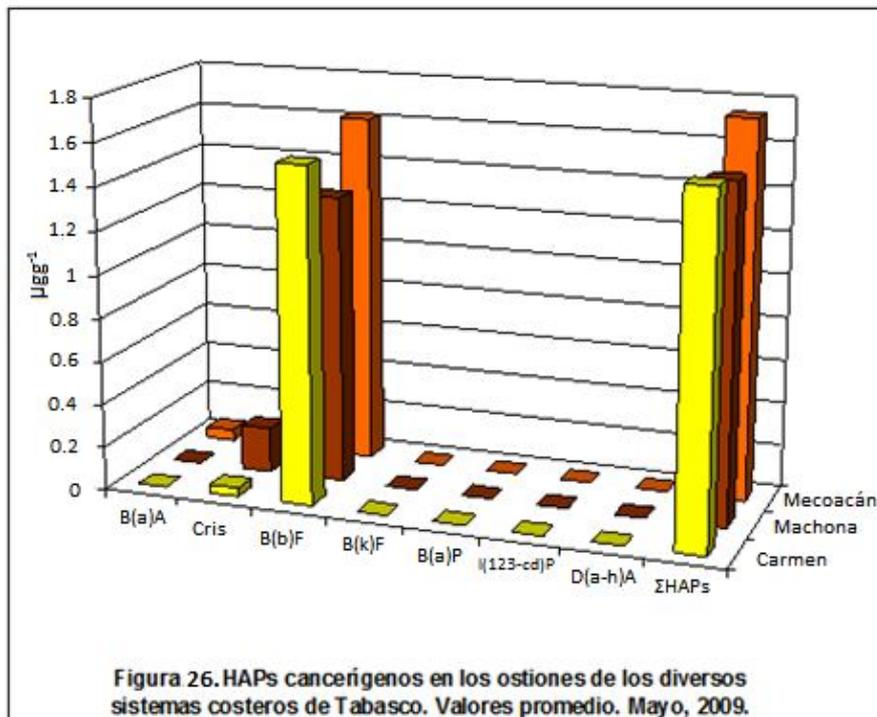
El origen de los HAPs sedimentarios varió en los diversos sistemas costeros evaluados, fue pirolítico en Carmen y Mecoacán, mixto en Machona y mixto con tendencia a los petrogénicos en Julivá-Santa Anita. El grado de contaminación varió de poco contaminado en Julivá-Santa Anita y Carmen a no contaminado en Machona y Mecoacán.



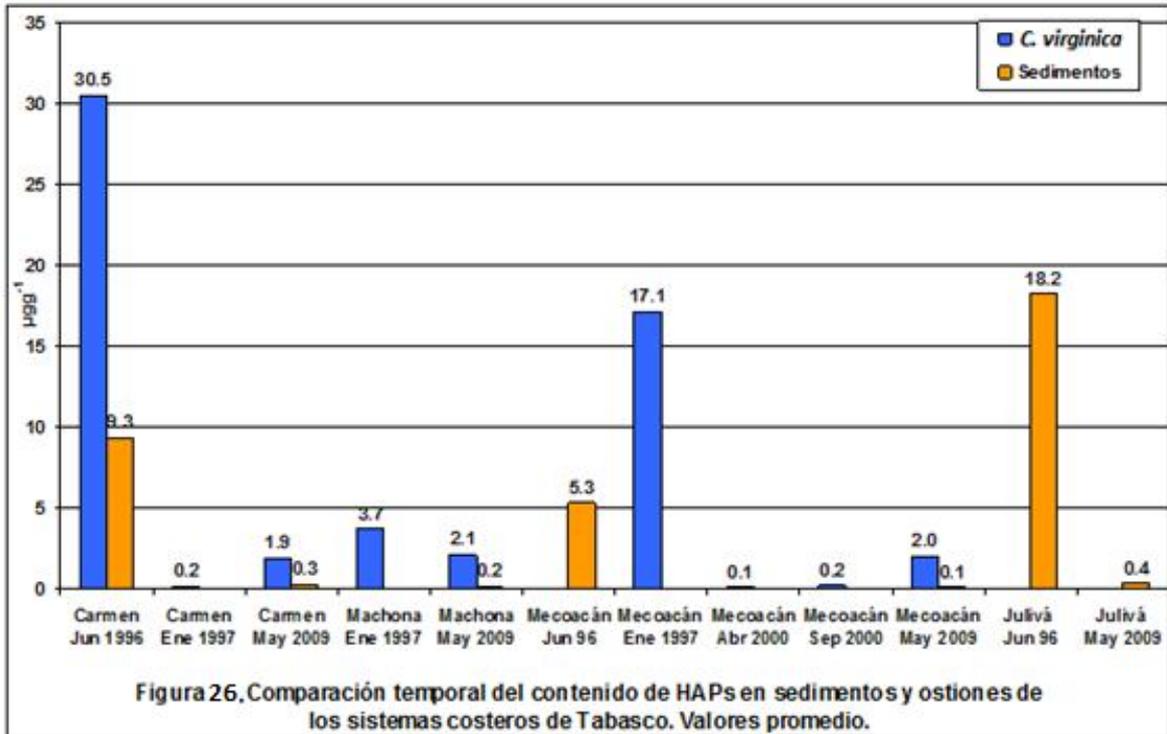
Cabe destacar que la magnitud de las concentraciones fue similar entre *Crassostrea virginica* de estos tres sistemas evaluados (Fig. 25).



Los niveles de HAPs cancerígenos en los organismos analizados, tuvieron un ligero aumento en los provenientes de Mecoacán y el benzo(b)fluoranteno fue dominante en todas las lagunas (Fig. 26).



En términos generales, los HAPs registrados en 2009, tuvieron menores concentraciones en sedimentos y ostiones, comparados con los datos reportados desde 1996 (Botello, 1999); la excepción es Mecoacán, ya que en el ciclo de estudio en el año 2000, las concentraciones en los organismos fueron mínimas, mientras que para los organismos de la especie *Crassostrea virginica* proveniente de la laguna Machona, los organismos analizados en 1997, tuvieron concentraciones de HAPs similares a los reportados en este estudio (Fig. 27).



CONCLUSIONES

Con base en la información ambiental obtenida, la concentración de HAPs sedimentarios fue mayor en la laguna Julivá ($0.37 \pm 0.2 \mu\text{gg}^{-1}$) y parecida a la registrada en los sedimentos superficiales de la laguna Carmen ($0.30 \pm 0.14 \mu\text{gg}^{-1}$), la diferencia en las concentraciones es resultado de la morfología y los tiempos de residencia de las masas de agua, debido a que la laguna Carmen se comunica permanentemente con el mar por el canal Barra de Santa Ana, lo que permite la influencia de la marea y corrientes, provocando la dispersión de los HAPs en la columna de agua e interfiriendo en el proceso de sedimentación.

Comparando los datos obtenidos en 1996, este trabajo registró menores concentraciones en sedimentos y en ostiones de las lagunas recolectadas, por lo que se asegura que en ese año las lagunas de Tabasco reportaban mortalidades masivas de ostiones y concentraciones mayores de HAPs, que provenían de la sobre explotación de campos petroleros a la redonda.

El origen dominante de los HAPs sedimentarios en Carmen y Mecoacán fue pirolítico, como resultado de una mayor influencia humana. La primera laguna se comunica con Villa Sánchez Magallanes, que es el centro comercial y la segunda población de importancia en el municipio; la segunda, con: Paraíso, Puerto Ceiba, El bellote y puerto Dos Bocas, donde la principal actividad circundante es la producción y extracción de petróleo crudo y gas natural, por tanto, la quema de combustibles fósiles, maderas, pastos para ganado y algún otro tipo de materia prima orgánica son las principales fuentes para ambas lagunas. Existió un componente petrogénico en el sistema lagunar Julivá - Santa Anita, lo que indica derrame directo de petróleo y fugas de ductos. Para la mayoría de las estaciones evaluadas se manifestó una contaminación antigua de poliaromáticos con la presencia de los grupos persistentes y de alta resistencia a la biodegradación, producto de una sobre explotación de petróleo en el estado.

Se presentaron HAPs de tipo cancerígeno en los sedimentos lagunares, principalmente en el sistema Julivá - Santa Anita, con dos representantes: indeno(123-cd)pireno, criseno y dibenzo(ah)antraceno en Carmen, todos de tipo pirolítico que llegan al sistema en forma particulada vía transporte atmosférico.

Los HAPs evaluados en la especie *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1971), tuvieron niveles similares para los diversos bancos ostrícolas estudiados, por lo que el patrón del grupo de los probables cancerígenos fue el mismo, con el benzo(b)fluoranteno como dominante. La máxima concentración fue registrada en la laguna Machona debido a que tiene el mayor número de vías o ductos en cuanto a la industria petrolera en todo el estado de Tabasco.

Las concentraciones de HAPs en *Crassostrea virginica* fueron superiores a las presentes en los sedimentos superficiales de las lagunas evaluadas, se demostró con el factor de bioconcentración (15.46) que el tipo de alimentación y respiración de *C.v* bioacumula los HAPs en sus tejidos.

BIBLIOGRAFÍA

Aizenshtat, Z. 1973. Perylene and its geochemical significance. *Geochim. Cosmochim. Acta* 37 (3): 559 - 567.

Antolí, V. y García-Cubas, A. 1985. Sistemática y Ecología de moluscos en las lagunas costeras Carmen y Machona, Tabasco, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México.* 12 (1): 145 - 198.

Audere, A., Lindberg, Z., Smirnov, G and Shabad, L. 1973. Experimental study of the effect of an airport, located within the city limits, on environmental levels of benzo(a)pyrene contamination. *Gig. Sanit.* (9): 90 - 92.

Azevedo, D., Silveirak, M and Soares, D. 1999. Composition of extractable organic matter in aerosols from urban areas of Rio de Janeiro city, Brazil. *Atmos. Environ.* 33 (30): 4987 - 5001.

Baker, J., Eisenreich, S. and Eadi, B. 1991. Sediment trap fluxes and benthic recycling of organic carbon, polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls across the air-water interface of Lake Superior. *Environ. Sci. Technol.* 25 (3): 500 - 509.

Boffetta, P., Jourenkova, N. and Gustavsson, P., 1997. Cancer risk from occupational and environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Cancer Causes and Control.* 8: 444 - 472.

Boiteau, L., Robin, M. and Gelot, S. 1972. Polycyclic hydrocarbons in various materials containing asbestos. *Arch. Mal. Prof. Med. Trav. Secur. Soc.* (33): 261 - 270.

Blummer, M., Rudrum, M. 1970. High molecular weight fossil phyrins: evidence for monomeric and dimeric tetrapyrroles of about 1, 100 molecular weight. *J. Inst. Petro.* (56): 99 -106.

Blumer, M., Youngblood, W. 1974. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils and recent sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 39 (9): 1303 - 1314.

Botello, A. 1980. Presencia de hidrocarburos fósiles en Ecosistemas Estuarinos del Golfo de México. *Rev. Biol. Trop.* (26) (supl. 1): 135-151.

Botello, A., Vélez, G., González, C. 1993. Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's) en áreas costeras del Golfo de México. Laboratorio de Contaminación Marina, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM, pp. 14.

Botello, A., Villanueva, S and Díaz G. 1997. Petroleum pollution in the Gulf of México and Caribbean Sea. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* (153): 91-118.

- Botello, A. 1999. Diagnóstico de los efectos ambientales de la industria petrolera asociada a la región sur, PEMEX- Exploración y Producción. Integración de las etapas I a III. Subproyecto: Evaluación geoquímica de la contaminación por hidrocarburos del petróleo y metales tóxicos en sistemas lagunares y sitios de descarga de Tabasco. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM, Instituto Mexicano del Petróleo, Petróleos Mexicanos. México, pp. 26–27.
- Botello, A. 2000. Diagnóstico de los efectos ambientales de la industria petrolera asociada a la región sur, PEP. Etapa IV. Subproyecto: Evaluación geoquímica de la contaminación por hidrocarburos del petróleo y metales tóxicos en sistemas lagunares y sitios de descarga de Tabasco. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM, Instituto Mexicano del Petróleo, Petróleos Mexicanos. Noviembre, 2000.
- Botello, A. 2001. Proyecto Tabasco: Hidrocarburos y metales tóxicos en cuerpos acuáticos y su bioacumulación: Evaluación de la toxicidad de sedimentos. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM, Petróleos Mexicanos. Noviembre, 2001.
- Botello, A. 2005. Características, composición y propiedades fisicoquímicas del petróleo. En Botello A, J. Rendon-von, G. Gold y Hernández, C. *Golfo de México, Contaminación e Impacto ambiental: Diagnostico y Tendencias*. 2da Edición. Univ. Autón de Campeche. UNAM, Instituto Nacional de Ecología, México, pp. 261-268.
- Brooks, J. 1990. Classic petroleum provinces. In: Brooks, J. *Geological Society Special Publication 50*, p. 1-8.
- Buchman, M. 2008. NOAA Screening Quick Reference Tables, NOAA OR&R Report 08-1. Seattle WA, Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, pp. 34.
- Budzinski, H., Jones, I, Bellocq, J., Piérard, C and Garrigues, P. 1997. Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary. *Marine Chemistry*. 58 (1-2): 85-97.
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment), 1991. Interim Canadian environmental quality criteria for contaminated sites. Report CCME EPC-CS34, 1-20, Manitoba, Canada.
- Cai, Y., Mo, C., Li, Y., Zeng, Q., Katsoyiannis, A., Wu, Q. and Féraud, J. 2007. Ocurrente and assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils from vegetable fields of the Peral River Delta, South China. *Chemosphere*. 68: 159-168.
- Cantillo, A., Lauerstein, G. and O'Conn, T. 1997. Mollusc and sediment contaminant levels and trends in South Florida coastal waters. *Marine. Pollut. Bull.* 34 (7): 511-521.
- Carranza-Edwards, A., Gutiérrez-Estrada, M y Rodríguez, R. 1975. Unidades morfotectónicas continentales de las costas mexicanas. An. Centro Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México. 2 (1): 81 - 88.

Castro-Gessner, S. 1981. *Determinación de hidrocarburos en Sedimentos recientes en el ostión (Crassostrea virginica) de la laguna Mecoacán, Tabasco.*, Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM. México, pp. 34.

CODEZPET (Comisión para el Desarrollo de las Zonas Petroleras del estado de Tabasco), 1985.

Contreras, F. 1985. *Las lagunas costeras mexicanas*. Centro de Ecodesarrollo. Secretaría de Pesca. México, pp. 143 - 151.

Cuellar, A., Sánchez, F., Vázquez, S. y Cota, D. 2004. Impacto ecológico de la industria petrolera en la sonda de Campeche, México tras tres décadas de actividad: una revisión. *INC. 29 (6)*: 311-319.

Dahle, S., Savinov, V., Matishov, G., Evenset, A. and Naes, K. 2003. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in bottom sediments of the Kara Sea shelf, Gulf of Ob and Yenisei Bay. *Science of the Total Environment 306*: 57-71.

Díaz, G., Botello, A., Ponce, G. 1994. Contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) disueltos en la laguna Mecoacán, Tabasco, México. *Hidrobiológica. 4 (1-2)*: 21-27.

DOF (Diario Oficial de la Federación), 2010. Proyecto de Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación, para quedar como Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SA1-2008, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo y la remediación.
<http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5156157&fecha=23/08/2010>.

Farrington, J., Goldberg, E., Risebrough, R., Martin, J and Bowen, V. 1983. U.S. Mussel Watch 1976-1978: An overview of the trace-meta, DDE, PCB, Hydrocarbon and artificial radionuclide data. *Environ. Sci. Technol. (17)*: 490-496.

Farris, L., Van-Hassel, J. 2007. *Freshwater Bivalve Ecotoxicology*. CRC Press, New York, USA, pp. 151– 167.

Fernandes, M., Sicre, M., Boireau, A and Tronczynski, J. 1997. Polyaromatic hydrocarbon (PAH) distributions in the Seine River and its estuary. *Marine. Pollut. Bull. 34 (11)*: 857-867.

Galaviz, A., Gutiérrez, M y Castro, A. 1987. Morfología, sedimentos e hidrodinámica de las lagunas; Dos Bocas y Mechoacán, Tabasco, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 14 (2)*: 109-123.

García-Cubas A., Reguero, M. 2007. *Catalogo ilustrado de moluscos del Golfo de México y Mar Caribe*. UNAM. México, pp. 11-16.

García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Segunda edición. Inst. De Geografía, UNAM. México, pp. 146.

García, C. 2002. *Hidrocarburos del petróleo en sedimentos y bivalvos indicadores de la contaminación marina en el pacífico mexicano*. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México, pp. 111.

Geissman, T., Sim, K. and Murdoch J. 1967. Organic minerals. Pirene and chrysene as constituents of the mineral curtisite (Idrialite). *Experientia*. (23): 793-794.

GESAMP (IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection) and Advisory Committee on Protection of the Sea. 2001. A sea of troubles. Rep. Stud. GESAMP. (70): 35.

Ginger W., Blumer M. 1974. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the environmental: Isolation and characterization by chromatography, visible, ultraviolet and mass spectrometry. *Anal. Chem.* (46): 1663-1671.

Grimmer, J. 1993. *Relevance of polycyclic aromatic hydrocarbons as Environmental carcinogens. Polycyclic aromatic compounds*. Vol. 3. Gordon & Breach Science Publishers. S. A, Amsterdam, pp. 31-42.

Guerin, M., Elper, J., Gries, W., Clark, B. and Rao, T. 1978. Polycyclic aromatic hydrocarbons from fossil fuel conversion processes. Carcinogenesis. *A comprehensive Survey*. (3): 21-34.

Guzmán, X. 2007. *Empleo de biomarcadores para evaluar el proceso de daño en ostión Crassostrea virginica y su respuesta ambiental*. Tesis doctoral en Biología Experimental, Univ. Autón. Metropolitana Unidad Iztapalapa. México, pp. 90.

Haritash, A., Kaushik, C. 2009. Biodegradation Aspects of Polycyclic aromatic Hydrocarbons (PAHs): A review. *Journal of Hazardous Materials* 169: 1-15.

Harrington, J., Commins, B. 1964. Oils containing polycyclic aromatic hydrocarbons in Witwatersrand mine dusts. *Chem. Ind. London*, pp. 1427.

Hites, R., Biemann, W. 1974. Identification of specific organic compounds in highly anoxic sediment by GC/MS and HRMS. *Abstracts 168 th National American Chemical Society Meeting*. (40).

Hoong-Gin, K., Huda, M., Lim, K. and Tkalich, P. 2001. An oil spill-food chain interaction model for coastal waters. *Mar. Pollut. Bull.* 42 (7): 590-597.

IARC (International Agency for Research on Cancer). 2002. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans and their supplements: a complete list. December, 2010. <<http://monographs.iarc.fr/monoeval/allmonos.html>>.

IARC (International Agency for Research on Cancer). January, 2011. <<http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/crthgr02a.php>>.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. Regiones Hidrográficas de Tabasco. Septiembre, 2011.

<http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/tab/sombreado_ri.cfm?c=444&e=10>

IOOS (Integrated Ocean Observing System). 2010 A Blueprint for full Capability. November, 2010.

<http://www.ioos.gov/library/us_ioos_blueprint_ver1.pdf>.

Jackim, E., Lake, C. 1978. Polycyclic aromatic hydrocarbons in estuarine and near shore environments. *Estuarine Interactions*. pp. 415.

Jaward, M., Barber, L., Booij, K. and Jones, C. 2004. Spatial distribution of atmospheric PAHs and PCNs along a north south Atlantic transect. *Environmental Pollution* (132): 173 - 181.

Lacerda, L., Pfeiffer, W. and Fiszman, M. 1987. Heavy metal distribution, availability and fate in Sepetiba Bay, SE, Brazil. *The Sci. Total Environ.* (65): 163 - 173.

Lankford, R. 1977. *Coastal lagoons of Mexico: Their origin and classification*. In M. Wiley (ed.) *Estuarine Processes*. Academic, New York, pp. 182 – 215.

Liu, Y., Chen, L., Huang, Q., Li, W., Tang Y. and Zhao, J. 2009. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of the Huangpu River, Shanghai, China. *Science of the Total Environment*. 407: 2931-2938.

Long, E., Macdonald, D., Smith, S. and Calder, F. 1995. *Incidence of adverse effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments*. *Environmental Management*. 19 (1): 81-97.

Maliszewska-Kordybach, B. 1996. Polycyclic aromatic hydrocarbons in agricultural soils in Poland: preliminary proposals for criteria to evaluate the level of soil contamination. *Appl. Geochim.* (11): 121-127.

Mastandrea, C., Chichisola, C., Luengo, A., Ludeña, B., Sánchez, H., Álvarez, H. y Gutiérrez, A. 2005. Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos. Riesgo para la salud y marcadores biológicos. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*. 39 (1): 27-36.

NRC (National Research Council). 1985. *Oil in the Sea. Inputs, fates and effects*. National Academies Press. Washington. D.C. January, 2011.

<<http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=0309084385>>.

Neff, J. 1979. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment, sources, fates and biological, effects. *Applied Science Publ*, pp. 262.

Niaussat, P., Auger, C. 1970. The distribution of benzo(a)pyrene and perylene in various organisms of the Clipperton Lagoon ecosystem. *Compt. Rend. Ser, serie D.* (270): 2702-2705.

- O'Connor, T. 1998. Mussel Watch Results from 1986 to 1996. *Mar. Pollut. Bull.* 37 (1-2): 3 -5.
- Orr, W., Grandy, J. 1967. Perylene in basin sediments off southern California. *Geochim. Cosmochim.* (31): 1201-1209.
- PEMEX (Petróleos Mexicanos). 2001. Anuario estadístico 2001. Exploración y producción. PEMEX. México, pp. 51.
- Pereira-Netto, A., Barreto, R., Moreira, J. and Arbilla, G. 2001. Preliminary comparison of PAH in total suspended particulate samples taken at Nikerói and Rio de Janeiro Cities, Brazil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 66 (1): 36-43.
- Ping, L., Luo, Y., Zhang, H., Li, Q. and Wu, L. 2007. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in thirty typical soil profiles in the Yangtze River Delta region, east China. *Environ. Pollut.* 47 (2): 358-365.
- Ponce, G. 1995. *Evaluación de los niveles de metales pesados en hidrocarburos aromáticos polinucleares en la zona costera del Golfo de México*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. División de Estudios de posgrado. UNAM. México, pp. 157.
- Ponce, G., Botello, A. 2005. Niveles de Hidrocarburos en el Golfo de México. En Botello, A., Osten, R., Gold-Bouchot, G y Agraz, C. *Golfo de México, Contaminación e Impacto ambiental: Diagnostico y Tendencias*. 2da Edición. Universidad. Autónoma de Campeche, Univ. Nal. Auton. de México, Instituto Nacional de Ecología. México, pp. 269-298.
- Prado, S. 2007. Estudio de la fotodegradación de compuestos orgánicos mediante microextracción en fase solida, cromatografía de gases y espectrometría de masas. Tesis de doctorado. Universidad Santiago de Compostela. Facultad de Química. Santiago de Compostela. Galicia, pp. 267.
- Rand, G., Petrocelli, S. 1985. Fundamentals of Aquatic toxicology. *Hemisphere Publishing Corporation*, pp. 665.
- Rodríguez, E. 2002. *Lagunas continentales de Tabasco*. Univ. J. Autónoma de Tabasco. México, pp. 262.
- Rosales, M., Álvarez, R. 1979. Niveles actuales de hidrocarburos organoclorados en los sedimentos de las lagunas costeras del Golfo de México. *An. Inst. Cien. del Mar y Limnol. Univ. Auton. México*, 6 (2): 1-6.
- Salazar, M., Salazar, S. 1991. Assessing site-specific effects of TBT contamination with mussel growth rates. *Mar. Environ. Res.* (32): 131-150.
- Sanders, M., Sivertsen, S. and Scott, G. 2002. Origin and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in surficial sediments from the Savannah River. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 43: 438-448.

- Santiago, J., Baro, A. 1992. Mexico's giant fields, 1978-1988 decade. *Am. Assoc. Petr. Geol.* (54): 73-99.
- Santoyo, H., Signoret, M. 1981. Producción primaria planctónica de tres lagunas costeras de México. VII Simp. Latinoamer. Oceanogr. Biol. Acapulco, Gro. México, pp. 457-472.
- SERNAPAM (Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental). 2009. Informe de Materia Orgánica. Enero, 2011.
<<http://sernapam.tabasco.gob.mx/pdf/INFORME%2520MATERIA%2520ORGANICA>>.
- Sicre, M., Marty, J., Saliot, A., Aparicio, X., Grimalt, J. and Albaigés, J. 1987. *Aliphatic and aromatic hydrocarbons in different sized aerosols over the Mediterranean Sea: occurrence and origin. Atmospheric Environmental.* 21 (10): 2247-2259.
- Smirnov, G. 1970. Benzo(a)pyrene content in solid and vegetation near an airport. *Vopr. Onkol.* (16): 83-86.
- Soclo, H., Garrigues, P. and Ewald, M. 2000. *Origin of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Coastal Marine Sediments: Case Studies in Cotonou (Benin) and Aquitaine (France) Areas. Mar. Pollut. Bull.* 40 (5): 387-396.
- Suess, M. 1976. The environmental load and cycle of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Sci. total Envir.* 6 (3): 239-250.
- Thompson, R., Voit, E. and Scott, G. 2000. A probabilistic model for predicting distributions of PAH ratios between oysters and marine sediments. *Ecological Modeling.* 1 (35): 231-242.
- Tolosa, I., De Mora S., Reza S., Villanueva, J., Bartocci, J. and Cattini, Ch. 2003. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments. *Mar. Pollut. Bull.* 48: 44-60.
- U.S., EPA (Environmental Protection Agency). 1900. Compilation of E.P.A.'s sampling and analysis methods. Compilado por Müeler, W. y Smith, D en: Keith, D. E. U. A, pp. 803.
- Varanasi, U. 1989. *Metabolism of Polycyclic aromatic hydrocarbons in the Aquatic Environment.* CRC Press, Boca Raton, pp. 94-149.
- Vázquez, F., M, Gutiérrez E. y Aguayo J. 1994. *El sistema lagunar El Carmen-Pajonal-La Machona del estado de Tabasco.* Laboratorio de fisicoquímica .UNAM. México, pp. 100.
- Youngblood, W., Blumer M. 1973. Alkanes and alkenes in marine benthic algae. *Mar. Biol.* 21: 163-172.
- Yunker, M., Macdonald, R., Vingarzam, R., Mitchell, R., Goyette, D. and Sylvestre, S. 2002. PAHs in the Fraser river basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH sources and composition. *Org. Geochem.* 33: 489-515.

Wii, G. 1995. Polycyclic aromatic hydrocarbons in water and sediment of the Baltic Sea. *Mar. Pollut. Bull.* (3): 237-248.

WRI (World Resources Institute). 2001. Will international investment rules obstruct climate protection policies? January, 2011.

<http://www.wri.org/publication/will-international-investment-rules-obstruct-climate-protection-policies>

Zanardi, E., Bicego, M. and Weber, R. 1999. Distribution and origin of Hydrocarbons in water and sediment in Sao Sebastiao. *Mar. pollut.Bull.*38 (4): 261-267.