

00521
122



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

"CAMBIO ESTACIONAL DE LOS HIDROCARBUROS
AROMÁTICOS POLICICLICOS, EN LA LAGUNA DE
MECOACÁN, TABASCO, MÉXICO"

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

P R E S E N T A

EDGAR ANTONIO PINEDA ARELLANO

MÉXICO, D. F.

2003



EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUÍMICA



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.

PAGINACION

DISCONTINUA

Jurado asignado:

Presidente

Prof. Rodolfo Torres Barrera

Vocal

Prof. Víctor Manuel Luna Pabello

Secretario

Dr. Felipe Vázquez Gutiérrez

1er. Suplente

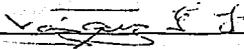
Profa. Hilda Elizabeth Calderón Villagomez

2do. Suplente

Prof. Alfonso Duran Moreno

**Sitio donde se desarrollo el tema: Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM.
Circuito Exterior s/n Ciudad Universitaria.**

Asesor del tema: Dr. Felipe Vázquez Gutiérrez



Sustentante: Edgar Antonio Pineda Arellano



AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al Dr. Felipe Vázquez Gutiérrez por sus consejos y el apoyo que me brindó durante el desarrollo de este trabajo.

A Juan Manuel Cortes y Héctor Alexander por el tiempo que dedicaron a mis dudas y por el apoyo que me brindaron día con día para poder concluir este trabajo.

A mis sinodales por sus comentarios para mejorar este trabajo.

Y a todos y cada uno de mis amigos que me motivaron a terminar este trabajo.

DEDICATORIAS

A mi madre Maria del Carmen por confiar y creer siempre en mí, por todo el apoyo que he recibido siempre de ella y sobretodo por el gran amor que me tiene.

A mi esposa Yazmín por haberme dado la alegría más grande de mi vida.

A mi hijo Luis Eduardo por ser el motorcito que me impulso a terminar este trabajo.

A mis hermanos Nelson y Guadalupe por el gran amor que nos une y por el gran apoyo que he recibido siempre de ellos.

A mis sobrinos José Armando y Zuleyma Guadalupe para que traten de ser siempre mejores en la vida y lleguen a cumplir todas sus metas.

A mi cuñado y compadre José Rutilo por ser para mí como un hermano.

Y sobretodo a Dios por permitirme llegar a esta instancia de mi vida y por haberme dado una familia tan maravillosa.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	2
II. LAGUNAS COSTERAS Y CONTAMINACIÓN.....	3
III. GENERALIDADES DEL PETRÓLEO.....	7
1. <i>Características de los Hidrocarburos</i>	7
2. <i>Composición del petróleo</i>	7
3. <i>Origen de los Hidrocarburos en el medio acuático</i>	7
4. <i>Clasificación de los Hidrocarburos</i>	8
4.1 <i>Hidrocarburos biogénicos</i>	8
4.2 <i>Hidrocarburos antrópicos</i>	8
5. <i>Importancia de la identificación y cuantificación de los Hidrocarburos disueltos y /o dispersos en el medio acuático</i>	9
6. <i>Limites permisibles de los PAH's en el medio acuático</i>	9
7. <i>Efectos de los hidrocarburos en los organismos acuáticos y en la salud humana</i>	11
IV. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	13
1. <i>Suelos</i>	14
2. <i>Flora</i>	15
3. <i>Fauna</i>	16
V. METODOLOGÍA.....	17
1. <i>Procedimiento</i>	17
2. <i>Cromatografía de gases</i>	20
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	26
ANEXO. Cromatograma característico y curvas de calibración de los doce PAH's que se determinaron.....	28
BIBLIOGRAFÍA.....	42

RESUMEN

Hoy en día el incremento de la explotación del petróleo y el desarrollo de la industria petroquímica en el Estado de Tabasco, ha provocado serios problemas de contaminación sobre todo de los mantos acuíferos por lo que es necesario el monitoreo constante de esta zona.

Con el objeto de evaluar el grado de perturbación ecológica del ecosistema marino de la Laguna de Mecoacán, Tabasco, México generada por la presencia de hidrocarburos petrogénicos, se realizó un estudio comparativo en dos diferentes épocas del año, Abril y Agosto del 2001. Durante estiaje y lluvias respectivamente, en las cuales se cuantificaron e identificaron en muestras de agua doce de los hidrocarburos que se consideran de los más carcinogénicos utilizando para ello la técnica de extracción líquido-líquido con cromatografía de gases / espectrometría de masas.

Cabe señalar que durante los dos muestreos solo se encontraron cantidades significativas de cuatro de los doce hidrocarburos que se estaban buscando benzo(a)antraceno, benzo(e)pireno, benzo(a)pireno y benzo(ghi)perileno en zonas donde se realizan operaciones que conciernen a la industria petrolera (Puerto petrolero "Dos Bocas" y el Campo Petrolero Mecoacán).

Respecto al resto de la columna de agua de la laguna, esta presentó una gran uniformidad ya que no se encontraron rastros de contaminación por alguno de los doce hidrocarburos aromáticos policíclicos que se buscaron durante los dos muestreos.

Los niveles de hidrocarburos durante el segundo muestreo (Lluvias) fueron significativamente más altos que los encontrados durante el primer muestreo (estiaje) lo que hace suponer que los aportes de hidrocarburos hacia la laguna en esta época del año aumenta considerablemente.

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Físico Química Marina del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

I. INTRODUCCIÓN

México cuenta con 137 lagunas costeras de las cuales 92 pertenecen al litoral del pacífico y 45 al Golfo de México y del Caribe dichos sistemas son sitios extremadamente importantes donde interaccionan el mar, la tierra y la atmósfera creando un medio rico en recursos naturales, por lo que son importantes para los asentamientos humanos, el desarrollo y la subsistencia local, debido a esto se han convertido en zonas altamente codiciadas por el hombre de manera que la zona costera es actualmente una de las áreas mas impactadas no solo en México sino en el mundo.

Las lagunas costeras se encuentran entre las más productivas del mundo con una enorme biodiversidad, son zonas de alta productividad de especies acuáticas y aves locales y migratorias, por lo que su degradación repercute tanto en las especies animales, como en las posibilidades de desarrollo y supervivencia humana (Cruz, 2001)

En la actualidad el incremento de la explotación del petróleo y el desarrollo de la industria petroquímica en el estado de Tabasco puede ocasionar serios problemas de contaminación en los mantos acuíferos de la zona. Los residuos industriales, municipales y los derrames accidentales causados por la explotación y transportación del petróleo son conducidos a través de la extensa red hidrológica del estado a las lagunas costeras y estuarios.

Las lagunas del estado de Tabasco son centros de gran importancia por su gran productividad ostrícola que se encuentran amenazadas tanto por la sobre explotación como por la contaminación por petróleo, entre la que destaca la Laguna de Mecoaacán por su cercanía al puerto petrolero denominado "Dos Bocas" en donde se realizan diversas actividades tanto de almacenamiento como de procesamiento del crudo en donde además se exportan miles de barriles hacia los Estados Unidos por vía marina lo que ocasiona un mayor riesgo de derrames; por otra parte los aportes de hidrocarburos a la laguna pudiesen también provenir del campo petrolero "Mecoaacán" que se encuentra al sureste de la laguna, del uso de lanchas de motor y de los residuos domésticos.

Todo lo anterior hace suponer que la Laguna de Mecoaacán soporta muy probablemente, grandes cantidades de hidrocarburos antropogénicos.

El análisis de la concentración de hidrocarburos disueltos y dispersos en la columna de agua es de gran interés ya que este es el medio principal de transporte y distribución de hidrocarburos en los medios acuáticos.

Cada día se vuelve más necesario realizar estudios que determinen el impacto ambiental que sufren las áreas costeras debido al desarrollo industrial, ya que estos servirán de gran apoyo para aquellas personas que tengan que tomar decisiones y medidas preventivas para el control de la contaminación.

El presente trabajo es un estudio básico sobre la concentración actual de hidrocarburos antropogénicos en el cuerpo de agua de la Laguna de Mecoaacán, Tabasco, que servirá para la evaluación del grado de contaminación a un futuro próximo y para completar una serie de estudios de impacto ambiental por las actividades petroleras de la zona.

El objetivo principal de este trabajo es determinar los niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos (por sus siglas en ingles PAH's) en el cuerpo de agua de la laguna de Mecoaacán, Tabasco empleando para ello la técnica de extracción líquido-líquido con cromatografía de gases.

II. LAGUNAS COSTERAS Y CONTAMINACIÓN

En la actualidad uno de los ecosistemas más amenazados por la actividad humana es sin duda las lagunas costeras, debido a los efectos de la actividad industrial, turística, pesquera y explotación de los hidrocarburos, así como la acumulación de desechos habitacionales, aguas negras y residuos industriales peligrosos.

Las lagunas costeras son sistemas someros, semicerrados, con comunicación efímera o permanente con el mar, que se encuentran protegidos de éste por algún tipo de barrera, y se encuentran en relación directa con los sistemas hidrológicos continentales. (Vázquez y col. 1994)

La contaminación marina se define como "la introducción, directa o indirecta, de sustancias o energéticos en el medio marino (incluyendo los estuarios, ríos y lagunas), la cual daña los recursos vivos, pone en peligro la salud humana, altera las actividades marinas, entre ellas la pesca, y reduce el valor recreativo y la calidad del agua del mar" (Joint Group of Experts on the Scientifics of Marine Pollution: GESAMP, 1977).

Odum (1970) señala las principales consecuencias de la alteración de los sistemas lagunares y estuarinos:

- Los mecanismos que permiten a los estuarios ser trampas eficientes de nutrientes, también contribuyen como trampas de contaminantes.
- La destrucción de las áreas productoras de detritos en un estuario, como los pastos de pantano y pastos marinos, reducen drásticamente la productividad del estuario y limitan directamente su potencial para producir especies de importancia comercial.
- Las cadenas alimenticias en los estuarios son particularmente susceptibles a la interferencia del hombre.
- Muchos organismos estuarinos viven cerca del límite de sus rangos de tolerancia y pueden ser extinguidos por cualquier presión ecológica adicional, como las causadas por la introducción de contaminantes o el decremento en la concentración de oxígeno resultante de la operación de dragado.
- La estabilización de los sedimentos es importante en un estuario para el ciclo normal de nutrientes, para prevenir el exceso de turbidez en la columna de agua y como áreas de crecimiento extensivo de plantas.
- En los estuarios normalmente existe un estado natural de eutroficación*, por lo cual son vulnerables a cualquier proceso que resulte en un decremento de la concentración de oxígeno.

*Disminución del oxígeno disuelto en el agua.

- La zona más productiva y de mayor valor en muchos estuarios es la región de intermarea, la cual parece ser la más afectada por la construcción de puertos y por la acción de dragado o de relleno.
- El flujo de agua dulce es necesario para que los estuarios funcionen normalmente; así la región de baja salinidad de un estuario es importante para la protección de formas juveniles de peces, de invertebrados, y especialmente ostiones. La construcción de presas, diques o el desvío de los canales naturales, llegan a eliminar este aporte con lo cual desaparecen muchas especies.

Entre los contaminantes que se vierten al mar en grandes cantidades sin ningún tipo de control esta el petróleo crudo y sus derivados que durante mucho tiempo han representado la fuente principal de energía para el ser humano ya que hasta el momento no se ha encontrado ningún sustituto que satisfaga las necesidades energéticas que demanda la sociedad día con día.

En México la industria petrolera en su conjunto ha tenido un gran impacto negativo en materia ambiental. Por la amplia gama de productos derivados del petróleo, no ha sido posible evaluar cuantitativamente la contaminación involucrada desde la fase de explotación hasta la obtención de los petroquímicos básicos (Vázquez y col. 1994)

No es fácil calcular la cantidad y el origen de hidrocarburos del petróleo que llega al medio marino algunos de los últimos datos son reportados por la National Research Council (NRC) (Farrington, 1985). En la tabla 1 se puede observar que un total de 3.2 millones de toneladas métricas por año de hidrocarburos son vertidos al medio marino por distintas fuentes en las que las municipales, industriales, urbanas y pluviales representan más del 33 % de los hidrocarburos derivados del petróleo vertidos al medio marino.

Tabla 1. Aportes de hidrocarburos del petróleo al medio marino estimado en millones de toneladas por año (Farrinton, 1985).

FUENTE	RANGO PROBALBE	ESTIMACIÓN MÁS SEGURA
FUENTES NATURALES		
Filtraciones marinas	0.02 - 2.0	0.2
Erosión de sedimentos	0.005 - 0.5	0.05
<i>Fuentes naturales totales</i>	0.025 - 2.5	0.25
PRODUCCIÓN COSTERA	0.04 - 0.06	0.05
TRANSPORTACIÓN		
Operaciones en buques	0.4 - 1.5	0.7
Operaciones en diques secos	0.2 - 0.05	0.03
Terminales marinas	0.01 - 0.03	0.02
Descarga de sentina y carga de petróleo	0.2 - 0.06	0.3
Accidentes de buques tanque	0.3 - 0.04	0.4
Accidentes de otros buques	0.02 - 0.04	0.02
<i>Transportación total</i>	0.95 - 2.62	1.47
ATMÓSFERA	0.05 - 0.5	0.3
RESIDUOS INDUSTRIALES Y MUNICIPALES		
Residuos municipales	0.4 - 1.5	0.7
Refinerías	0.06 - 0.6	0.1
Otros residuos industriales	0.1 - 0.3	0.2
Aguas residuales urbanas	0.01 - 0.2	0.12
Caudal fluvial	0.01 - 0.5	0.04
Residuos oceánicos	0.005 - 0.02	0.02
Residuos totales	0.585 - 3.14	1.18
Total :	1.7 - 8.8	3.2

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Por otro lado los aportes correspondientes a la exploración, extracción y transporte de petróleo aportan más del 49 % del total.

Por todo lo anterior se espera encontrar niveles de hidrocarburos superiores en las zonas costeras que los niveles que se pudiesen encontrar en mar abierto siendo así las zonas costeras las más castigadas por estos contaminantes.

Debido a la gran interacción entre la columna de agua, los organismos y los sedimentos, estos hidrocarburos son retenidos en los tejidos de los organismos y en la columna de los sedimentos, almacenándose por períodos considerables, debido a su gran estabilidad química.

Por la importancia económica que representa el petróleo en México y, ante la demanda en el mercado exterior se ha intensificado su explotación lo cual representa un mayor peligro en cuanto a posibles potenciales de contaminación del ambiente por la emisión de humos, polvos, gases y descarga de aguas residuales generadas durante la perforación de pozos petroleros, por la extracción de líquidos, por su refinación y producción de petroquímicos.

El litoral del Golfo de México posee una vasta riqueza en yacimientos petrolíferos tanto en tierra firme como en mar abierto, particularmente en la Sonda de Campeche. Por lo tanto, la presencia de hidrocarburos en los sistemas costeros es frecuente, aunado a las descargas y el lavado de los buques-tanque, que son responsables en buena parte de la presencia de elevadas concentraciones de brea y alquitranes en las playas de los litorales mexicanos (Botello y col. 1991). Otro punto importante en la contaminación por petróleo es su transporte por vía marina.

La importancia de un ecosistema costero como la Laguna Mecoacán ha propiciado que se hayan realizado diversos estudios. El derrame del pozo Ixtoc I en 1978 despertó el interés en realizar estudios sobre evaluación ambiental en el Golfo de México.

En la actualidad México se ha convertido en el cuarto productor de petróleo en el mundo. Por tal motivo especialmente las costas del Golfo de México están expuestas a un enorme tráfico de buques-petroleros, y al incremento gradual de la exploración y explotación de la plataforma continental, principalmente en Campeche lo cual contribuye día con día a que se derramen pequeñas o grandes cantidades de petróleo y / o sus derivados al mar, alterando de una u otra manera la estabilidad de los ecosistemas costeros. Es evidente que el impacto que ocasionan estos derrames aunados con los vertidos de otros contaminantes al medio marino es muy variable y que la zona costera incluyendo las lagunas costeras con su gran y variada productividad son las más severamente dañadas debido a sus aguas someras, la alta cantidad de sedimentos en el agua que pueden absorber y almacenar estos contaminantes durante mucho tiempo; y ya que uno de los principales medios de transporte de estos contaminantes es el agua se deben y tienen que realizar constantes estudios que vigilen la cantidad y variedad de contaminantes que son disueltos o dispersos en este medio, principalmente los hidrocarburos provenientes de fuentes naturales o artificiales.

III. GENERALIDADES DEL PETRÓLEO

1. Características de los hidrocarburos

Los hidrocarburos son compuestos formados por átomos de carbono e hidrógeno, de gran abundancia en la naturaleza, presentes principalmente en el petróleo (Chappin y Summerlin, 1988; PEMEX, 1988).

Se considera a los hidrocarburos de petróleo como una mezcla líquida compleja de gases, líquidos y sólidos, existiendo pequeñas cantidades de mezclas de nitrógeno, oxígeno y azufre, además de contener compuestos de hierro, níquel, vanadio y otros metales (PEMEX, 1988). De manera general el petróleo tiene una proporción de 76 a 86% de carbono, e hidrógeno de 10 a 14%.

2. Composición del petróleo

Dependiendo del número de átomos de carbono y de la estructura de los hidrocarburos que integran el petróleo, se tienen diferentes propiedades que los caracterizan y determinan su comportamiento como combustibles, lubricantes, ceras o solventes.

Las cadenas lineales de carbono asociadas a hidrógeno, constituyen las parafinas; cuando las cadenas son ramificadas se tienen las isoparafinas; al presentarse dobles uniones entre los átomos de carbono se forman las olefinas; las moléculas en las que se forman ciclos de carbono son los naftenos, y cuando estos ciclos presentan dobles uniones alternas (anillo bencénico) se tiene la familia de los aromáticos.

Además hay hidrocarburos con presencia de azufre, nitrógeno y oxígeno formando familias bien caracterizadas, y un contenido menor de otros elementos. Al aumentar el peso molecular de los hidrocarburos las estructuras se hacen verdaderamente complejas y difíciles de identificar químicamente con precisión. Un ejemplo son los asfaltenos que forman parte del residuo de la destilación al vacío; estos compuestos además están presentes como coloides en una suspensión estable que se genera por el agrupamiento envolvente de las moléculas grandes por otras cada vez menores para constituir un todo semicontinuo (IMP, 2002).

3. Origen de los hidrocarburos en el medio acuático

Los contaminantes presentes en el medio marino pueden ser divididos en dos distintas categorías: **BIOGÉNICOS Y ANTROPOGÉNICOS**. Los primeros son productos de procesos naturales; en esta categoría están componentes no refinados del petróleo, metales pesados como el mercurio, el plomo y el cadmio y sustancias nutritivas derivadas del nitrógeno y fósforo.

Los contaminantes artificiales son aquellos que no se presentan naturalmente, sino que han sido sintetizados por el hombre como son ciertos productos refinados del petróleo, hidrocarburos halogenados como el DDT y los bifenilos policlorinados (PCB's), plásticos, detergentes y elementos radioactivos ya que no existen concentraciones naturales de ellos, la sola presencia de estas sustancias en los estuarios y zonas costeras indica contaminación (Centro de Ecodesarrollo, 1981).

4. Clasificación de los hidrocarburos:

4.1 Hidrocarburos biogénicos

Los hidrocarburos de origen biológico se encuentran en gran parte de los organismos marinos y en todos los sedimentos recientes. Afortunadamente existen diferencias de composición y estructura entre estos hidrocarburos y los derivados del petróleo y así es posible distinguirlos claramente (Clark y Blumer, 1967).

Estos son sintetizados por casi todas las plantas, animales terrestres y marinos, incluyendo la micro biota, bacterias, plancton marino, diatomeas, algas y plantas superiores (Bedair y Al-Saad, 1992). La síntesis de este tipo de hidrocarburos está controlada por rutas metabólicas, lo cual trae como resultado mezclas de compuestos de limitada complejidad estructural relacionada directamente con la función biológica especificada.

Las características de los hidrocarburos biogénicos son:

- Los formados recientemente exhiben un alto nivel de n-alcenos de número impar.
- Los aportes por detritus de plantas terrígenas se caracterizan por n-alcenos de número impar en la región de C₂₃ - C₃₃.
- Los aportes de origen marino se ven marcados por la presencia de los alcanos C₁₅, C₁₇ y C₁₉.
- Las contribuciones biogénicas notan el predominio del isoprenoide pristano.
- Compuestos del tipo aromático no se presentan frecuentemente o al menos en proporciones significativas (Bedair y Al-Saad, 1992).

Estos pueden ser biosintetizados por los organismos o bien pueden ser ingeridos con los alimentos y alterados después de su ingestión. El fitano y el pristano son compuestos que se encuentran comúnmente en el petróleo, en los organismos sólo se conoce el pristano que al parecer ingresa con el alimento (Padilla, 1989).

4.2 Hidrocarburos antrópicos

Son aquellos que son introducidos como resultado de cualquier tipo de actividad humana. Los procesos de combustión industrial que contribuyen con niveles mucho más altos debidos principalmente al humo generado por el carbón, combustibles fósiles y petróleo refinado, las descargas de aguas municipales, las actividades de transporte y los derrames son algunas de las principales fuentes de estos contaminantes (Bidleman y col. 1990).

Los efluentes municipales y las descargas de refineries, complejos petroquímicos y otras industrias, constituyen los mayores aportes a la contaminación por hidrocarburos en las áreas costeras, y una fuerte proporción de la carga total de estos hidrocarburos son sin duda los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH's) que son compuestos orgánicos que sólo contienen hidrógeno y carbono dispuestos en forma de dos o más anillos de benceno fusionados, con grupos sustituidos, posiblemente unidos, a uno o más anillos, dichos compuestos se derivan de la quema incompleta (pirólisis) de combustibles fósiles o de materia orgánica, y se localizan en áreas marinas y estuario-lagunares disueltos en agua, acumulados en los sedimentos, flora y fauna de los mismos.

Hay dos clases de hidrocarburos aromáticos policíclicos: los de bajo peso molecular que tienen de 2 a 3 anillos aromáticos como el naftaleno, fluoreno, fenantreno y antraceno y derivados, y los de alto peso molecular que tienen de 4 a 7 anillos aromáticos como el criseno. Sus características físicas y químicas varían de acuerdo a su peso molecular y, en consecuencia, en su distribución y conducta en el ambiente, lo mismo sus efectos en los sistemas biológicos.

Durante mucho tiempo y hasta hace poco, nadie se preocupaba por los residuos generados por las diferentes actividades humanas, dando por hecho que la naturaleza limpiaba todo aquello que contaminaba al ambiente, pero según fueron cambiando tanto la composición como la naturaleza de los residuos, y al aumentar su cantidad y complejidad, esta capacidad (degradativa y amortiguadora) empezó a alterarse (Gutiérrez, 1990).

Los problemas más serios sobre la ecología de las zonas estuarino-lagunares nacen de la actividad humana. Por su propia conformación, las áreas estuarinas son lugares que propician la acumulación de diversos materiales antes de su difusión y dilución en el mar.

5. Importancia de la identificación y cuantificación de los hidrocarburos disueltos y / o dispersos en el medio acuático.

Los hidrocarburos son compuestos no polares o de baja polaridad por lo que son poco solubles en el agua. Los PAH's son los más solubles y estables químicamente por lo que sus tiempos de residencia son mayores que los hidrocarburos alifáticos (Handbook, 2002).

Las investigaciones de los PAH's en el ambiente acuático es muy importante, a si como la parte de valoración de la calidad medioambiental que determina el estado de contaminación y los impactos probables que pueden causar a los ecosistemas (Kennicutt y col. 1994., Fernández y col. 1997). Los PAH's son de preocupación especial porque ellos son extensamente distribuidos en el ambiente y muchos de ellos tienen propiedades tóxicas y carcinogénicas (Youngblood y Blumer, 1975., Lake, 1979., Venkatesan y Kaplan, 1982; Homan, 1984., Pruell y Quinn, 1985).

La presencia de los PAH's en la columna de agua, tejidos de los organismos y los sedimentos resientes, es una prueba evidente de que las actividades humanas (principalmente aquellas derivadas de la industria petrolera del Estado de Tabasco) descargan sus desechos a la red hidrológica desde donde son conducidos, primero hasta los sistemas lagunares y estuarinos y posteriormente al océano costero, ya que ninguno de este tipo de hidrocarburos es de origen biogénico; es decir que no pueden ser formados a través de mecanismos biológicos y / o bioquímicos (Centro de Ecodesarrollo, 1981).

6. Límites permisibles de los PAH's en el medio acuático.

Dieciséis PAH's (naftaleno, acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoanteno, pireno, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(b)fluoreno, benzo(k)fluoreno, benzo(a)pireno, indeno(1,2,3-cd)pireno, dibenzo(ah)antraceno y benzo(ghi)perileno) son considerados como contaminantes prioritarios por la EPA, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Comunidad Económica Europea (CEE) debido a sus efectos carcinogénicos (Menzie y col. 1992).

En nuestro país no existen normas con respecto a los límites permisibles de hidrocarburos en el ambiente (suelo, agua y aire), por lo que se ha recurrido a referencias de organismos internacionales (Canadá, Países Bajos y Estados Unidos). En México la PROFEPA ha manejado criterios de limpieza desarrollados por el Grupo de Trabajo sobre Restauración de Suelos Contaminados conformado por esta dependencia (Tabla 2) (PROFEPA, 1999).

Tabla 2. Límites permisibles para PAH's establecido por Canadá y los Países Bajos y Criterios de Limpieza Desarrollados por la PROFEPA.

FUENTE	PARAMETRO	SUELO 1 (mg/kg)	SUELO 2 (mg/kg)	SUELO 3 (mg/kg)	AGUA (µg/l)
PROFEPA	HTP	1000	1000	2000
	Benzo(a)pireno	0.08	0.08	0.75
	Benzo(a)antraceno	0.8	0.8	7.5
	Benzo(b)fluoranteno	0.8	0.8	7.5
	Benzo(k)	8.0	8.0	75
	Criceno	8.0	8.0	750
CANADA	Benzo(a)antraceno	0.1	1.0	10.0	0.01
	Benzo(a)pireno	0.1	1.0	10.0	0.01
	Benzo(a)fluoranteno	0.1	1.0	10.0	0.01
	Benzo(b)fluoranteno	0.1	1.0	10.0
	Dibenzo(a,h)antraceno	0.1	1.0	10.0	0.01
	Indeno(1,2,3-cd) pireno	0.1	1.0	10.0	0.01
	Naftaleno	0.1	5.0	50.0	0.1
	Fenantreno	0.1	5.0	50.0	0.2
	Pireno	0.1	10.0	100.0	0.2
	PAISES BAJOS	Naftaleno	5		
Fenantreno		10			2.0
Antraceno		10			2.0
Fluoranteno		10			1.0
Criceno		5			0.5
Benzo(a)antraceno		5			0.5
Benzo(a)pireno		1			0.2
Benzo(k)		5			0.5
Indeno(1,2,3-c,d) pireno		5			0.5
Benzo(g,h,i)perileno		10			1.0
PAH's total		20			10

HTP: Hidrocarburos totales de petróleo.

Suelo 1: Se refiere a uso agrícola. Suelo 2: De uso residencial / recreativo. Suelo 3: De uso industrial (PROFEPA, 1999).

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

7. Efectos de los hidrocarburos en los organismos acuáticos y en la salud humana.

Los diversos ecosistemas reciben petróleo, en cantidades diversas, de forma natural, desde hace millones de años. Por esto es lógico que se encuentren muchos microorganismos capaces de metabolizar el petróleo y que sea frecuente el que muchos seres vivos sean capaces de eliminar el absorbido a través de la cadena alimenticia.

Los ostiones, almejas, mejillones, que son moluscos bivalvos de importancia comercial que ingieren los hidrocarburos que se encuentran presentes en la columna de agua, ya sea disueltos o absorbidos sobre partículas en suspensión durante su alimentación (filtración), y los bioacumulan en sus tejidos grasos, pudiendo alcanzar de esta manera niveles tóxicos, (Clement y col. 1980). Así la introducción de hidrocarburos en la cadena trófica puede provocar desequilibrios ecológicos y / o la transmisión de sustancias tóxicas al hombre.

El grupo de los moluscos bivalvos ha sido el de los más evaluados en los ecosistemas costeros del Golfo de México, en particular la especie *Crassostrea virginica* la cual representa un recurso pesquero litoral importante en esta región.

Toledo (1988) realizó una recopilación de datos y de ella resalta que 19 especies de organismos estuarinos, incluyendo peces, crustáceos y moluscos destinados al consumo humano, presentaron niveles de hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAH's) con niveles promedio de 6.0 ppm, 1.8 ppm y 7.5 ppm respectivamente. Los compuestos aromáticos identificados fueron: el benzo(a)pireno, criseno y pireno, cuyo potencial carcinogénico y riesgo para la salud humana es eminente.

Un gran número de factores, los cuales actúan solos o combinados, gobiernan los efectos del petróleo o sus derivados sobre la vida marina. Así, los daños biológicos dependen principalmente de:

- a) El tipo de petróleo derramado, su composición y características en especial el contenido de compuestos aromáticos de bajo peso molecular, los cuales son considerados como los más tóxicos entre los hidrocarburos. En la práctica se ha confirmado que ejercen mayor toxicidad los compuestos de refinación del petróleo que el petróleo bruto (Moore, 1974).
- b) La concentración a la cual los organismos se encuentran expuestos y la duración de la exposición.
- c) El grado de intemperismo del petróleo.
- d) La forma en que se halle; ya sea en solución, en emulsiones, en suspensión o bien disperso o absorbido en materia orgánica.
- e) La especie o grupo de individuos de que se trate (plancton, necton o bentos).
- f) El estadio de vida de las especies, ya sean formas larvarias, juveniles o adultas.

- g) Presiones ambientales naturales, impuestas por condiciones climáticas o fluctuaciones en la temperatura del agua, salinidad y otros parámetros oceanográficos, principalmente corrientes y acción de las olas.
- h) Los procedimientos de limpieza del petróleo, principalmente si durante éstos se emplean dispersantes.

En general el daño biológico del petróleo o sus componentes es mucho más severo si éste se presenta en una zona costera o en un ambiente estuarino; entonces la zona intermareal es la más afectada, pues en ella hay una mayor diversidad y abundancia de especies, así como también existen aquí los estadios juveniles de muchas especies oceánicas (Botello y Páez, 1987).

Para medir el daño que pueden causar al ser humano algunas sustancias químicas entre ellas los hidrocarburos se utiliza la dosis letal media (DL₅₀) que no es otra cosa que la cantidad del químico que mata ala mitad de la población a la que se le aplica. En la **tabla 3** se muestran las DL₅₀ para los PAH's que se encuentran entre los más tóxicos por su gran poder carcinogénico, las concentraciones fueron aplicadas vía oral a ratones.

Tabla 3. DL₅₀ para algunos PAH's aplicadas vía oral a ratones (Pradyot, 1992).

HIDROCARBURO	DL ₅₀
NAFTALENO	600 mg/kg
ACENAFTENO	No reportada
FENANTRENO	700 mg/kg
ANTRACENO	430 mg/kg
FLUORANTENO	2000 mg/kg
PIRENO	800 mg/kg
BENZO(A)ANTRACENO	10 mg/kg
CRISENO	No reportada
BENZO(E)PIRENO	No reportada
BENZO(A)PIRENO	500 mg/kg
PERILENO	No reportada
BENZO(GH)PERILENO	No reportada

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

IV. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Laguna Mecoaacán, en la zona litoral del Golfo de México, forma parte del cuerpo deltáico de los ríos Grijalva y Usumacinta que, al igual que otras lagunas de la región están bajo la presión de diferentes procesos naturales y de actividades humanas. Desde hace 50 años las actividades pesqueras, así como las actividades petroleras de la Terminal de Dos Bocas de los últimos 25 años son de vital importancia para la población local y nacional; sin embargo, la producción ostrícola de la laguna ha venido disminuyendo en los últimos años, las inspecciones rutinarias en los bancos ostrícolas, indican una mortandad progresiva durante la etapa de crecimiento el ostión (Muñoz y col. 1994).

El Carmen Machona-Pajonal Mecoaacán conformaba uno de los sistemas costeros más productivos del país, aportando Tabasco el 36% de la producción ostrícola nacional para que México ocupara el sexto lugar en el ámbito mundial. Consideran que las obras de infraestructura portuaria, realizadas desde hace aproximadamente 25 años, han afectado el comportamiento de la corriente costera, provocando un proceso de azolve de la barra de Dos Bocas, lo cual ha impedido el ingreso de la salinidad necesaria para el cultivo del ostión. Aparte de ello, esta laguna ha sido víctima de varios derrames de petróleo, entre ellos, de uno proveniente de un mechero fracturado en 1991 que provocó la muerte de casi toda la producción ostrícola. En este sentido la laguna, desde la década de los ochenta, ha sido sujeta a una serie de estudios en donde se han registrado niveles elevados de hidrocarburos (Díaz y col. 1994), a algunos metales (Muñoz y col. 1994) y de coliformes fecales y bajos niveles de oxígeno disuelto (Salas, 1986).

El sistema lagunar de Mecoaacán se ubica en la zona litoral de Tabasco, en el litoral del Golfo de México y entre los meridianos $93^{\circ} 04'$ y $93^{\circ} 14'$ y los paralelos $18^{\circ} 16'$ y $18^{\circ} 26'$; forma parte del cuerpo deltáico de los ríos Grijalva y Usumacinta. La laguna tiene un área aproximada de 5,168 ha. Su eje principal se orienta en dirección este-oeste y es paralelo a la línea de costa; mide 11.5 km. de norte a sur, y en su parte más ancha, 7 km. (Fig. 1).

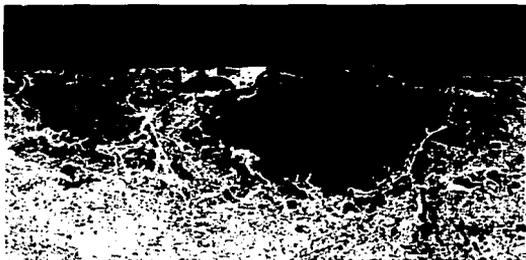


Figura 1. Imagen satélite del área de estudio.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El clima que predomina en la región es un clima del tipo Am (f)w'' (i)g, y pertenece a la región hidrológica 30, cuyas características representativas se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Características Representativas de la Región Hidrológica 30.

	MÍNIMA	MÁXIMA
Evaporación (mm anual)	916	2021.7
Precipitación (mm anual)	379	5394.0
Temperatura (°C)	2	48.0

Según Lankford, la laguna de Mecoaacán corresponde al tipo: *Depresión intradeltaica y marginal*. Presenta típicas barreras arenosas; el escurrimiento puede ser directo o el agua del río puede entrar a las lagunas a través de ensenadas; ocurren rápidamente modificaciones en la forma y batimetría; la energía es usualmente baja, excepto en los canales y ensenadas; hay salinidad típicamente baja, pero puede mostrar estacionalidad y variaciones cortas en tiempo.

La profundidad de este cuerpo acuático oscila entre 0.30 y 2.30 m, y el promedio es de 1 m. El canal de acceso al mar registra a algunos tramos con honduras de 8 m y se localiza al norte. La laguna es un par de canales en forma de pinza que se abren permanentemente al mar a través de la Barra de Dos Bocas. Por la parte este de la laguna desemboca el río Escarbado (15 m de ancho), el cual sirve de enlace con el río González, que llega al Golfo de México. En la parte sureste se localiza el río Cuxcuchapa (15 m de ancho); El Río Seco desemboca al noroeste de la laguna, con un ancho aproximado de 100m. La hidrología de la laguna se presenta en la tabla 5.

Tabla 5. Hidrología de la Laguna de Mecoaacán (CECODES, 1981).

	Mínima	Máxima
Salinidad (UPS)	1.3	14
Temperatura (°C)	24.1	30.2
Oxígeno disuelto (mL/L)	3.0	4.5
N-NH ₄ (µg-at/L)	5.1	13.7
P-PO ₄ (µg-at/L)	0.45	3.7

1. Suelos

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Son de origen fluvial, característicamente Gleysols hidromorfos con un drenaje externo e interno muy deficiente, lo cual provoca la permanencia de las inundaciones y la formación de diferentes cuerpos de agua costeros (Municipio de Paraiso, Carta Geográfica Municipal, 1997).

2. Flora

Existen dos tipos de vegetación, los manglares y la vegetación de pantanos y otras formas asociadas como matorrales halófitos, la mucalera, popales, tulares y comunidades flotantes.

Los manglares prosperan en las orillas de los cuerpos de agua afectados por condiciones salinas como son las lagunas de Meacoacán, Eslabón, La Tinaja, Bayasú y el Río González, formando inmensas superficies arboladas (Fig. 2). Las formaciones asociadas al manglar son el matorral halófito en las áreas contiguas a los suelos altos no salinos. Otro tipo de vegetación asociada es la mucalera, estas áreas se caracterizan por la presencia de especies de manglar, de pantano y la especie abundante por la cual se denomina de esta manera es el mucal.

La vegetación de pantanos es refugio de un gran número de aves acuáticas, próspera en las depresiones entre albardones, donde se acumula el agua dulce proveniente de las lluvias o de los desbordes de los ríos. Es común encontrarla en depresiones o cuencas cerradas y aisladas de las crecientes de agua salobre.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 2. Vegetación predominante alrededor de los cuerpos de agua.

Las asociaciones vegetales más comunes en los pantanos del área son:

- Espadañales: Conocidas también como tulares, tembladeras son áreas inundables cubiertas por vegetación de monocotiledóneas de hojas angostas, largas y rectas.
- Popal: Denominado también hojilla se encuentra dominado por plantas herbáceas de hojas grandes que se conocen como platanillo.
- Vegetación flotante: Se agrupan todas las plantas acuáticas que flotan en la superficie del agua, ya sea en pantanos profundos, en lagunas o en ríos.

3. Fauna

La fauna más notable la constituyen los peces, moluscos y crustáceos. Entre los mamíferos existe manatí, algunos reptiles y anfibios. Los moluscos ocupan un lugar importante ya que existe Ostión el cual se reproduce en gran medida (García y col. 1990).

El grupo de aves es de los más representativos y variados de la fauna local, residente y migratoria, que utilizan el área como refugio temporal (Municipio de Paraíso, Carta Geográfica Municipal, 1997).

V. METODOLOGÍA

Se realizaron dos muestreos en la Laguna de Mecoacán, en el estado de, Tabasco durante dos épocas del año del 2001; uno en el mes de abril que corresponde a estiaje (secas) Mecoacán I y otro en el mes de agosto que corresponde a la época de lluvias Mecoacán II.

Para este estudio se eligieron 21 estaciones de muestreo, (Fig. 3) distribuidas en toda el área de la laguna, en cada una de las estaciones se recolecto agua en frascos de vidrio de boca ancha con capacidad de un litro previamente lavados (extrán, mezcla crómica y enjuagados con agua destilada, acetona y cloruro de metileno) para su posterior estudio en el laboratorio

La técnica de extracción de los hidrocarburos se realizo siguiendo el método 6410B de extracción líquido-líquido con cromatografía de gases / espectrometría de masas aprobado por el Standard Methods Committee, 1987. Aceptado por la U. S. Environmental Protection Agency como equivalente al método EPA 625 con algunas variantes.

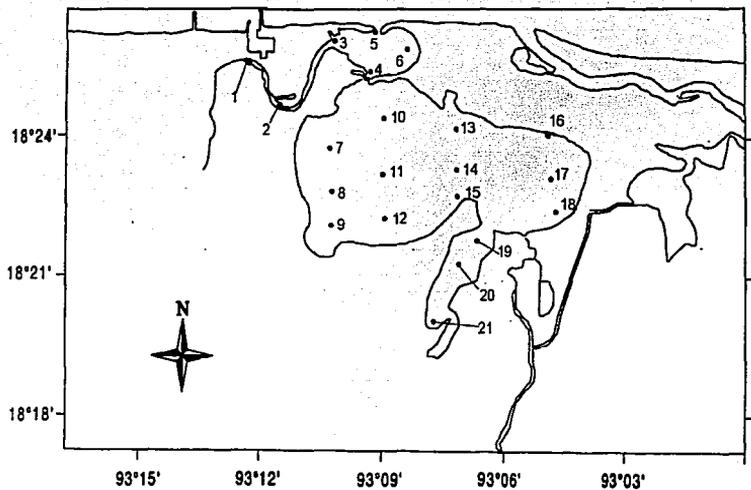
Principio: Se extrae en serie un volumen medido de muestra con cloruro de metileno con un pH superior a 11 y nuevamente, con un pH inferior a 2. El extracto debe secarse, concentrarse y analizarse en un sistema de cromatografía de gases. La identificación cualitativa de los Hidrocarburos se basa en el tiempo de retención.

1. Procedimiento

La extracción más corriente es la realizada por medio de un embudo de separación como se señala a continuación:

1. Se mide el volumen de muestra.
2. Se vierte el volumen de la muestra al embudo de separación verificando el pH con un papel indicador de pH de gama amplia y se ajusta a un pH > 11 con una solución de NaOH.
3. Agitar vigorosamente para homogenizar la solución
4. Añadir 80 mL de cloruro de metileno.
5. Agitar durante 2 minutos con una ventilación periódica para liberar el exceso de presión.
6. Se deja separar las fases orgánica y acuosa

7. Pasados los 10 minutos de reposo, separar la fase orgánica del agua y recolectar el extracto en un frasco ámbar de 250 mL. Marcado como fracción básica.
8. Se añade un segundo volumen, de 60 mL de cloruro de metileno y repítanse los pasos 5, 6 y 7.
9. Se realiza una tercera extracción del mismo modo que el punto anterior.
10. Después de la tercera extracción, ajústese el pH de la fase acuosa a un valor < 2 mediante el empleo de H_2SO_4 .
11. Se realizan extracciones en serie con 80, 60 y 60 mL de cloruro de metileno de la fase acuosa acidificada de la misma manera que la fase acuosa básica.
12. El frasco ámbar es etiquetado como la fracción ácida de la muestra.
13. Para cada fracción se utiliza un concentrador Kudema-Danish (KD) de 500mL.
14. Viértase el extracto de cada fracción a su respectivo concentrador K-D.
15. Colóquese el instrumental K-D en un baño de agua caliente (entre 60 y 65°C) en una campana de extracción de manera que el tubo concentrador se sumerja parcialmente en el agua caliente.
16. Cuando el volumen aparente del líquido alcance 1 mL, retírese el instrumental K-D y déjese secar y enfriar durante 10 minutos como mínimo.
17. Retírese la columna Snyder y lavar el matraz con 2 mL de cloruro de metileno, preferiblemente con una pipeta pasteur.
18. Pasar el contenido del tubo concentrador con una pipeta pasteur a un vial ámbar con tapón de rosca y septum.
19. Dejar secar el contenido del vial en la campana de extracción, o mediante un flujo directo de nitrógeno.
20. Adicionar con pipeta volumétrica 1 mL de cloruro de metileno al vial que contiene la muestra con el solvente evaporado a sequedad.
21. Tomar 1 μL del volumen reconstituido con una microgeringa de 10 μL e inyectar al cromatógrafo de gases.



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Figura 3. Estaciones de muestreo.

2. Cromatografía de gases

La cromatografía de gases es una de las técnicas actuales más utilizadas para evaluar los niveles de contaminación por hidrocarburos del petróleo.

La cromatografía se ha definido como un método físico de separación en el cual los componentes a separar se distribuyen entre dos fases, una de las cuales constituye la fase estacionaria, de gran área superficial, y la otra es un fluido (fase móvil) que pasa a través o a lo largo de la fase estacionaria.

Para este estudio se utilizó la cromatografía de gases para determinar y cuantificar la presencia de hidrocarburos disueltos y dispersos en la columna de agua de la Laguna de Meacoacán Tabasco; para ello se utilizó un cromatógrafo de gases Hewlett-Packard modelo 5890 Series II equipado con un detector de ionización de flama y una columna capilar 5% Fenil Metil Silicón de 25 m de largo x 0.32mm de diámetro interno y 5µm de espesor. La temperatura fue programada de 100 a 300 °C con incrementos de 10 °C/min hasta una temperatura de 170 °C, después incrementos de 5 °C/min hasta una temperatura de 280 °C y por último incrementos de 10 °C/min. La temperatura del detector fue programada a 315°C.

La identificación y cuantificación de cada hidrocarburo presente en la columna de agua se obtuvo a través del programa que opera el cromatógrafo de gases, el cual proporciona los resultados a partir de las curvas de calibración individuales de los doce hidrocarburos que se determinaron (Ver anexo, figuras 6-17).

La concentración de cada hidrocarburo depende de la atenuación del cromatograma, el volumen de reconstitución, el volumen de inyección y del volumen de la muestra cuando todas estas variables son constantes e igual a uno la concentración de cada hidrocarburo es la reportada por el equipo de lo contrario se tienen que tomar en cuenta cada una de las variables (UNESCO, 1982) de ahí que:

$$\text{Concentración final} = \frac{(C_e)(A_t \times V_m)}{V_r}$$

Donde: C_e = Concentración reportada por el equipo.
 A_t = Atenuación del cromatograma
 V_m = Volumen de la muestra
 V_r = Volumen de reconstitución

En el anexo (Fig. 5) se presenta un cromatograma característico de los doce PAH's que se buscaron en las muestras de agua, en el se puede observar los tiempos de retención y área de cada hidrocarburo, el orden de aparición se presenta en la tabla 6.

Tabla 6. Orden de aparición y tiempos de retención de los hidrocarburos que contenía el estándar utilizado.

HIDROCARBURO	TIEMPO DE RETENCIÓN
NAFTALENO	3.373
ACENAFTENO	6.673
FENANTRENO	10.454
ANTRACENO	10.595
FLUORANTENO	12.500
PIRENO	15.563
BENZO(A)ANTRACENO	20.759
CRICENO	20.922
BENZO(E)PIRENO	26.291
PERILENO	26.475
BENZO(A)PIRENO	26.804
BENZO(ghi)PERILENO	31.035

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desde 1980 se han reportado datos sobre hidrocarburos disueltos y / o dispersos en diversas zonas costeras del Golfo de México en esta ocasión se evaluó el grado de perturbación por la presencia de hidrocarburos que presenta la columna de agua de una de las principales lagunas del estado de Tabasco.

En la **tabla 7** se encuentran anotados los resultados de las concentraciones de hidrocarburos disueltos y / o dispersos (ppm) obtenidos para las muestras de agua recolectadas durante dos épocas diferentes (estiaje y lluvias) del año 2001 en la Laguna de Mecoaacán, Tabasco.

Para el análisis de estas muestras se utilizó un estándar que solo contenía los hidrocarburos naftaleno, acenafteno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(e)pireno, benzo(a)pireno, perileno y el benzo(ghi)perileno que se consideran de los mas peligrosos por su poder carcinogénico y por consiguiente por su daño al hombre, por lo que no se pudo conocer la concentración de hidrocarburos totales presentes en cada muestra durante los dos muestreos; también cabe señalar que durante las dos épocas de muestreo solo se encontraron los PAH's benzo(a)antraceno, benzo(e)pireno, benzo(a)pireno y el benzo(ghi)perileno de los doce que contenía el estándar utilizado excepto en la estación número 2 que durante estiaje solo presentó el hidrocarburo antraceno en cantidad significativamente baja 0.0002ppm.

Las estaciones que presentaron valores positivos de PAH's, se encuentran en zonas de alto riesgo por su cercanía a instalaciones donde se realizan diversas actividades tanto de almacenamiento como de procesamiento de petróleo, una de estas zonas es el puerto petrolero denominado "Dos Bocas" (estaciones 1,2 y 3) en donde además de las actividades antes mencionadas, se exportan miles de barriles hacia los Estados Unidos por vía marina, lo que ocasiona un mayor riesgo a sufrir la contaminación por hidrocarburos; por otro lado se encuentra el puerto petrolero "Mecoaacán" (estaciones 18,19,20 y 21) cuyos suelos en época de lluvias drenan hacia la laguna.

Otras causas que pudiesen haber ocasionado que las estaciones 1,2 y 3 presentaran valores positivos de hidrocarburos son que se encuentran cerca de los poblados de Paraíso y Bellote cuyas aguas residuales drenan cerca de esta zona y de las corrientes que entran del Golfo de México por la boca de la laguna, que pudiesen haber arrastrado hidrocarburos provenientes de plataformas o embarcaciones.

Las estaciones que durante el mes de abril (estiaje) presentaron concentraciones de hidrocarburos fueron las estaciones 1,2, 3 que se encuentran cerca del puerto petrolero "Dos Bocas" y la estación 19 que se encuentra cerca del campo petrolero Mecoaacán.

La estación 1 presentó los siguientes PAH's benzo(e)pireno, Benzo(a)pireno y benzo(ghi)perileno con concentraciones de 0.0013, 0.004 y 0.0034 ppm respectivamente.

La estación 2 presentó el hidrocarburo antraceno con una concentración de 0.0002ppm que es una concentración que esta muy por de bajo de la dosis letal cincuenta (DL50) reportada para este compuesto que es de 430 mg/kg.

La estación 3 presentó el hidrocarburo benzo(ghi)perileno con una concentración de 0.0063 ppm de este compuesto no se reporta en la literatura su DL50 por lo que no se puede determinar si esta concentración es nociva para la vida acuática de la laguna.

TABLA 7. CONCENTRACIONES DE PAH's (ppm) EN AGUA DE LA LAGUNA DE MECOACÁN, TABASCO, MEXICO.
 ND (no detectable)

E = Estiaje
 LI = Lluvias

Estacion	1			2			3			4			5			6			7			8			9		
	E	LI	E	E	LI	E	E	LI	E	E	LI	E	E	LI	E	E	LI	E	E	LI	E	E	LI	E			
Muestro																											
Hydrocarburos Aromaticos																											
NAFTALENO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
ACENAFTENO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
FENANTRENO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
ANTRACENO	ND	ND	0.003	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
FLUORANTENO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
PERENO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
BENZOAANTRACENO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
CRISENO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
BENZO (A)PIRENO	0.013	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
BENZO (A)PIRENO	0.004	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
PERLENO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
BEZ(1,2,3,4)PERLENO	0.0034	ND	ND	ND	0.0063	ND																					
Suma	0.0087	0	0.0002	0	0.0043	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

Estacion	10			11			12			13			14			15			16			17			18		
	E	LI	E																								
Muestro																											
Hydrocarburos Aromaticos																											
NAFTALENO	ND																										
ACENAFTENO	ND																										
FENANTRENO	ND																										
ANTRACENO	ND																										
FLUORANTENO	ND																										
PERENO	ND																										
BENZO(A)ANTRACENO	ND	0.01																									
CRISENO	ND																										
BENZO (A)PIRENO	ND	0.01																									
BENZO (A)PIRENO	ND																										
PERLENO	ND																										
BEZ(1,2,3,4)PERLENO	ND	0.02																									
Suma	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04			

Estacion	19			20			21		
	E	LI	E	E	LI	E	E	LI	E
Muestro									
Hydrocarburos Aromaticos									
NAFTALENO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ACENAFTENO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
FENANTRENO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ANTRACENO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
FLUORANTENO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PERENO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
BENZO(A)ANTRACENO	ND	0.01	ND	0.02	ND	0.03	ND	0.03	ND
CRISENO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
BENZO (A)PIRENO	0.001	0.02	ND	0.03	ND	0.03	ND	0.03	ND
BENZO (A)PIRENO	ND	0.01	ND	0.01	ND	ND	ND	ND	ND
PERLENO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
BEZ(1,2,3,4)PERLENO	ND	0.02	ND	0.04	ND	0.03	ND	0.03	ND
Suma	0.001	0.04	0	0.1	0	0.08			

TESIS CON
 F. I. DE ODON

La estación 19 presentó el hidrocarburo benzo(e)pireno con una concentración de 0.01ppm.

Durante el mes de agosto (lluvias) las estaciones que presentaron valores positivos de hidrocarburos fueron 18, 19, 20 y 21 que se encuentran cerca de donde drenan los suelos del campo petrolero "Mecoacán".

La estación numero 18 presentó los hidrocarburos benzo(a)antraceno, benzo(e)pireno y benzo(ghi)perileno con concentraciones de 0.01, 0.01 y 0.02 ppm respectivamente.

Lo que respecta a la estación 19 esta presentó los hidrocarburos benzo(a)antraceno, benzo(e)pireno, benzo(a)pireno y benzo(ghi)perileno en concentraciones de 0.01, 0.02, 0.01 y 0.02 ppm respectivamente.

En la estación 20 se encontraron los hidrocarburos benzo(a)antraceno, benzo(e)pireno, benzo(a)pireno y benzo(ghi)perileno en concentraciones de 0.02, 0.03, 0.01 y 0.04 ppm respectivamente.

Junto con la estación 19 la estación 20 fue de las estaciones que presentaron los cuatro hidrocarburos que persistieron durante los dos muestreos.

Para la estación 21 se encontraron los hidrocarburos benzo(a)antraceno, benzo(e)pireno y benzo(ghi)perileno en concentraciones de 0.02, 0.03 y 0.03 ppm respectivamente.

Para poder comparar los resultados obtenidos con los reportados por diversos autores en sistemas costeros, se sumaron las concentraciones para cada estación y se saco un promedio para cada muestreo, durante estiaje se tuvo una concentración promedio de 0.004 ppm y durante lluvias de 0.07 ppm.

En la **tabla 8** se encuentran anotados los niveles de hidrocarburos en agua de sistemas costeros reportados por diferentes autores.

Tabla 8. Niveles de hidrocarburos en agua de sistemas costeros reportados por diferentes autores (Botello y col. 1996).

LOCALIDAD	CONCENTRACIÓN(ppm)	REFERENCIA
L. Ostión, Veracruz	0.0184	Botello y Paez-Osuna, (1984)
L. Carmen, Tabasco	0.004	Botello y Macko, (1982)
L. Machona, Tabasco	0.007	Botello y Macko, (1982)
L. Mecoacán, Tabasco	0.005	Botello y Macko, (1982)
L. Términos, Campeche	0.048	Botello, (1985)
L. Bojorquez, Quintana Roo	0.0044	Botello, (1985)

Comparando las concentraciones promedio obtenidas se puede apreciar que durante estiaje se obtuvo una concentración promedio menor que la obtenida por Botello y Macko en 1982 para las Lagunas de Mecoacán y Machona e igual ala obtenida en la Laguna de Carmen que estuvieron dentro del límite permisible de 0.01 ppm de hidrocarburos para aguas superficiales no contaminadas establecido por la UNESCO (1976).

Durante la época de lluvias se tuvo una concentración promedio mayor a la reportada por Botello en 1985 para la Laguna de Términos, Campeche que es de las lagunas más contaminadas ya que se encuentra justamente en la Sonda de Campeche, región de extracción petrolera donde apenas a no más de 80 km de la laguna se localiza la zona de plataformas más grande del país.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En la figura 4 se encuentran graficadas las concentraciones totales de hidrocarburos para cada estación que presentó valores positivos de éstos, en él se puede observar y reiterar que durante la época de lluvias se presentaron las concentraciones más altas de hidrocarburos.

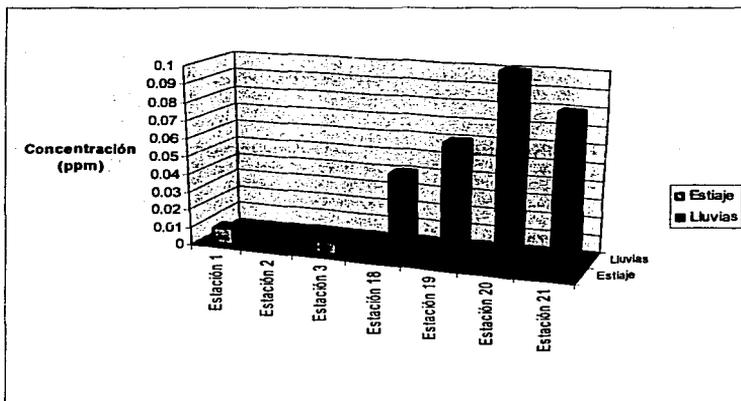


Figura 4. Concentraciones totales de PAH's (ppm) encontrados en cada estación durante los dos muestreos (estiaje y lluvias)

TESIS CGN
FALLA DE ORIGEN

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se logró determinar los niveles de hidrocarburos presentes en la columna de agua de la Laguna de Meacoacán, Tabasco durante las dos épocas de muestreo realizadas durante el año 2001 obteniendo los siguientes resultados:

1. Para el mes de Abril (estiaje) las estaciones de muestreo que presentaron valores positivos de hidrocarburos fueron: 1, 2, 3 y 19 los cuales estuvieron en un rango de 0.0002 a 0.0063 ppm.
2. Durante el mes de Agosto (lluvias) se tuvieron las concentraciones más altas y se presentaron en las estaciones: 18, 19, 20 y 21 en un rango de 0.01 a 0.04 ppm.

Las concentraciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH's) detectados en la columna de agua, indican que existe una introducción eventual pero en cantidades significativas de estos; sobre todo de cuatro de los PAH's más carcinogénicos como lo son el benzo(a)antraceno, benzo(e)pireno, benzo(a)pireno y benzo(ghi)perileno.

Las estaciones muestreadas que presentaron valores positivos de PAH's se encuentran ubicados en el Río Seco el cual limita con el área del puerto petrolero "Dos Bocas" (estaciones 1, 2 y 3) y cerca del área donde drenan los suelos del campo petrolero "Meacoacán"(estaciones 18, 19, 20 y 21).

Las mayores concentraciones registradas durante el mes de agosto (lluvias) respecto al mes de abril (estiaje) indican que los aportes fluviales durante la época de lluvias introducen PAH's que provienen muy probablemente del lavado de suelos de áreas relacionadas con la explotación del petróleo sobre todo en las estaciones 18, 19, 20 y 21.

Las concentraciones de las estaciones 18, 19, 20 y 21 que durante la época de lluvias fueron las más contaminadas, indican que los PAH's son sedimentados, bioacumulados o degradados rápidamente ya que no permanecen en la columna de agua por mucho tiempo como se observó durante estiaje donde prácticamente estas estaciones no tuvieron nada; excepto la estación 19 que presentó benzo(e)pireno.

Respecto a las demás estaciones de muestreo éstas mostraron una gran uniformidad ya que ninguna presentó rastro alguno de contaminación por los doce PAH's que se buscaron.

Las dos zonas que registraron valores positivos de PAH's se encuentran cerca de áreas donde PEMEX tiene instalaciones por lo que se le atribuye la contaminación de estas zonas.

De acuerdo con los valores de la dosis letal media (LD₅₀) para los PAH's encontrados, estos no ponen en peligro la salud humana; sin embargo no se puede descartar la posibilidad de que estas concentraciones lleguen a poner en peligro la vida acuática que habita en la laguna sobre todo a los moluscos bivalvos por su capacidad de bioacumulación, ya que la sola presencia de estos PAH's en el medio acuático es muy significativa por su elevada toxicidad y propiedades carcinogénicas aun en concentraciones muy bajas.

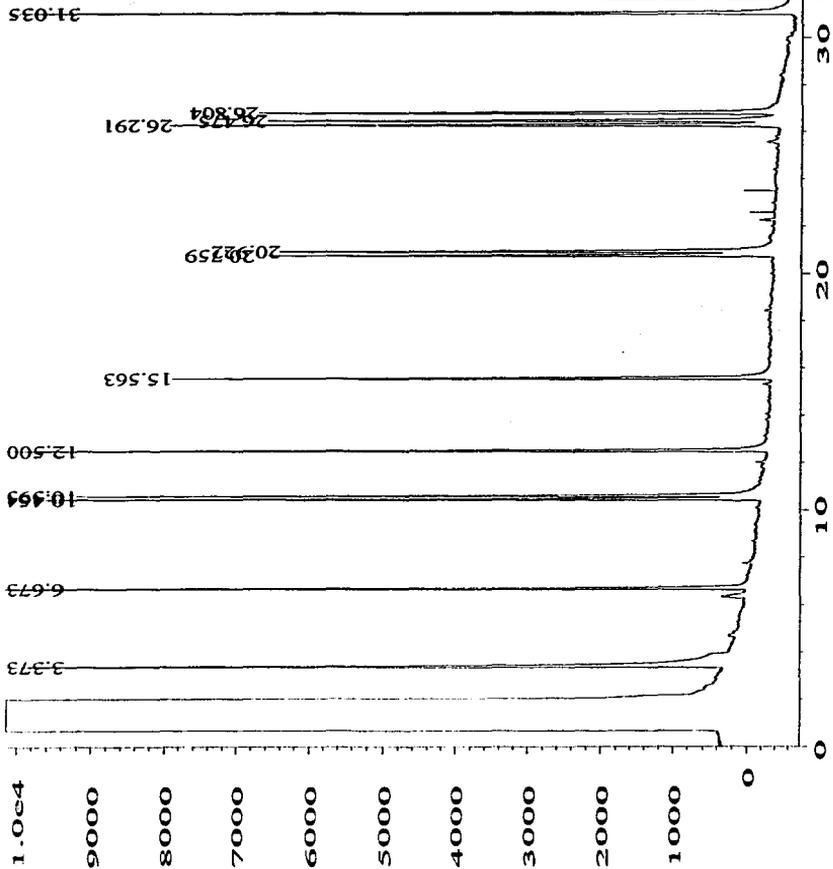
Se recomienda continuar con el monitoreo de hidrocarburos en columna líquida con el fin de obtener una evaluación permanente de la calidad del agua de la Laguna de Mecoacán.

Mantener programas de monitoreo de sustancias tóxicas en peces a fin de evaluar su variación en el tiempo.

Llevar a cabo un muestreo de sedimentos de fondo en la Laguna, con el fin de investigar la presencia de metales/metaloideos e hidrocarburos aromáticos polinucleares.

ANEXO
(Cromatograma característico y curvas de calibración de los doce PAH's que se determinaron).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Sig. 1 in D:\HP\CHEM\DATA\ERM-2\PAH75

Figura 5. Cromatograma característico de los 12 PAH's a determinar.

NAFTALENO

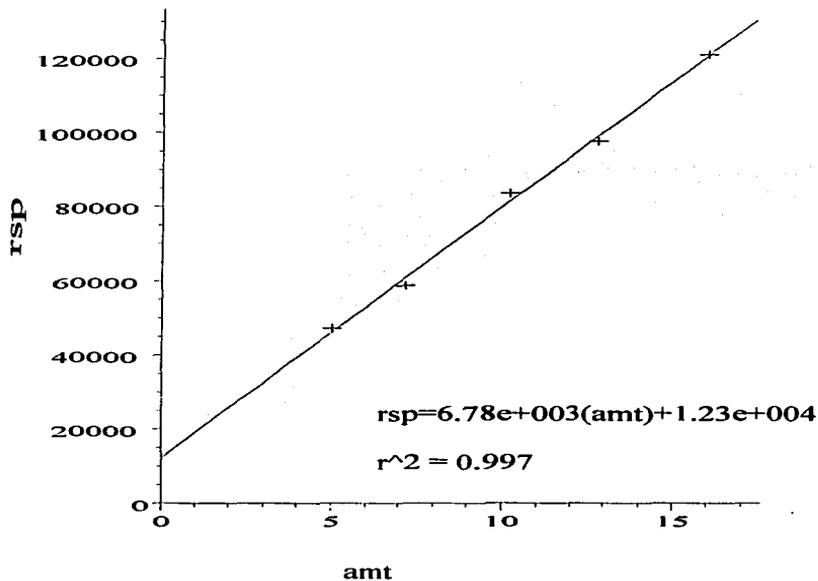


Figura 6. Curva de Calibración del Naftaleno

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ACENAFTENO

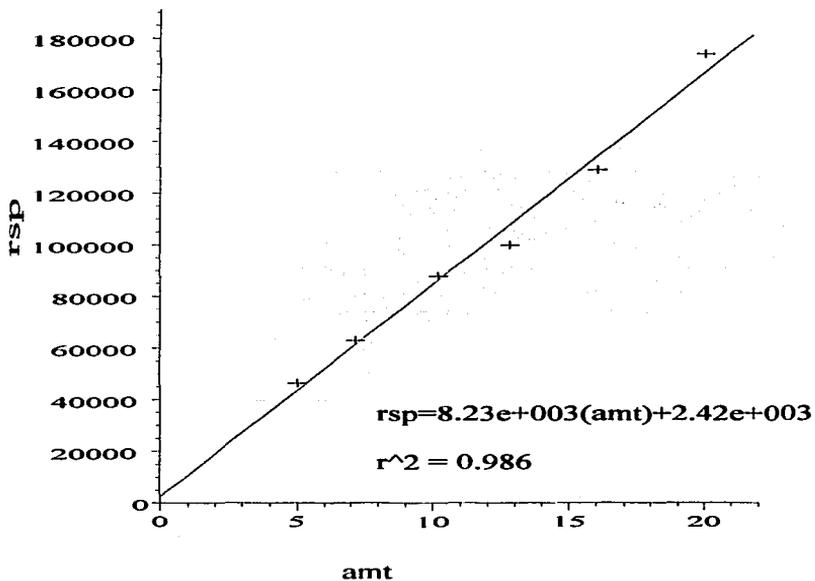


Figura 7. Curva de Calibración del Acenafeno

FENANTRENO

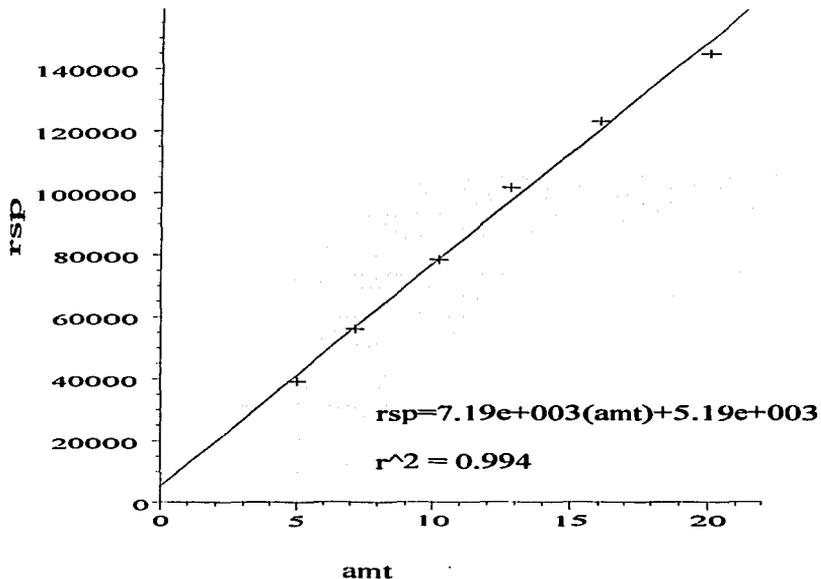


Figura 8. Curva de Calibración del Fenantreno

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

ANTRACENO

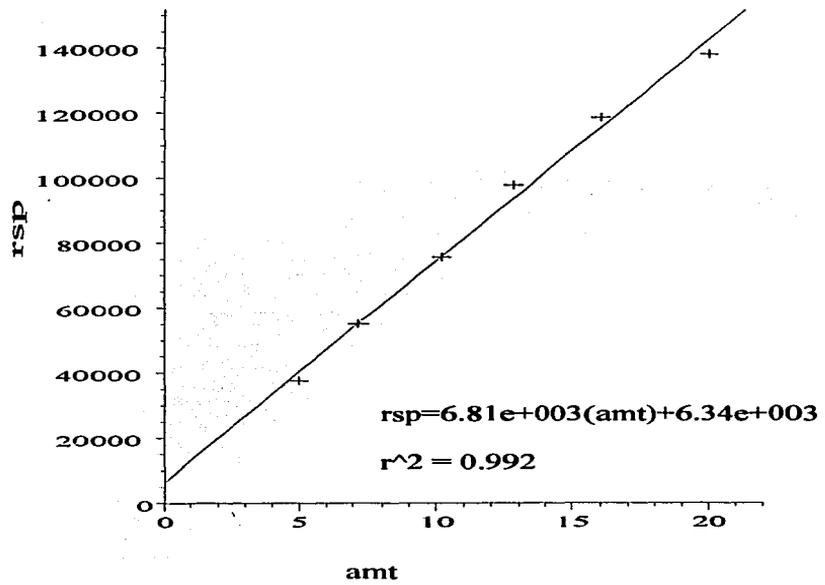


Figura 9. Curva de Calibración del Antraceno

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FLUORANTENO

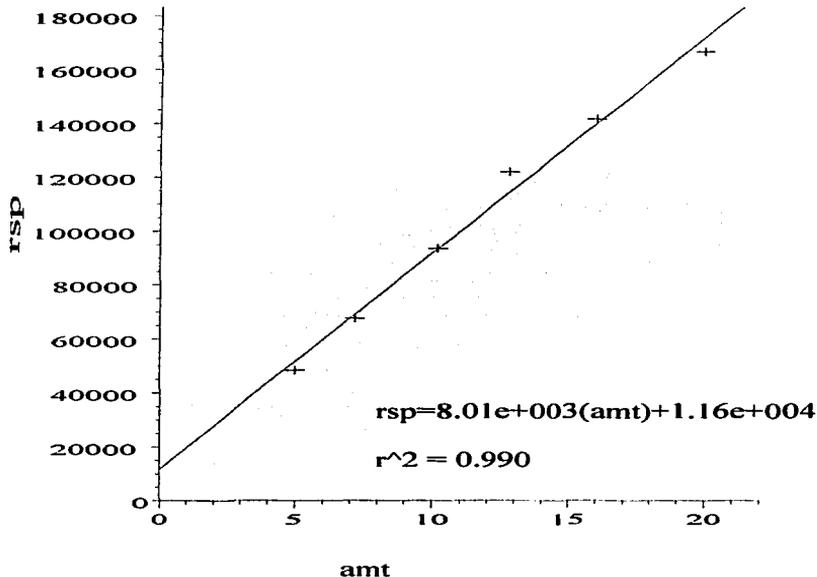


Figura 10. Curva de Calibración del Fluoranteno

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

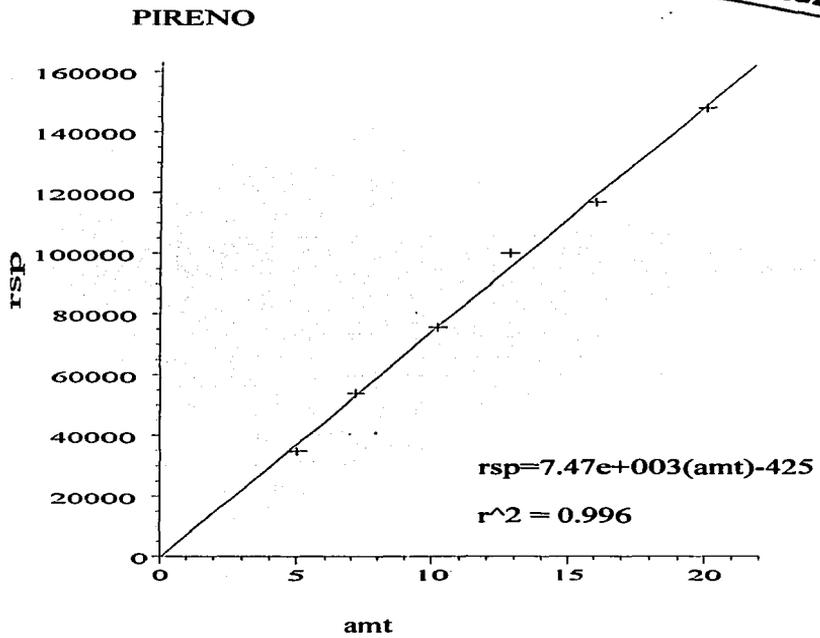


Figura 11. Curva de Calibración del Pireno

BENZO(A)ANTRACENO

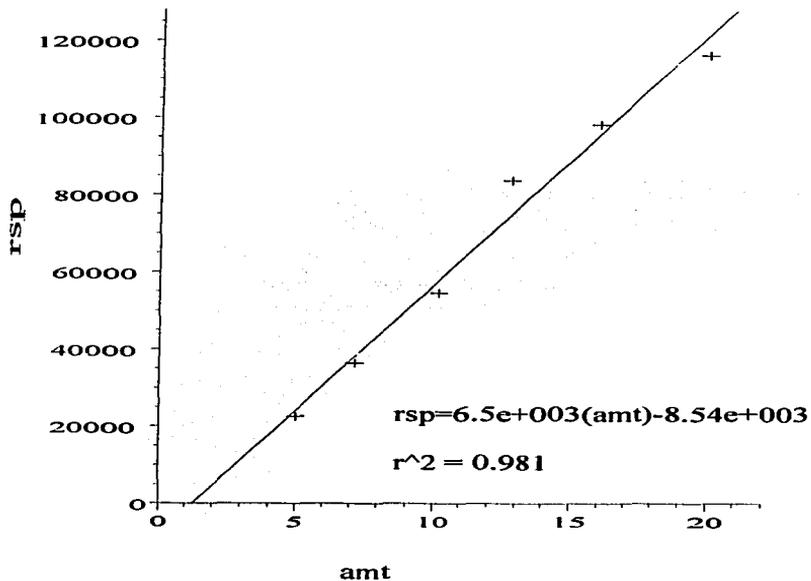


Figura 12. Curva de Calibración del Benzo(a)antraceno

AL SIG CON
FALLA DE ORIGEN

CRISENO

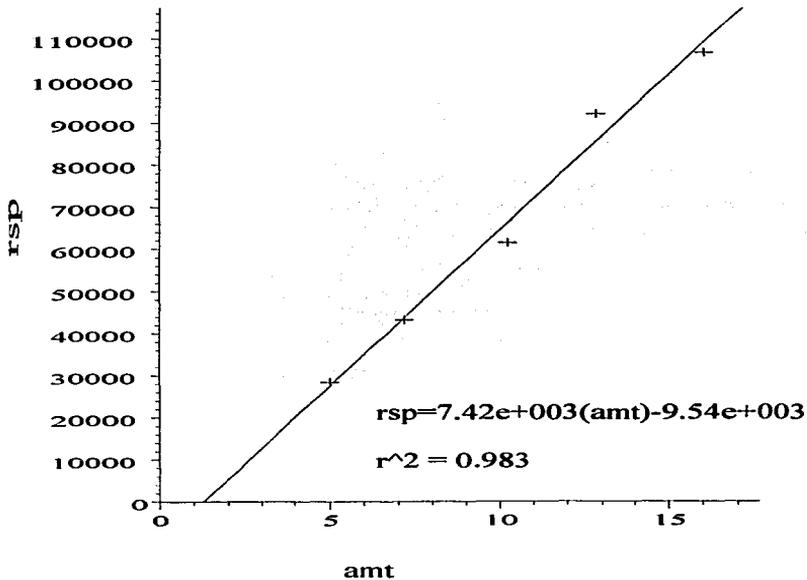


Figura 13. Curva de Calibración del Criseno

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BENZO(E)PIRENO

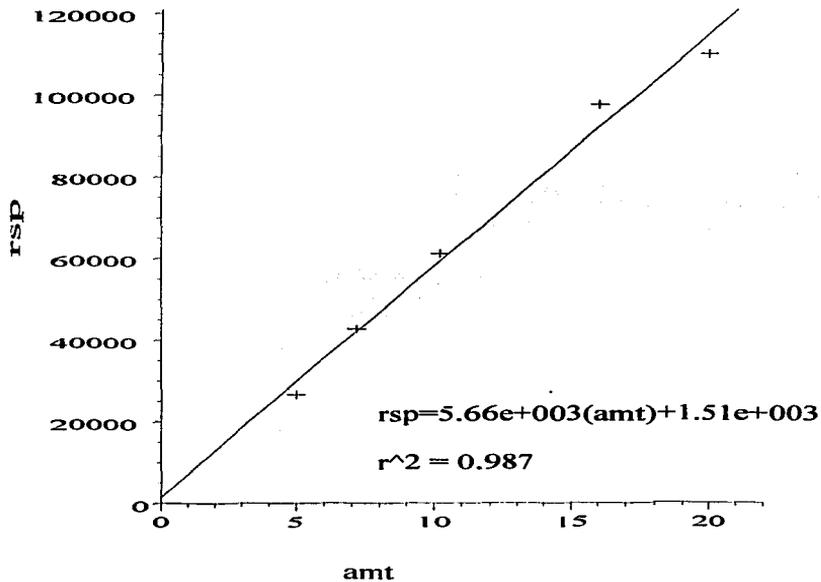


Figura 14. Curva de Calibración del Benzo(e)pireno

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PERILENO

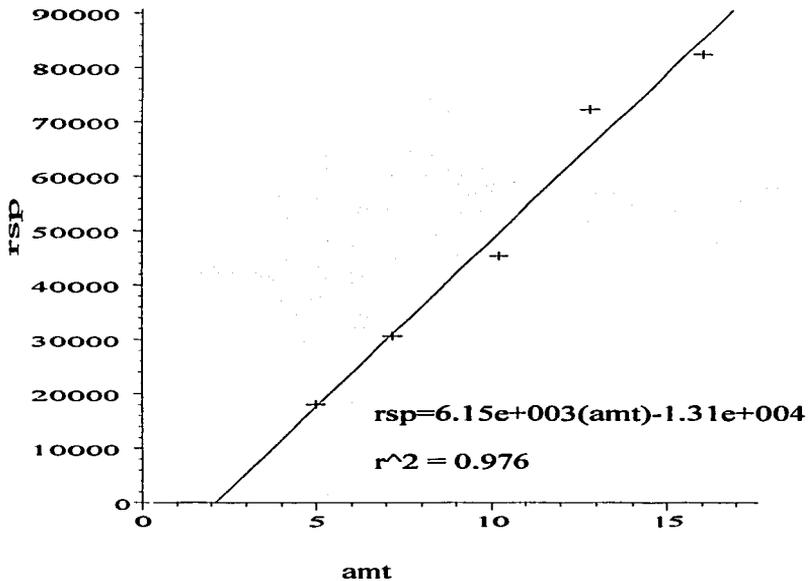


Figura 15. Curva de Calibración del Perileno

TESIS CON
FALLA DE ORDEN

BENZO(A)PIRENO

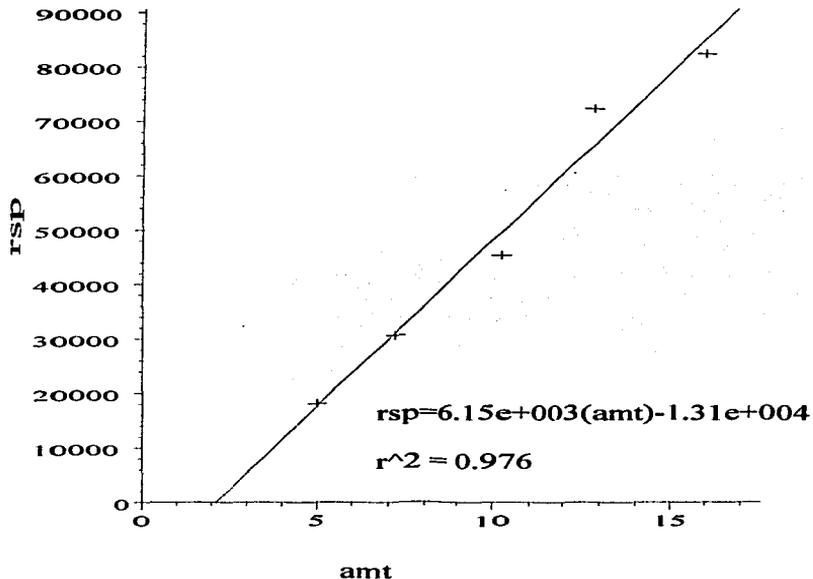


Figura 16. Curva de Calibración del Benzo(a)pireno

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Benzo(ghi)perileno

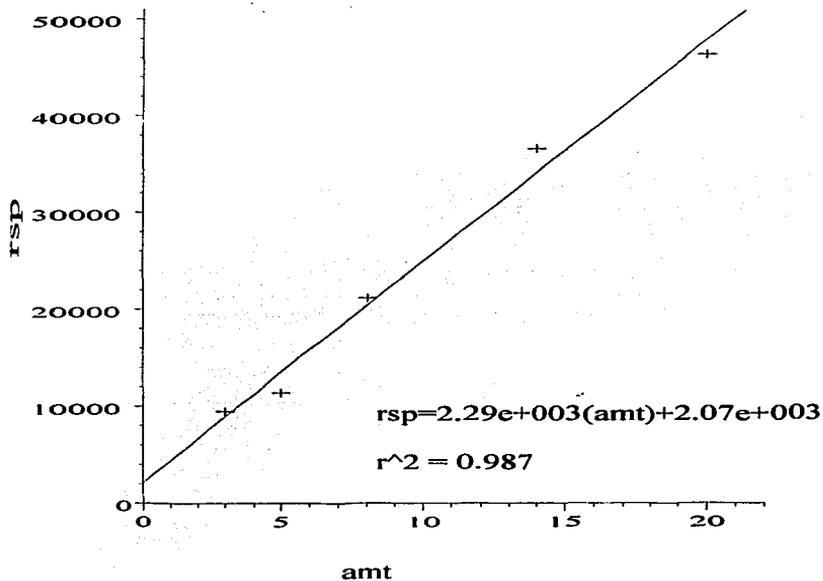


Figura 17. Curva de Calibración del Benzo(ghi)perileno

BIBLIOGRAFÍA

APHA. 1996. APHA guide to drug treatment protocols: a resource for creating and using disease-specific pathways; ed. Patti Gasdek Manolakis. Washington, DC.

Bedair, H. M. y Al-Saad, H. M. 1992. Dissolved and Particulate Adsorbed Hydrocarbons in water of Shatt Al-Arab River, Iraq. *Water, Air, Soil Pollution* 61:397-408.

Bidleman, T. F., Castleberry, A. A., Foreman, W. T., Zaransk, M. T y Wall, D. W. 1990. Petroleum Hydrocarbons in the Surface Water of Two Studies in the Southeastern United States. *Est. Coast Shelf Science* 30:91-10.

Botello, A. V. 1981. "Niveles actuales de hidrocarburos disueltos en los sistemas lagunares del estado de Tabasco, México." México: UNAM, Centro de Ciencias del Mar y Limnología, 1981.

Botello, A. V. y Páez, F. 1987. El problema crucial: La Contaminación. Serie Medio Ambiental en Coatzacoalcos. Centro de Ecodesarrollo, México.

Botello, A. V., González, C. y Díaz, G. 1991. Pollution by petroleum hydrocarbons in sediments from continental shelf of Tabasco State, Mexico. *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology* 47:565-571.

Botello, A. V., Ponce, G. V. y Macko, S. A. 1996. Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX Serie Científica. 5. 666 p.

Castro, G. S. 1981. "Determinación de los Niveles de Hidrocarburos en Sedimentos Resientes y en el Ostión *Crassostrea virginia* De la Laguna Mecoacán, Tabasco, México " Tesis de Licenciatura Facultad de Ciencias UNAM.

Centro de Ecodesarrollo. 1981 (México). Las lagunas costeras de Tabasco: Un ecosistema en peligro. México: Centro de ecodesarrollo, 1981.

Contreras, F. 1985. Las Lagunas Costeras Mexicanas. Centro de Ecodesarrollo. Secretaria de pesca.

Chappin, R. G. y Summerlin, L. R. 1988. Química. Publicaciones Cultural. México.

Clark, R. C. y Blumer, M. 1967. Distribution of n-paraffins in marine organisms and sediments. *Limnology Oceanography* 12:79-87.

Clement, L. E., Stekoll, M. S. y Shaw, D. G. 1980. Accumulation, Fractionation and Release of Oil by the Intertidal Clam *Macoma balthica*. *Marine Biology* 57: 41-51

Cruz, L. 2001. Lagunas costeras, espejos de la vida amenazados: Consulta en Internet. Dirección electrónica: www.jornada.unam.mx.

De la Lanza, G. 1994. Lagunas costeras y el litoral mexicano. Universidad Autónoma de Baja California Sur.

Díaz de Santos. 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales / Preparado y publ. conjuntamente por american public health association, american water works association, water pollution control federation. Madrid, España.

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

Farrington, J. W. 1985. Oil in the sea. Inputs, fates and effects. National Academy Press. Washington, D.C.

Fernandes, M. B., Sicre, M. A., Boireau, A y Tronszynski, J. 1997. Polyaromatic hydrocarbon (PAH) distributions in the Seine River and its estuary. *Marine Pollution Bulletin* 34: 857-867.

García, C. F., Escobar, L., González, A. y Reguero, M. 1990. Moluscos de la laguna Mecoacán, Tabasco, México: Sistemática y Ecología. *An. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*, 17 (1): 1-30.

GESAMP. 1977. Joint group of experts on the scientifics of marine pollution "impact of oil on the marine environment". Report and studies. No. 6. 255pp.

Gesine, W. y Wolfgang, M. 2001. The impact of salt water inflows on the distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the deep water of the Baltic Sea. *Marine Chemistry* 74 (2001): 279-301.

Gutiérrez, E. M. 1990. Los Residuos Sólidos Peligrosos: ¿Un Riesgo sin Solución?. Ciencias. No. 20 UNAM.

Greenpeace, 1997. La ruta del petróleo. Lagunas costeras: historia de un ecocidio. Consulta en Internet. Dirección electrónica: <http://www.laneta.apc.org/emis/gpeace/rutaoil.htm>.

Hoffman, E. J., Mills, G. L., Latimer, J. S. y Quinn, J. G. 1984. Urban runoff as a source of polycyclic aromatic hydrocarbons to coastal waters. *Environmental Science and Technology* 18: 580-587.

IMP. 2002. Acerca del petróleo. Composición. Consulta en Internet. Dirección electrónica: <http://www.imp.mx/petroleo/apuntes/composicion.htm>

Kennicut, M. C., Wade, T. L., Presley, B. J., Requejo, A. G., Brooks, J. M. y Denoux, G. J. 1994. Sediment contaminants in Casco Bay, Maine: inventories, sources, and potential for biological impact. *Environmental Science and Technology* 28: 1-15.

Lake, J. L., Norwood, C., Dimock, C. y Bowen, R. 1979. Origins of polycyclic aromatic hydrocarbons in estuarine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 43:1847-1854.

López, H. E. y Maldonado M. F. 1997 Diagnostico y evaluación del impacto ambiental en comunidades bióticas de los sistemas lagunares costeros Mecoacán y Carmen-Pajonal-Machona. Villahermosa, Tabasco.

- Maskaoui, K., Zhou, J. L., Hong, H. S. y Zhang, Z. L. 2002. Contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Jiulong River Estuary and Western Xiamen Sea, China. *Environmental Pollution* 118 (2002) 109-122.
- Menzie, C. A., Potocki, B. B. y Santodonato, J. 1992. Exposure to Carcinogenic Polycyclic Hydrocarbons in the Environment. *Environmental Science and Technology* 26:1278-1284.
- Michael, J. D. y Mannfred, A. H. 2002. *Handbook of toxicology*. 2nd ed. 1414 p.
- Moore, S. F. 1974. Effects of oil on marine organism: a critical assessment of published data. *Water Research* 8:819-827.
- Muñoz, C. L., Juárez, R. y Cabrera, M. 1994. Evaluación de metales pesados en sedimentos de la laguna de Mecoacán, Tabasco. Res. X Simposium Internacional Biología Marina 76.
- Odum, W. E. 1970. Insidious Alteration of the Estuarine Environment. *Trans. Am. Fish. Soc.* 99: 836-847.
- Padilla, R. M. 1989. Determinación de los Niveles de Hidrocarburos en Sedimentos Residentes del Río Calzadas en la Región del Bajo Río Coatzacoalcos, Veracruz. México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM.
- PEMEX. 1988. El Petróleo. Gerencia de información y Relaciones Públicas. México.
- Pradyot, P. 1992. *A Comprehensive Guide to the hazardous Properties of chemical Substances*.
- PROFEPA. 1999. Restauración de Suelos Contaminados. Grupo de Trabajo sobre Restauración de Suelos Contaminados. Pagina web. México.
- Pruell, R. J. y Quinn, J. G. 1985. Geochemistry of organic contaminants in Narragansett Bay sediments. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 21: 295-312
- Toledo, O. A. 1988. Energía, Medio Ambiente y Desarrollo. Serie medio ambiente en Coatzacoalcos. Centro de Ecodesarrollo. Vol. 5 Méx.
- UNESCO. 1976. Guide to operational procedures for the IGOSS pilot project on marine pollution (petroleum). *Monitoring Manual and guides* No7.
- UNESCO, 1982. The determination of petroleum hydrocarbons in sediments. *Intergovernmental Oceanographic Commission. Manuals and guides*.
- Salas, G. R. 1986. Estudio hidrológicos y nivel de alteración causado de organoclorados en las lagunas Mecoacán y Carmen-Machona, Tabasco, México. Tesis profesional Facultad de Ciencias, UNAM.
- Saval, B. S. 1995. Acciones para la remediación de Suelos en México. Segundo Mini simposio Internacional sobre Contaminantes del Agua y Suelo. Instituto de Ingeniería. UNAM.

Vázquez, G. F., Gutiérrez, E. M., Aguayo, C. E., Fernández, P. H., Díaz, R. A. y Alexander, V. H. 1994. El Sistema Lagunar El Carmen-Pajonal-La Machona: Su Hidrodinámica, la Estabilidad de sus bocas y de su línea de costa. Ed. UNAM. México.

Venkatesan, M.I. y Kaplan, I.R. 1982. Distribution and transport of hydrocarbons in surface sediments of the Alaskan Outer Continental Shelf. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 46: 2135-2149.

Youngblood, W. W y Blumer, M. 1975. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the environment: homologous series in soils and recent marine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 39: 1303-1314.