

# Contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP'S) disueltos en la laguna Mecoacán, Tabasco, México.

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

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

---

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

## RESUMEN

Se presentan los resultados del análisis de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) de 23 muestras de agua superficial, colectadas en febrero (época de nortes) y octubre (época de lluvias) de 1993 en 15 estaciones en la laguna de Mecoacán, Tabasco. Los análisis se efectuaron mediante cromatografía de gases, empleando columnas capilares de alta resolución. Durante febrero la concentración total de los HAP's fué de 4.26  $\mu\text{g/l}$  y osciló entre 0.223 y 0.763  $\mu\text{g/l}$ . En octubre esta concentración aumentó al doble (9.72  $\mu\text{g/l}$ ) y vario entre 0.375 y 2.810  $\mu\text{g/l}$ . El máximo nivel encontrado es similar a los reportados por otros autores para zonas industrializadas. Los resultados demuestran que la laguna de Mecoacán se encuentra contaminada por la presencia de HAP's, cuya concentración total llega a ser hasta 3 órdenes de magnitud mayor que aquella considerada como natural (10 ng/l) en las aguas costeras y estuarinas no contaminadas. Es de singular relevancia la presencia de Benzo(a)pireno y de Indeno(1,2 cd)pireno en la laguna ya que estos compuestos han sido reportados recientemente como carcinogénicos y con elevada genotoxicidad.

**Palabras clave:** Hidrocarburos aromáticos policíclicos, laguna de Mecoacán, contaminación, columna de agua.

## ABSTRACT

The results of the analysis for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH'S) of 23 samples of water collected during february (nortwinds season) and october (rainy season) 1993 in 15 sampling stations of Mecoacan lagoon in Tabasco state are presented. The analysis were performed by using gas chromatography with capillary columns of high resolution. In february 1993, the total concentration for PAH's was 4.26  $\mu\text{g/l}$  within a range of 0.223 to 0.763  $\mu\text{g/l}$ , increasing the double (9.72  $\mu\text{g/l}$ ) during october 1993 with values between 0.375 and 2.810  $\mu\text{g/l}$ , being comparable with those reported for sites highly industrialized. The results shown that Mecoacan lagoon is polluted by the presence of PAH's whose concentrations are up to 3 orders of magnitud higher than those established for coastal and estuarine waters non-polluted (10 ng/l). Of paramount importance is the presence of Benzo(a)pyrene and Indeno(1,2 cd)pyrene, because their genotoxicity and carcinogenic properties.

**Key words:** Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH's), Mecoacan lagoon, pollution, water column.

## INTRODUCCIÓN

El petróleo en una u otra forma ha sido empleado por los humanos desde los tiempos bíblicos, ya que las filtraciones naturales proporcionaron betúmen que fue utilizado como material para construcción en antiguas ciudades.

Con el advenimiento de las refinerías en el siglo XIX fue posible separar los querosenos de otros componentes del petróleo crudo, los cuales reemplazaron al aceite de ballenas y de vegetales como combustible para el alumbrado público (Laws, 1993).

Asimismo, la introducción de compuestos del petróleo en los océanos mundiales debido a filtraciones se ha presentado desde hace cientos o probablemente millones de años, y representa un volumen considerable y de la misma magnitud que los aportes antropogénicos.

De acuerdo con Mackay y McAulife (1988), las principales fuentes de aporte del petróleo a los océanos incluyen filtraciones naturales, derrames accidentales, colisiones de buques-tanque, emisiones de refinerías, lavado de sentinas, fugas de oleoductos, escurrimientos urbanos, municipales y descarga de aguas negras. El petróleo también puede estar presente en forma disuelta y dispersa, y las altas concentraciones de estas dos fases pueden afectar a especies de bivalvos y peces de importancia comercial.

Es indudable que los sedimentos juegan un papel importante en la retención de los componentes del petróleo, ya que al sedimentarse éstos son almacenados por periodos de tiempo largos, convirtiéndose así en fuentes de contaminación. Recientemente los sedimentos han sido empleados como indicadores geoquímicos, ya que reciben los aportes del drenaje terrestre y la deposición atmosférica (Bayona et al., 1993).

Dentro de los componentes del petróleo, un grupo de especial importancia lo conforman los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's), los cuales son considerados carcino-génicos y mutagénicos, tóxicos para los organismos acuáticos (Malins y McCan, 1984). Estos pueden ser absorbidos y acumulados en los sedimentos a partir de fuentes de contaminación o bien de la descarga de aguas contaminadas (Uthe, 1979).

Así, el principal objetivo de este estudio fue evaluar los niveles de contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) disueltos del sistema lagunar de Mecocacán, Tabasco; tomando en consideración dos épocas climáticas contrastantes en la región como son la época de "nortes" (febrero) y la época de lluvias (octubre), y sobre todo por su cercanía a sitios con una intensa actividad petrolera.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema lagunar de Mecocacán (Fig. 1) se ubica en el Estado de Tabasco, en el litoral del Golfo de México, entre los meridianos 93° 04' y 93° 14' y los paralelos 18° 16' y 18° 26'. La laguna forma parte del cuerpo deltáico de los ríos Grijalva y Usumacinta y 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 7 km en su parte más ancha. El clima es del tipo cálido húmedo con lluvias todo el año; la precipitación del mes más seco es mayor a 60 mm y el porcentaje de lluvia invernal con respecto a la anual es menor de 18% (García, 1973).

La profundidad de la laguna oscila entre 0.30 y 2.30 m, y el promedio es de 1 m. El canal de acceso al mar registra algunos tramos con honduras de 8 m y se localiza al norte. La laguna está formada por un par de cuerpos ovalados que se comunican permanentemente con el mar a través de la Barra de Dos Bocas. En la parte oriental de la laguna desemboca el río Escarbado (15 m de ancho), el cual sirve de enlace con el río González, que drena al Golfo de México. Otros 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, respectivamente (Castro-Gessner, 1981).

Los sedimentos lagunares son terrígenos, la mayoría areno-limosos, con cantidades menores de arcilla y su distribución litológica se relaciona con la dinámica del agua y con la existencia de bancos ostrícolas. La tasa promedio de sedimentación es de aproximadamente 1.5 cm/año (Galaviz et al., 1987).

La vegetación circundante es del tipo bosque de mangle; además, hay un tipo de popal (Mucalera) (López-Portillo, 1982, citado por Contreras, 1993). El aporte principal de materia orgánica proviene de los detritos del manglar que rodea la laguna, así como del lirio acuático arrastrado por los ríos que desembocan en la misma.

La marea penetra en el sistema y se distribuye hacia el sur y sureste de la laguna, con una ligera circulación en sentido de las manecillas del reloj que se acentúa a medida que transcurre la pleamar; finalmente se pierde esta circulación y la masa de agua se dirige hacia la boca de la laguna durante la bajamar (Castro-Gessner, 1981).

Las muestras de agua se colectaron en febrero (10 estaciones) y octubre (13 estaciones) de 1993, distribuidas en el área lagunar de Mecocacán (Fig. 1). Todas las colectas se hicieron en pleamar y el tiempo transcurrido para cubrir todas las estaciones fue de aproximadamente 3 horas.

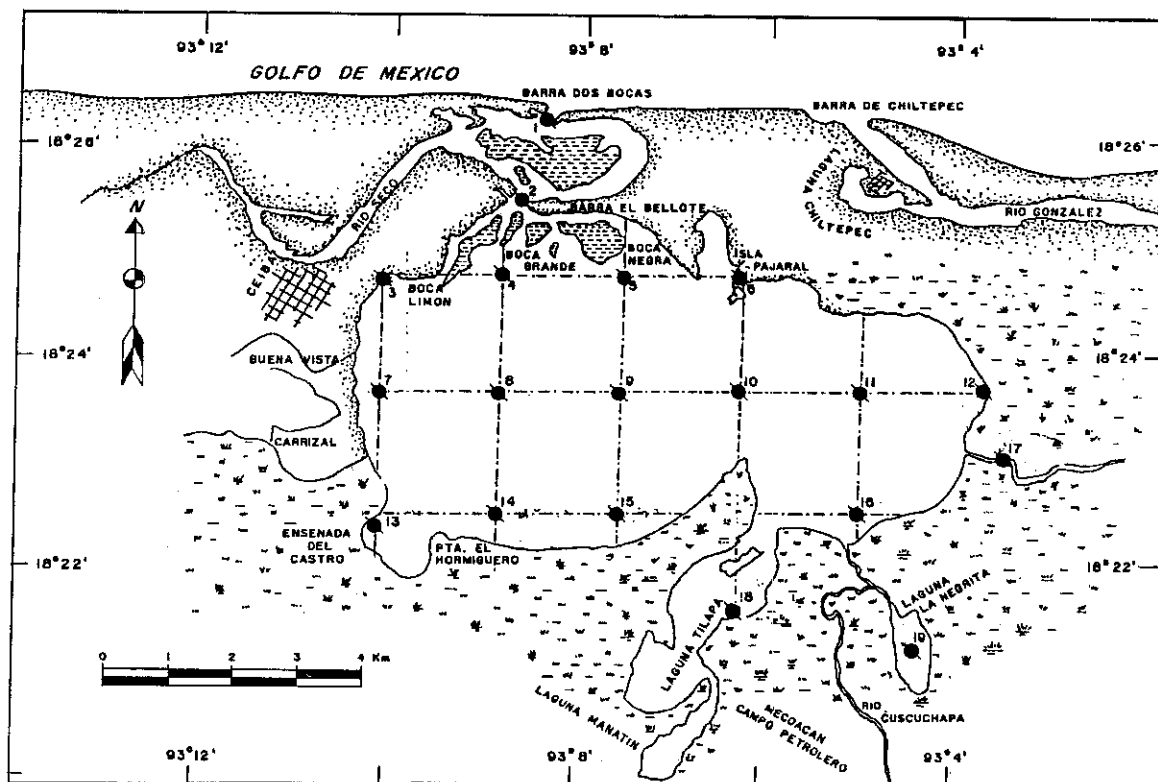


Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo para HAP's disueltos en la Laguna Mecoacán, Tabasco.

La metodología empleada para el análisis de hidrocarburos disueltos dispersos en la columna de agua fue la propuesta por CARIPOL (1986). Consiste en la colecta de agua subsuperficial (1 m por debajo de la superficie) utilizando un frasco ámbar con capacidad de 3 litros que es el volumen a partir del cual se hace la extracción con hexano (100 ml) para "atrapar" los compuestos orgánicos que contienen a los hidrocarburos.

Esta fase orgánica se rotoevaporó hasta aproximadamente 2 ml los cuales fueron eluidos con 50 ml de diclorometano a través de columnas cromatográficas de 30 cm de largo por 1.5 cm de diámetro interno y empacadas con sílica gel y alúmina activada para fraccionar y purificar los diferentes hidrocarburos presentes en las muestras.

Los eluatos de ambas fracciones se llevaron a sequedad y se reconstituyeron con 250  $\mu$ l de hexano bidestilado para su análisis cromatográfico.

Para tal fin se empleó un cromatógrafo de gases Hewlett Packard modelo 5890 Series II, equipado con detector de ionización de flama y empleando una columna capilar de

30 m x 0.32 mm D.I. x 0.25  $\mu$ m de grosor de capa y con fase fenil metil-silicona al 5%.

Se usaron dos rampas de temperatura, la primera con una fase isotérmica de 90°C por 2 min, incrementándose a una razón de 10°C/min y la segunda de 180-300°C (5 min) con un incremento de 6°C/min. El límite de detección de la técnica empleada fue de 0.02  $\mu$ g/l.

Tanto el inyector como el detector se mantuvieron a 300°C, empleándose como gas transportador He y como auxiliar N<sub>2</sub> ambos de alta pureza (Linde).

Los HAP's obtenidos en los cromatogramas se compararon y confirmaron por sus tiempos de retención, contra un estándar externo conformado por 15 compuestos aromáticos (Chem Service, Inc.) cuyo cromatograma (Fig. 2) muestra los siguientes hidrocarburos aromáticos: 1. Naftaleno, 2. Acenaftileno, 3. Acenafteno, 4. Fluoreno, 5. Fenantreno, 6. Antraceno, 7. Fluoranteno, 8. Pireno, 9. Benzo(a)antraceno, 10. Criseno, 11. Benzo(b)fluoranteno, 12. Benzo(k) fluoranteno, 13. Benzo(a)pireno, 14. Benzo(ghi)perileno, 15. Indeno(1,2 cd)pireno.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las tablas 1 y 2 se muestran las concentraciones de HAP's disueltos obtenidos por el análisis de cromatografía de gases en cada estación de muestreo, durante la época de nortes (febrero) y la de lluvias (octubre) de 1993.

Las estaciones 4 (0.76  $\mu\text{g/l}$ ), 9 (0.52  $\mu\text{g/l}$ ) y 8 (0.51  $\mu\text{g/l}$ ) mostraron las concentraciones totales más elevadas de HAP's durante febrero de 1993; siendo áreas influenciadas directamente por los desechos de los campos petroleros de la zona, los cuales se ubican al sur de la laguna y esto se manifiesta por la gran variedad de HAP's que se identificaron.

El resto de las estaciones (5, 6, 7, 11, 12 y 17) se mantiene en niveles menores y constantes de HAP's correspondiendo a la estación 12, localizada en el extremo oriental de la laguna, la concentración más baja durante esta época (0.24  $\mu\text{g/l}$ ).

La concentración total de HAP's en el área lagunar en febrero de 1993 fue de 4.26  $\mu\text{g/l}$  (Tabla 1).

Durante octubre de 1993 los niveles de HAP's totales en el área lagunar se duplicaron (9.72  $\mu\text{g/l}$ ), lo cual se relaciona con el aporte de estos compuestos por el arrastre de las lluvias desde sus sitios de origen.

En este periodo, las estaciones 8 (0.76  $\mu\text{g/l}$ ), 9 (0.82  $\mu\text{g/l}$ ), 10 (0.72  $\mu\text{g/l}$ ), 11 (0.77  $\mu\text{g/l}$ ) y especialmente la 17 (2.81  $\mu\text{g/l}$ ) presentaron las concentraciones más elevadas de HAP's disueltos, siendo este valor el máximo determinado y similar a los reportados para sitios altamente industrializados (Bouloubassi y Saliot, 1993).

Las estaciones 5, 12, 13, 14, 15, 16, 18 y 19; presentaron niveles más bajos de HAP's correspondiendo la menor concentración a la estación 16 (0.37  $\mu\text{g/l}$ ) la cual se ubica en la desembocadura de la laguna La Negrita, en el extremo sureste de Mecoacán (Tabla 2).

La variabilidad espacial de las concentraciones de los HAP's dentro del cuerpo lagunar, estuvo marcada por una tendencia a decrecer en las áreas próximas a la boca, lo que indica una importante remoción de HAP's en forma

Tabla 1. Hidrocarburos Disueltos Dispersos ( $\mu\text{g/l}$ ) en agua de la Laguna de Mecoacán, Tab. (Febrero 1993, periodo de nortes).

COMPUESTOS	ESTACIONES										CONCENT. TOTAL
	5	6	7	8	9	11	12	14	17	19	
NAFTALENO	0.006	n.d	n.d	n.d	n.d	0.006	n.d	0.019	0.012	n.d	0.043
ACENAFTILENO	0.009	0.004	n.d	n.d	0.005	0.006	n.d	0.008	n.d	n.d	0.032
ACENAFTENO	0.008	n.d	n.d	n.d	0.005	0.004	n.d	0.013	0.005	n.d	0.035
FLUORENO	0.012	0.010	0.006	0.006	0.012	0.021	0.009	0.033	0.005	0.005	0.119
FENANTRENO	0.016	0.009	0.010	0.102	0.021	0.016	0.014	0.013	0.012	0.007	0.220
ANTRACENO	0.014	0.021	0.014	n.d	0.026	0.017	0.018	0.129	0.026	0.024	0.289
FLUORANTENO	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0.159	n.d	0.008	n.d	0.167
PIRENO	0.019	0.159	0.208	0.283	0.263	0.216	n.d	0.276	0.270	0.085	1.780
BENZO(a)ANTR	0.168	0.020	0.028	0.021	0.035	0.023	n.d	0.035	0.020	0.132	0.482
CRISENO	n.d	n.d	n.d	n.d	0.038	n.d	n.d	0.038	n.d	0.083	0.159
BENZO(b)FLUO	0.018	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0.028	n.d	0.072	0.118
BENZO(k)FLUO	n.d	n.d	n.d	n.d	0.031	n.d	n.d	0.059	n.d	0.064	0.154
BENZO(a)PIRE	0.037	n.d	0.063	0.032	0.028	0.038	0.041	n.d	0.003	0.046	0.288
BENZO(ghi)PE	n.d	n.d	n.d	n.d	0.061	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0.061
INDENO(1,2cd	0.067	n.d	n.d	0.066	n.d	n.d	n.d	0.112	0.070	n.d	0.315
	0.374	0.223	0.329	0.510	0.525	0.347	0.241	0.763	0.431	0.518	4.260

n.d. = No detectado

Límite de detección = 0.02  $\mu\text{g/l}$

Tabla 2. Hidrocarburos disueltos dispersos ( $\mu\text{g/l}$ ) en agua de la laguna Mecoacán Tabasco. (Octubre 1993 periodo de lluvias)

COMPUESTOS	ESTACIONES													CONCENT. TOTAL
	5	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
NAFTALENO	0.007	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0.004	n.d	n.d	n.d	n.d	0.011
ACENAFTILENO	0.007	0.020	n.d	0.005	0.020	n.d	0.007	0.009	0.010	0.005	n.d	n.d	n.d	0.073
ACENAFTENO	0.023	0.027	n.d	0.015	0.052	0.018	0.024	0.021	0.028	0.018	0.013	0.005	0.013	0.257
FLUORENO	0.070	0.082	0.028	0.054	0.121	0.056	0.074	0.061	0.086	0.051	0.047	0.029	0.079	0.838
FENANTRENO	0.006	0.006	n.d	n.d	0.007	n.d	0.005	n.d	0.008	0.005	n.d	n.d	n.d	0.037
ANTRACENO	0.141	0.088	0.525	0.064	0.100	0.145	0.108	0.059	0.163	0.080	0.104	0.054	0.083	1.714
FLUORANTENO	0.012	0.014	n.d	n.d	0.012	n.d	0.005	0.005	0.013	0.005	n.d	n.d	0.008	0.074
PIRENO	n.d	0.009	n.d	0.015	0.029	n.d	0.012	n.d	0.016	0.015	0.025	n.d	n.d	0.121
BENZO(a)ANT	0.208	0.517	0.273	0.475	0.430	0.255	0.301	0.219	0.214	0.169	2.557	0.170	0.259	6.042
CRISENO	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0.013	0.014	n.d	n.d	n.d	0.027
BENZO(b)FLU	0.021	n.d	n.d	0.075	n.d	n.d	n.d	0.024	n.d	0.013	0.038	0.052	0.034	0.257
BENZO(k)FLU	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	—
BENZO(a)PIR	n.d	n.d	n.d	0.021	n.d	0.016	0.021	n.d	n.d	n.d	0.026	0.029	0.021	0.134
BENZO(ghi)P	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	—
INDENO(1,2)	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0.138	n.d	0.138
	0.495	0.763	0.826	0.724	0.771	0.490	0.557	0.398	0.555	0.375	2.810	0.477	0.497	9.723

n.d. = No detectado

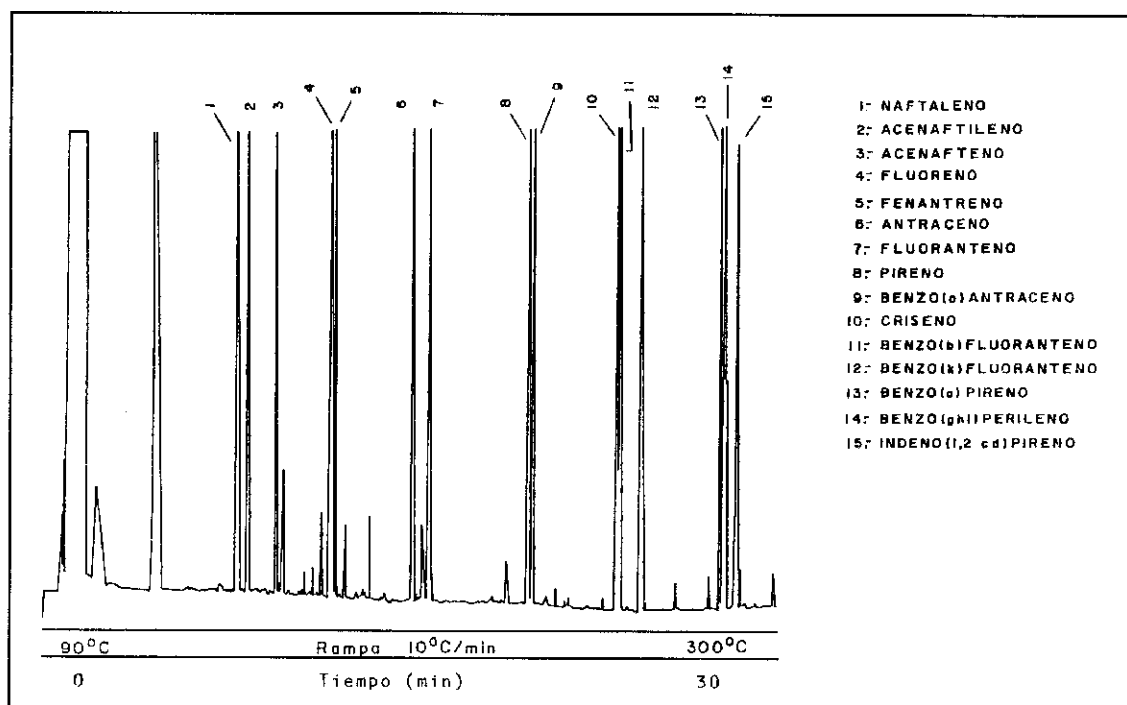
Límite de detección =  $0.02 \mu\text{g/l}$ 

Figura 2. Cromatograma del estándar de Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares empleados para este estudio.

particulada de las aguas superficiales, especialmente cerca de la desembocadura al mar. Esto es debido a las altas tasas de sedimentación y a complejos procesos que se presentan en la interfase agua dulce/agua marina, principalmente la floculación y la agregación (Bouloubassi y Saliot, 1993).

La caracterización por cromatografía de gases de los HAP's individuales nos indica que en la época de nortes dominaron los compuestos conformados por 3, 4 y 5 anillos bencénicos y las mayores concentraciones correspondieron al Pireno (1.78  $\mu\text{g/l}$ ), el Benzo(a)antraceno (0.48  $\mu\text{g/l}$ ), el Indeno(1,2 cd)pireno (0.31  $\mu\text{g/l}$ ) y el Antraceno y Benzo(a)pireno ambos con 0.28  $\mu\text{g/l}$ . En esta época se considera de singular importancia la presencia del Benzo(a)pireno y el Indeno(1,2 cd)pireno, ya que recientemente han sido reportados como carcinogénicos y con una elevada genotoxicidad (Grimmer, 1993).

En febrero de 1993, los porcentajes relativos a la concentración total de HAP's (4.26  $\mu\text{g/l}$ ) estuvieron dominados por los compuestos de 4 anillos bencénicos (66.3 %), seguidos por los de 3 anillos (16 %) y los de 5 anillos (12.2%), en tanto los de menor peso molecular y conformados por 2 anillos solamente representaron el 5.5 % (Fig. 3).

En octubre de 1993 (lluvias) la concentración total de HAP's se incrementa a más del doble (9.72  $\mu\text{g/l}$ ); aumentan los porcentajes relativos de los compuestos de los grupos formados por 4 anillos (67 %), 3 anillos (19 %) y 2 anillos (13 %), y disminuyen los conformados por 5 anillos (0.5 %). Los HAP's individuales con mayor concentración durante este período fueron el Benzo(a)antraceno (6.04  $\mu\text{g/l}$ ), el Antraceno (1.71  $\mu\text{g/l}$ ), el Fluoreno (0.83  $\mu\text{g/l}$ ) y el Acenafteno y Benzo(b)fluoranteno ambos con 0.25  $\mu\text{g/l}$ .

En los resultados anteriores se nota que los HAP's de bajo peso molecular (2 anillos) son poco frecuentes y de baja concentración en el periodo de nortes. Esto puede atribuirse a que se pierden fácilmente por procesos de dilución y evaporación cuando se encuentran en la columna de agua y sobre todo en regiones tropicales con elevadas temperaturas y fotoperíodos largos como es el caso de las costas de Tabasco, no permitiéndose su sedimentación y, por ende, su transferencia a organismos con hábitos bentónicos. Su origen es primordialmente petrogénico, a partir de descargas directas de petróleo crudo, acarreo continental por lluvias o descargas municipales (Neff, 1979; NRC, 1985).

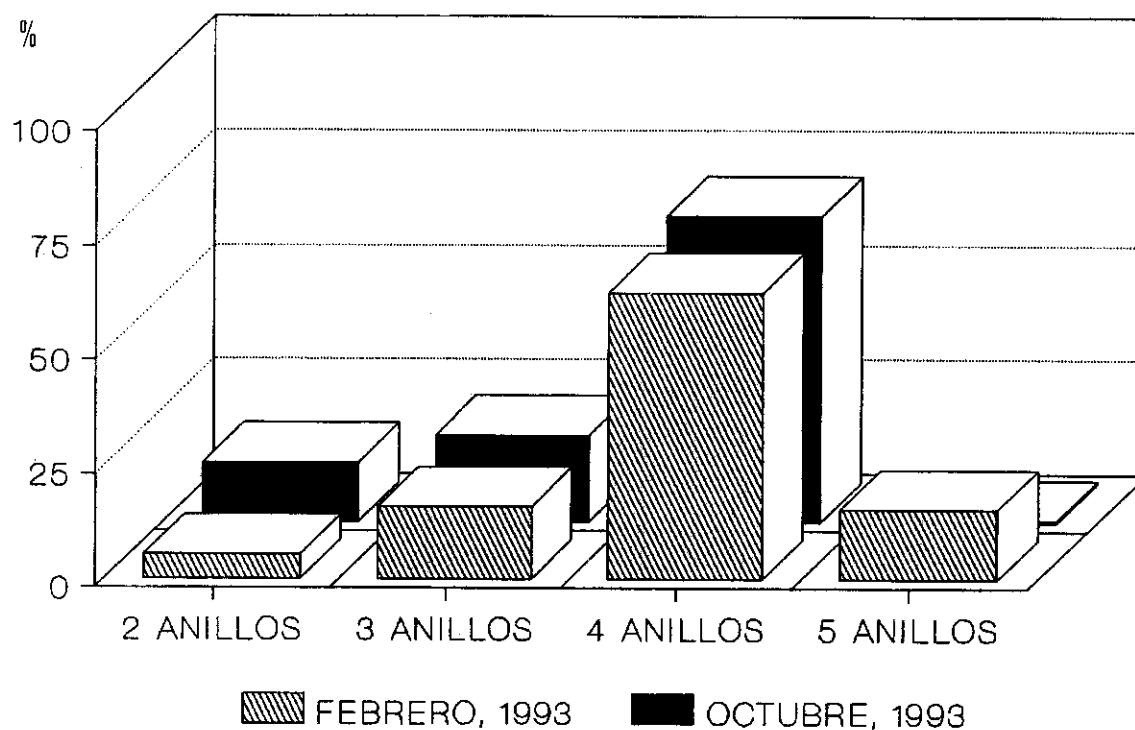


Figura 3. Distribución porcentual de los HAP's disueltos en la Laguna Mecoacán, Tabasco.

Sin embargo, se presentaron en ambas épocas (nortes y lluvias) en la mayoría de las estaciones de muestreo, lo que indica un aporte reciente de los mismos y una alta solubilidad.

Durante el ciclo de estudio, los HAP's de 3 y 4 anillos bencénicos fueron los más abundantes (especialmente los de 4 anillos). El Benzo(a)antraceno, con un peso molecular de 228 fue el hidrocarburo aromático más común en la región y constituyó una elevada proporción de los materiales disueltos analizados.

La presencia del Benzo(a)antraceno y de otros HAP's de 4 y 5 anillos bencénicos esta relacionada con la combustión incompleta de hidrocarburos fósiles mediante un proceso denominado pirólisis, y tiene su origen en las múltiples actividades petroleras y humanas que se efectúan en la región (Bayona *et al.*, 1993). Estos Ingresan al cuerpo lagunar principalmente asociados a partículas, de donde son posteriormente removidos hacia la columna de agua (Bouloubassi y Saliot, 1993).

En estudios previos en esta misma región conducidos por Botello *et al.* (1991) y Botello *et al.* (1993) se anotan resultados similares a los obtenidos en este trabajo, indicando los autores que los HAP's más comunes en sus análisis correspondían a los grupos conformados por 3, 4 y 5 anillos bencénicos cuya presencia en las áreas costeras de Tabasco obedecía a descargas directas de petróleo, a la dispersión mediada por las corrientes costeras, al alto contenido de materia orgánica en los sedimentos (el cual se relaciona con la afinidad lipofílica de los HAP's) y a la remoción de estos dentro de las lagunas por la acción de las mareas.

Finalmente, las concentraciones de HAP's obtenidas son hasta 3 órdenes de magnitud mayores que las reportadas para aguas costeras y estuarinas no contaminadas (10 ng/l), lo cual es una clara indicación que la laguna Mecoacán recibe importantes cantidades de HAP's, cuya presencia, tanto en forma disuelta como particulada, puede redundar en el detrimento de pesquerías locales principalmente la de moluscos bivalvos (ostión), ya que producen efectos de tipo subletal como la reducción en la tasa de crecimiento y en la viabilidad de los gametos y la alteración en el desarrollo larvario. Estos efectos han sido observados en moluscos por la incidencia de compuestos aromáticos policíclicos (Lee *et al.*, 1972; Cossa *et al.*, 1983; NRC, 1985).

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su reconocimiento a Francisco Qué Ramos y Jorge Herrera Pérez, Profesores-Investigadores de la División de Ciencias Biológicas de la UJAT, Laboratorio de Química del Agua, por su invaluable ayuda en el procesamiento de las muestras.

## LITERATURA CITADA

- BAYONA, J.M., P. FERNÁNDEZ y J. ALBAIGÉS, 1993. Oxy-substituted PAH's in Urban Atmospheric Particulates and Coastal Marine Sediments. *Polycyclic Aromatic Compounds, Vol. 3, Suppl.* 371-378.
- BOTELLO, A.V., C. GONZÁLEZ y G. DÍAZ, 1991. Pollution by petroleum hydrocarbons in sediments from continental shelf of Tabasco, State, Mexico. *Bulletin of Environmental, Contamination and Toxicology* 47: 565-571.
- BOTELLO, A.V., G.G. DÍAZ, F.S. VILLANUEVA y S.L. SALAZAR, 1993. Presence of PAH's in coastal environments of the south-east Gulf of Mexico. *Polycyclic Aromatic Compounds, Vol. 3, Suppl.* 397-404.
- BOULOUBASSI, I. y A. SALIOT, 1993. Aquatic distribution and origin of PAH in coastal deltaic waters. *Polycyclic Aromatic Compounds, Vol. 3, Suppl.* 379 - 388.
- CARIPOL, 1986. Programa para el análisis de hidrocarburos del petróleo en sedimentos y organismos marinos. Taller de entrenamiento para el Análisis de hidrocarburos del petróleo en organismos y sedimentos marinos. Puerto Morelos, México, 25 p.
- CASTRO-GESSNER, S.A., 1981. Determinación de Hidrocarburos en Sedimentos recientes en el ostión (*Crassostrea virginica*) de la Laguna Mecoacán, Tab., Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UNAM, México. 34 p.
- CONTRERAS E., F., 1993. *Ecosistemas Costeros Mexicanos*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad-UNAM. 415 p.
- COSSA, D., M. PICARD-BERUBE y J.P. GOUYGOU, 1983. Polinuclear aromatic hydrocarbons in mussels from the estuary and northwestern Gulf of St Lawrence, Canada. *Bulletin of Environmental, Contamination and Toxicology* 31: 41-47.
- GALAVÍZ, S.A., E.M. GUTIÉRREZ y A.R. CASTRO, 1987. Morfología, sedimentos e hidrodinámica de las Lagunas Dos Bocas y Mecoacán Tabasco, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 14 (2)*: 109-123.

- GARCÍA, F., 1973. *Modificaciones al Sistema de Clasificación de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Instituto de Geografía, UNAM. México. 246p.
- GRIMMER, G., 1993. Relevance of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH's) as Environmental Carcinogens. *Polycyclic Aromatic Compounds, Vol. 3, Suppl.* 31-41.
- LAW, A.E., 1993. *Aquatic Pollution: An introduction Text*. 2nd. Ed. J. Wiley & Sons, Inc. USA. 611 pp.
- LEE, R.F., R. SAUERHABER y A.A., BENSON, 1972. Petroleum hydrocarbons: Uptake and discharge by the marine mussel *Mytilus edulis*. *Science* 177: 344-346.
- MACKAY, D. y C.D. McAULIFFE, 1988. Fate of Hydrocarbons discharged at sea. *Oil and Chemical Pollution* 5(1): 1-20.
- MALINS, D.C. y B.B. Mc CAN, 1984. Chemical pollutants in sediments and diseases of bottom-dwelling fish in Puget Sound, Washington. *Environmental Science Technology* 18: 705-713.
- NEFF, M.J., 1979. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Aquatic Environment. Sources, Fates and Biological Effects*. Applied Sciences Publishers LTD, London. 262pp.
- N.R.C., 1985. *Oil in the Sea. Inputs, Fates and Effects*. National Academy Press. Washington, D.C., U.S.A. 601pp.
- UTHE, J.F., 1979. The environmental occurrence and health aspects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Fish Marine Services Technical Report*: 914.

Recibido: 27 de septiembre de 1994.

Aceptado: 14 de noviembre de 1994.