

EVALUACIÓN DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS EN SUELOS HIDROMÓRFICOS DE LA RESERVA DE LA BIÓSFERA "LOS PANTANOS DE CENTLA" EN TABASCO, MÉXICO

Gilberto DÍAZ-GONZÁLEZ¹, Julio CÁMARA-CÓRDOVA²,
Alfonso V. BOTELLO¹ y Guadalupe PONCE V.¹

¹Laboratorio de Contaminación Marina, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Apartado Postal 70-305, Coyoacán 04510 D.F., México

²Fac. de Ciencias del Suelo, Universidad Estatal de Moscú "M. V. Lomonósov"/Div. Acad. de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Lago 208, Las Brisas, 86095 Villahermosa, Tabasco, México

(Recibido abril 1994, aceptado mayo 1996)

Palabras clave: hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), suelos hidromórficos, reserva de la biósfera, pantanos de Centla

RESUMEN

En este trabajo se analizó el primer horizonte edafogénico de 11 estaciones ubicadas en las márgenes de los ríos Bitzal y Usumacinta, que atraviesan la reserva de la biósfera de los "Pantanos de Centla" en Tabasco. Se hicieron los análisis fisicoquímicos para la caracterización del suelo y se determinó la concentración de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) por medio de cromatografía de gases con columnas capilares de alta resolución. Los valores máximos de HAPs individuales corresponden al pireno, criseno y benzo(a)pireno, que son importantes por sus propiedades carcinogénicas, así como por sus riesgos para la salud.

ABSTRACT

The first soil horizon of 11 sampling stations located in the limits of the Bitzal and the Usumacinta rivers which cross the Centla biosphere reserve in Tabasco State were analyzed. Physico-chemical analysis to determine the soils properties were done and the concentration as well as the identification of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) was carried out by means of gas chromatography with high resolution capillary columns. The highest individual values for PAHs correspond to pyrene, crysene and benzo(a)pyrene. This implies a risk for human health due to their carcinogenic properties.

INTRODUCCIÓN

Las regiones tropicales del Golfo de México como las llanuras costeras y la plataforma continental de los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche, son áreas muy expuestas al aumento gradual de la exploración y de la explotación del petróleo. Esto contribuye a que continuamente se introduzcan cantidades variables de petróleo y/o sus derivados al medio, alterando de una u otra forma la estabilidad de los ecosistemas terrestres, lacustres y palustres (Botello *et al.* 1993).

Así, en el proceso de modernización de Tabasco, la industria petrolera durante los últimos veinte años ha ocasionado alteraciones en el entorno por la prioridad otorgada a la extracción de hidrocarburos fósiles, desdendiéndose

persistentemente realizar las actividades necesarias para preservar el ambiente (Tudela 1989).

Actualmente, se conocen pocos estudios sobre el impacto de las actividades petroleras en el estado de Tabasco (Zavala 1988, 1992, González 1990, Botello *et al.* 1991), pero a la fecha no se han hecho evaluaciones de las concentraciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) en suelos hidromórficos de esta región.

La actividad petrolera fue de tipo exploratoria en la reserva de la biósfera "Los Pantanos de Centla"; esta área ha estado sometida durante las últimas decenas de años a la influencia de las actividades de extracción, pues varios de los ríos que riegan la reserva, transitan por el distrito de explotación petrolera de Ciudad Pémex. Por lo tanto, es de suponerse que los suelos de la reserva han estado sometidos a lo que Howells

et al. (1990) denominan efectos de la exposición por largos periodos a niveles bajos de contaminantes, principalmente los relacionados con la industria petrolera.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Reserva de la Biósfera de "Los Pantanos de Centla", se ubica en la parte nororiental del estado de Tabasco, en el Sureste de México en la provincia fisiográfica "Llanura costera del Golfo Sur" (INEGI 1986), que se caracteriza por un relieve plano con pendientes menores a 1:10,000, resultado de la acumulación de grandes depósitos fluviales en diferentes medios con predominio, en el área de estudio, del palustre y del lacustre. Los suelos de la zona se han originado de deposiciones aluviales del Holoceno, son altamente hidromórficos, arcillosos (29-55 %) y con abundante materia orgánica en el primer horizonte (3.7-23.4 %). Su extensión es de aproximadamente de 200,000 ha y se localiza entre los paralelos 18°00' y 18°35' de latitud norte y los meridianos 92°15' y 92°35' de longitud oeste. Su origen está íntimamente relacionado con la regresión del Atlántico, iniciada desde el Terciario Inferior y debida al relleno de la cuenca oceánica (Fig. 1). García (1988) ha clasificado el clima como Am (f) (i') gw" (tropical del tipo cálido-húmedo).

En el área de la reserva se han descrito nueve tipos de vegetación que incluyen comunidades de plantas acuáticas emergentes, flotantes y sumergidas, selvas inundables, tintales, manglares, palmares naturales e inducidos, además de vegetación secundaria derivadas de las anteriores (López-Hernández y Pérez 1993).

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de suelos se colectaron haciendo una excavación horizontal desde la superficie hasta 10 cm de profun-

dididad en marzo de 1993 y las 11 estaciones muestreadas para este trabajo, están situadas en tres áreas diferentes que se ubican dentro de la reserva de la biósfera: Bitzal (1 a 3), Quintín Arauz (5 a 8) y Ribera Alta (9 a 12). La primera de ellas en la parte sur del área de estudio, sobre las márgenes del Río Bitzal, al norte del campo Hormiguero; la segunda en la porción occidental, cerca de la confluencia de Tres Brazos y la última, en la parte central de la reserva, sobre la margen derecha del Usumacinta (Fig. 1).

La selección de los sitios de muestreo se realizó con base en su ubicación en zonas de alta, mediana o baja actividad petrolera para definir el impacto de estas actividades en las estaciones elegidas, que se situaron a una distancia de ± 200 m entre cada una de ellas.

Las muestras de suelo se secaron a temperatura ambiente (22 - 25°C), se maceraron y tamizaron para uniformar el tamaño de grano de acuerdo con los métodos establecidos por Cuanalo (1981).

Los métodos analíticos utilizados para la determinación de arcilla (AA), limo (L), arena (A), materia orgánica (MO) y capacidad de intercambio catiónico (CIC), fueron los propuestos por la FAO (1984).

El procedimiento analítico para la extracción y la purificación de los hidrocarburos fue el que se propone en el manual CARIPOL-IOCARIBE (1986); se tomó una submuestra de 10 g y se extrajo con 200 ml de metanol y 3 g de KOH en reflujo durante 5 h. El extracto de potasa metanólica se separó con hexano y se conservó solamente la fase hexánica.

Esta fase se concentró a 2 ml y se purificó por cromatografía en columna usando alúmina y sulfato de sodio para obtener dos fracciones: la fracción I contiene los hidrocarburos alifáticos o parafinas y se eluyó con hexano; la fracción II abarca los hidrocarburos aromáticos, los cuales se eluyeron con una mezcla de hexano:diclorometano y finalmente diclorometano. Ambas fracciones se concentraron hasta 1 ml, se trasvasaron a viales y se llevaron a sequedad, las dos fracciones se analizaron por cromatografía de gases, empleando

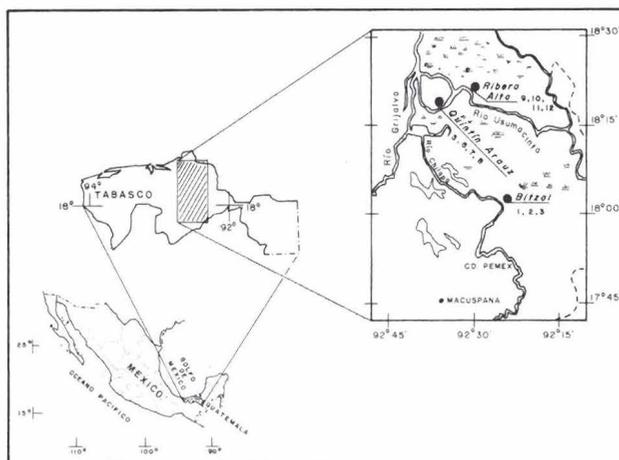


Fig. 1. Reserva de la Biósfera "Los Pantanos de Centla", Tabasco

columnas capilares de alta resolución. El límite de detección del método de extracción es de 2×10^{-11} g para alcanos.

La cromatografía de gases se efectuó en un cromatógrafo Hewlett Packard (Mod. 5890 Serie II), equipado con Detector de Ionización de Flama, usando una columna capilar de 25 m x 0.25 mm ID x 0.25 μ m de grosor de capa, fase Fenil Metil Silicona al 5%. Se emplearon dos rampas de temperatura, la primera de 90°C isotérmica (2 min) hasta 180°C incrementándose en un rango de 10°C/min y la segunda de 180 - 300°C (5 min) con un aumento de 6°C/min, Inyector y Detector a 300°C, como gas transportador se empleó He y como gas auxiliar N₂ ambos de alta pureza (Linde).

Los resultados de los cromatogramas se compararon contra un estándar externo de 15 compuestos aromáticos obtenido de ChemServices Chemical Co. y cuyo análisis cromatográfico se muestra en la **figura 2**.

RESULTADOS

En la **tabla I**, se anotan los datos fisicoquímicos de los suelos hidromórficos analizados. Dichos valores corresponden al porcentaje de arcillas, limo y arenas; al contenido de materia orgánica (en porcentaje), a la capacidad de intercambio catiónico (CIC), al porcentaje de carbonatos y al pH.

En cuanto al contenido de materia orgánica, las estaciones ubicadas al margen del Río Bitzal (1 a 3) presentaron el contenido promedio más alto con 9.02 %, seguidas de las ubicadas en Quintín Arauz (5 a 8) con 8.18 % y finalmente las de la Ribera Alta (9 a 12) con el 6.55 %, siendo suelos muy ricos en materia orgánica y propicios para actividades agrícolas.

El porcentaje promedio del contenido de arcillas fue mayor en las estaciones de Ribera Alta (47.5 %) decreciendo en Quintín Arauz (42.5%) y aún menor para los del Río Bitzal (39 %). El contenido de limo presentó los valores más altos en las estaciones del Río Bitzal (16.7 %) mínima en Ribera Alta y Quintín Arauz, ambas con 12.5 %. Para el contenido de arenas, las estaciones de Quintín Arauz fueron las más elevadas (45 %) disminuyendo en las de Río Bitzal (44.3 %) y en Ribera Alta fueron las menores con el 40 %.

La capacidad de intercambio catiónico mostró sus valores promedio más elevados en el grupo de muestras del Río Bitzal con 44.01 meq, siendo menor en Ribera Alta (37.07 meq) y en Quintín Arauz (34.18 meq), en cambio para el % promedio de carbonatos esta secuencia se invierte, ya que los valores elevados (1.62 %) corresponden a Quintín Arauz, bajando en Ribera Alta (1.60 %) y los menores correspondieron al Río Bitzal (1.58%).

Los datos de pH se mantuvieron uniformes y poco variables en las estaciones con valores promedio de 6.7 para Río Bitzal, 7.03 para Ribera Alta y 7.4 para Quintín Arauz.

Con relación al contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), la concentración total de HAPs más alta se registró en la estación 2 (3.04 μ g/g) la cual se ubica en la margen del Río Bitzal y cuyo afluente atraviesa el distrito de explotación de Ciudad Pemex, seguida de la estación 3 (1.75 μ g/g) y de la estación 1 (0.73 μ g/g) la cual presentó la concentración más baja. El valor promedio de HAPs para este grupo de estaciones fue de 1.84 μ g/g.

En Quintín Arauz las estaciones 5 y 6 mostraron concentraciones totales de 2.79 y 2.20 μ g/g respectivamente, siendo menor en la estación 8 con 1.31 μ g/g y la estación 7 la cual

TABLA I. DATOS FÍSICO-QUÍMICOS EN SUELOS HIDROMÓRFICOS DE "LOS PANTANOS DE CENTLA", TABASCO

Estación	% AA	% L	% A	MO	CIC	CO ₃	SO ₄	pH
RÍO BITZAL								
1	37	16	47	4.43	27.28	1.05	7.6	7.3
2	51	6	43	6.14	49.50	2.10	45.2	6.7
3	29	28	43	16.48	55.24	n.d	68.0	6.1
X	39	16.7	44.3	9.02	44.01	1.58	40.3	6.7
QUINTIN ARAUZ								
5	47	8	45	13.76	47.42	n.d	130.8	n.d
6	49	8	43	8.79	41.98	1.70	0.0	7.1
7	35	20	45	3.70	16.16	1.45	1.2	7.5
8	39	14	47	6.48	31.16	1.70	6.5	7.6
X	42.5	12.5	45	8.18	34.18	1.62	46.17	7.4
RIVERA ALTA								
9	53	8	39	6.72	35.28	2.35	128.0	7.2
10	43	18	39	6.22	31.36	1.55	20.0	7.4
11	49	10	41	7.38	42.27	n.d	11.2	6.3
12	45	14	41	5.86	39.36	0.90	16.4	7.2
X	47.5	12.5	40	6.55	37.07	1.60	43.9	7.0
X	43.4	13.6	43	7.8	37.9	1.6	43.5	7.04
D.S.	7.5	6.6	2.8	3.9	11.2	0.5	49.6	0.51
r	.7053	-.5867	-.5032	.3695	.6418	.1009	.6652	-.408

AA, L, A: Arcilla, Limo, Arena; MO: % Materia Orgánica; CIC: Capacidad de intercambio catiónico, expresada en meq/100g de suelo

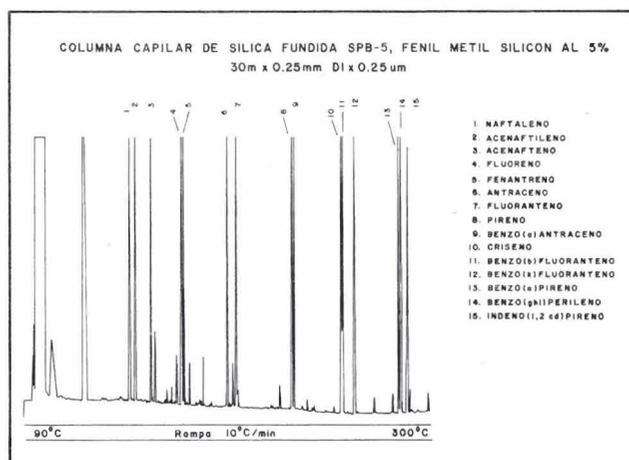


Fig. 2. Cromatograma del estándar de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos

registró el valor más bajo de todo el estudio con $0.25 \mu\text{g/g}$. El valor promedio de HAPs para estas áreas fue de $1.64 \mu\text{g/g}$.

Para la zona de Ribera Alta se determinaron valores totales de HAPs con cierta uniformidad en las estaciones 9 (2.89), 10 (2.38) y 11 (2.33) $\mu\text{g/g}$; siendo menor en la estación 12 con $1.0 \mu\text{g/g}$. Esta localidad evidenció el valor promedio más alto de HAPs con $2.15 \mu\text{g/g}$.

Sin duda, la amplia variabilidad de la concentración de HAPs en los sitios estudiados se relaciona principalmente con el tipo de sedimento y su capacidad de intercambio catiónico, ya que los valores de correlación resultaron positivos para el contenido de arcilla ($r = 0.705$) y la capacidad de intercambio catiónico ($r = 0.64$) (Tabla II). De acuerdo con Duffus (1983), la arcilla, el contenido de materia orgánica y el pH influyen directamente en la persistencia de sustancias tóxicas en los suelos. La caracterización de los HAPs por cromatografía de gases, indica que la presencia de estos compuestos estuvo expresada principalmente por aquellos conformados por 4 anillos bencénicos como el criseno, el pireno y los

benzofluorantenos (b y k) (Tabla II; Fig. 3), los cuales representaron el 40.93% de la concentración total de HAPs de todas las estaciones analizadas ($20.67 \mu\text{g/g}$), siendo compuestos de extrema importancia debido a su toxicidad y a sus propiedades carcinogénicas (Grimmer 1993).

El orden de concentración total de HAPs mostró la siguiente secuencia: 4 anillos (40.93%) > 5 anillos (38.32%) > 3 anillos (16.88%) > 2 anillos (3.87%). Esta distribución y abundancia indican que la principal fuente de aporte de los HAPs son los procesos de combustión o pirólisis, los cuales dan origen a los compuestos conformados por 4 y 5 anillos (pirolíticos) y un porcentaje menor al introducido por actividades petroleras o derrames recientes originando a los HAPs de 2 ó 3 anillos (petrogénicos).

Edwards (1983) señala que 90% de las emanaciones de hidrocarburos aromáticos provienen de la combustión de hidrocarburos fósiles, de la quema de basura o de la de malezas para propósitos de agricultura.

En cuanto a la concentración individual de estos compues-

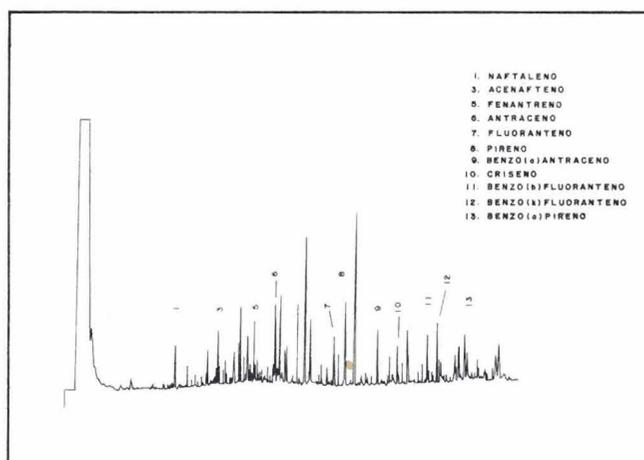


Fig. 3. Cromatograma de HAPs de la estación 12

TABLA II. CONCENTRACIÓN DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLINUCLEARES (µg/g peso seco) EN SUELOS HIDROMÓRFICOS DE LA RESERVA DE LA BIÓSFERA, "LOS PANTANOS DE CENTLA", TABASCO

No. Anillos	Compuestos	E S T A C I O N E S												Conc. HAPs Total
		1	Río Bitzal		5	Quintín Arauz			9	Ribera Alta				
		2	3		6	7	8		10	11	12			
2	1. Naftaleno	n.d.	n.d.	0.01	0.06	n.d.	n.d.	0.03	n.d.	n.d.	n.d.	0.04	0.14	
	2. Acenaftileno	0.01	0.03	0.02	0.03	n.d.	n.d.	n.d.	0.02	n.d.	n.d.	n.d.	0.11	
	3. Acenafteno	n.d.	n.d.	0.01	0.06	n.d.	n.d.	n.d.	0.06	n.d.	n.d.	0.02	0.15	
	4. Fluoreno	0.05	0.05	0.02	0.10	0.10	0.03	0.03	n.d.	0.02	n.d.	n.d.	0.40	
3	5. Fenantreno	0.01	n.d.	0.002	0.02	0.01	0.01	0.01	0.06	0.12	0.02	0.02	0.28	
	6. Antraceno	0.18	0.35	0.19	0.23	0.20	0.10	0.22	0.25	0.20	0.20	0.09	2.21	
	7. Fluoranteno	0.13	0.28	0.09	0.06	0.05	n.d.	0.09	0.08	0.09	0.06	0.07	1.00	
4	8. Pireno	0.003	0.018	0.09	0.12	0.02	n.d.	0.04	0.18	1.08	0.20	0.12	2.03	
	9. Benzo(a)antraceno	0.04	0.10	0.10	0.13	0.01	n.d.	0.02	0.16	0.07	0.16	0.04	0.83	
	10. Criseno	0.04	0.16	0.20	0.12	0.90	n.d.	0.15	0.24	0.13	0.19	0.07	2.20	
	11. Benzo(b)fluoranteno	0.04	0.16	0.38	0.40	0.15	0.11	0.13	0.12	0.14	0.23	0.13	1.99	
	12. Benzo(k)fluoranteno	0.05	0.20	0.07	0.14	0.11	n.d.	0.15	0.25	0.09	0.16	0.19	1.41	
5	13. Benzo(a)pireno	0.11	0.79	0.25	0.69	0.38	n.d.	0.24	1.07	0.21	0.36	0.21	4.31	
	14. Benzo(ghi)perileno	0.05	0.38	0.12	0.29	0.27	n.d.	0.20	0.16	0.18	0.18	n.d.	1.83	
	15. Indeno(1, 2cd)pireno	0.02	0.36	0.20	0.34	n.d.	n.d.	n.d.	0.24	0.05	0.57	n.d.	1.78	
	Suma Total	0.73	3.04	1.75	2.79	2.20	0.25	1.31	2.89	2.38	2.33	1.0		
	Promedio		1.84			1.64				2.15				
										Suma Total			20.67	

n.d. = No detectado

tos, se obtuvo la siguiente secuencia: benzo(a)pireno (4.31 µg/g), antraceno (2.21 µg/g) criseno (2.20 µg/g), pireno (2.03 µg/g), benzo(b)fluoranteno (1.99 µg/g) y benzo(ghi)perileno (1.83 µg/g). Las menores concentraciones totales de HAPs correspondieron al grupo conformado por 2 anillos (naftaleno, acenaftileno, acenafteno y fluoreno) (Tabla II).

DISCUSIÓN

En los resultados obtenidos, se observa que los HAPs de bajo peso molecular (2 anillos) presentaron las menores concentraciones en todas las localidades analizadas, esto se explica debido a que este tipo de compuestos se pierde fácilmente por procesos de evaporación y sobre todo en regiones tropicales con temperaturas elevadas y largos fotoperíodos (González 1990, Botello *et al.* 1993).

Su origen es primordialmente petrogénico a partir de descargas directas de petróleo crudo o descargas municipales (NRC 1985). Así su presencia, aunque en niveles bajos, indica un aporte reciente de los mismos.

Es notable que los compuestos de 4 y 5 anillos fueron los más abundantes, siendo benzo(a)pireno el más común en toda la región analizada, que junto con antraceno, criseno, pireno, benzo(b)fluoranteno y benzo(ghi)perileno presentaron elevadas concentraciones y constituyen parte importante de los materiales sedimentarios en los suelos analizados.

La singular presencia de los HAPs de alto peso molecular,

indica que su origen es debido a combustión incompleta de los hidrocarburos fósiles (pirólisis) derivada de las actividades petroleras e industriales que se efectúan en el área de estudio. También las concentraciones de HAPs cuantificadas en este estudio son similares a las descritas por otros autores para regiones con alto grado de industrialización o bien impactadas por actividades petroleras (NRC 1985, Wade *et al.* 1988, Bayona *et al.* 1993, Botello *et al.* 1993).

La amplia variabilidad en concentración y HAPs individuales de las estaciones analizadas, sin duda se relaciona directamente con el tipo de sedimento, sobre todo aquellas con alta proporción de arcillas, como sucede en la estación 2 con 3.04 µg/g de HAPs totales y 51% de arcillas y la estación 9, con 2.89 µg/g y 53% de arcillas. En cambio la correlación de la materia orgánica con la concentración de HAPs presentó un valor muy bajo ($r = 0.36$) y poco significativo, apoyando lo señalado por Van Vleet *et al.* (1984) que indican que en áreas tropicales y semitropicales esta relación es nula.

Las estaciones de la zona de Ribera Alta presentaron las concentraciones más homogéneas de HAPs relacionada quizá con su fisiografía, ya que Castañeda y Cámara (1992) señalan que el área mencionada adquiere un relieve notoriamente cóncavo, por su escasa altura con respecto al nivel del mar y es receptora de la mayor parte de la precipitación que reciben las cuencas de los ríos Grijalva y Usumacinta. Estos suelos son por lo general arcillosos y ricos en materia orgánica.

De acuerdo con Kennish (1992), los humedales son espe-

cialmente vulnerables a la contaminación por petróleo como áreas de intercambio intermareal debido a los abundantes depósitos de sedimento fino, capaces de atrapar el petróleo y hacer difícil su recobro, ya que cuando éste ha penetrado en sedimentos del fondo, comúnmente persiste por años o varias décadas dificultando el desarrollo de las comunidades bentónicas.

En trabajos previos (Zavala 1992), también se señala la contaminación por hidrocarburos del petróleo en la zona de Samaria, Tabasco, que se ubica al norte del área de este estudio; desafortunadamente no se pueden comparar con los resultados de esta contribución ya que los primeros fueron calculados gravimétricamente y representan datos aproximados.

Por otro lado, Botello *et al.* (1983, 1991, 1993) y González *et al.* (1991) en investigaciones de las lagunas costeras del sistema Carmen-Pajonal-Machona y de la plataforma continental de los estados de Tabasco y Campeche, encontraron una amplia distribución de HAPs en sedimentos y organismos, que pueden tener su origen en las actividades petroleras en la zona, los aportes municipales, escurrimientos y en gran proporción al depósito atmosférico de HAPs provenientes de las áreas industriales de Coatzacoalcos-Minatitlán en Veracruz y Villahermosa en Tabasco.

Las concentraciones de HAPs tendieron a incrementarse hacia los compuestos de mayor peso molecular (**Tabla II**), como el benzo(a)pireno, criseno, pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(ghi)perileno, indeno(1,2,3-cd)pireno, benzo(k)fluoranteno, lo cual es típico de una contaminación crónica de derivados del petróleo.

Cabe mencionar que existen pocos estudios encaminados a determinar cuantitativamente los niveles de HAPs presentes en los suelos, sobre todo de regiones pantanosas subtropicales. En este sentido, en la literatura se encuentran mencionadas concentraciones típicas de hidrocarburos aromáticos con potencialidad carcinogénica como el benzo(a)pireno cuyos niveles oscilan entre 100 y 1000 µg/kg en diversos suelos del mundo; en investigaciones realizadas abarcando áreas de diversas latitudes, desde zonas altamente contaminadas hasta lugares remotos protegidos, este intervalo va de 0.04 a 650,000 µg/kg (Fritz 1971, Shabad *et al.* 1971). En nuestro país, no existe una norma oficial mexicana establecida para HAPs ya sean totales o individuales para suelos o sedimentos y solamente se cuenta con aquella estipulada para agua de diversos tipos.

Finalmente la aportación de HAPs producto de la quema de los bosques no justifica los niveles registrados a pesar de que el presente estudio se realizó en esta época y por el contrario reafirma que la contaminación de esta zona tiene como principal fuente a las actividades petroleras de la región.

AGRADECIMIENTOS

A los M. en C. Eduardo S. López y Francisco Maldonado,

investigadores de la División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, por sus atinadas sugerencias y ayuda en la toma de muestras.

REFERENCIAS

- Bayona J.M., Fernández P. y Albaigés J. (1993). Oxy-substituted PAH's in urban atmospheric particulates and coastal marine sediments. *Polycyc. Arom. Comp.* 3 Suppl. 371-378.
- Botello A.V., Goñi J.A. y Castro S.A. (1983). Levels of organic pollution in coastal lagoons of Tabasco State, Mexico. I. Petroleum hydrocarbons. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 31, 271-277.
- Botello A.V., González C. y Díaz G. (1991). Pollution by petroleum hydrocarbons in sediments from continental shelf of Tabasco, State, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 47, 565-571.
- Botello A.V., Díaz G., Villanueva S.F. y Salazar S.L. (1993). Presence of PAH'S in coastal environments of the south-east Gulf of Mexico, Mexico. *Polycyc. Arom. Comp.* 3, 397-404.
- CARIPOL-IOCARIBE. (1986). *Manual para el análisis de hidrocarburos del petróleo*. Subcomisión IOCARIBE-UNESCO. Cartagena de Indias, Colombia, 42 p.
- Castañeda C. y Cámara J. (1992). *La agricultura en Tabasco*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Centro de Investigación de Ciencias Biológicas, Unidad Sierra, 164 p.
- Cuanalo De La C.H. (1981). *Manual para la descripción de perfiles de suelos en el campo*. 2a. Ed. Centro de Edafología, C.P. Chapingo, México, 40 p.
- Duffus J.H. (1983). *Toxicología ambiental*. Omega, Barcelona, 144 p.
- Edwards N.T. (1983). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH'S) in the terrestrial environmental-a review. *J. Environ. Qual.* 12, 427-441.
- FAO (Food and Agriculture Organization)(1984). *Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO (10). Roma, 252 p.
- Fritz W. (1971). Extent and sources of contamination of our food with carcinogenic hydrocarbons. *Rnaehrugsforschung*, 4, 547-557.
- García E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. 4a. Ed. Instituto de Geografía, UNAM, México, D.F.
- González E. C. (1990). Determinación de los niveles de hidrocarburos alifáticos y aromáticos en sedimentos recientes de la plataforma continental de los estados de Tabasco y Campeche, México. Tesis de licenciatura. ENEP-Zaragoza UNAM, México, D. F.
- González C., Botello A. V. y Díaz G. (1991). Presence of aliphatic hydrocarbons in sediments and organisms from Campeche Bank, Mexico. *Mar. Pollut. Bull.* 24, 267-270.

- Grimmer G. (1993). Relevance of polycyclic aromatic hydrocarbons as environmental carcinogens. *Polycyclic Arom. Comp.* 3, Suppl. 31-42.
- Howells G., Calamari D., Gray J. y Wells P. G. (1990). An analytical approach to assessment of long-term effects of low levels of contaminants in the marine environment. *Marine Pollut. Bull.* 21, 371-375.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). *Síntesis, geografía e informática* (1986). Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D. F.
- Kennish J.M. (1992). *Ecology of estuaries anthropogenic effects*. C.R.C. Press, Boca Raton, Florida, 300 p.
- López-Hernández E. S. y Pérez C. (1993). *Guía para la interpretación de la naturaleza en Los Pantanos de Centla*. Div. Acad. de Ciencias Biológicas.-UJAT, Villahermosa, Tabasco, México.
- NRC (National Research Council) (1985). *Oil in the sea. inputs, fates, and effects*. National Academy Press, Washington, D.C., 601 p.
- Tudela F. (1989). *La modernización forzada del trópico: el caso de Tabasco*. Proyecto integrado del Golfo. El Colegio de México, UNRISD-IFIAS-CINVESTAV México, 475 p.
- Van Vleet E., Pierce R.H., Brown R.C. y Reinhardt S.B. (1984). Sedimentary hydrocarbons from a subtropical marine estuary. *Org. Geochem.* 5, 56-67.
- Zavala C. J. (1988). *Regionalización natural de la zona petrolera de Tabasco. Casos de estudio*. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos-Gobierno del Estado de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México.
- Zavala C. J. (1992). Contaminación de tierras por hidrocarburos en el campo petrolero Samaria, Tabasco. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillos, Edo. de México.
- Wade T.L., Atlas E.L., Brooks J.M., Kennicutt M.C.III, Fox R.G., Sericano J., García-Romero B. y Defreitas D. (1988). NOAA Gulf of Mexico status and trends program: trace organic contaminant distribution in sediments and oyster. *Estuaries* 11, 171-179.