

CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS EN SEDIMENTOS Y ORGANISMOS DEL PUERTO DE SALINA CRUZ, OAXACA, MÉXICO

Alfonso V. BOTELLO¹, Susana VILLANUEVA¹, Gilberto DÍAZ¹ y Yolanda PICA²

¹ Laboratorio de Contaminación Marina, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Apartado Postal 70305 Coyoacán 04510 D.F. México

² Instituto Mexicano del Petróleo. Departamento de Estudios Ecológicos. Eje Central Lázaro Cárdenas 152. Apartado Postal 14-805 México 07730, D.F.

(Recibido abril 1994, aceptado abril 1995)

Palabras clave: contaminación, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), sedimentos, organismos, Puerto de Salina Cruz, Oaxaca

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluaron las concentraciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos (**HAP**) en sedimentos y organismos del Puerto de Salina Cruz, Oaxaca y áreas adyacentes por medio de cromatografía de gases de alta resolución empleando columnas capilares. Los resultados muestran variabilidad estacional de las concentraciones de **HAP** en los sedimentos y concentraciones elevadas de los mismos en el área del puerto y antepuerto, las cuales disminuyen en los sedimentos oceánicos. En organismos (*Crassostrea indiscens* y *Perna stylirostris*) las cantidades de **HAP** se incrementaron en varios órdenes de magnitud, lo que indica un importante proceso de bioacumulación de estos compuestos y sobre todo de aquellos conformados por 4 y 5 anillos bencénicos, los cuales se consideran como carcinógenos ambientales, con sus consecuentes efectos e impactos en estas pesquerías.

ABSTRACT

The presence and levels of polycyclic aromatic hydrocarbons (**PAH's**) in sediments and biota from the Port of Salina Cruz, Oaxaca; were evaluated by means of gas capillary chromatography using columns of high resolution. The results show a seasonal variability of the **PAH's** concentrations in sediments being higher in the port area and lower in oceanic sediments. The increase of the **PAH's** levels in *Crassostrea indiscens* and *Perna stylirostris* is important and related to the bioaccumulation processes. The presence of **PAH's** conformed by 4 y 5 benzene rings in these species must be noted specially because they have carcinogenic properties and their effects on the local fisheries should be considered.

INTRODUCCIÓN

A partir de 1975, en el país se desarrolló la tecnología de explotación petrolera en la plataforma marina del Golfo de México y por ende, se intensificó su producción diaria hasta 3×10^6 barriles de petróleo crudo, de la cual cerca del 75% proviene de la Sonda de Campeche. Desde esta zona es movilizado por ductos submarinos a boyas flotantes de carga o a puertos de almacenaje, así como a plantas de transformación y refinación como es el caso del Puerto de Salina Cruz, Oaxaca, en el Pacífico Central Mexicano.

Así, en la actualidad existen en esta área diversas industrias, plantas de refinación, boyas de almacenamiento y redes de distribución de petróleo crudo para operaciones de carga y descarga. Esto trajo consigo un impresionante y acelerado desarrollo industrial del Puerto de Salina Cruz y áreas adyacentes, originándose a la vez problemas de contaminación por petróleo que afectan a los valiosos recursos naturales y pesqueros que se encuentran en estos ecosistemas costeros.

De los hidrocarburos del petróleo, los aromáticos policíclicos (**HAP**) están ampliamente repartidos en los océa-

nos y en las zonas costeras, en las aguas de los ríos, en los suelos y en los sedimentos. La presencia de estos compuestos en organismos marinos ha sido atribuida principalmente a derrames, pero la biosíntesis por microorganismos y los desechos municipales e industriales son también relevantes fuentes de aporte (Neff 1979, NRC 1985).

Los sedimentos marinos, contienen comúnmente concentraciones importantes de **HAP** que van de 0.5 hasta 50,000 ng g⁻¹, sobre todo en áreas con actividad industrial y los que son depositados a través del lento proceso de sedimentación del material suspendido, al cual son afines y tienden a adherirse al ser dispersados en los sistemas acuáticos (Bayona *et al.* 1993). Una vez depositados, los procesos de oxidación fotoquímica o de degradación biológica son prácticamente nulos de modo que pueden persistir y acumularse en el ambiente sedimentario, alcanzando concentraciones hasta 1000 veces superiores a las encontradas en la columna de agua; especialmente de aquellos compuestos de 4 y 5 anillos bencénicos, que por su escasa solubilidad y elevado peso molecular se precipitan y es baja la posibilidad de evaluarlos en dilución.

El riesgo del aporte de **HAP** de alto peso molecular al ecosistema marino está estrechamente vinculado con su integración a los sedimentos, donde pueden establecer relación con organismos bentónicos de hábitos filtradores como el ostión o también de hábitos detritívoros como el camarón.

Actualmente existe una vasta literatura sobre la presencia de **HAP** en ambientes costeros y se presta especial atención a los que son considerados carcinógenos potenciales, como el benzo(a)pireno y el indo(c)pireno (NRC 1985).

Por lo tanto, el presente trabajo se desarrolló con la finalidad de obtener información básica y actualizada sobre los problemas ambientales que presenta el Puerto de Salina Cruz, Oaxaca y en especial de los originados por la ocurrencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos (**HAP**), empleando a los sedimentos costeros como indicador geoquímico de la presencia de éstos compuestos y a su posible transferencia a organismos de importancia ecológica y pesquera, como son los crustáceos y los moluscos.

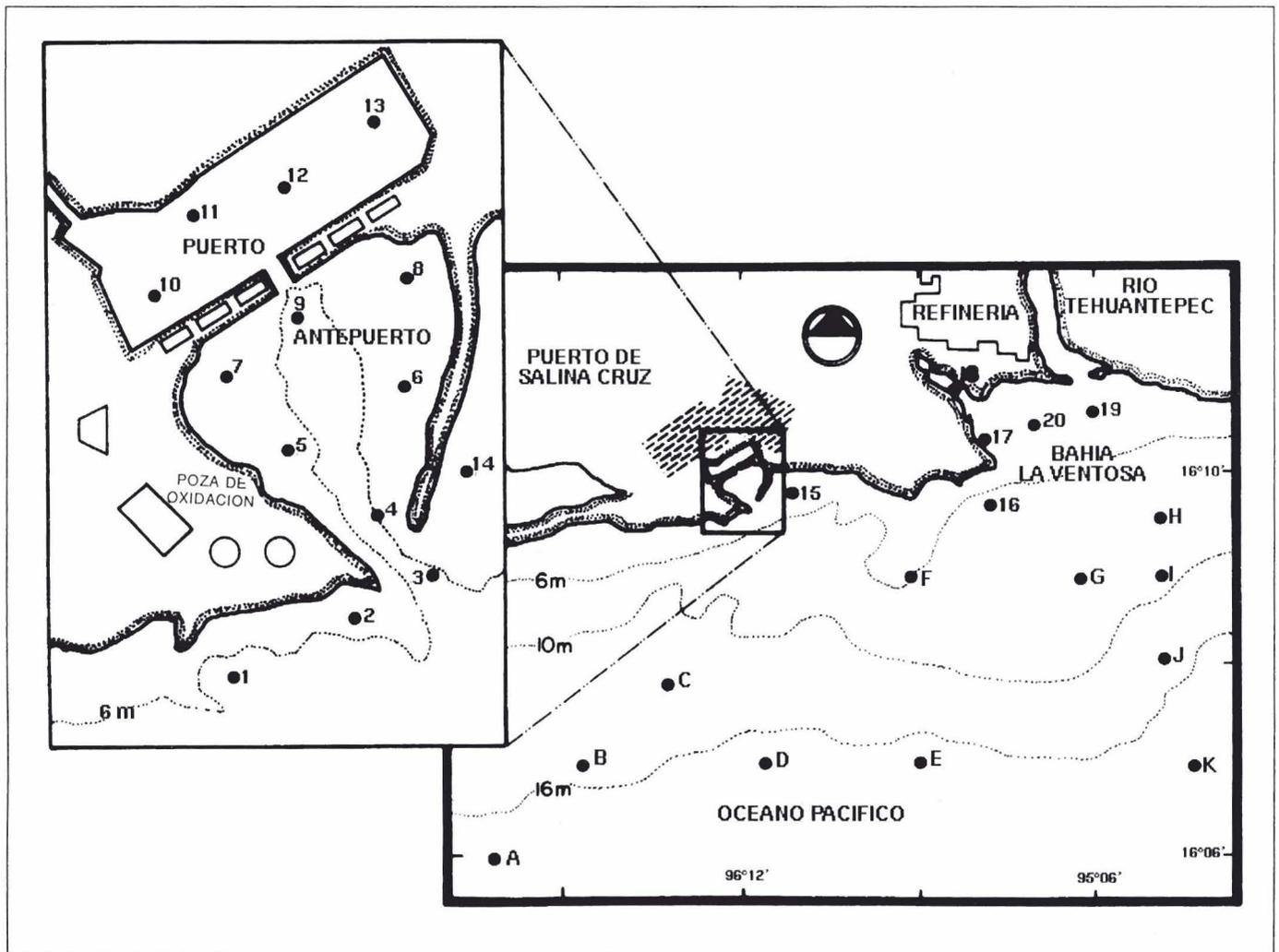


Fig. 1. Localización geográfica de las estaciones de muestreo

MATERIALES Y MÉTODOS

El Puerto de Salina Cruz, Oaxaca y las bahías adyacentes están situadas al norte del Golfo de Tehuantepec en el Pacífico Tropical Mexicano, entre los 16°06' y los 16°11' de latitud norte y entre los 95°15' y los 95°07' de longitud oeste (Fig. 1).

El Puerto de Salina Cruz comprende al antepuerto, cuyo acceso está formado por dos escolleras y la dársena que está en contacto con el antepuerto a través de un canal denominado entrepuente. En estos sectores se realizan diversas actividades de construcción, reparación y mantenimiento de embarcaciones, así como tareas de abastecimiento de combustible, hidrocarburos, productos refinados y gas, este es el caso del muelle de Petróleos Mexicanos. En la dársena además se efectúan labores inherentes a la industria pesquera y al vaciado de las aguas municipales de la ciudad de Salina Cruz.

Las corrientes oceánicas del área se desplazan comúnmente en dirección sureste cambiando al noreste en la parte occidental del Golfo de Tehuantepec y al noroeste en la oriental durante la época de influencia de los vientos del norte, los cuales dominan la climatología de la región de noviembre a abril, afectando principalmente las áreas más cercanas a la costa.

El patrón de mareas es de tipo semidiurno lo que favorece el recambio continuo de las aguas interiores de la dársena y el antepuerto.

A lo largo de las costas de Oaxaca y Chiapas las temporadas climáticas están bien delimitadas. La época de lluvias se extiende de mayo a noviembre con un máximo de precipitación de 99 milímetros y la sequía, que ocupa el resto del año.

La climatología de la región de Salina Cruz es de tipo cálido subhúmedo, con régimen de lluvias de verano y está afectada por sistemas atmosféricos a mesoescala como lo demuestran los frecuentes vientos del norte que caracterizan a la región. Estos vientos resultan de una combinación de condiciones meteorológicas de gran escala y características topográficas locales con las cuales se involucra el desplazamiento de centros de alta presión originados en Alaska y en el noroeste de Canadá, que al alcanzar el Golfo de México se disipan en pocos días, sin embargo, la masa de aire frío queda retenida en el sur y en el oeste de la Sierra Madre que se eleva hasta 200 msnm.

Esta cadena montañosa se interrumpe en la parte central del Istmo de Tehuantepec en una franja de aproximadamente 40 km de ancho, donde la altura media de la sierra no excede de 250 msnm, de tal modo que la orografía forma un embudo y genera una diferencia de presión atmosférica entre las cuencas del Golfo de México y de Tehuantepec provocando con esto que el aire sea forzado violentamente a manera de chorro a través del Istmo y alcance las costas del área de Salina Cruz con velocidades entre 10 y 30 m/s que dan lugar a eventos intensos de surgencias oceánicas. Durante el período de mayo a septiembre los vientos son ligeros y provienen del sur (Mosiño y García 1974, Lavin *et al.* 1992).

Áreas de Muestreo

Dadas las características de la región y considerando las actividades que en ella se realizan, se estableció una red de estaciones, que gradualmente se incrementó a lo largo de los períodos de muestreo hacia la zona sur del litoral y la región oceánica (Fig. 1).

Durante octubre de 1990 se obtuvieron 11 muestras de sedimentos del interior de la dársena y del antepuerto y seis puntos fueron nuevamente muestreados en la subsecuente colecta. Para febrero de 1991, en adición a las localidades ya mencionadas, se analizaron tres más, cercanas a la Bahía la Ventosa.

Paralelamente al muestreo costero, se tomaron sedimentos de la región oceánica a bordo del B/O el Puma, cubriendo una red de 11 estaciones oceanográficas, distribuidas tanto en la zona de posible influencia de actividades petroleras como en otra de poca influencia y que fueron consideradas como sitios de referencia. En agosto de 1991, se obtuvieron muestras de sedimentos de 12 estaciones cubriendo la zona litoral, el antepuerto, el puerto y la Bahía la Ventosa.

Las ostras capturadas en febrero de 1991 se adquirieron de dos puntos correspondientes a un mismo banco el cual está localizado en la punta de la Bahía la Ventosa (estación 16), este banco presenta una zona protegida (E-16a) y otra de rompiente (E-16b) al que corresponden las muestras analizadas. Para agosto se colectó en la estación 16 (E-16a) además de la obtenida en la estación 15. Los crustáceos (*Penaeus stylirostris*) se obtuvieron en la estación 18 que corresponde a una laguna interior de la Bahía la Ventosa.

Las muestras de sedimento fueron colectados empleando una draga Van Veen de 5 litros de capacidad. Los ostiones y camarones se recogieron manualmente y se congelaron de inmediato para su análisis posterior. El procedimiento analítico para la extracción y la purificación de las fracciones de hidrocarburos están descritos en el Manual de Caripol-IOCARIBE (1986).

Los sedimentos y los organismos se hacen reaccionar con una solución KOH-metanol (5% v/v) por 3 horas, la fase orgánica se extrae con hexano bidestilado y purificado en columnas cromatográficas empacadas con alúmina activada, eluyendo con hexano y CH₂Cl₂. Las fracciones de hidrocarburos aromáticos fueron analizadas por cromatografía de gas capilar empleando un equipo Hewlett-Packard modelo 5890 provisto con columnas capilares de fenil-metil silicona al 5%. Se analizaron un blanco y una muestra duplicada a las que se les adicionó C28 como estándar interno para las fracciones saturadas y una mezcla de HAP (Chem. Service, West Chester PA 19381) conteniendo 15 compuestos aromáticos. Las condiciones de análisis fueron las siguientes: 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 de acarreo se utilizó helio y como gas auxiliar nitrógeno, ambos de alta pureza (Linde). La técnica empleada ha sido probada extensa-

TABLA I. CONCENTRACIÓN DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS (ng g⁻¹) EN SEDIMENTOS DEL PUERTO DE SALINA CRUZ, OAX. (octubre, 1990)

Número de Anillos	Compuesto	Estaciones de muestreo									Total
		3	5	6	7	8	9	10	11	13	
2	Naftaleno	—	—	—	65.55	—	—	0.85	—	—	65.55
	Acenafileno	—	—	—	2.55	—	16.28	—	0.68	6.72	27.08
	Acenafteno	—	—	—	10.86	—	—	—	0.12	6.07	17.05
	Fluoreno	—	—	—	—	—	—	—	0.13	10.15	10.28
3	Fenantreno	0.36	—	—	44.10	—	33.40	0.24	0.15	8.25	86.50
	Antraceno	0.42	9.66	0.45	23.35	0.29	19.13	1.25	0.13	6.34	61.02
	Fluoranteno	0.22	35.60	2.16	20.24	0.61	21.72	0.73	0.13	46.34	127.75
4	Pireno	—	24.96	1.34	39.49	0.56	—	1.95	—	13.99	82.29
	Benzo(a)antraceno	—	—	48.90	45.13	0.17	—	—	—	78.15	172.35
	Criseno	—	7.38	—	41.17	2.57	—	0.71	0.38	41.23	93.44
	Benzo(b)fluoranteno	—	38.90	0.98	24.96	—	—	1.54	0.91	33.71	101.00
	Benzo(k)fluoranteno	—	23.33	0.59	—	—	—	0.87	—	21.94	46.73
5	Benzo(a)pireno	—	15.70	—	—	—	—	0.67	—	13.90	30.27
	Benzo(ghi)perileno	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0
Total	1.0	204.43	5.52	317.40	4.2	90.53	8.81	2.64	286.79	921.31	

— No detectable

mente en la región del Caribe y respaldada analíticamente por ejercicios de intercalibración regionales con el fin de mantener su confiabilidad.

RESULTADOS

Sedimentos

En las **tablas I, II y III** se evidencian concentraciones de **HAP** obtenidas por el análisis cromatográfico en cada estación de muestreo para octubre de 1990, febrero y agosto de 1991.

Las estaciones **5** (204)*, **7** (317)*, **9** (90)* y **13** (286)* tuvieron las mayores concentraciones totales de **HAP** en octubre de 1990. Esto sin duda se relaciona con su ubicación, ya que las estaciones **5** y **7** se localizan dentro del antepuerto frente a las fosas de oxidación y los tanques de almacenamiento de PEMEX; en tanto que la **13** está situada dentro del Puerto en la desembocadura del colector

municipal y la **9** frente a las bodegas de almacenamiento portuario.

El resto de las estaciones mantuvo niveles bajos de **HAP**, siendo la **3** la que mostró las menores concentraciones (1)* y cuya localización es el paso de entrada de las aguas marinas al antepuerto.

Para febrero de 1991, es notable la disminución en la concentración de **HAP**, ya que únicamente la **11** (106)* y la **13** (66)* mostraron niveles importantes, en tanto el resto mantuvo valores bajos correspondiendo los menores a las estaciones **16** (2)* y la **2** (3)*.

Durante agosto de 1991, se manifestaron los niveles más bajos del ciclo de muestreo y únicamente las estaciones **19** (22)* y **20** (19)* presentaron valores importantes de **HAP**. Dichas estaciones se localizan en la Bahía la Ventosa frente a la Refinería "Antonio Dovalí" y reciben de manera directa los desechos de las actividades de refinación, lo cual se manifiesta por la gran variedad de **HAP** identificados a través del análisis cromatográfico.

Las estaciones restantes mantienen bajas concentraciones de **HAP** correspondiendo las menores a las esta-

* ng g⁻¹* ng g⁻¹

TABLA II. CONCENTRACIÓN DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS (ng g^{-1}) EN SEDIMENTOS DEL PUERTO DE SALINA CRUZ, OAX. (febrero, 1991)

Número de Anillos	Compuesto	Estaciones de muestreo									Total
		2	5	9	11	13	14	15	16	17	
2	Naftaleno	—	—	—	3.40	—	—	—	—	—	3.40
	Acenaftileno	—	—	—	1.03	—	—	—	—	—	1.03
	Acenafteno	—	—	—	1.26	—	—	—	—	—	1.26
	Fluoreno	—	—	—	3.68	—	—	—	—	—	3.68
3	Fenantreno	0.28	—	0.20	2.05	—	0.16	0.86	0.22	—	3.77
	Antraceno	2.17	1.63	0.35	5.61	3.72	1.65	2.77	0.10	0.51	18.51
	Fluoranteno	0.71	6.63	1.34	10.02	1.20	—	—	—	2.07	21.97
4	Pireno	—	—	1.02	16.01	10.41	—	0.03	1.91	2.01	31.39
	Benzo(a)antraceno	—	1.94	—	—	21.01	1.45	—	—	—	24.40
	Criseno	—	—	—	29.26	—	—	1.62	—	—	30.88
	Benzo(b)fluoranteno	—	1.94	1.22	12.15	10.92	6.47	4.45	—	0.06	37.21
	Benzo(k)fluoranteno	—	1.48	1.07	10.91	11.61	5.67	4.31	—	—	35.05
	Benzo(a)pireno	—	0.71	0.28	11.25	7.31	3.54	2.20	—	—	25.29
5	Benzo(ghi)perileno	—	—	—	—	—	1.77	1.08	—	—	2.85
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	—	—	—	—	—	1.74	1.05	—	—	2.79
Total		3.16	14.32	5.48	106.63	66.18	22.45	18.38	2.24	4.64	243.48

— No detectable

ciones **16** (0.16)*, **9** (2.6)* y **1** (2.5)*. Con referencia a los sedimentos oceánicos, se analizaron 11 muestras de las cuales las estaciones **B** (7)*, **D** (12)*, **E** (20)* y **F** (26)* presentaron cantidades de **HAP** más elevadas. Las menores concentraciones se establecen en las estaciones **C** (0.34)* y **H** (0.21)* y en tanto en las **G** y **J** no fue posible determinar la presencia de **HAP**. Este patrón de distribución de los **HAP** se relaciona con la ubicación de las estaciones y la circulación de la corriente costera, ya que las situadas frente al Puerto mostraron las mayores concentraciones, reflejando la influencia del mismo y sus aportes hacia la zona litoral.

La caracterización de los **HAP** por cromatografía de gases indica que para octubre de 1990 la presencia de estos compuestos estuvo expresada principalmente por aquellos conformados por 3 y 4 anillos bencénicos perteneciendo al fluoranteno (127)*, al benzo(a)antraceno (172)* y al benzo(b)fluoranteno (101)* las mayores concentraciones totales. En los compuestos de 2 anillos bencénicos, el naftaleno (65)* y en los de 5, el benzo(a)pireno (30)*, se presentaron los niveles más elevados.

* ng g^{-1}

Los porcentajes relativos a la concentración total de **HAP** (921)* fueron dominados por los compuestos de 4 anillos bencénicos con el 53% y los de 3 anillos con 30%, en tanto que los de 2 anillos (13.5%) y los de 5 (3.5%) se manifestaron en menor proporción (**Fig. 3**).

En febrero de 1991, la concentración total de **HAP** desciende notablemente (243)* y se modifican los porcentajes relativos al aumentar el grupo de **HAP** formados por 4 (65%) y 5 anillos (13%) y disminuyen los de 3 (18%) y 2 anillos (4%). Los **HAP** individuales con mayor concentración en este período fueron el antraceno (18)* y fluoranteno (22)* con 3 anillos, el benzo(b)fluoranteno (37)* y el benzo(k)fluoranteno (35)* con 4 anillos y el benzo(a)pireno (25)* con 5 anillos.

Durante agosto de 1991, se manifestó la menor concentración total de **HAP** (107)* y su composición porcentual relativa (**Fig. 3**) denota un dominio del grupo de 4 anillos (55%) siguiéndole en orden decreciente el de 5 (35%), el de 3 (7.5%) y el de 2 anillos (2.5%).

Para este mes los **HAP** individuales que se presentaron en mayor concentración fueron los conformados por 4

* ng g^{-1}

TABLA III. CONCENTRACIÓN DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS (ng g^{-1}) EN SEDIMENTOS DEL PUERTO DE SALINA CRUZ, OAX. (agosto, 1991)

Número de Anillos	Compuesto	Estaciones de muestreo												Total
		1	2	6	9	11	13	15	16	17	18	19	20	
	Naftaleno	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0
2	Acenaftileno	—	1.70	0.75	—	—	—	—	—	0.35	0.20	0.29	1.79	
	Acenafteno	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0	
	Fluoreno	—	0.18	—	—	—	—	—	0.15	0.13	0.12	0.17	0.75	
	Fenantreno	—	0.80	0.22	0.14	0.12	—	0.07	0.06	0.55	0.11	0.50	0.56	3.13
3	Antraceno	—	—	—	—	—	—	—	—	1.31	0.35	1.16	—	2.82
	Fluoranteno	—	—	0.04	1.10	0.06	0.42	—	0.10	0.07	0.03	—	—	1.82
	Pireno	—	1.47	—	—	—	—	—	—	—	—	2.23	3.14	6.84
	Benzo(a)antraceno	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0
4	Criseno	—	0.80	—	—	0.27	0.64	0.12	—	—	—	1.12	1.26	4.21
	Benzo(b)fluoranteno	0.93	3.25	3.26	—	1.73	1.91	2.28	—	2.91	1.70	0.59	4.46	23.02
	Benzo(k)fluoranteno	0.95	3.00	2.83	—	1.40	1.40	2.04	—	1.35	1.64	7.08	3.76	25.05
	Benzo(a)pireno	0.68	2.00	1.73	—	0.82	0.91	1.93	—	1.70	5.07	5.02	2.41	22.27
5	Benzo(ghi)perileno	—	—	—	1.36	0.50	0.57	0.76	—	—	—	2.40	3.84	9.46
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	—	—	—	—	—	3.61	—	—	—	—	2.40	—	6.01
	Total	2.57	13.2	8.83	2.60	4.90	9.47	7.19	0.16	8.04	9.37	22.82	19.89	107.17

— No detectable

anillos principalmente el benzo(b)fluoranteno (23)* y el benzo(k)fluoranteno (25)*. Finalmente, es notable la presencia del benzo(a)pireno formado por 5 anillos, el cual alcanzó una concentración de 22 ng g^{-1} .

En cuanto a los sedimentos oceánicos (Tabla IV) su composición porcentual con relación a su concentración total (70)* estuvo dominada por compuestos de 4 anillos bencénicos con 62%, siguiendo los de 5 con 26%, los de 3 con 11.5% y finalmente los más ligeros constituidos por 2 anillos con el 0.5%. Los HAP individuales más evidentes fueron el benzo(b)fluoranteno (15)*, el benzo(k)fluoranteno (14)* y el benzopireno (9.6)*.

Organismos

El empleo de organismos indicadores como parte de los estudios de vigilancia ambiental es de gran utilidad para comprender las rutas y procesos en que los contaminantes están involucrados al ser introducidos a los ecosistemas por medio de las actividades cotidianas del hombre.

* ng g^{-1}

Considerando lo anterior, moluscos bivalvos como los mejillones y diversas especies de ostras (*Ostrea* sp. y *Crassostrea* sp.) han sido seleccionados por el Programa Mussel Watch de la NOAA, como organismos "centinelas" para evaluar los niveles de la contaminación de las áreas costeras (Bravo *et al.* 1978, Farrington *et al.* 1983, Wade *et al.* 1988).

Así, durante la segunda y tercera fases de este estudio se colectaron moluscos de la especie *Crassostrea iridiscens* juveniles de camarones *Penaeus stylirostris* para analizar en ellos el contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos.

En la tabla V, se anotan los resultados cromatográficos realizados en moluscos (ostiones) y peneidos (camarones) obtenidos en el área de estudio durante febrero y agosto de 1991.

En el ostión *Crassostrea iridiscens* es notable la diferencia en los niveles de acumulación para los organismos colectados durante febrero de 1991 en la estación 16a (35.4)** y en la estación 16b (9.7)**, lo cual está relacionado con su ubicación, ya que ésta se localiza en la zona

** $\mu\text{g g}^{-1}$

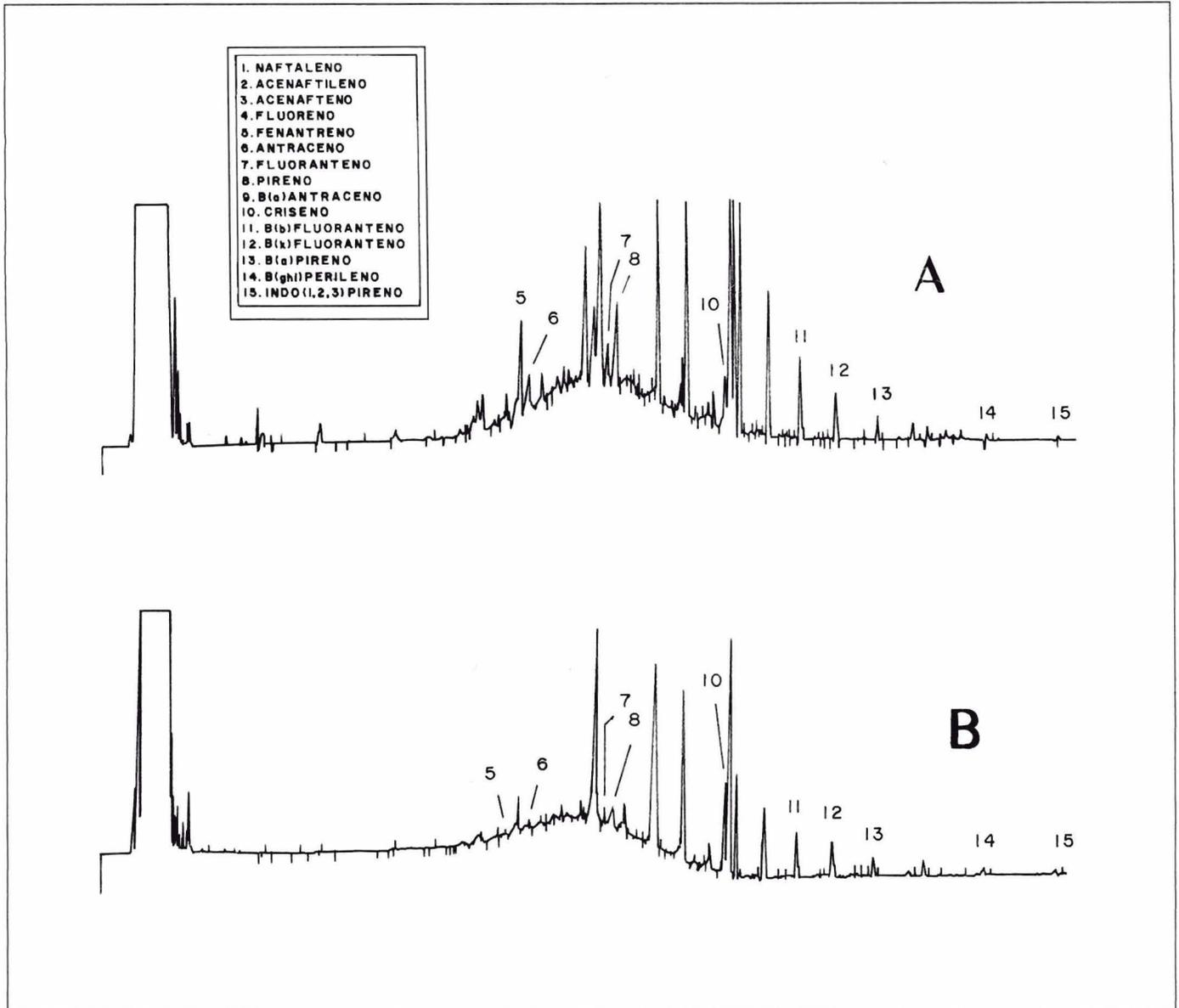


Fig. 2. Cromatograma de los hidrocarburos aromáticos policíclicos en *Penaeus stylirostris* (A) y en sedimentos de la estación 18 (B)

de rompientes, en donde la dinámica oceánica es mayor y no permite la acumulación de HAP. En el caso de los ostiones de la estación 16a se determinó un número elevado de HAP siendo los dominantes los de 3 anillos bencénicos, en los que el pireno (5)** y el benzo(b)fluoranteno (3)** fueron los que mostraron los niveles más altos. En este período también se notó la presencia de HAP de 5 anillos como el benzo(a)pireno (3.5)** y de 6 anillos como el benzo(ghi)perileno (3.5)** los cuales han sido descritos como compuestos con alta actividad carcinogénica (Grimmer 1993).

En contraste, los ostiones tomados en el área de rompiente (estación 16b) muestran niveles de HAP mucho

menores, con la presencia de únicamente 4 compuestos de los cuales el fenantreno (3.7)** fue el más abundante.

Durante agosto de 1991, los niveles de HAP totales se incrementaron en los tejidos del ostión (39 y 75)** y son notablemente altos los determinados en los peneidos (125 y 144)**.

Los análisis cromatográficos de los peneidos (Fig. 2) denotan un claro dominio de los HAP conformados por 4 anillos principalmente pireno, benzo(b)fluoranteno y benzo(k)fluoranteno. Es importante señalar que también se determinaron en sus tejidos las concentraciones más altas de HAP de 5 y 6 anillos, principalmente el benzo(a)pireno (17

** $\mu\text{g g}^{-1}$

** $\mu\text{g g}^{-1}$

TABLA IV. CONCENTRACIÓN DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS (ng g⁻¹) EN SEDIMENTOS OCÉANICOS EN EL ÁREA DE SALINA CRUZ, OAX. (febrero, 1991)

Número de Anillos	Compuesto	Estaciones de muestreo											Total
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
2	Naftaleno	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0
	Acenafileno	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0
	Acenafteno	—	—	—	—	—	0.10	—	—	—	—	—	0.10
	Fluoreno	—	—	—	—	—	0.08	—	—	—	—	—	0.08
3	Fenantreno	—	—	—	0.47	0.34	0.18	—	—	—	—	0.12	0.99
	Antraceno	0.30	0.29	0.15	1.29	1.42	0.16	—	—	—	—	0.44	3.73
	Fluoranteno	0.40	1.05	0.08	—	1.01	0.35	—	—	—	—	—	3.33
4	Pireno	0.28	0.78	0.11	—	5.62	3.42	—	—	—	—	0.32	10.53
	Benzo(a)antraceno	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0
	Criseno	—	—	—	0.52	1.33	1.28	—	—	—	—	—	3.13
	Benzo(b)fluoranteno	—	1.66	—	2.98	4.25	6.43	—	0.11	0.14	—	—	15.57
	Benzo(k)fluoranteno	—	1.58	—	2.74	3.66	6.22	—	0.07	0.22	—	—	14.49
5	Benzo(a)pireno	0.68	1.22	—	2.02	1.75	4.47	—	0.03	0.17	—	—	9.66
	Benzo(ghi)perileno	—	1.12	—	1.48	0.84	1.91	—	—	0.42	—	—	5.77
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	—	—	—	1.16	—	1.82	—	—	—	—	—	2.98
Total	0.98	7.69	0.34	12.66	20.02	26.43	0.0	0.21	0.95	0.0	0.88	70.36	

— No detectable

y 13)** y el benzo(ghi)perileno (12 y 15)**, lo cual pone en riesgo a los organismos y a sus consumidores debido a su elevado potencial carcinogénico (Grimmer 1993).

DISCUSIÓN

En los resultados anteriores, se nota que los **HAP** más ligeros (2 anillos) son poco frecuentes tanto en los sedimentos como en los organismos analizados. Este tipo de compuestos se pierde fácilmente por procesos de dilución y evaporación cuando se encuentran en la columna de agua y sobre todo en regiones tropicales con temperaturas elevadas y fotoperíodos largos, 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 o descargas municipales (Neff 1979, NRC 1985). Sin embargo, se presentan en las estaciones **7** (octubre, 1990) y **11** (febrero, 1991), lo cual indica un aporte reciente de los mismos.

** µg g⁻¹

Durante el ciclo del estudio, los compuestos de 3 y 4 anillos bencénicos fueron los más abundantes, siendo el fluoranteno un hidrocarburo aromático común en toda la región analizada, que junto con benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, pireno, fenantreno y criseno aparecieron en elevadas concentraciones y constituyeron parte importante de los materiales sedimentarios analizados.

Esta singular presencia del fluoranteno y otros **HAP** de 4 y 5 anillos, indica que su origen es debido a la combustión incompleta de los hidrocarburos fósiles (pirólisis) derivada de las múltiples actividades portuarias y de la refinera (Neff 1979, Bayona *et al.* 1993).

Los resultados de **HAP** en sedimentos, señalan que la zona interior a la dársena es la más contaminada por los aportes crónicos de hidrocarburos aromáticos, principalmente aquellos de origen pirolítico, los cuales son vertidos directamente al área del puerto sin ningún tratamiento previo y por acción de las corrientes y mareas tienden a dispersarse mar adentro en donde los de peso molecular alto pasan a formar parte de los sedimentos o bien de los organismos que estén en íntimo contacto con ellos. También las concentraciones de **HAP** cuantificadas

TABLA V. CONCENTRACIÓN DE HAP ($\mu\text{g g}^{-1}$) EN ORGANISMOS DEL ÁREA DE SALINA CRUZ Y ZONAS ADYACENTES

Número de anillos	Compuesto	Febrero 1991		Agosto 1992			
		<i>Crassostrea indiscens</i>		<i>Crassostrea iridiscens</i>		<i>Penaeus stylirostris</i>	
		E-16a	E-16b	E-16a	E-16b	E-18 Músculo completo	
2	Naftaleno	1.2	ND	ND	ND	ND	ND
	Acenafileno	0.79	ND	ND	ND	ND	ND
	Acenafteno	1.02	ND	ND	ND	ND	ND
	Fluoreno	1.76	ND	ND	ND	ND	ND
3	Fenantreno	1.56	3.67*	2.16	2.9	2.84	3.06
	Antraceno	0.86	3	3.38	3.0	2.57	6.15
	Fluoranteno	2.15	2	ND	2.98	2.58	4.67
4	Pireno	5.45	1.05	9.34	22.08	26.33	31.01
	B(a)antraceno	ND	ND	17.12	ND	ND	ND
	Criseno	1.85	ND	ND	10.19	6.2	26.36
	B(b)fluoranteno	3.76	ND	2.7	13.62	26.00	22.21
	B(k)fluoranteno	8.02	ND	4.2	12.69	29.53	21.39
5	B(a)pireno	3.5	ND	ND	7.62	16.98	13.4
	Indo(1,2,3)pireno	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6	B(ghi)perileno	3.5	ND	ND	ND	12.1	15.7
Total HAP		35.42	9.72	38.9	75.07	125.12	143.98

ND= Valor No Detectado (<0.002 $\mu\text{g/g}$ límite de detección)

son similares a las descritas por otros autores para regiones con alto grado de industrialización o impactadas por actividades petroleras (NRC 1985, Wade *et al.* 1988, Botello *et al.* 1991, 1993).

Por otro lado, la Bahía la Ventosa es un área en la que aún cuando los niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos no alcanzan niveles críticos como los del interior del puerto, la presencia de estos compuestos en los sedimentos sugiere la existencia de una contaminación crónica en niveles bajos, cuyos efectos son amortiguados por la dinámica costera.

Los HAP en los tejidos del ostión son comparativamente altos con respecto a los descritos para mejillones de la Bahía de San Diego, California, en el Pacífico con 450-32,800 ng g^{-1} (Pancirov y Brown 1983) o para aquellos de diversas áreas del norte del Golfo de México en donde los niveles observados para *Crassostrea* sp. van de 5 a 36,700 ng g^{-1} (Wade *et al.* 1988).

La variación temporal del tipo y de la abundancia de compuestos aromáticos retenidos en los ostiones podría ser el resultado de la intervención de mecanismos enzimáticos de transformación como el MFO-citocromo P-450 (Hutzinger 1989, Van der Berg y Poiger 1989, Varanasi

1989); sin embargo, ha sido demostrado que en la mayoría de los invertebrados y en especial en los moluscos, la capacidad de metabolizar los hidrocarburos es muy reducida (Vandermuelen y Penrose 1978).

La caracterización de los hidrocarburos aromáticos mostró que la mayor parte de los compuestos contenidos en los tejidos del camarón forman parte también de los sedimentos (HAP de 4 y 5 anillos bencénicos) a los cuales los crustáceos viven íntimamente asociados, indicando que su fuente de origen se encuentra en las actividades humanas que involucran procesos pirolíticos.

Los valores de HAP en los peneidos son hasta cuatro veces superiores a los cuantificados para el ostión, lo que se relaciona con la mayor disponibilidad de los compuestos en el ambiente lagunar, del cual fueron capturados y que está siendo afectado por los desechos provenientes de la refinería (Tabla V).

A partir de los datos analizados se observó que los niveles contenidos en ostiones son de 4 hasta 500 veces más elevados que los presentes en los sedimentos y en los camarones son de 15 a 65,000 veces mayores. Este proceso de bioacumulación es altamente significativo sobre todo tratándose de compuestos con una elevada toxicidad

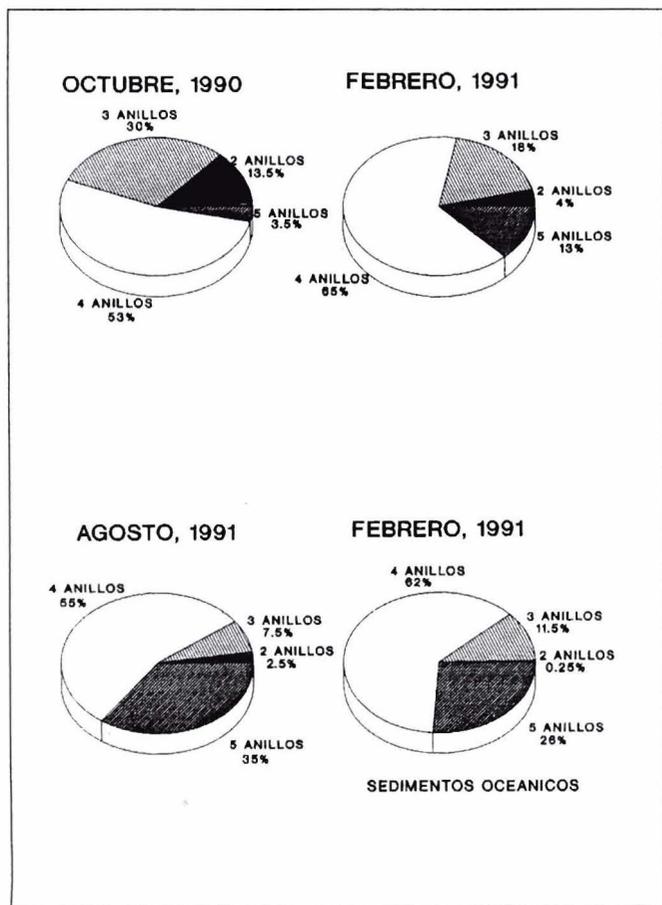


Fig. 3. Composición porcentual de HAP's en los sedimentos costeros y oceánicos analizados durante el ciclo del estudio

como es el caso de los HAP y de especies en donde se sustenta una importante pesquería para consumo humano. Al respecto se han realizado experimentos de toxicidad, demostrándose que estos hidrocarburos son responsables de efectos deletéreos de tipo subletal en las especies mencionadas y que la toxicidad se incrementa en relación directa a su peso molecular, siendo los HAP conformados por 4, 5 y 6 anillos bencénicos los más tóxicos (Cox 1974).

Finalmente, es indudable que la presencia de estos compuestos en los organismos puede redundar en el detrimento del éxito de las pesquerías principalmente la del camarón, así como para otras de igual relevancia en el área, ya que producen efectos de tipo subletal como son la reducción en la tasa de crecimiento, en la viabilidad de los gametos e irregularidades en el desarrollo larvario. Estas alteraciones han sido notadas en moluscos por la incidencia de compuestos aromáticos policíclicos (NRC 1985).

REFERENCIAS

- Bayona J.M., Fernández P. y Albaigés J. (1993). Oxy-substituted PAH's in urban atmospheric particulates and coastal marine sediments. *Polycyclic Aromatic Compounds*. Vol. 3, Suppl. pp. 371-378.
- Bravo H.A., Salazar S., Botello A.V. y Mandelli E.F. (1978). Polyaromatic hydrocarbons in oysters from coastal lagoons along the eastern coast of the Gulf of Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 19, 171-176.
- 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. (1993). Presence of PAH's coastal environments of the southeast Gulf of Mexico. *Polycyclic Aromatic Compounds*. Vol. 3, Suppl. pp. 397-403.
- Cox B.A. (1974). Responses of the marine crustaceans (*Mysidopsis almyra*, *Penaeus aztecus* and *Penaeus setiferus*) to petroleum hydrocarbons. Ph. D. Dissertation. Texas A.M. University. College Station Tx. EUA, 167 p.
- Farrington J.W., Goldberg E.D., Risenbrough R.W., Martin J.H. y Bowen V.T. (1983). U.S. Mussel Watch 1976-1978: An overview of the trace metals, DDE, PCB, hydrocarbons and artificial radionuclide data. *Environ. Sci. Technol.* 17, 490-496.
- Grimmer G. (1993). Relevance of polycyclic aromatic hydrocarbons as environmental carcinogens. *Polycyclic Aromatic Compounds*. Vol. 3, Suppl. pp. 31-42.
- Hutzinger O. (1989). *Handbook of Environmental Chemistry*. Vol. 2. Reactions and processes. Springer Verlag, Berlin, 235 p.
- Lavín M.F., Robles J.M., Argote M.L., Traviña A., Vélez H.S. y García L. (1992). Física del Golfo de Tehuantepec. *Ciencia y Desarrollo* 18, 97-107.
- Manual Caripol-IOCARIBE (1986). *Manual para el análisis de hidrocarburos del petróleo*. Subcomisión IOCARIBE-UNESCO. Cartagena de Indias, Colombia. 42 p.
- Mosíño A.F. y García E. (1974). Estudio geográfico de la región de Salina Cruz, Oaxaca. Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía. México D.F., 347 p.
- Neff M.F. (1979). *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the aquatic environment. Sources, Fates and Biological Effects*. Applied Science Publishers, U.K. 262 p.
- NRC (National Research Council) (1985). *Oil in the Sea. Inputs, Fates and Effects*. National Academy Press. Washington D.C., 601 p.
- Pancirov R.J. y Brown R.A. (1977). Polynuclear aromatic hydrocarbons in marine organisms tissues. *Environ. Technol.* 11, 989-992.
- Van der Berg M. y Poiger H. (1989). Selective retention of PCDD's and PCDF's in mammals: a multiple cause problem. *Chemosphere* 18, 677-680.
- Vandermuehlen J. y Penrose W.R. (1978). Absence of aryl hydrocarbons hydroxylase (AHH) in three marine bivalves. *J. Fish. Res. Can.* 35, 643-647.
- Varanasi U. (1989). *Metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 341 p.
- Wade T.L., Atlas E.L., Brooks J.M., Kennicutt M.C., Fox R.G. y Sericano J. (1988). NOAA Gulf of Mexico status and trends program: trace organic contaminant distribution in sediments and oysters. *Estuaries* 11, 171-179.