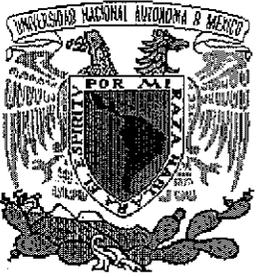


00344

4



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**“HIDROCARBUROS DEL PETRÓLEO EN SEDIMENTOS Y
BIVALVOS INDICADORES DE LA CONTAMINACIÓN MARINA
EN EL PACÍFICO SUBTROPICAL MEXICANO”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS
(BIOLOGÍA DE SISTEMAS Y RECURSOS ACUÁTICOS)**

P R E S E N T A :

BIÓL. CLAUDIA EUGENIA GARCÍA RUELAS

DIRECTOR DE TESIS: DR. ALFONSO VÁZQUEZ BOTELLO

MÉXICO, D.F.

2002

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Alfonso Vázquez Botello, por el apoyo otorgado para la realización de esta etapa de mi vida, por compartir tanto la experiencia como el conocimiento profesional y por supuesto por la dirección de esta tesis.

A la M. en C. Guadalupe Ponce Vélez, por sus enseñanzas, apoyo, confianza, por guiarme no sólo académica sino espiritualmente y por haberme soportado en momentos difíciles, gracias Lupita por tu amistad.

Al Dr. Gilberto Díaz González, porque al compartir su experiencia analítica, el camino se torna más sencillo, gracias por el conocimiento ofrecido y por el apoyo de siempre.

Al Dr. Federico Páez Osuna y a la Dra. Marisa Mazari Hiriart, por la revisión del manuscrito, sus acertados comentarios, sus críticas, sus consejos y por el apoyo para mejorar mi trabajo.

A la M. en C. Alicia de la Luz Durán González, por sus atinados comentarios, la ayuda en la realización de los mapas y su amistad, gracias una vez más.

A la Biól. Rosaura Páez Bistrain, por su apoyo en el manejo estadístico, sus comentarios, sus observaciones y su humor.

A la Biól. Susana Villanueva Fragoso, al LPA. Rey Gutiérrez Tolentino, por sus consejos y paciencia.

A los Ingenieros en Sistemas Ambientales, Dulce O. Leyva Cardoso y Alberto Villalobos Martínez, por sus comentarios e incondicional ayuda.

A la Biól. Sonia Franco Martínez y a las M. en C. Zoila Castillo y Ma. Eugenia Zamudio, por sus comentarios y ayuda desinteresada.

A Ignacio Palomar, por estar ahí siempre y más cuando se le necesita.

A todos los amigos y compañeros del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Unidad Mazatlán, que tuvieron que ver en el proyecto.

Agradezco con mucho cariño a mi hermana, Illeana, por confiar en mí, por permitirme compartir con mis sobrinas agradables momentos y por todo.

Gracias a todos aquellos amigos que de alguna forma me hicieron despertar del sueño en que estaba inmersa.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

INDICE

	Pág.
Resumen	
Introducción	1
Antecedentes	9
Objetivos	12
Area de estudio	13
Materiales y Métodos	17
Resultados y Discusión	21
	SEDIMENTOS
Sonora	21
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	21
Hidrocarburos alifáticos	27
Hidrocarburos totales del petróleo	29
Sinaloa	32
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	32
Hidrocarburos alifáticos	37
Hidrocarburos totales del petróleo	39
Nayarit	42
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	42
Hidrocarburos alifáticos	44
Hidrocarburos totales del petróleo	46
Jalisco	49
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	49
Hidrocarburos alifáticos	53
Hidrocarburos totales del petróleo	55
Colima	58
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	58
Hidrocarburos alifáticos	60
Hidrocarburos totales del petróleo	62
	Comportamiento General
	64
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	64
Hidrocarburos alifáticos	72
Hidrocarburos totales del petróleo	74
	76
	MOLUSCOS BIVALVOS
<i>C. palmula</i>	
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	77
Hidrocarburos alifáticos	80
Hidrocarburos totales del petróleo	80

<i>C. corteziensis</i>	Hidrocarburos aromáticos policíclicos	82
	Hidrocarburos alifáticos	84
	Hidrocarburos totales del petróleo	86
<i>C. gigas</i>	Hidrocarburos aromáticos policíclicos	86
	Hidrocarburos alifáticos	88
	Hidrocarburos totales del petróleo	88
<i>C. iridescens</i>	Hidrocarburos aromáticos policíclicos	90
	Hidrocarburos alifáticos	90
	Hidrocarburos totales del petróleo	93
<i>M. strigata</i>	Hidrocarburos aromáticos policíclicos	94
	Hidrocarburos alifáticos	96
	Hidrocarburos totales del petróleo	98
	Comportamiento General	99
	Hidrocarburos aromáticos policíclicos	99
	Hidrocarburos alifáticos	103
	Conclusiones	107
	Literatura Citada	110

ANEXO

PAH levels in bivalve mollusks from the Mexican Subtropical Pacific

Resumen

Se analizaron los hidrocarburos del petróleo, aromáticos y alifáticos, en muestras de sedimentos superficiales y moluscos bivalvos, con el propósito de obtener una visión ambiental general y establecer los primeros registros de tales compuestos en cinco estados del Pacífico Subtropical Mexicano. Las técnicas analíticas utilizadas fueron las propuestas por la UNEP/IOC/IAEA (1992) para sedimentos y la UNEP/IAEA/FAO/IOC (1993) para organismos marinos. Considerando la concentración promedio de HAPs por estado en sedimentos superficiales, las muestras recolectadas en Colima (16.96µg/g) registraron los niveles más altos. Se detectó el Benzo(a)pireno, compuesto altamente carcinogénico, en 26 sitios evaluados. El origen de estos HAPs, es predominantemente pirolítico. Los hidrocarburos alifáticos, provienen de fuentes mixtas, tanto de material terrígeno, como de organismos marinos y del petróleo.

En cuanto a los moluscos bivalvos estudiados, el Benzo(b)fluoranteno fue el compuesto dominante encontrado en los ostiones (0.47-2.94µg/g) y mejillones (0.72-7.16µg/g); el Benzo(a)pireno fue detectado en 3 de las especies evaluadas y otros compuestos provenientes de la quema de combustibles fósiles como el Pireno y los Benzofluorantenos estuvieron presentes por lo menos en 4 de las 5 especies. Las fuentes de los hidrocarburos alifáticos fueron mixtas, tanto biogénicas como petrogénicas.

La presencia de HAPs de alto riesgo ambiental en los sedimentos costeros estudiados, refleja un impacto derivado de las actividades antropogénicas que aunado al registro de estos compuestos en los moluscos bivalvos analizados, representa un riesgo potencial para la salud humana, ya que estos organismos están dentro de la cultura del consumo del mercado mexicano, lo que hace indispensable una vigilancia continua y el establecimiento de límites permisibles para el consumo humano, tanto en México como en el resto del mundo.

INTRODUCCIÓN

La zona costera del Pacífico Subtropical Mexicano cuenta con un gran número de lagunas costeras. Estas áreas son vitales tanto por el reclutamiento de organismos para las pesquerías, como, por representar zonas de amortiguamiento durante los desastres naturales tales como los ciclones.

Actualmente en México y en otros lugares del mundo, la zona costera es utilizada para la descarga de aguas urbanas e industriales, las cuales alteran el equilibrio ecológico y modifican las propiedades fisicoquímicas de los cuerpos de agua y su dinámica. Aunado a ello, existen otras actividades como las humanas que provocan la alteración de los ecosistemas marinos y costeros, originadas por las operaciones de extracción, refinación, transporte, almacenamiento y el uso del petróleo (NRC, 1985).

Dentro de los contaminantes presentes en la zona costera se encuentran los hidrocarburos del petróleo, los cuales incluyen a los compuestos saturados de cadena lineal (alcanos), compuestos alicíclicos (cicloalcanos) y compuestos aromáticos descritos ampliamente en la literatura (Neff, 1979; Botello, 1996) .

Existen hidrocarburos que se presentan de manera natural por filtraciones procedentes de los yacimientos en el ambiente marino; sin embargo una proporción significativa de éstos en los ambientes costeros y marinos derivan de fuentes antropogénicas; la mayoría son productos refinados del petróleo y sus derivados. Algunos compuestos del petróleo son volátiles y fácilmente degradados en los sistemas acuáticos, pero en muchos casos pueden persistir en la columna de agua y por largos períodos en los sedimentos (Fernandes *et al.*, 1997).

Los hidrocarburos del petróleo en el ambiente marino provienen de diversas fuentes, las cuales pueden ser clasificadas como antropogénicas (Neff, 1979; Zanardi *et al.*, 1999) generados por la pirólisis de combustibles fósiles como carbón y petróleo, además de material orgánico reciente como la madera (Page *et al.*, 1999; Soclo *et al.*, 2000), biogénicas donde los hidrocarburos son producidos naturalmente por organismos marinos (Zanardi *et al.*, 1999), filtraciones naturales del fondo marino (Botello *et al.*, 1997), por diagénesis que consiste en la degradación de materia orgánica por precursores biológicos en la columna

sedimentaria (Santschi *et al.*, 2001) y petrogénica debido a la maduración lenta de la materia orgánica bajo un gradiente de condiciones geoquímicas (Soclo *et al.*, 2000).

Los hidrocarburos alifáticos o parafinas son cadenas lineales de hidrocarburos, que se degradan con facilidad, sin embargo el C₂₇ al ser relativamente resistente a la degradación se transforma en compuestos únicos que se utilizan como indicadores de petróleo intemperizado (Albaigés y Albrecht, 1979; Dastillung y Albrecht, 1979; Boehm *et al.*, 1997). Los hidrocarburos biogénicos recientes muestran un predominio alto de n-alcános de tipo impar; los aportes de detritos de la vegetación terrestre son caracterizados por la presencia de n-alcános impares en el intervalo de C₂₃ al C₃₃ y los aportes marinos biogénicos presentan n-alcános impares principalmente el C₁₅, C₁₇ y C₁₉ (Botello, 1996).

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) son componentes abundantes de la materia orgánica en las zonas costeras, entran en el ambiente marino tanto por vía acuática (ríos, drenajes) como atmosférica (Gogou *et al.*, 2000). Las fuentes antropogénicas de los HAPs a la atmósfera incluyen, las emisiones vehiculares e industriales, el calentamiento doméstico con carbón, petróleo, gas y madera, así como la incineración y la quema de biomasa, la degradación de llantas y el asfaltado (Gustafson y Dickhut, 1997; Kavouras *et al.*, 1999). El transporte atmosférico es considerado como una de las principales vías de entrada de los compuestos tóxicos a los ecosistemas marinos.

Los HAPs pertenecen a una de las clases de compuestos contaminantes hidrofóbicos más peligrosos (Perminova *et al.*, 1999). La presencia de ellos en el ambiente está relacionada con la actividad antropogénica (Piccardo *et al.*, 2001) considerada como la fuente mayor de estos compuestos los desechos de áreas industrializadas y urbanizadas, la explotación petrolera, el uso de combustibles (Miles y Delfino, 1999; Soclo *et al.*, 2000).

Los HAPs son compuestos persistentes y ubicuos (Baumard *et al.*, 1998; Azevedo *et al.*, 1999; Notar *et al.*, 2001) que han sido descritos en todos los compartimientos de los ecosistemas, presentes tanto en la columna de agua, los sedimentos, la atmósfera y en los organismos (Benlahcen *et al.*, 1997). Muchos de

ellos poseen propiedades mutagénicas y/o cancerígenas y han sido relacionados a varios tipos de cáncer (Grimmer, 1993; Azevedo *et al.*, 1999; Pereira-Netto *et al.*, 2001).

Las tasas de biodisponibilidad y degradación de los HAPs en el ambiente marino pueden diferir drásticamente, en asociación con partículas tales como los agregados fecales, mecanismo considerado como el mejor para el transporte de los hidrocarburos, desde la superficie hasta las profundidades de la columna de agua, permitiendo así su acumulación en los sedimentos (Baker *et al.*, 1991).

La introducción crónica de los HAPs en ambientes acuáticos puede afectar la calidad del agua e inducir su acumulación en las cadenas alimenticias de organismos pelágicos y bentónicos en varios niveles tróficos, produciendo un cambio gradual en la biota (Fernandes *et al.*, 1997).

La Agencia de Protección ambiental de los E.U.A. ha identificado 16 HAPs como los principales contaminantes (USEPA, 1990). Algunos de estos compuestos son carcinogénicos potenciales para el humano, es por esto que su distribución en el ambiente ha sido objetivo de investigaciones continuas (Laflamme y Hites, 1978; Menzie *et al.*, 1992). En México existe una norma oficial de emergencia NOM-EM-138-ECOL-2002, que establece los límites máximos permisibles de contaminación en suelos afectados por hidrocarburos, la caracterización del sitio y procedimientos para la restauración; los compuestos aromáticos policíclicos que mencionan dentro del Diesel y productos aceitosos son Benzo(a)pireno, Benzo(a)antraceno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(k)fluoranteno y Criseno (0.08-80.0µg/g).

Los sedimentos son el reservorio final de los contaminantes persistentes que se descargan en el océano, además de ser el compartimiento adecuado para el seguimiento a largo plazo de muchos contaminantes; a menudo contienen carbono orgánico, lo cual favorece una afinidad alta por los compuestos orgánicos no polares, tales como los hidrocarburos, permitiéndoles su acumulación. Actúan como el principal depósito de sustancias químicas tóxicas, por lo que su análisis ha sido ampliamente utilizado para detectar otros contaminantes como los

bifenilos policlorados (BPC), plaguicidas, metales pesados e hidrocarburos del petróleo (Daskalakis y O'Connor, 1995; Botello *et al.*, 1998).

Es importante la reconstrucción de la historia de depositación de las sustancias, provenientes de las actividades humanas, para elaborar estrategias de manejo y evaluar el éxito en las medidas de control de contaminación reciente. Debido a que los elementos pueden tener fuentes tanto antropogénicas como naturales, deben ser identificados con el fin de reconocer el alcance de la contaminación.

La reconstrucción cuantitativa de los aportes de contaminantes requiere de una cronología precisa. En áreas costeras y estuarinas, esto puede complicarse por la mezcla post-depositación de los sedimentos a través de los mecanismos físicos, químicos y biológicos, los cuales alteran potencialmente el acomodo original de los sedimentos. Existen múltiples fuentes de aportes de sedimentos, resultado de la desembocadura de los ríos, la erosión de la línea de costa y actividades de dragado, así como derrumbes y la diagénesis (Santschi *et al.*, 2001).

Por otra parte, se han establecido intervalos de concentración en sedimentos, de hidrocarburos aromáticos policíclicos, plaguicidas y metales pesados, de acuerdo a los efectos toxicológicos y los niveles en los que inciden sobre la salud de los organismos, llegando a provocar efectos ocasionales y o frecuentes sobre ellos (Long *et al.*, 1995). Esta herramienta, mediante el manejo de la información generada en otros estudios permite conocer los niveles en los cuales los organismos son vulnerables a ciertas concentraciones de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos (Daskalakis y O'Connor, 1995).

Entre las ventajas de analizar los sedimentos en lugar de los organismos se encuentran, el que concentran contaminantes por períodos más largos, son más fáciles de analizar, son estacionarios, representan el hábitat de muchos organismos así como su base alimentaria, son fáciles de obtener y repetir muestreos en los mismos sitios que señalen tendencias de contaminación, dan información más precisa sobre áreas pequeñas y distribución regional de ciertos contaminantes que la biota, brindan información en escala de tiempo, aún en etapas previas a la introducción de un contaminante (nivel base), en regiones de gradientes físicos altos como los estuarios son el mejor medio para obtener datos

comparables aún sobre la gran variabilidad de las condiciones ambientales. En cuanto a las desventajas: los niveles reales o potenciales de los contaminantes en los sedimentos dependen algunas veces del producto de una compleja interacción y transformación antes de que el contaminante esté finalmente incorporado en ellos; en algunas áreas, la erosión y la sedimentación alternada dan como resultado un registro geológico fragmentado. En áreas de baja depositación, la "bioperturbación" puede alterar la historia de depositación de los contaminantes, los sedimentos usualmente no concentran en el mismo grado que lo hacen los organismos, lo cual dificulta la detección de aportes antropogénicos a cierta distancia del origen (Botello *et al.*, 1996).

Los impactos del petróleo en organismos marinos son variados dependiendo de la concentración, tipo de petróleo, la duración del contacto, la sensibilidad de los organismos y la localización geográfica del derrame. Sin embargo, se ha encontrado que en concentraciones bajas de hidrocarburos del petróleo (<0.05 µg/g) la fotosíntesis en estos ambientes se intensifica (Clark, 1997).

Los petróleos pueden ser tóxicos para la vida acuática, cuando son ingeridos o absorbidos a través de la piel o las branquias; interfieren con las comunidades acuáticas y su hábitat.

De manera general, los compuestos aromáticos son más tóxicos que los alifáticos y los constituyentes de peso molecular medio, son más dañinos que aquellos de alto peso molecular (Hoong *et al.*, 2001). La mayoría de los hidrocarburos aromáticos de bajo punto de ebullición, son de hecho letales para muchos organismos marinos, debido a su biodisponibilidad.

Cuando un organismo está expuesto a contaminantes orgánicos, la concentración de estos xenobióticos en el tejido, varía hasta que alcanza un nivel de estabilidad. Esta concentración es el resultado del balance entre la ingestión (desde el agua, los sedimentos y hasta la dieta) y la depuración (excreción directa, biotransformación). La ingestión del contaminante está gobernada por su biodisponibilidad la cual en el caso de algunos compuestos orgánicos está relacionada con su solubilidad en el agua. Los contaminantes hidrofóbicos tales como los HAPs tienden a ser rápidamente adsorbidos sobre las partículas (Neff,



1979). Su carácter hidrofóbico está representado por el coeficiente de distribución octanol-agua (*Kow*). La biodisponibilidad de los compuestos aromáticos adsorbidos en las partículas decrece a manera que el coeficiente de distribución aumenta (Baumard *et al.*, 1998).

En cuanto al interés por utilizar organismos, como monitores de la contaminación radica en el hecho de que la contaminación puede en ocasiones no ser registrada en los sedimentos mientras que en los bivalvos puede ser acumulada y con ello, registrar el comportamiento de los contaminantes (Baumard *et al.*, 1998).

La razón de estudiar tanto los niveles de hidrocarburos del petróleo en sedimentos, como en organismos permite calcular el factor de bioacumulación, que es la relación entre la concentración en los tejidos de los organismos respecto a la concentración encontrada en los sedimentos, dependiente de la biodisponibilidad, la ingesta, la excreción y la biotransformación.

Los ostiones (*Crassostrea* y *Ostrea*), los mejillones (*Mytillus* y *Mytella*) y otros moluscos bivalvos son utilizados como centinelas por las siguientes características (Farrington *et al.*, 1983):

- Los bivalvos son cosmopolitas (distribuidos ampliamente). Esta característica minimiza los problemas inherentes en la comparación de datos para especies marcadamente diferentes en cuanto a sus historias de vida y relaciones con su hábitat.
- Son especies sésiles integradoras del estado de contaminación química en un área dada.
- Pueden concentrar muchos compuestos químicos en factores de 10^2 - 10^5 , comparados con el agua de mar en su hábitat. Esto permite que la medición de los contaminantes sean más fáciles de detectar en los tejidos que en el agua de mar.
- Puesto que pueden cuantificarse los contaminantes en los bivalvos, es posible evaluar la biodisponibilidad de los mismos.
- En comparación con los peces y los crustáceos, los bivalvos muestran una actividad baja o casi indetectable de los sistemas enzimáticos que metabolizan la mayoría de los contaminantes tales como los HAPs y los PCBs, por lo que puede hacerse una evaluación más precisa de la magnitud de contaminación de los

xenobióticos en el hábitat de los bivalvos.

- Los bivalvos tienen poblaciones relativamente estables y abundantes como para ser muestreadas repetidamente, proveyendo datos de cambios a corto y largo plazo de los contaminantes químicos.
- Sobreviven bajo condiciones de contaminación que generalmente reducen severamente o eliminan a otras especies.
- Pueden ser transplantados exitosamente y mantenerlos en áreas submareales o intermareales, donde normalmente las poblaciones no crecen – muchas veces por la falta de un sustrato adecuado- permitiendo con ello la expansión de las áreas a ser investigadas.
- A nivel mundial, son especies con valor comercial para el consumo humano, así pues son de interés para la salud pública.

Los niveles de acumulación de contaminantes orgánicos en los tejidos de moluscos bivalvos que se alimentan por filtración, no sólo son dependientes de la solubilidad en agua de los contaminantes, sino también de la presencia de materiales suspendidos, particularmente del plancton (Murray *et al.*, 1991).

Cuando muchos organismos están expuestos a los contaminantes, generalmente, dependiendo de su capacidad, tienden a metabolizar y a depurar directamente, reduciendo cualquier daño celular que puedan causar los xenobióticos (Cheung *et al.*, 2001).

Existen muchas razones por las cuales las concentraciones de los compuestos químicos pueden variar en los bivalvos:

Cambios en la tasa de filtración, la actividad reproductiva, el cambio en la actividad biológica y/o bioquímica de los bivalvos, la actividad microbiana, la toma de contaminantes por el fitoplancton, los cambios en las concentraciones ambientales o los tipos de químicos involucrados (Farrington *et al.*, 1983).

El presente trabajo forma parte del proyecto de Investigación "Biomonitoreo de la Contaminación en las Aguas Costeras del Pacífico Subtropical Mexicano: Metales Pesados, Plaguicidas e Hidrocarburos del Petróleo" financiado por CONACYT (Proyecto 0185P-T) cuyo responsable fue el Dr. Federico Páez Osuna, Investigador Titular "C" del ICMyL-Est. Mazatlán y como Coordinador del apartado

de "Hidrocarburos del Petróleo", el Dr. Alfonso Vázquez Botello, Investigador Titular "C" del ICMYL- Campus Ciudad Universitaria.

A pesar de que la zona Subtropical del Pacífico Mexicano, no se caracteriza por ser territorio densamente poblado, existen actividades económicamente relevantes como son la pesca, la camaronicultura, el turismo, la industria agrícola y de alimento; todas ellas son probablemente fuentes de contaminación, es por esta razón que se decide evaluar la contaminación costera, analizando entre los compuestos orgánicos persistentes a los hidrocarburos del petróleo. En México, a pesar de que se han realizado estudios tendientes al conocimiento de la contaminación costera, el presente constituye el primer esfuerzo de este tipo en el Pacífico Subtropical Mexicano.

ANTECEDENTES

En las costas del Pacífico Mexicano, se han efectuado investigaciones sobre sedimentos recientes relacionados tanto con la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos como de hidrocarburos alifáticos, entre los que se encuentran los de Villegas-Jiménez *et al.* (1996), en la Bahía de Todos Santos, B.C., área de baja contaminación por hidrocarburos derivados del petróleo ó de la combustión producida por las actividades humanas (área pristina); Gutiérrez-Galindo *et al.* (1996) analizaron los contaminantes orgánicos en la Bahía de San Quintín, B.C., incluyendo a los HAPs e hidrocarburos alifáticos, debido a la importancia de la zona en la producción de ostiones y su exportación a los EUA; el de González-Estrada (1998) para la costa occidental de Baja California desde la frontera con los Estados Unidos de Norteamérica hasta Cabo San Lucas, B.C.S., confirma los aportes del tipo biogénico en lagunas costeras y bocas de la región; en la zona costera de Michoacán y Guerrero, López-Veneroni *et al.* (1999) obtienen los niveles base del Pacífico tropical oriental mexicano, además de argumentar posibles orígenes y las transformaciones que los hidrocarburos sufren en la región; Pica-Granados *et al.* (1994) y Botello *et al.* (1998), en Salina Cruz, Oaxaca, reportan elevadas concentraciones de Pireno, Fluoranteno y Benzo(a)pireno, tanto en sedimentos superficiales, como en columna de agua y organismos. Para el Golfo de México, Ponce-Vélez (1995), presentó los niveles de HAPs en la plataforma continental, desde Tamaulipas hasta Tabasco, los valores totales más altos de HAPs se encontraron en las muestras recolectadas en el estado de Veracruz.; Botello *et al.* (1997), incluyeron además el Mar Caribe. También se han evaluado los HAPs presentes en algunas lagunas costeras del estado de Veracruz (Botello *et al.*, 2001).

En otras áreas del mundo, entre los estudios sobre los derrames de petróleo y la presencia de hidrocarburos en los sedimentos, se pueden citar los de Al-Lihaibi y Al-Omran (1996) y Al-Lihaibi y Ghazi (1997) en el Golfo Pérsico, en él encontraron que a pesar de ser una zona de intenso tráfico de buques-tanque, de producción y almacenamiento de petróleo, de la presencia de terminales de exportación, señalan que el área no está alterada en cuanto a contaminación por petróleo,

debido a las condiciones fisicoquímicas del mar, reduciendo selectivamente los niveles de contaminación; en la costa de Alaska, Lee y Page (1997) determinaron las concentraciones encontradas en los sedimentos meses después de los mayores derrames y describen sus efectos sobre la biota submareal, basados en la literatura relacionada. Lopes *et al.* (1997), trabajaron en los efectos sobre las poblaciones rocosas debido al derrame petrolero por la ruptura de un ducto, en la costa rocosa de Brasil; Munoz *et al.* (1997), escriben sobre el intemperismo del de los hidrocarburos alifáticos por la tasa de degradación del petróleo crudo, en las Antillas y Sharma *et al.* (1997), cuantificaron los hidrocarburos aromáticos y alifáticos presentes en el sistema Laguna Madre, en los EUA; Short *et al.* (1999), analizaron los antecedentes de los hidrocarburos naturales de los sedimentos bentónicos de Alaska, EUA.; Page *et al.* (1999), trabajaron sobre los hidrocarburos aromáticos policíclicos pirogénicos en Alaska, EUA, como registros de las actividades humanas del pasado y Ho *et al.* (1999) estudiaron la química y toxicidad de los sedimentos afectados por un derrame petrolero en los EUA.

Para determinar las fuentes de origen de los HAPs se han utilizado relaciones entre 2 ó mas hidrocarburos (Fluoreno/Pireno; Criseno/Benzo(a)antraceno; Fenantreno/Antraceno, entre otras) tal y como lo realizaron Sicre *et al.* (1987); Budzinsky *et al.* (1997); Kim *et al.* (1999); Soclo *et al.* (2000), Storelli y Marcotrigiano (2000) y Notar *et al.* (2001), entre otros.

En cuanto a bivalvos, en México, se han realizado trabajos sobre los niveles de hidrocarburos del petróleo en moluscos y otras especies, entre los que se encuentran los realizados por Castillo-Peraaza (1990), para la zona de Rosarito, B.C. con mejillones de la especie *Mytilus californianus*; el de Gold-Bouchot *et al.* (1997), en las lagunas de Tabasco, con la especie *Crassostrea virginica*, el de Noreña-Barroso *et al.* (1999), con ostiones (*C. virginica*) de la Laguna de Términos, Campeche.

En otras regiones, Steinert *et al.* (1998) reportaron un bajo impacto de daño al DNA en mejillones (*Mytilus edulis*) por la presencia de hidrocarburos del petróleo, en la Bahía de San Diego, EUA; sin embargo, Koh *et al.* (2001) observaron la

inducción del citocromo P450, ligado a los procesos de desintoxicación de los organismos, en los bioensayos realizados en Corea del Sur.

La bioacumulación y la biomagnificación de los hidrocarburos aromáticos policíclicos, son tratados en los trabajos de Glegg y Rowland (1996), D'Adamo *et al.* (1997), Baumard *et al.* (1998), Mancha *et al.* (1997), Gunther *et al.* (1999), Mackay y Fraser (2000) y Cheung *et al.* (2001), Shriadah (2001).

En relación a la bioacumulación y toxicidad del Benzo(a)pireno, destacan los estudios realizados por Akcha *et al.* (1999), Kira *et al.* (2000), Valerio *et al.* (2000). Los efectos de los HAPs en general utilizando las lesiones hepáticas como biomarcadores de la exposición a los contaminantes en especies marinas son tratados por Myers *et al.* (1998).

Dentro del programa de vigilancia internacional Mussel Watch se encuentran los trabajos realizados por Daskalakis y O'Connor (1995), Sericano (1995); Cantillo *et al.* (1997); Beliaeff *et al.* (1997); O'Connor (1998); Miles y Delfino, (1999); Gunther *et al.* (1999); Fisher *et al.* (2000) entre otros.

Thompson *et al.* (2000) presentan modelos para la predicción de las distribuciones de HAPs entre ostiones y sedimentos marinos; Cantillo *et al.* (1997), reportan los niveles y tendencias de los contaminantes en moluscos y sedimentos.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la presencia de hidrocarburos del petróleo en los sistemas costeros del Pacífico Subtropical Mexicano y su impacto sobre algunos bioindicadores de importancia ecológica y económica. Con esto se pretende presentar un diagnóstico general sobre la contaminación por hidrocarburos en la región costera.

Objetivos particulares

- Identificar y cuantificar los hidrocarburos del petróleo dominantes en los sedimentos superficiales colectados en diversas zonas costeras representativas del Pacífico Subtropical Mexicano.
- Determinar la relación entre los niveles de hidrocarburos del petróleo, tanto en su fracción aromática como alifática, con el contenido de materia orgánica, carbonatos y la textura sedimentaria.
- Comparar el contenido de hidrocarburos presentes en el área de estudio con otros lugares de México y el mundo.
- Establecer los primeros registros del contenido de hidrocarburos del petróleo, para el Pacífico Subtropical Mexicano en bivalvos indicadores, considerados en programas internacionales de vigilancia.
- Identificar y cuantificar los hidrocarburos del petróleo presentes, en los bioindicadores utilizados, i.e. los ostiones *Crassostrea palmula*, *C. corteziensis*, *C. gigas* y *C. iridescens* y el mejillón *Mytella strigata*.
- Comparar el contenido de hidrocarburos registrados en especies similares de México y el mundo.
- Con la información obtenida, identificar las fuentes de donde se derivan los hidrocarburos del petróleo, así como el riesgo ambiental que representan.

AREA DE ESTUDIO

La zona costera del Pacífico de México (Costa del Pacífico y Golfo de California) se extiende sobre más de 7,500 Km, en la que desembocan muchos ríos con pequeñas cuencas de drenaje. Es característico de esta zona un clima de semiárido a sub-húmedo tornándose muy húmedo hacia el sureste (Lankford, 1977).

De acuerdo con Brusca y Wallerstein (1979) la zona del Pacífico Subtropical Mexicano se extiende desde la Baja California Sur hasta aproximadamente los 16° de latitud norte donde las temperaturas de las aguas en invierno rara vez se registran por debajo de los 13-15°C, pero en verano las temperaturas pueden elevarse hasta los 25 o 30°C.

Las costas de esta región y sus cuencas asociadas, están caracterizadas por la presencia de actividades como la agricultura, el turismo y en menor extensión la industria alimenticia. Adicionalmente en los últimos 10 años ha surgido la camaronicultura, misma que se ha estimado tener una producción global en México de 17,000 toneladas para 1998 (Páez-Osuna, 2001), obteniendo los mayores volúmenes de cultivo en la zona del Pacífico Subtropical Mexicano.

En la costa noroeste de México existen aproximadamente 1'728,868 ha de tierras de riego (INEGI, 1994). Dicha área está limitada por 5 importantes valles agrícolas, Mexicali, Yaqui, Mayo, Del Fuerte y Culiacán, pertenecientes a los estados de Baja California, Sonora y Sinaloa; en éstos se aplican cantidades significativas de agroquímicos en sus aguas costeras.

De acuerdo con INEGI (1996) el número de habitantes comprendido para la región costera del presente estudio por Estado es como sigue: Baja California 2,108,118, Baja California Sur 375,450, Sonora 2,083,630, Sinaloa 2,424,745, Nayarit 895,175, Jalisco 5,990,542 y Colima 487,324 habitantes.

La zona de colecta abarcó desde la Laguna de Cuyutlán, Col. al sur de Manzanillo, Col. (19° 01' Latitud N y 104°15' Longitud W) hasta el Estero del Soldado, Son. al norte de Guaymas, Son. (27°58' de latitud N y 110°59' longitud W) incluyendo el área de la Bahía de la Paz, BCS .

En la figura 1, se presenta la distribución geográfica de la red de estaciones realizadas para la colecta de sedimentos superficiales y moluscos bivalvos en el Pacífico Subtropical Mexicano.

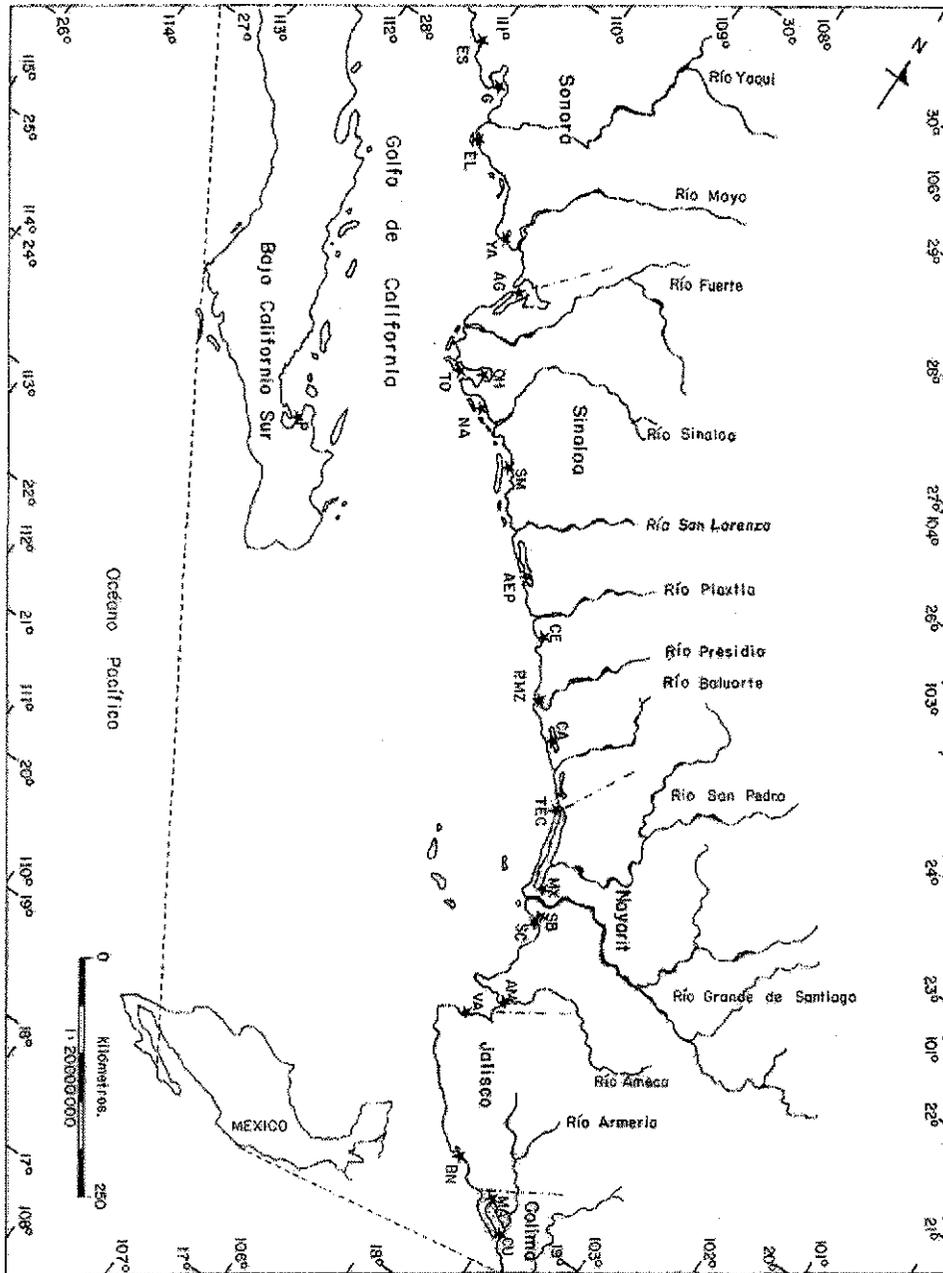


Fig. 1 Localización de los sitios de colecta en el Pacífico Subtropical Mexicano.

Una de las actividades que involucra la presencia de hidrocarburos del petróleo es el tráfico marítimo, por el uso de combustibles. En la Tabla 1, se presentan por entidad, puertos y terminales por el tipo de tráfico y actividad preponderante. Todos ellos tienen tráfico de cabotaje y una o más actividades, según la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1997).

Tabla 1. Puertos y terminales según el tipo de tráfico y actividad preponderante

ENTIDAD	PUERTOS	TERMINALES	TRAFICO		ACTIVIDAD PREPONDERANTE				
			ALTURA	CABOTAJE	COMERCIAL	TURÍSTICA	PESQUERA	PETROLERA	MARINAS
B.C.S.	10	5	11	15	7	1	6	1	13
SONORA	6	1	2	7	1	4	1	1	4
SINALOA	6	0	3	6	3	2	1	0	2
NAYARIT	4	0	1	4	1	2	1	0	0
JALISCO	2	0	2	2	0	0	2	0	8
COLIMA	2	0	2	2	2	0	0	0	4

Fuente: SCT. Coordinación General de Puertos y Marina Mercante. Los Puertos Mexicanos en Cifras, 1991-1997.

Otra ruta importante para el aporte de hidrocarburos además del tráfico de embarcaciones, en la zona de estudio, son las plantas eléctricas operadas con combustóleo y diesel (Tabla 2) en la región de interés oficialmente existen los siguientes datos:

Tabla 2. Plantas eléctricas operadas con combustóleo y diesel en la zona de estudio

CENTRAL	TIPO	ENTIDAD	FUENTE DE ENERGIA
A. Olachea A. (San Carlos)	Combustión Interna	B.C.S.	Combustóleo y Diesel
Puerto Libertad	Termoeléctrica	Sonora	Combustóleo
C. Rodríguez R. (Guaymas II)	Termoeléctrica	Sonora	Combustóleo
J. De Dios Báltiz (Topolobampo II)	Termoeléctrica	Sinaloa	Combustóleo
J. Aceves Pozos (Mazatlán II)	Termoeléctrica	Sinaloa	Combustóleo
Manzanillo I y II	Termoeléctrica	Colima	Combustóleo

Fuente: Secretaría de Energía

En el Estado de Baja California Sur, el Puerto de Pichilingue, se distingue por presentar actividades de embarcaciones de gran calado, así como de

mantenimiento y lavado de tanques; destacando aquellas de tipo comercial, turístico y de pesca. Este puerto recibe la mayor parte del movimiento de carga de la región.

En la costa de Sonora, en el Puerto de Guaymas, se llevan al cabo diversas actividades tanto industriales como de mantenimiento de embarcaciones, es la puerta natural para el sector comercial de metales y minerales, también para el sector agropecuario y para el tránsito de suministros a Baja California. Es el enlace con el noroeste de México y la cuenca del Pacífico y los estados norteamericanos de Arizona y Nuevo México; el Puerto de Guaymas cuenta con 9 terminales, dentro de las que se encuentra una con tres posiciones de atraque para productos petroleros, operada por PEMEX.

En Sinaloa, las actividades pesqueras, así como la camaronicultura, tienen un impacto sobre la economía del estado; el Puerto de Mazatlán registra un importante movimiento internacional de cruceros que lo conectan con puertos de la costa occidental de México y los Estados Unidos. Constituye una importante salida para los productos de exportación, agrícolas, industriales, pesqueros y de la industria automovilística provenientes del centro y norte del país. También se presentan movimientos de petróleo y derivados destinados al abasto de la región, se cuenta con una terminal, con capacidad de almacenamiento de 97,384 tons. métricas de petróleo y derivados (CAMEINTRAM, 2002).

En el estado de Nayarit, las actividades preponderantes son la pesca, agricultura y en menor escala el turismo.

Puerto Vallarta, Jal., es un puerto de vocación netamente turística, dispone de dos muelles para cruceros, e instalaciones para embarcaciones de recreo. En este puerto arriban barcos de las principales líneas internacionales de cruceros.

El Puerto de Manzanillo, Col. es el principal exportador del país, se le conoce como el "Puente Mexicano hacia el Pacífico", a través de él operan rutas a Japón, Corea, Singapur, Hong Kong, Australia y Nueva Zelanda, Estados Unidos y Canadá. Es el mejor enlace con las zonas industriales y comerciales del país (Jalisco, el Bajío, el Estado de México y el Distrito Federal).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los estudios encaminados a evaluar la presencia de hidrocarburos del petróleo en el medio marino, son numerosos y día con día las metodologías han ido perfeccionándose para poder realizar investigaciones más finas, tanto en la identificación como en la determinación de las concentraciones, para conocer el riesgo subletal que la presencia de estas sustancias complejas reviste para los ecosistemas (Ponce-Vélez, 1995).

Se estableció una red de 53 sitios en diversas zonas costeras desde Sonora hasta Colima, incluyendo Baja California Sur, colectándose 53 muestras de sedimentos superficiales y 29 de bivalvos indicadores durante 1996. Los bivalvos pertenecieron a cinco especies: *Crassostrea palmula*, *Crassostrea corteziensis*, *Crassostrea gigas*, *Crassostrea iridescens* y *Mytella strigata*, para detectar hidrocarburos aromáticos policíclicos, hidrocarburos alifáticos e hidrocarburos totales del petróleo.

Las muestras de sedimentos se colectaron utilizando un tubo de plástico de 7 cm de diámetro y ocasionalmente una draga tipo van-Veen y fueron colocadas en frascos de vidrio previamente tratados y lavados para evitar una contaminación exógena, y se sometieron a congelación (4°C) hasta su análisis en el laboratorio. En todos los casos se puso especial cuidado de recolectar los 0-5 cm superficiales.

En el laboratorio, los sedimentos se descongelaron a temperatura ambiente y se secaron a 50°C, las muestras secas se maceraron y homogeneizaron con un tamiz de 0.25 mm de apertura de malla, para evitar interferencias con tamaños de grano variables. Se siguió la técnica propuesta por UNEP/IOC/IAEA (1992) se tomó una submuestra de 5 g para extraerse con 250 mL de una mezcla hexano:cloruro de metileno (50:50) en equipo soxhlet, durante 8 horas. Transcurrido este lapso, se concentró la muestra hasta 5 mL aprox. en un rotoevaporador a una temperatura inferior a los 40°C y a una presión de 40psi, se purificó por cromatografía de adsorción en columnas empacadas con sílica y alúmina desactivadas al 5% y sulfato de sodio anhidro. La fracción alifática se obtuvo de la elución con 20 mL de hexano mientras que la fracción aromática se

obtuvo añadiendo 30 mL de una mezcla de hexano:cloruro de metileno (9:1) y 20 mL de una mezcla de los mismos solventes en una proporción 50:50. Las muestras se concentraron, posteriormente se trasvasaron a viales y se llevaron a sequedad bajo una corriente de nitrógeno ultrapuro.

Los organismos fueron colectados manualmente, desconchados y mantenidos a 4°C hasta su llegada al laboratorio. Para el procesamiento de muestras biológicas se siguió la metodología propuesta por UNEP/IAEA/FAO/IOC (1993), que consistió en utilizar 25 individuos por cada especie en cada sitio geográfico seleccionado para tomar una alícuota de 5g peso húmedo del homogeneizado (a fin de dar la equivalencia de peso húmedo a peso seco, se calculó la humedad de los ostiones en un 80%, por lo que bajo este esquema se hizo la conversión para reportar los resultados en peso seco) y realizar una extracción en equipo soxhlet con hexano grado HPLC seguida por una saponificación con KOH 0.7M y agua tridestilada. Posteriormente se llevó a cabo una separación en embudo con hexano del mismo grado y después una purificación por cromatografía de adsorción con sílica y alúmina para obtener los hidrocarburos del petróleo. Finalmente se concentraron con rotoevaporador y se trasvasaron a viales, terminando el secado con corriente de nitrógeno, para su posterior análisis en cromatografía de gases, por el método de estándar externo.

El análisis final para ambas matrices, sedimentos y organismos, se realizó en un cromatógrafo de gases marca Hewlett Packard modelo 5890 serie II con detector de ionización de llama (FID) con una columna capilar de fenil metil silicón al 5% de 25 m x 0.25 mm (d.i.) x 0.52 µm de grosor de capa. Se utilizó helio como gas acarreador y las muestras fueron inyectadas en iso-octano en forma splitless y el límite de detección del equipo cromatográfico fue de 0.01 µg/g; la cuantificación se hizo mediante el método del estándar externo, utilizando dos curvas de calibración:

Para los Hidrocarburos alifáticos se utilizó una mezcla de estándares desde el C₉ al C₃₂. Para los Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) se usó una mezcla de estándares de 16 compuestos (Naftaleno, Acenaftileno, Acenafteno, Fluoreno, Fenantreno, Antraceno, Fluoranteno, Pireno, Benzo(a)antraceno, Criseno,

Benzo(b)fluoranteno, Benzo(k)fluoranteno, Benzo(a)pireno, Indeno(123-cd)pireno, Dibenzo(ah)antraceno, Benzo(ghi)perileno (USEPA, 1990).

Las condiciones de trabajo del cromatógrafo de gases Hewlett Packard 5890, Serie II fueron las siguientes:

Detector	Ionización de Flama
Columna	Capilar de 25m x 0.25(Ø int.) x 0.52 µm de grosor de capa de sílice fundida y fenilmetil silicón al 5 %.
Gas acarreador	Helio (99% de pureza) y un flujo de 1 mL/min.
Gas auxiliar	Nitrógeno (99% de pureza) y un flujo de 30 mL/min.
Gases para el detector	Aire (99% de pureza) y un flujo de 300 mL/min. Hidrógeno (99% de pureza) y un flujo de 30 mL/min.

Las determinaciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos y alifáticos, se realizaron bajo las condiciones que se presentan en la tablas 3 y 4.

Tabla 3. Condiciones para la determinación de Hidrocarburos aromáticos policíclicos.

Temperatura del inyector	320°C
Temperatura del detector	320°C
Modo de inyección	Splitless
Programa de Temperatura :	
Temperatura inicial	90°C
Tiempo inicial	0.5 min
Rampa 1	8°C/min
Temperatura final	180°C
Tiempo final 1	0.0 min
Rampa 2	5°C/min
Temperatura final 2	245°C
Tiempo final 2	0.0 min
Rampa 3	2°C/min
Temperatura final 3	300°C
Tiempo de purga	0.75 min
Tiempo de analisis	52.25 min

Tabla 4. Condiciones para la determinación de Hidrocarburos alifáticos.

Temperatura del inyector	300°C
Temperatura del detector	300°C
Modo de inyección	Splitless
Programa de Temperatura :	
Temperatura inicial	70°C
Tiempo inicial	0.5 min
Rampa 1	11°C/min
Temperatura final	180°C
Tiempo final 1	0.0 min
Rampa 2	10°C/min
Temperatura final 2	245°C
Tiempo final 2	0.0 min
Rampa 3	9°C/min
Temperatura final 3	300°C
Tiempo final 3	0.0 min
Tiempo de purga	0.75 min
Tiempo de análisis	37.11 min

Se analizaron tanto los sedimentos como los organismos para identificar 16 HAPs en el siguiente orden de aparición cromatográfica:

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. Indeno(123-cd)pireno
15. Dibenzo(ah)antraceno
16. Benzo(ghi)perileno

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sedimentos

SONORA

Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)

En la tabla 5, se presentan los niveles de HAPs registrados en los sedimentos superficiales de diversas áreas costeras del estado de Sonora; la concentración promedio de los lugares de muestreo fue de $2.67 \pm 2.25 \mu\text{g/g}$ y los sitios de colecta con los valores más elevados fueron: la estación ubicada en el estero El Soldado (ES-1) con $7.48 \mu\text{g/g}$, en segundo lugar, la estación en la Bahía de Guaymas (G-5) con $5.66 \mu\text{g/g}$, seguidas por el sitio LO-6 localizado en la Laguna de Lobos con un valor de $4.73 \mu\text{g/g}$; en el sistema lagunar de Yávaros se registró el cuarto lugar en la estación YA-9 con $4.4 \mu\text{g/g}$ (Fig. 1 y 2). De un total de 13 estaciones donde se colectaron y analizaron sedimentos superficiales, el 46.1% (6 sitios) tuvo concentraciones menores a $2 \mu\text{g/g}$ (Tabla 5).

Al cuantificar por número de anillos aromáticos se obtuvo el predominio de los compuestos formados por 3 anillos con un promedio de $2.73 \mu\text{g/g}$, el fluoranteno, obtuvo un promedio de $0.36 \pm 0.31 \mu\text{g/g}$ (Fig. 3); en segundo lugar se observó a los constituidos por 2 anillos con un promedio de $2.72 \mu\text{g/g}$, donde el Fluoreno registró una concentración promedio de $0.79 \pm 0.98 \mu\text{g/g}$ representando a los HAPs ligeros (2 anillos), manifestando un aporte reciente y continuo de hidrocarburos del petróleo; dentro del grupo de 4 anillos, con un promedio de $2.21 \mu\text{g/g}$, los compuestos más abundantes fueron el Pireno y el Benzo(a)antraceno con un promedio de 0.17 ± 0.33 y $0.35 \pm 0.77 \mu\text{g/g}$ respectivamente; el grupo de 5 anillos sólo obtuvo un promedio de $1.14 \mu\text{g/g}$ y el compuesto más abundante fue el Benzo(ghi)perileno (Tabla 5). Cabe mencionar, que en su conjunto se detectaron 16 compuestos en estas zonas costeras de Sonora lo cual se debe atribuir a un origen de aporte mixto de estos hidrocarburos, apoyado en las semejanzas obtenidas en los promedios entre los analitos de 2, 3 y 4 anillos; por lo que se puede inferir que provienen tanto de la pirólisis o combustión incompleta de material combustible fósil, como de la quema de la vegetación y de los derrames frecuentes de estos energéticos presentes en diesel o gasolina, debido al tráfico

Tabla 5. Niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos superficiales de diversos sistemas costeros del Estado de Sonora, Mex. 1997. (Valores en µg/g peso seco).

COMPUESTO	No. ANILLOS	ES 1	ES 2	G 3	G 4	G 5	LO 6	LO 7	LO 8	YA 9	YA 10	YA 11	AG 12	AG 13	CONC.TOTAL POR COMPUESTO	CONC. PROM. POR COMPUESTO	EFECTOS BIOLÓGICOS																
																	Long et al. (1995) ERL	ERM															
1	NAFTALENO	2	N.D.	0.03	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.16	N.D.	2.10																						
2	ACENAFLENO	2	0.08	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.08	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	0.18	0.01	0.64																
3	ACENAFLENO	2	N.D.	0.45	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.45	0.03	0.50																						
4	FLUORENO	2	3.90	0.27	0.76	0.37	1.10	0.52	0.33	0.59	0.80	0.31	0.20	0.24	10.23	0.79	0.54																
5	FENANTRENO	3	0.41	0.10	N.D.	N.D.	0.46	N.D.	0.21	0.23	0.87	0.28	N.D.	N.D.	2.26	0.17	1.50																
6	ANTRACENO	3	0.11	0.08	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.07	0.64	0.38	N.D.	N.D.	N.D.	1.28	0.10	1.10																
7	FLUORANTRENO	3	0.69	0.28	0.23	0.11	0.89	0.14	0.16	0.93	0.56	0.44	0.15	0.88	4.66	0.36	5.10																
8	PIRENO	4	0.17	N.D.	N.D.	N.D.	1.06	N.D.	N.D.	0.68	0.34	N.D.	N.D.	N.D.	2.25	0.17	2.80																
9	BENZO(a)ANTRACENO	4	0.11	0.97	N.D.	N.D.	2.74	N.D.	N.D.	0.33	0.01	N.D.	N.D.	N.D.	4.53	0.35	1.60																
10	CRISENO	4	0.20	0.31	0.40	N.D.	0.34	N.D.	N.D.	0.11	N.D.	N.D.	N.D.	2.29	3.65	0.28	2.80																
11	BENZO(b)FLUORANTENO	4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.60	0.05	N.R.																								
12	BENZO(k)FLUORANTENO	4	N.D.	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.02	N.D.	N.R.																						
13	BENZO(a)PIRENO	5	0.97	0.26	N.D.	N.D.	0.27	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.50	0.12	1.60																
14	INDENO(1,2,3-cd)PIRENO	5	0.29	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.25	N.D.	N.D.	0.02	0.16	N.D.	N.D.	0.72	0.06	N.R.																
15	DIBENZO(a,h)ANTRACENO	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.26																								
16	BENZO(g,h)PERILENO	5	0.56	N.D.	N.D.	N.D.	1.08	N.D.	N.D.	0.89	0.05	N.D.	N.D.	N.D.	2.95	0.18	N.R.																
CONCENTRACION TOTAL																7.48	2.27	1.39	0.48	5.66	4.73	0.70	1.82	4.40	2.34	0.62	0.20	2.61	34.71			44.8	
FEN/ANT																3.73	1.25	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.	3.29	0.89	0.74	N.C.	N.C.	N.C.					
FLUO/PIR																4.06	N.C.	N.C.	N.C.	0.84	N.C.	N.C.	N.C.	0.82	1.29	N.C.	N.C.	N.C.					
CRIS/B(a)																1.82	0.32	N.C.	N.C.	0.92	N.C.	N.C.	N.C.	0.33	N.C.	N.C.	N.C.	N.C.					
CONCENTRACION PROMEDIO																																	2.67*±2.25

N.D. <0.01 µg/g; N.C. No calculado por falta de datos; N.R. No registrado
 Fenantreno/Antraceno = 1.77; Fluoranteno/Pireno = 2.07; Criseno/Benzo(a)antraceno = 0.81 (Global para el estado).
 Efectos Biológicos Frecuentes (Long et al. 1995) : 4.02-44.8 µg/g
 ES= Laguna Estero del Soldado; G= Bahía de Guaymas; LO= Estero Lobos; YA= Laguna Yavaros; AG= Laguna Agiabampo.
 ERL= Los efectos biológicos adversos son raramente observados; ERM= Los efectos biológicos adversos se presentan ocasionalmente.

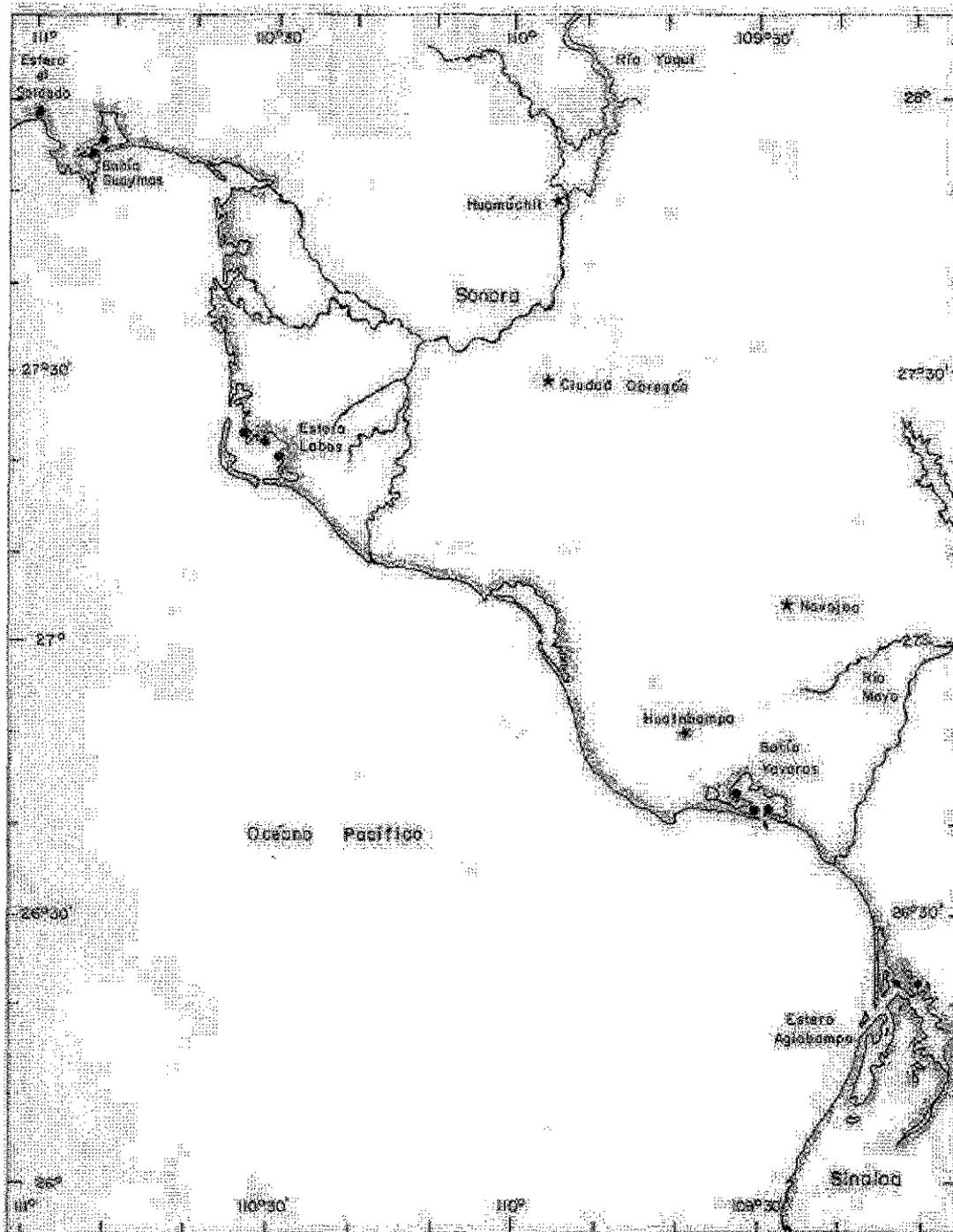
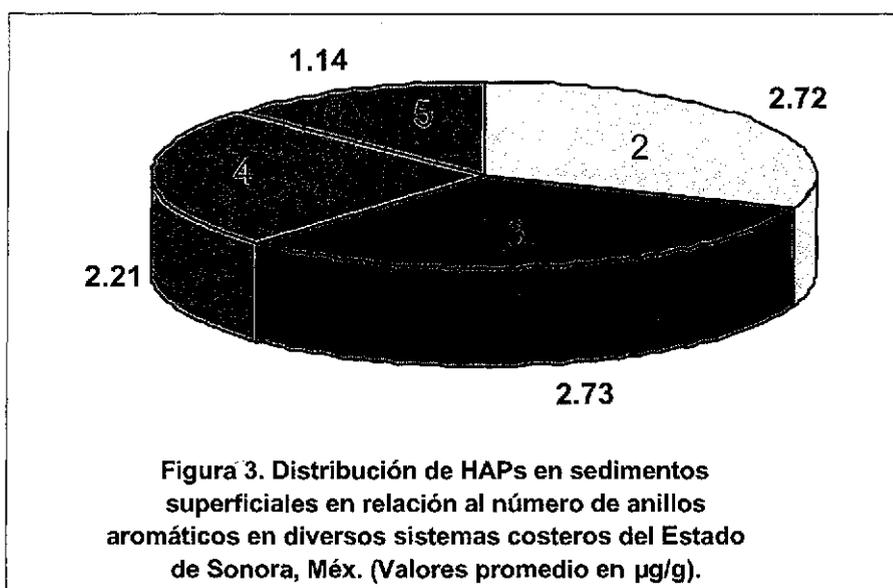


Fig. 2. Sitios de colecta en el Estado de Sonora, Méx.

intenso de embarcaciones de diverso calado y a la hidrodinámica existente en cada zona analizada (Suess, 1976; Wade *et al.*, 1988).

La distribución de hidrocarburos aromáticos considerando el número de anillos bencénicos que los constituyen, observó el siguiente comportamiento (Fig. 3):

$$1 \text{ (2.73 } \mu\text{g/g)} > 2 \text{ (2.72 } \mu\text{g/g)} > 3 \text{ (2.21 } \mu\text{g/g)} > 4 \text{ (2.21 } \mu\text{g/g)} > 5 \text{ (1.14 } \mu\text{g/g)}$$



Es importante señalar que se detectaron HAPs con características genotóxicas y cancerígenas como el Benzo(a)pireno con un valor total de 1.5 µg/g y su concentración mayor se detectó en la estación ES-1 del estero El Soldado (Tabla 5, Figs. 1 y 2); esto representa un riesgo ambiental ya que pueden estar disponibles para los recursos pesqueros de la región y ser destinados para el consumo humano con su efecto sobre la salud humana (Cavaliere *et al.*, 1993).

Al hacer el análisis del comportamiento general de la zona, se observó una tendencia similar en cuanto a las concentraciones y a la presencia de los HAPs, esto es, en las estaciones del estero El Soldado se registraron desde un 43.8 hasta el 68.8% de los compuestos analizados, en la Bahía de Guaymas osciló entre 12.5 y 56.3%; hacia la Laguna Lobos, la cantidad de hidrocarburos estuvo

entre el 18.8 y el 31.3%; una excepción de este comportamiento es el sistema lagunar de Yávaros donde la abundancia fue desde el 75% en la estación YA-9, hasta el 18.75% en el sitio YA-11, seguramente por la dinámica propia del área. El porcentaje menor de compuestos se registró en la estación AG-12 con 6.3% perteneciente al sistema lagunar de Agiabampo, que corresponde a la región con menor densidad poblacional (Tabla 5, Figs. 1 y 2).

En el puerto de Guaymas, se registran operaciones portuarias, pesqueras, turísticas y se descargan los efluentes domésticos de una población de alrededor de 900,000 habitantes (CAMEINTRAM, 2002); sin embargo en las estaciones ubicadas en el Estero del Soldado, el promedio registrado de sus estaciones supera el encontrado para la Bahía de Guaymas, aunque en sus alrededores sólo se reportan comunidades rurales dedicadas al cultivo de ostiones.

Se determinaron algunos parámetros sedimentológicos que pueden intervenir en la acumulación, tiempo de residencia y distribución de los HAPs; en la tabla 8, se observa que la mayoría de las estaciones presentaron sedimentos arcilloarenosos, principalmente en la zona norte del estado donde el contenido de materia orgánica fue más alto, ya que fluctuó entre 2.58 (ES-2) y 9.80% (G-4); se realizaron correlaciones lineales para observar alguna interacción significativa entre estos parámetros y la concentración total de HAPs. De estas relaciones, ninguna obtuvo un coeficiente estadístico significativo ($r < 0.3$; $p > 0.05$). Sin embargo, se pudo observar que el 61.5% de las estaciones estudiadas en Sonora, contenían entre 0-6% de limos, con un porcentaje de materia orgánica desde 0.51 a 9.8% y niveles de carbonato de calcio $< 10\%$, sobresaliendo el hecho de que los lugares con mayor concentración de HAPs tuvieron más del 50% de arcillas (Tabla 8) evidenciando diversos ambientes de depósito (Neff, 1979).

A fin de determinar el origen de los hidrocarburos aromáticos policíclicos, diversos autores han utilizado las proporciones entre diferentes hidrocarburos para establecer las fuentes de su procedencia (pirolíticos, petrogénicos), dentro de los cuales podemos señalar al Fluoreno/Pireno (Fluo/Pir) [< 1 petrogénico; > 1 pirolítico] (Sicre, *et al.*, 1987; Soclo *et al.*, 2000), al Fenantreno/Antraceno (Fen/Ant) [< 10 pirolítico; > 10 petrogénico] (Budzinsky *et al.*, 1997; Soclo *et al.*,

2000) y al Criseno/Benzo(a)antraceno (Cris/BaA) [<1 pirolítico; >1 petrogénico] (Soclo *et al.*, 2000). Estos índices muestran que la tendencia general del Estado de Sonora es a la presencia de hidrocarburos provenientes de la combustión incompleta de combustibles fósiles y materia orgánica (pirolíticos). Cabe señalar que en Guaymas se localiza la termoeléctrica C. Rodríguez R., operada con combustóleo, sin embargo, se denota la presencia de hidrocarburos petrogénicos, probablemente debidos al tráfico de barcos, así como a embarcaciones pesqueras menores; según datos de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (1997), el Estado de Sonora cuenta con 6 puertos, 1 terminal, el tráfico es tanto de altura como de cabotaje y las actividades preponderantes incluyen las comerciales, las pesqueras, las turísticas, las petroleras y existen cuatro marinas. Por lo que en algunas estaciones (ES-1, G-5, YA-9) el origen de los hidrocarburos es mixto, lo que se confirma con la presencia de aromáticos ligeros (2 anillos).

Los niveles en las 7 estaciones de colecta, de algunos de los analitos encontrados rebasan el criterio propuesto por Long *et al.* (1995), referente a los efectos biológicos frecuentes ocasionados con las concentraciones registradas en los sedimentos, en el caso del Fluoreno, en 6 estaciones está por encima del intervalo propuesto ($0.02-0.54 \mu\text{g/g}$) con valores que van desde los 0.59 a los $3.90 \mu\text{g/g}$, si las concentraciones son equivalentes o por encima del límite superior, los efectos biológicos adversos pueden presentarse frecuentemente y para las 7 estaciones restantes los datos están incluidos en el intervalo para producir efectos adversos ocasionales en la biota. Este compuesto se presentó en todas las estaciones muestreadas y fue la concentración total por analito más alta de Sonora. El Benzo(a)antraceno también superó el intervalo ($0.26-1.6 \mu\text{g/g}$) con $2.74 \mu\text{g/g}$.

El Benzo(a)antraceno está considerado con suficiente evidencia de carcinogénico en animales y probablemente en humanos, mientras que al Fluoreno no se le clasifica como compuesto de riesgo de cáncer para los humanos (Boffetta *et al.*, 1997),

Es importante señalar que los criterios utilizados para considerar los efectos biológicos adversos, se basan en la experiencia recabada por Long *et al.* (1995), de un número importante de trabajos de diferentes autores, relacionados a los

efectos reportados a partir de ciertas concentraciones de los contaminantes sobre la biota, lo que refleja la importancia ambiental cuando dichos niveles se ubican dentro de los criterios establecidos, así como por encima de ellos; efectos que van desde la disminución de la tasa de crecimiento, la inhibición de la tasa de reproducción hasta la muerte de las poblaciones y pudiendo a su vez ocasionar impactos sobre la salud humana, por considerarse las especies de importancia pesquera y comercial, tanto localmente como a nivel nacional.

Hidrocarburos alifáticos

Los niveles de hidrocarburos alifáticos encontrados en sedimentos recientes de diversas áreas costeras del estado (Figs. 1 y 2) se presentan en la tabla 6; la concentración promedio fue de 13.61 ± 26.73 $\mu\text{g/g}$ destacando por sus niveles las estaciones muestreadas en Guaymas, G-4 (99.16 $\mu\text{g/g}$), G-5 (25.53 $\mu\text{g/g}$) y G-3 (18.79 $\mu\text{g/g}$). La estación YA-10 registró 7.21 $\mu\text{g/g}$ y las 9 estaciones restantes presentaron valores por debajo de los 4.6 $\mu\text{g/g}$. Cabe señalar que todas las estaciones registraron al C₁₆, parafina que refleja la presencia de petróleo sin degradar, algunos autores, reportan a este alcano como proveniente de sistemas de combustión, incluyendo los aceites lubricantes (Rogge *et al.*, 1993), las concentraciones de este hidrocarburo oscilaron entre el 0.04 (AG-12) y el 2.69 $\mu\text{g/g}$ (G-4); sin embargo, el origen de estas parafinas en la mayoría de las estaciones fue mixto, teniendo aportes importantes por copépodos (Pristano y C₁₉), algas marinas y peces (C₁₅, C₁₇, C₁₉), plantas terrestres (C₂₁-C₃₃, especialmente C₂₇, C₂₉ y C₃₁), fitoplancton y bacterias (C₁₅-C₂₁) (NRC, 1985; Colombo *et al.*, 1989). En las estaciones ES-1, G-4, LO-7, LO-8, LO-9, y YA-10, mostraron ser del tipo petrogénico, basado en los valores obtenidos de CPI (Índice de carbono preferencial) (~1.0), así como, la relación entre parafinas impares y pares (1.0) características del aporte petrogénico (NRC, 1985; Azevedo *et al.*, 1999). El índice de carbono preferencial permite conocer de manera indirecta el tipo de hidrocarburos que reciben los sedimentos, con base en la proximidad a la unidad (Kennicutt y Brooks, 1990; Volkman *et al.*, 1992).

Tabla 6. Hidrocarburos alifáticos en sedimentos superficiales de diversos sistemas costeros del Estado de Sonora, Mex. 1997. (Valores en µg/g peso seco).

	COMPUESTO	ES 1	ES 2	G 3	G 4	G 5	LO 6	LO 7	LO 8	YA 9	YA 10	YA 11	AG 12	AG 13	CONCENTRACION TOTAL POR COMPUESTO	CONCENTRACION PROMEDIO
1	C13	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.	N.D.	N.D.
2	C14	0.05	0.04	0.05	0.27	0.10	0.03	0.04	0.08	N.D.	N.D.	0.02	0.11	N.D.	0.79	0.06
3	C15	0.09	0.07	0.08	N.D.	N.D.	0.05	0.07	0.11	0.16	0.21	0.05	0.06	0.05	1.00	0.08
4	C16	0.12	0.13	0.44	2.69	1.71	0.07	0.09	0.13	0.26	0.36	0.11	0.04	0.13	6.27	0.48
5	C17	0.36	0.47	0.94	N.D.	N.D.	0.6	0.15	0.23	0.33	1.12	0.16	0.05	0.16	4.57	0.35
6	PRISTANO	0.17	0.15	0.72	2.47	N.D.	0.09	0.09	0.16	0.35	0.5	0.13	N.D.	0.07	4.90	0.38
7	C18	0.48	0.45	1.79	11.78	8.26	0.22	0.17	0.33	0.57	0.79	0.16	N.D.	0.39	25.39	1.95
8	FITANO	0.45	0.38	1.93	N.D.	N.D.	0.02	0.15	0.31	0.43	0.53	0.14	N.D.	0.23	4.57	0.35
9	C19	0.43	0.24	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.10	0.21	0.17	0.40	0.09	N.D.	0.15	1.79	0.14
10	C20	0.43	0.19	3.34	15.44	5.30	0.16	0.11	0.41	0.29	0.47	0.13	N.D.	0.23	26.50	2.04
11	C21	N.D.	0.19	4.60	N.D.	5.30	0.27	0.21	0.55	0.48	0.49	2.03	N.D.	0.33	32.99	2.54
12	C22	N.D.	0.05	N.D.	N.D.	N.D.	0.04	0.04	N.D.	0.25	0.15	0.08	N.D.	N.D.	0.57	0.04
13	C23	0.45	0.05	2.68	20.89	2.95	0.13	0.18	0.50	0.46	0.57	0.22	N.D.	0.15	29.23	2.25
14	C24	0.12	0.04	1.34	12.06	1.21	0.09	0.16	0.37	0.25	0.25	0.28	N.D.	N.D.	16.17	1.24
15	C25	0.34	N.D.	0.78	8.89	N.D.	0.15	0.10	0.10	0.18	0.43	0.18	N.D.	0.30	11.45	0.88
16	C26	0.50	N.D.	N.D.	4.29	0.31	0.33	0.09	0.17	0.11	0.30	0.73	N.D.	N.D.	6.83	0.53
17	C27	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.05	0.19	0.02	N.D.	N.D.	0.26	0.02
18	C28	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.26	0.04	0.11	N.D.	0.24	0.01	N.D.	N.D.	0.66	0.05
19	C29	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.	N.D.	N.D.
20	C30	0.28	N.D.	N.D.	0.95	0.23	0.07	N.D.	0.05	N.D.	0.22	N.D.	N.D.	N.D.	1.80	0.14
21	C31	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.	N.D.	N.D.
22	C32	0.04	N.D.	0.10	0.89	0.16	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.19	0.09
	CONC. TOTAL	4.31	2.45	18.79	99.16	25.53	2.54	1.79	3.82	4.34	7.21	4.54	0.26	2.19	176.93	13.61
	CPI	0.85	1.16	1.30	1.01	0.48	0.99	1.13	1.06	1.06	1.23	1.82	1.74	1.52		
	C17/C18	0.75	1.04	0.53	N.C.	N.C.	2.73	0.88	0.70	0.58	1.42	1.00	N.C.	0.41		
	C17/PRIS	2.12	3.13	1.31	N.C.	N.C.	6.67	1.67	1.44	0.94	2.24	1.23	N.C.	2.29		
	C18/FIT	1.07	1.18	0.93	N.C.	N.C.	11.00	1.13	1.06	1.33	1.49	1.14	N.C.	1.70		
	PRIS/FIT	0.38	0.39	0.37	N.C.	N.C.	4.50	0.60	0.52	0.81	0.94	0.93	N.C.	0.30		
	Cimp/Cpares	1.10	1.13	1.29	1.00	0.48	0.98	1.09	1.03	1.06	1.23	1.81	0.73	1.52		
	CONC. PROM.															13.61+/- 26.73

N.D. <0.01µg/g; N.C. No calculado; CPI = 0.96; C17/C18 = 0.18; C17/Pris = 0.93; C18/FIT = 5.56; Pris/FIT = 1.07; Cimp/Cpares = 0.95 (Global para el estado). ES= Laguna Estero del Soldado; G= Bahía de Guaymas; LO= Estero Lobos; YA= Laguna Yavaros; AG= Laguna Agiabampo.

Las concentraciones más altas de los hidrocarburos alifáticos estuvieron dentro del intervalo de C₁₉ a C₂₆ reportadas como provenientes de la emisiones vehiculares (Kavouras *et al.*, 1999). En cuanto a la correlación de parámetros sedimentológicos y los hidrocarburos alifáticos (Tabla 8), sólo se encontró correlación significativa entre los niveles de los hidrocarburos alifáticos y la materia orgánica ($r = 0.72$; $p < 0.05$) (Fig. 4).

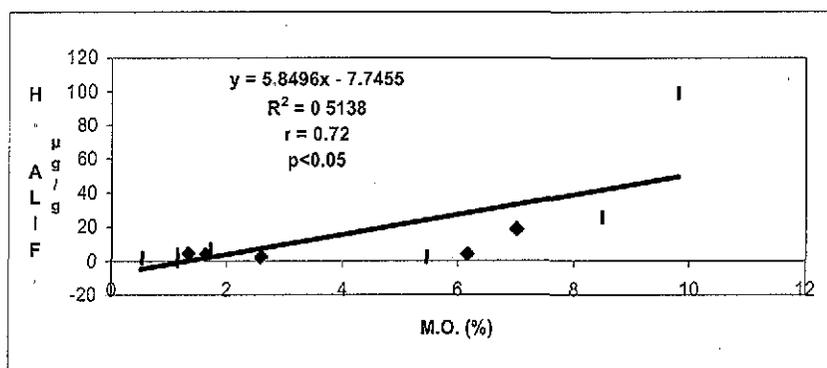


Figura 4. Correlación lineal entre la materia orgánica y el contenido de H. Alifáticos en diversas áreas costeras del Estado de Sonora, Méx.

Hidrocarburos totales del petróleo

El nivel promedio de hidrocarburos totales para el estado de Sonora (Tabla 7), se ubicó en 16.28 ± 26.35 µg/g, el principal aporte a estos niveles lo representan los hidrocarburos alifáticos cuya concentración total (176.93 µg/g), supera cinco veces los niveles encontrados para los HAPs (34.71 µg/g).

Tabla 7. Niveles de Hidrocarburos totales en sedimentos superficiales de diversos sistemas costeros del Estado de Sonora, Mex. 1997. Valores en µg/g peso seco

ESTACION	HAPs	H. ALIFATICOS	H. TOTALES
L. ESTERO DEL SOLDADO (ES-1)	7.49	4.31	11.80
L. ESTERO DEL SOLDADO (ES-2)	2.27	2.45	4.72
BAHÍA DE GUAYMAS (G-3)	1.39	18.79	20.18
BAHÍA DE GUAYMAS (G-4)	0.48	99.16	99.64
BAHÍA DE GUAYMAS (G-5)	5.66	25.53	31.19
ESTERO LOBOS (LO-6)	4.73	2.54	7.27
ESTERO LOBOS (LO-7)	0.70	1.79	2.49
ESTERO LOBOS (LO-8)	1.82	3.82	5.64
LAGUNA YÁVAROS (YA-9)	4.40	4.34	8.74
LAGUNA YÁVAROS (YA-10)	2.34	7.21	9.55
LAGUNA YÁVAROS (YA-11)	0.62	4.54	5.16
LAGUNA AGIABAMPO (AG-13)	0.20	0.26	0.46
LAGUNA AGIABAMPO (AG-12)	2.61	2.19	4.80
PROMEDIO	2.87	13.61	16.28
DESV. ESTANDAR	2.26	26.73	26.35

Criterio internacional para sedimentos costeros no contaminados (UNESCO, 1976) : 70 µg/g

En cuanto a la relación con los parámetros sedimentológicos y los hidrocarburos totales (Tabla 8), al igual que con los hidrocarburos alifáticos, se presenta únicamente una correlación significativa con los niveles de hidrocarburos totales y la materia orgánica ($r = 0.76$) (Fig. 5), esta correlación se da debido a las propiedades hidrofóbicas de los hidrocarburos y su afinidad por este tipo de matrices, lo que permite o propicia la acumulación de este tipo de compuestos en el sedimento.

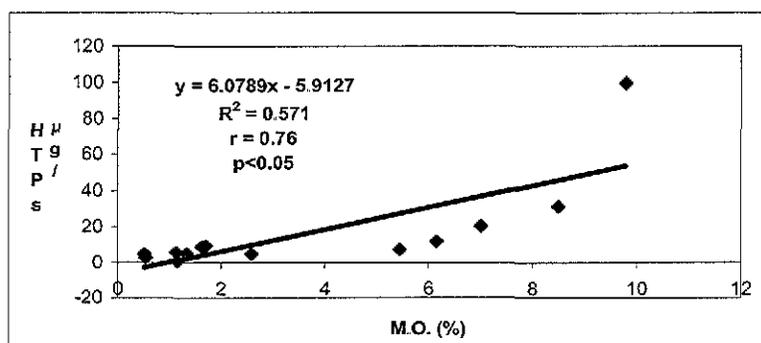


Figura 5. Correlación lineal entre la materia orgánica y el contenido de HTPs en diversas áreas costeras del Estado de Sonora, Méx.

Tabla 8. Parámetros sedimentológicos e hidrocarburos del petróleo de diversos sistemas costeros del estado de Sonora, Mex. 1997.

ESTACIONES	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	% M.O.	% CaCO ₃	HAPs*	H. ALIF.*	H. TOT.*	TIPO DE SEDIMENTO
L. ESTERO DEL SOLDADO (ES-1)	39.00	8.56	52.44	6.16	1.53	7.49	4.31	11.80	ARCILLOARENOSO
L. ESTERO DEL SOLDADO (ES-2)	1.71	0.00	98.29	2.58	1.36	2.27	2.45	4.72	ARCILLOARENOSO
BAHIA DE GUAYMAS (G-3)	1.52	0.00	98.48	7.01	3.25	1.39	18.79	20.18	ARCILLOARENOSO
BAHIA DE GUAYMAS (G-4)	3.53	2.54	93.93	9.80	4.63	0.48	99.16	99.84	ARCILLOARENOSO
BAHIA DE GUAYMAS (G-5)	1.23	0.00	98.77	8.49	4.66	5.66	25.53	31.19	ARCILLOARENOSO
ESTERO LOBOS (LO-6)	8.91	1.57	89.52	5.45	4.16	4.73	2.54	7.27	ARCILLOARENOSO
ESTERO LOBOS (LO-7)	32.96	1.43	65.61	0.53	7.36	0.70	1.79	2.49	ARCILLOARENOSO
ESTERO LOBOS (LO-8)	39.68	12.10	49.22	1.12	2.39	1.82	3.82	5.64	ARCILLOARENOSO
LAGUNA YAVAROS (YA-9)	78.51	14.14	7.35	1.63	2.47	4.40	4.34	8.74	ARENOSO
LAGUNA YAVAROS (YA-10)	52.28	38.84	8.88	1.71	1.8	2.34	7.21	9.55	ARENOLIMOSO
LAGUNA YAVAROS (YA-11)	98.83	0.34	1.03	1.33	1.23	0.62	4.54	5.16	ARENOSO
LAGUNA AGIABAMPO (AG-13)	19.66	37.52	42.82	1.14	14.50	0.20	0.26	0.46	ARCILLOLIMOSO
LAGUNA AGIABAMPO (AG-12)	86.22	5.97	7.81	0.51	40.02	2.61	2.19	4.80	ARENOSO
PROMEDIO	35.60	9.46	54.93	3.65	6.87	2.67	13.61	16.28	
DESV. EST.	34.36	13.60	39.97	3.28	10.58	2.26	26.73	26.35	

* [µg/g]; M.O. = Materia orgánica; CaCO₃ = Carbonato de calcio

SINALOA

Hidrocarburos aromáticos policíclicos

Para el estado de Sinaloa se colectaron sedimentos superficiales en 22 estaciones, abarcando diversas áreas costeras de norte a sur de esta entidad (Figs. 1, 6 y 7), con una concentración promedio de HAPs de 6.60 ± 12.76 $\mu\text{g/g}$ (Tabla 9). De las muestras analizadas, el 63.6% registró concentraciones totales menores a 2 $\mu\text{g/g}$ y el resto osciló entre 2.55 y 55.32 $\mu\text{g/g}$, este último se detectó en la estación OH-15 localizada en el complejo lagunar de Ohuira, cerca de Topolobampo destacándose sobre los otros sitios ubicados en esta área como TO-14, OH-16 y OH17 que presentaron niveles de 4.53, 0.68 y 11.54 $\mu\text{g/g}$ respectivamente (Tabla 9).

En orden decreciente, siguió la estación SM-23 con 25.67 $\mu\text{g/g}$ localizada en el sistema lagunar Santa María-La Reforma, la cual sobresalió de los 4 sitios analizados en esta área, ya que los tres valores restantes de esta zona fluctuaron entre 1.19 y 2.55 $\mu\text{g/g}$ (Tabla 9). El tercer lugar lo ocupó la estación AEP-27 localizada en el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón con 18.43 $\mu\text{g/g}$ y hacia la región del Puerto de Mazatlán se registró un valor de 10.61 $\mu\text{g/g}$ en la estación PMZ-53.

El tipo de sedimento que predominó en los lugares con concentraciones altas de HAPs fue diverso, desde arenoso en OH-15 hasta arcilloso en la SM-23 pasando por mezclas como son limoarcilloso (AEP-28) y arenolimoso (PMZ-53) (Tabla 12). No se observó una tendencia clara con el tipo de sedimento, el contenido de materia orgánica y los valores totales detectados de HAPs, ya que los coeficientes de correlación lineal estuvieron por debajo de 0.20. Sin embargo, al relacionarse el contenido de CaCO_3 y los hidrocarburos se registró una $r=0.74$ ($p<0.05$), donde se observó que el 95.5% de los sitios evaluados estuvo por debajo de 20% de carbonatos y el 86.4% presentó niveles <1-10% (Fig. 8) lo que pone de manifiesto el mosaico de sedimentos que conforman estos ecosistemas lagunares costeros.

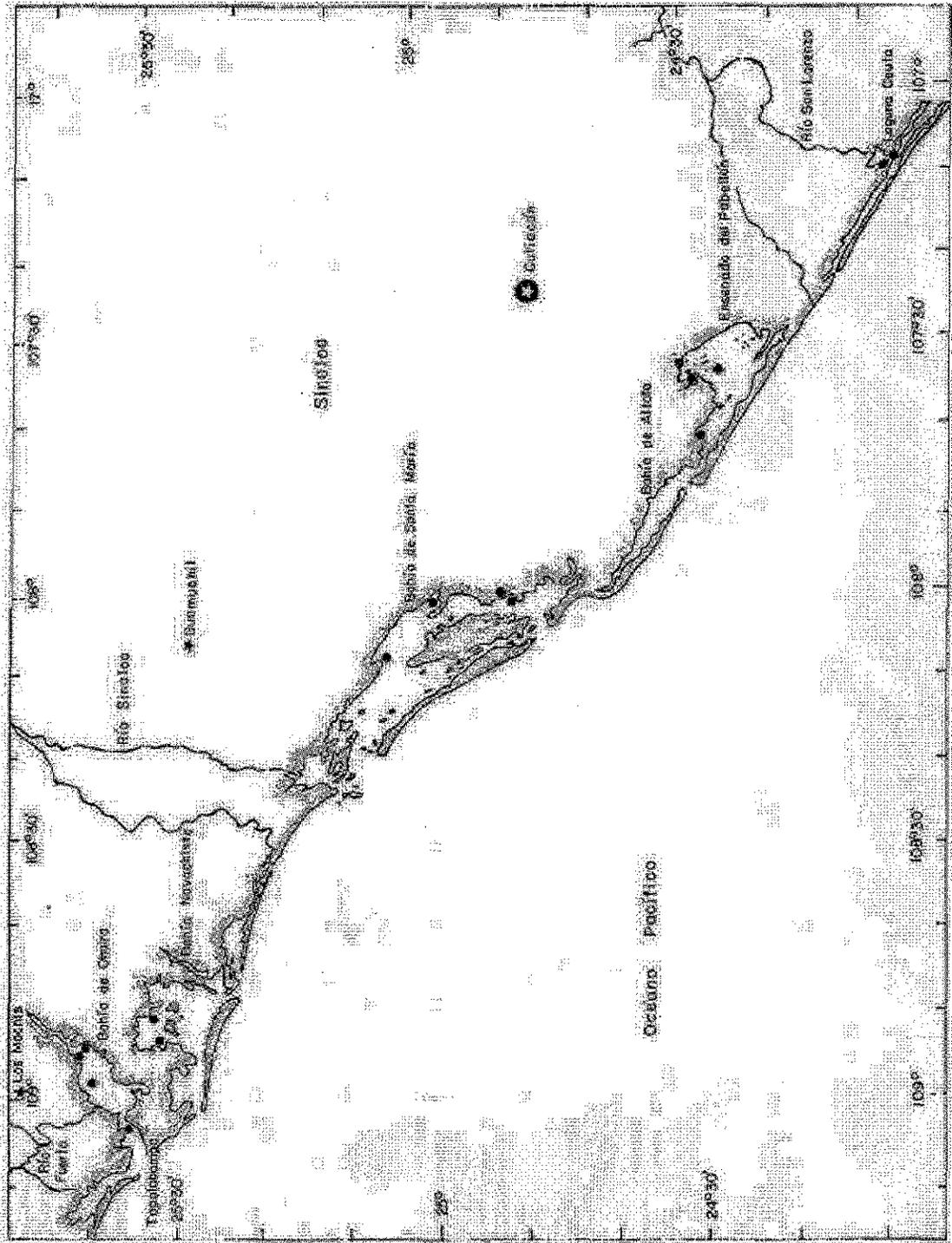


Fig. 6. Sitios de colecta en el Estado de Sinaloa, Méx.

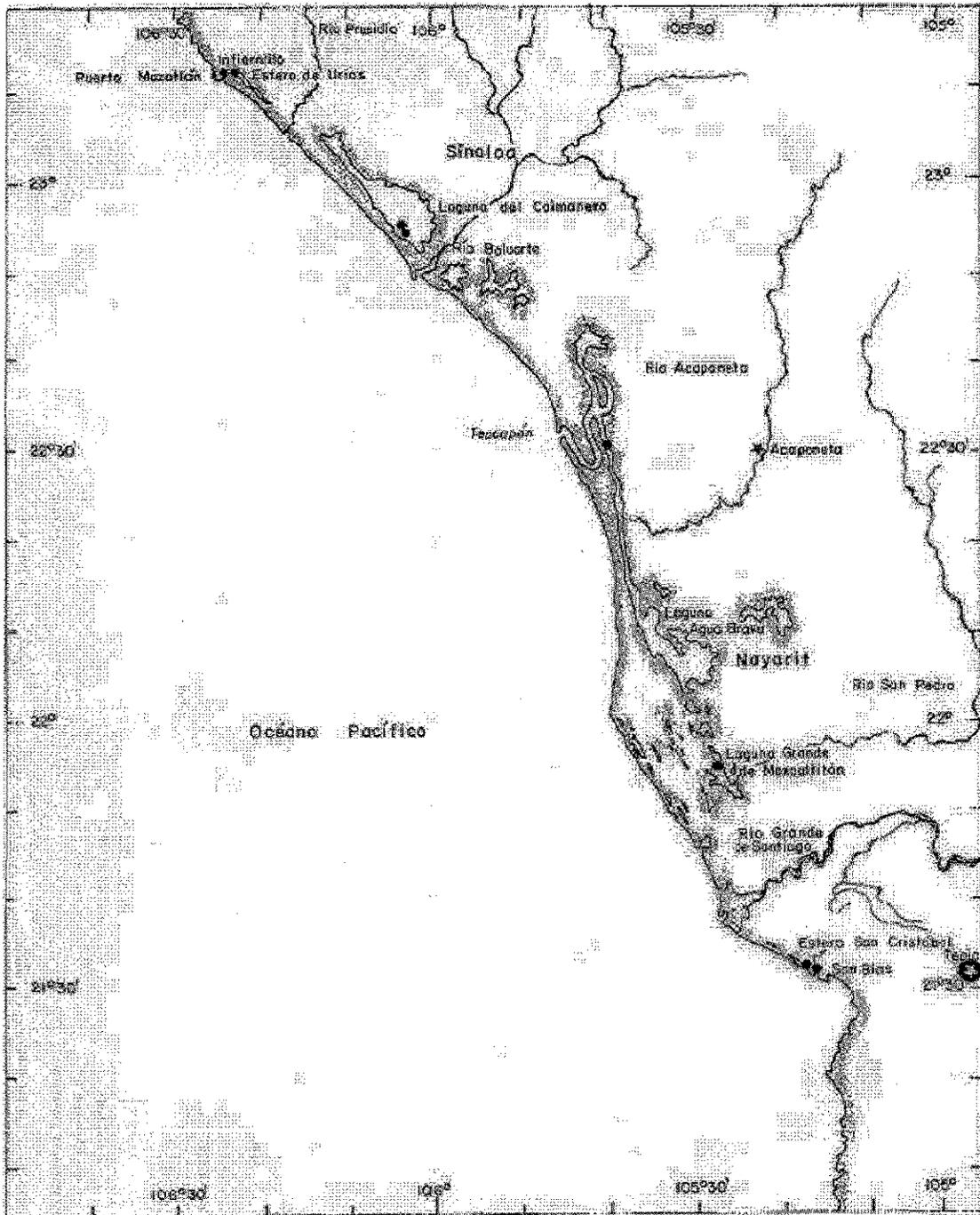


Fig. 7. Sitios de colecta en los Estados de Sinaloa y Nayarit, Méx.

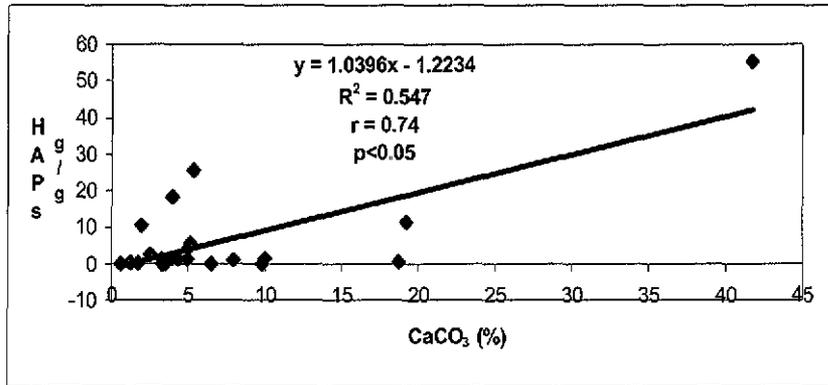
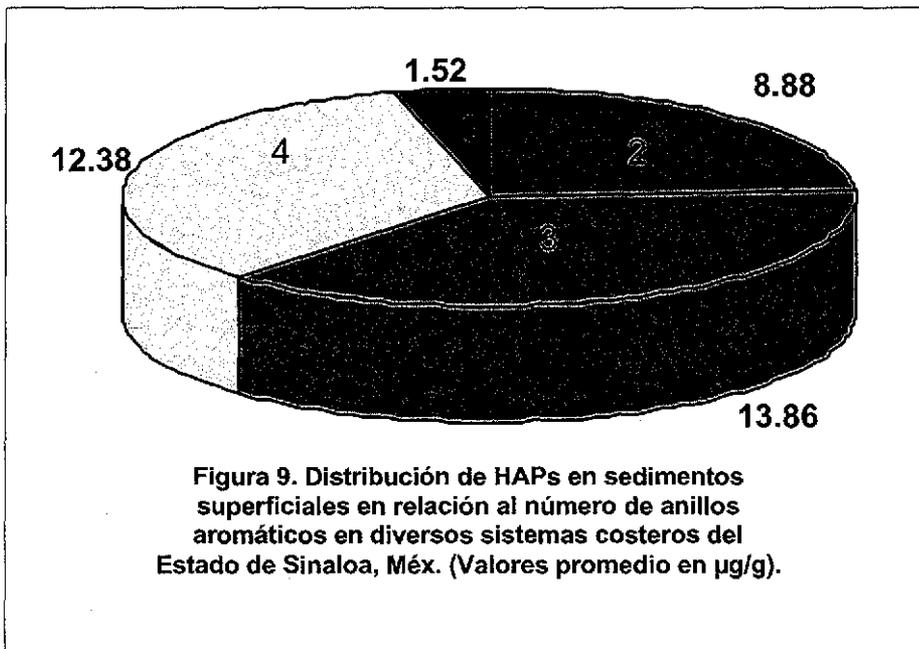


Figura 8. Correlación lineal entre el carbonato de calcio y el contenido de HAPs en diversas áreas del Estado de Sinaloa, México.

Al analizar la distribución de hidrocarburos aromáticos considerando el número de anillos bencénicos que los constituyen, se observó el siguiente comportamiento (Fig. 9):

$$3 \text{ (13.86 } \mu\text{g/g)} > 4 \text{ (12.38 } \mu\text{g/g)} > 2 \text{ (8.88 } \mu\text{g/g)} > 5 \text{ (1.52 } \mu\text{g/g)}$$



En Sinaloa existe un tipo diverso de fuentes de donde se originan estos hidrocarburos, como las operaciones de embarcaciones, los incendios de la vegetación costera, los escurrimientos industriales y urbanos, así como aquellos HAPs formados lejos del litoral y que llegan a estos ambientes acuáticos a través de la atmósfera (Schmeltz y Hoffman, 1976; Denant y Saliot, 1991). El origen mixto de los HAPs, se confirma con las relaciones entre Fen/Ant, Fluo/Pir y Cris/BaA, para las estaciones donde fue posible calcularlos por la presencia de los pares de analitos involucrados, así como la tendencia general para este estado (Tabla 9).

Los compuestos más abundantes presentes en estos sedimentos fueron: el Criseno (4 anillos) con un promedio de $1.54 \pm 4.03 \mu\text{g/g}$, de 3 y 2 anillos el Fluoranteno y el Acenaftileno con valores promedio de 0.65 ± 1.4 y $0.65 \pm 2.99 \mu\text{g/g}$ respectivamente; el Fenantreno (3 anillos) con $0.63 \pm 1.98 \mu\text{g/g}$ y el Pireno (4 anillos) con $0.62 \pm 2.14 \mu\text{g/g}$ (Tabla 9). Cabe señalar que se detectó al Benzo(a)pireno con una concentración promedio de $0.19 \pm 0.49 \mu\text{g/g}$, el valor más alto fue registrado en la estación OH-15 ($2.34 \mu\text{g/g}$) y la frecuencia mayor de aparición en las 4 estaciones de Santa María (Tabla 9) donde los organismos bentónicos pueden incorporarlo y llegar a presentarse problemas ecológicos de magnitud diversa (Kennish, 1992). En la estación OH-15, se superó el intervalo de concentración propuesto por Long *et al.*, 1995, en 9 de los 11 analitos registrados, incluyendo al Benzo(a)pireno, compuesto con propiedades carcinogénicas y mutagénicas, clasificado como uno de los contaminantes prioritarios por la USEPA (Gremm y Frimmel, 1994).

Hidrocarburos alifáticos

En la tabla 10, se presentan los niveles de hidrocarburos alifáticos en sedimentos superficiales en diversos sistemas costeros del estado de Sinaloa, en 22 sitios de colecta (Figs. 1, 6 y 7), las estaciones con mayor concentración de estos hidrocarburos fueron: Santa María (SM-23) con $52.97 \mu\text{g/g}$ seguida por el Puerto de Mazatlán (PMZ-53) con $32.08 \mu\text{g/g}$, Altata - Ensenada del Pabellón (AEP-28)

Tabla 10. Niveles de hidrocarburos alifáticos en sedimentos superficiales de diversos sistemas costeros del Estado de Sinaloa, Mex. 1997.
(Valores en µg/g peso seco).

COMPUESTO	TO	OH	OH	OH	NA	NA	SM	SM	SM	SM	SM	AEP	AEP	AEP	AEP	CE	CE	CA	CA	INF	INF	PMZ	PMZ	CONC. TOTAL	CONCENTRACIÓN
	14	15	16	17	18	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	49	50	51	52	53	54	COMPUUESTO	PROMEDIO	
1																									
C13	N.D.	0.106	0.43	0.33	0.21	N.D.	N.D.	N.D.	0.22	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.15	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.45	0.07
C14	N.D.	0.16	0.32	0.22	0.02	0.24	N.D.	N.D.	0.25	N.D.	0.07	0.23	0.54	0.54	0.57	N.D.	N.D.	N.D.	0.22	N.D.	0.10	0.06	N.D.	3.54	0.16
C15	0.14	0.23	0.40	0.33	0.07	0.28	N.D.	0.14	0.44	0.15	0.07	0.16	0.44	0.67	0.68	N.D.	N.D.	0.06	0.17	0.10	N.D.	N.D.	4.49	0.20	
C16	0.18	0.17	0.29	0.22	0.09	0.19	N.D.	0.16	0.53	0.20	0.08	0.18	0.33	0.43	0.57	0.02	0.14	0.10	0.26	0.12	0.47	N.D.	4.73	0.22	
C17	0.28	0.37	1.30	0.75	0.22	0.39	0.10	0.23	1.07	0.37	0.14	0.16	0.28	0.59	0.66	0.14	0.72	0.62	0.46	0.26	N.D.	N.D.	9.01	0.41	
PRISTANO	0.22	0.23	0.32	0.35	0.13	0.24	N.D.	0.16	N.D.	0.27	0.08	0.11	0.17	0.58	0.35	0.08	N.D.	N.D.	0.22	0.27	N.D.	N.D.	3.74	0.17	
C18	0.39	0.55	1.25	0.58	0.28	0.63	0.14	0.50	5.02	0.45	0.20	0.27	0.42	0.91	0.97	0.18	0.3	0.28	0.77	0.68	6.35	N.D.	21.12	0.96	
FITANO	0.48	N.D.	N.D.	2.47	0.23	N.D.	0.10	0.33	4.37	0.18	0.15	0.24	0.28	0.54	0.64	0.14	0.3	0.28	0.70	0.82	N.D.	N.D.	12.27	0.56	
C19	0.20	0.32	0.37	0.26	0.13	0.30	0.11	0.15	5.44	0.16	0.09	0.11	0.16	0.32	0.40	0.10	0.16	0.13	0.57	0.85	6.57	N.D.	16.70	0.76	
C20	0.60	0.28	0.71	0.30	0.14	0.36	N.D.	0.28	7.17	0.26	0.15	0.17	0.23	0.41	0.67	0.10	0.18	0.14	0.68	0.94	9.95	N.D.	23.62	1.07	
C21	0.47	0.68	1.06	0.58	0.17	0.88	0.16	0.45	11.7	0.38	0.16	0.19	0.28	0.36	0.89	0.11	0.23	0.24	0.57	0.88	N.D.	N.D.	20.63	0.94	
C22	N.D.	0.23	N.D.	0.10	0.02	0.74	N.D.	0.24	5.11	0.33	N.D.	N.D.	0.28	N.D.	N.D.	0.08	N.D.	N.D.	0.35	N.D.	4.90	N.D.	12.36	0.56	
C23	0.24	0.31	0.46	0.45	0.09	0.79	0.14	0.29	4.77	0.33	0.13	0.14	0.31	0.31	0.44	0.05	0.12	0.09	0.87	0.41	1.16	N.D.	11.81	0.54	
C24	0.10	0.24	0.20	0.14	N.D.	0.62	N.D.	0.18	2.84	0.24	N.D.	0.04	0.25	0.18	0.37	0.05	0.08	N.D.	0.25	0.26	0.46	N.D.	6.50	0.30	
C25	0.25	0.48	0.22	0.31	N.D.	0.69	0.15	0.18	2.25	1.08	N.D.	0.04	0.50	0.40	0.83	0.15	0.06	N.D.	1.38	0.03	0.68	N.D.	9.66	0.44	
C26	0.15	0.27	N.D.	0.38	N.D.	0.89	0.00	0.12	0.85	0.31	N.D.	N.D.	0.52	0.50	1.31	N.D.	0.4	N.D.	1.18	0.06	N.D.	N.D.	6.74	0.31	
C27	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.	1.18	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.18	0.08	
C28	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.46	N.D.	N.D.	N.D.	0.56	1.07	0.63	N.D.	N.D.	0.31	N.D.	0.09	N.D.	N.D.	3.12	0.14	
C29	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.	0.97	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.97	0.04	
C30	0.15	N.D.	0.35	1.43	N.D.	0.62	N.D.	0.56	0.45	0.45	N.D.	N.D.	0.09	0.39	0.15	N.D.	1.41	N.D.	0.75	0.03	1.03	N.D.	16.41	0.75	
C31	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.24	0.17	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.	0.41	0.02	
C32	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.	2.57	N.D.	N.D.	0.09	N.D.	0.16	N.D.	0.51	N.D.	3.33	0.16	
CONC. TOTAL	3.84	4.61	7.68	9.22	1.59	7.97	0.90	3.41	52.97	5.63	1.30	2.04	5.65	22.02	10.03	1.17	5.03	1.84	9.45	5.56	32.08	N.D.	193.89		
CPI	0.99	1.30	1.29	0.82	1.26	0.82	4.71	0.97	1.15	1.17	1.28	1.06	0.67	0.34	0.77	1.37	0.49	2.00	0.94	1.10	0.36	N.C.			
C17/C18	0.67	0.67	1.04	1.29	0.79	0.82	0.71	0.46	0.21	0.82	0.70	0.59	0.67	0.65	0.68	0.78	2.40	1.88	0.62	0.38	N.C.	N.C.			
C17/PRIS	1.18	1.61	4.06	2.14	1.69	1.63	N.C.	1.44	N.C.	1.37	2.33	1.45	1.65	1.02	1.89	2.33	N.C.	N.C.	2.18	0.96	N.C.	N.C.			
C18/FIT	0.80	N.C.	N.C.	0.23	1.22	N.C.	1.40	1.52	1.15	2.50	1.33	1.13	1.45	1.69	1.52	1.29	1.00	1.00	1.40	0.83	N.C.	N.C.			
PRIS/FIT	0.45	N.C.	N.C.	0.14	0.57	N.C.	0.48	N.C.	1.50	0.40	0.46	0.59	1.07	0.55	0.43	N.C.	N.C.	N.C.	0.31	0.33	N.C.	N.C.			
Cimp/Cpares	0.99	1.30	1.36	0.89	1.24	0.84	4.71	0.97	1.14	1.27	1.18	0.90	0.61	0.31	0.73	1.37	0.51	2.00	0.90	1.08	0.36	N.C.			
CONC. PROM.																								8.81 +/- 12.5	

N.D. <0.01µg/g; N.C. No calculado
CPI = 0.77; C17/C18 = 0.43; C17/PRIS = 2.41; C18/FIT = 1.72; PRIS/FIT = 0.30; Cimp/Cpares = 0.78 (Global para el estado)
TO = Topolobampo, OH = Ohuira, NA = Navachiste, SM = Santa María, AEP = Atlatla El Pabellón, CE = Ceuta, INF = Infiernillo, CA = Caimanero, PMZ = Mazatlán.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

con 22.02 $\mu\text{g/g}$ y las estaciones restantes (81.8%) con niveles inferiores a los 10.1 $\mu\text{g/g}$.

En el Infiernillo (INF-51, INF-52), la fuente de parafinas es netamente petrogénica, mientras que en las otras 20 estaciones se presenta un origen mixto, proveniente tanto de copépodos, fitoplancton, plantas terrestres, cubiertas cerosas de las hojas, así como del petróleo.

El 95.5% de las estaciones presentó parafinas del C_{13} a C_{32} excepto la estación PMZ-54 donde no se detectó ningún hidrocarburo alifático.

Los compuestos más abundantes en cuanto a concentración promedio fueron el C_{20} con 1.07 $\mu\text{g/g}$, el C_{21} con 0.94 $\mu\text{g/g}$, el C_{18} con 0.96 $\mu\text{g/g}$, el C_{19} con 0.76 $\mu\text{g/g}$ y el C_{30} con 0.75 $\mu\text{g/g}$. Las concentraciones promedio por compuesto oscilaron entre el 0.02 $\mu\text{g/g}$ (C_{31}) y el 1.07 $\mu\text{g/g}$ (C_{20}).

En relación a los valores de CPI, las estaciones SM-21 y CA-50, reflejan n-alcános originados de las cubiertas cerosas de las hojas de plantas terrestres y el resto de los sitios muestran un valor de CPI cercano a 1, lo que señala que la existencia de estas parafinas, es a partir de las emisiones vehiculares y otras actividades humanas (Kavouras *et al.*, 1999).

En cuanto a las relaciones con los hidrocarburos alifáticos y parámetros sedimentológicos (Tabla 12), no se observó una tendencia definida con el tipo de sedimento, el contenido de materia orgánica ni con el contenido de CaCO_3 , las correlaciones estuvieron por debajo de 0.35 ($p > 0.05$).

Hidrocarburos totales del petróleo

La concentración máxima de hidrocarburos totales se registró en la estación SM-23 con un nivel de 78.64 $\mu\text{g/g}$, seguida por la OH-15 con 59.93 $\mu\text{g/g}$, 3 estaciones registraron niveles entre los 20 y los 27.8 $\mu\text{g/g}$ y las estaciones restantes (73%), con niveles por debajo de los 11.4 $\mu\text{g/g}$ (Tabla 11).

Los hidrocarburos son de origen mixto, dado que la mayoría de los hidrocarburos aromáticos provienen de una fuente pirolítica, mientras que los hidrocarburos

alifáticos presentan una tendencia petrogénica, para casi el 64% de las estaciones analizadas.

En cuanto a las relaciones con los hidrocarburos totales y parámetros sedimentológicos (Tabla 12), no se observó una tendencia con el tipo de sedimento ni con el contenido de materia orgánica, tampoco con el contenido de CaCO₃ (p>0.05), a pesar de la influencia de los HAPs, que presentaron una correlación significativa con el carbonato de calcio. Esto puede deberse a que la distribución de los HAPs e hidrocarburos totales del petróleo, no está gobernada por las características sedimentarias, pero pueden deberse a descargas de fuentes localizadas (Storelli y Marcotrigiano, 2000).

Tabla 11. Niveles de Hidrocarburos totales en sedimentos superficiales de diversos sistemas costeros del estado de Sinaloa, Méx. 1997. (Valores en µg/g peso seco).

ESTACION	HAPs	H. ALIFATICOS	H. TOTALES
BAHÍA TOPOLOBAMPO (TO-14)	4.53	3.84	8.37
L. OHUIRA (OH-15)	55.32	4.61	59.93
L. OHUIRA (OH-16)	0.68	7.68	8.36
L. OHUIRA (OH-17)	11.54	9.22	20.76
L. NAVACHISTE (NA-18)	0.20	1.59	1.79
L. NAVACHISTE (NA-20)	1.41	7.97	9.38
S.L. SANTA MARÍA (SM-21)	1.49	0.90	2.39
S.L. SANTA MARÍA (SM-22)	1.19	3.41	4.60
S.L. SANTA MARÍA (SM-23)	25.67	52.97	78.64
S.L. SANTA MARÍA (SM-24)	2.55	5.53	8.08
S.L. ALTATA ENSENADA DEL PABELLÓN (AEP-25)	0.34	1.30	1.64
S.L. ALTATA ENSENADA DEL PABELLÓN (AEP-26)	0.21	2.04	2.25
S.L. ALTATA ENSENADA DEL PABELLÓN (AEP-27)	18.43	5.65	24.08
S.L. ALTATA ENSENADA DEL PABELLÓN (AEP-28)	5.74	22.02	27.76
L. CEUTA (CE-29)	1.33	10.03	11.36
L. CEUTA (CE-30)	0.01	1.17	1.18
L. CAIMANERO (CA-49)	1.40	5.03	6.43
L. CAIMANERO (CA-50)	1.46	1.84	3.30
INFIERNILLO (INF-51)	0.19	9.45	9.64
INFIERNILLO (INF-52)	0.29	5.56	5.85
PUERTO DE MAZATLÁN (PMZ-53)	10.61	32.08	42.69
PUERTO DE MAZATLÁN (PMZ-54)	0.45	N.D.	0.45
PROMEDIO	6.59	8.81	15.41
DESV. ESTANDAR	12.76	12.46	20.47

N.D. <0.01µg/g

Criterio internacional para sedimentos costeros no contaminados (UNESCO, 1976): 70µg/g

Tabla 12. Parámetros sedimentológicos e hidrocarburos del petróleo de diversos sistemas costeros del Estado de Sinaloa, Mex. 1997.

ESTACIONES	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	% M.O.	% CaCO ₃	HAPs*	H. ALIFATICOS*	H. TOTALES*	TIPO DE SEDIMENTO
BAHIA TOPOLOBAMPO (TO-14)	28.41	52.24	19.35	3.14	5.07	4.53	3.84	8.37	LIMOSO
L. OHUJIRA (OH-15)	72.96	21.55	5.49	3.74	41.76	55.32	4.61	59.93	ARENOSO
L. OHUJIRA (OH-16)	1.72	68.99	29.3	4.45	18.72	0.68	7.68	8.36	LIMOSO
L. OHUJIRA (OH-17)	1.03	93.95	5.02	6.52	19.26	11.54	9.22	20.76	LIMOSO
L. NAVACHISTE (NA-18)	16.99	9.02	73.99	0.34	9.8	0.20	1.59	1.79	ARCILLOSO
L. NAVACHISTE (NA-20)	43.56	20.90	35.54	3.17	4.97	1.41	7.97	9.38	ARENOARCILLOSO
S.L. SANTA MARIA (SM-21)	96.31	2.01	1.68	2.66	10.02	1.49	0.90	2.39	ARENOSO
S.L. SANTA MARIA (SM-22)	74.11	15.46	10.43	1.84	7.98	1.19	3.41	4.60	ARENOSO
S.L. SANTA MARIA (SM-23)	2.39	37.92	59.69	2.00	5.36	25.67	52.97	78.64	ARCILLOSO
S.L. SANTA MARIA (SM-24)	49.4	34.91	15.69	0.17	2.54	2.55	5.53	8.08	ARENOLIMOSO
S.L. ALTATA ENSENADA DEL PABELLON (AEP-25)	77.53	12.84	9.63	4.35	1.77	0.34	1.30	1.64	ARENOSO
S.L. ALTATA ENSENADA DEL PABELLON (AEP-26)	30.84	47.1	22.06	3.53	6.5	0.21	2.04	2.25	LIMOARENOSO
S.L. ALTATA ENSENADA DEL PABELLON (AEP-27)	68.04	22.37	9.59	3.53	4.01	18.43	5.65	24.08	ARENOSO
S.L. ALTATA ENSENADA DEL PABELLON (AEP-28)	0.31	53.87	45.83	6.31	5.18	5.74	22.02	27.76	LIMOARCILLOSO
L. CEUTA (CE-29)	13.14	50.97	35.89	4.83	3.35	1.33	10.03	11.36	LIMOARCILLOSO
L. CEUTA (CE-30)	57.94	28.89	13.17	4.33	3.35	0.01	1.17	1.18	ARENOLIMOSO
L. CAIMANERO (CA-49)	4.39	54.22	41.38	10.62	4.36	1.40	5.03	6.43	LIMOARCILLOSO
L. CAIMANERO (CA-50)	28.83	63.62	7.55	9.99	3.97	1.46	1.84	3.30	LIMOSO
INFIERNILLO (INF-51)	18.86	0.89	80.44	17.46	0.62	0.19	9.45	9.64	ARCILLOSO
INFIERNILLO (INF-52)	0.18	90.28	9.54	2.77	3.56	0.29	5.56	5.85	LIMOSO
PUERTO DE MAZATLAN (PMZ-53)	59.36	30.12	10.53	2.39	2.0	10.61	32.08	42.69	ARENOLIMOSO
PUERTO DE MAZATLAN (PMZ-54)	26.17	36.27	37.56	1.44	1.26	0.45	N.D.	0.45	ARCILLOLIMOSO
PROMEDIO	35.11	38.55	26.33	4.53	7.52	6.59	8.81	15.41	
DES.STD.	30.04	25.89	22.65	3.90	9.08	12.76	12.46	20.47	

* [µg/g]: M.O. = Materia orgánica; CaCO₃ = Carbonato de calcio

NAYARIT

Hidrocarburos aromáticos policíclicos

En esta entidad se analizaron 8 muestras de sedimentos superficiales (Figs. 1 y 7 y se obtuvo una concentración promedio de HAPs de $7.34 \pm 9.94 \mu\text{g/g}$ (Tabla 13). El valor total más alto de estos hidrocarburos se registró en el complejo lagunar de Mexcaltitán en la estación MX-46 con $26.63 \mu\text{g/g}$ y en segundo lugar estuvo el sitio SC-41 ubicado en el estero San Cristóbal en el área de San Blas con $19.37 \mu\text{g/g}$ (Tabla 13); los valores subsecuentes decrecieron a $4.69 \mu\text{g/g}$ en MX-45, $2.66 \mu\text{g/g}$ y $2.45 \mu\text{g/g}$ en Teacapan-Agua Brava (TEC-48 y TEC-47).

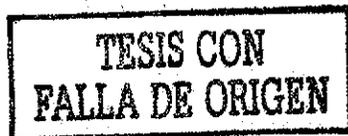
De las 8 estaciones, 7 presentaron un tipo de sedimento fino y solamente fue arenoso en San Blas 44 (Tabla 16); el contenido de materia orgánica fue homogéneo oscilando entre 8.93 y 14.14% con dos excepciones en la zona de San Blas (1.25 y 1.63%); las relaciones estadísticas entre estos parámetros sedimentológicos y los HAPs no registraron coeficientes significativos ($p > 0.05$) con sedimentos, materia orgánica y carbonatos; las estaciones con mayor contenido de hidrocarburos aromáticos (Mx-46 y SC-41), presentaron más del 50% de limo y arcilla respectivamente (Tabla 16) estableciendo condiciones sedimentarias favorables para que se lleve a cabo la acumulación de estos compuestos (Tam *et al.*, 2001).

Los HAPs formados por 4 anillos aromáticos dominaron estos sedimentos con una concentración de $8.60 \mu\text{g/g}$ (Fig. 10), seguidos por los de 2 ($1.86 \mu\text{g/g}$), 3 ($1.29 \mu\text{g/g}$) y 5 anillos ($1.12 \mu\text{g/g}$). El Benzo(a)antraceno fue el hidrocarburo más abundante con $3.46 \mu\text{g/g}$ de concentración promedio y el 59.5% se presentó en la estación MX-46 ($16.44 \mu\text{g/g}$); el Criseno ocupó el segundo lugar y su nivel más alto también se registró en este lugar (Tabla 13). El Benzo(a)antraceno y el Criseno, sobrepasaron el intervalo en las estaciones SC-41 y MX-46; en el resto de las estaciones se presentó por lo menos un analito en el intervalo crítico y en MX-45 se registraron 4. El origen pirolítico predominó en este litoral siendo el transporte atmosférico y los escurrimientos, las vías utilizadas para llegar a la zona costera. Y se confirmó, según las relaciones Fen/Ant (< 10), Fluo/Pir (> 1) y

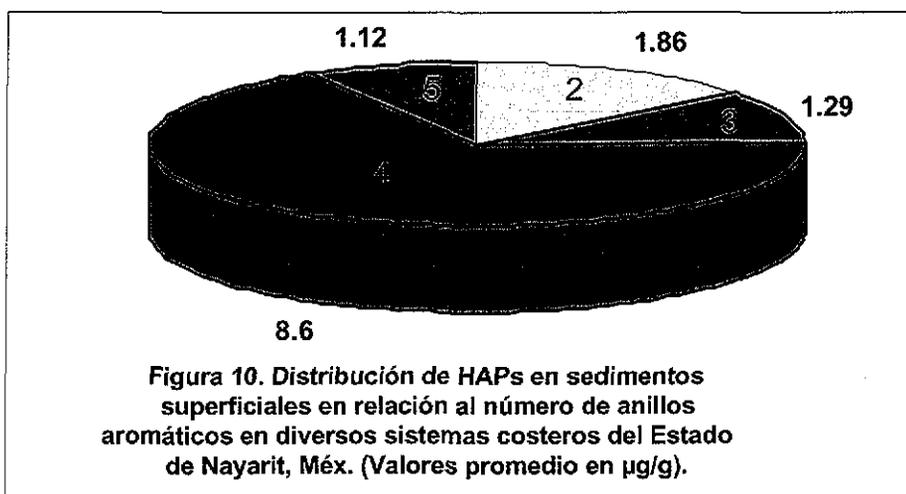
Tabla 13. Niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos superficiales de diversos sistemas costeros del Estado de Nayarit, Méx. 1997. (Valores en µg/g peso seco).

COMPUUESTO	No. ANILLOS	SC 41	SC 42	SB 43	SB 44	MX 45	MX 46	TEC 47	TEC 48	CONC. TOTAL POR COMPUUESTO	CONC. PROM. POR COMPUUESTO	EFECTOS BIOLÓGICOS Long et al. 1995	
												ERL	ERM
1 NAFTALENO	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.16	2.10
2 ACENAFTILENO	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.02	0.02	0.003	0.04	0.64
3 ACENAFTENO	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.02	0.02	0.003	0.02	0.50
4 FLUORENO	2	3.42	N.D.	0.30	0.14	0.85	1.14	0.58	0.97	7.40	0.93	0.02	0.54
5 FENANTRENO	3	0.10	N.D.	N.D.	N.D.	0.78	N.D.	0.06	0.03	0.97	0.12	0.24	1.50
6 ANTRACENO	3	0.24	N.D.	N.D.	N.D.	0.76	N.D.	0.13	0.07	1.20	0.15	0.09	1.10
7 FLUORANTENO	3	0.67	N.D.	0.08	0.08	0.14	0.16	0.32	0.25	1.70	0.21	0.60	5.10
8 PIRENO	4	0.07	N.D.	N.D.	N.D.	0.28	0.12	N.D.	0.22	0.69	0.09	0.67	2.60
9 BENZO(a)ANTRACENO	4	8.86	1.34	N.D.	N.D.	0.64	16.44	0.12	0.24	27.64	3.46	0.26	1.60
10 CRISENO	4	4.67	0.49	0.07	N.D.	0.58	7.80	0.07	0.32	14.00	1.75	0.38	2.80
11 BENZO(b)FLUORANTENO	4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.33	N.D.	N.D.	0.02	0.35	0.04	N.R.	N.R.
12 BENZO(k)FLUORANTENO	4	0.10	N.D.	N.D.	N.D.	0.18	N.D.	N.D.	N.D.	0.28	0.04	N.R.	N.R.
13 BENZO(a)PIRENO	5	0.20	N.D.	N.D.	N.D.	0.15	0.56	0.46	0.06	1.43	0.18	0.43	1.60
14 INDENO(123-cd)PIRENO	5	0.24	N.D.	N.D.	0.43	N.D.	N.D.	0.46	0.21	1.34	0.17	N.R.	N.R.
15 DIBENZO(a,h)ANTRACENO	5	0.20	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.08	0.28	0.04	0.06	0.26
16 BENZO(g,h)PERILENO	5	0.60	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.41	0.25	0.15	1.41	0.18	N.R.	N.R.
CONC. TOTAL		19.37	1.83	0.45	0.65	4.69	26.63	2.45	2.66	58.73		4.02	44.8
FENANT		0.42	N.C.	N.C.	N.C.	1.03	N.C.	0.46	0.43				
FLUO/PIR		9.57	N.C.	N.C.	N.C.	0.50	1.33	N.C.	1.14				
CRIS/B(a)ANT		0.53	0.37	N.C.	N.C.	0.91	0.47	0.68	1.33				
CONC. PROM.											7.34 +/- 9.94		

N.D. <0.01µg/g; N.C. No calculado por falta de datos; N.R. No registrado
 Fenantreno/Antraceno = 0.81; Fluoranteno/Pireno = 2.46; Criseno/Benzo(a)antraceno/= 0.51
 Efectos Biológicos Frecuentes (Long et al. 1995) : 4.02-44.8µg/g (Global para el estado)
 TEC = Teacapan- Agua Brava; MX = Mexcallitán; SB = San Blás; SC= San Cristóbal
 ERL=Los efectos biológicos adversos son raramente observados; ERM=Los efectos biológicos adversos se presentan ocasionalmente



Cris/B(a)A (<1), que el origen de los hidrocarburos para esta entidad es básicamente antropogénico (Tabla 13).



El Benzo(a)pireno se presentó con un nivel promedio de 0.18 µg/g, con valores en las estaciones por debajo de 1 µg/g; sin embargo en la MX-46 y TEC-47 las concentraciones estuvieron dentro del intervalo propuesto por Long *et al.*, (1995) (0.43-1.60) que puede ocasionar efectos biológicos adversos ocasionalmente sobre la biota, aunado al hecho de que es un compuesto al que se le reconocen propiedades cancerígenas (Boffetta *et al.* 1997).

El Fluoreno se presentó en el 87.5% de los sitios de colecta y en 5 de ellos superó los niveles de Long *et al.* (1995) y los 2 restantes estuvieron dentro del intervalo propuesto (0.02-0.54).

Hidrocarburos alifáticos

La concentración promedio de hidrocarburos alifáticos para el estado de Nayarit, en sedimentos superficiales fue de 11.8 ± 7.91 µg/g (Tabla 14), obteniéndose en Mexcaltitán (MX-46) la concentración mayor con 29.42 µg/g, seguida por San Cristóbal (SC-41) con 14.8 µg/g; tanto en Mexcaltitán como en el Estero San Cristóbal, se encuentran asentadas comunidades rurales que sostienen actividades pesqueras (Fig. 7).

Tabla 14. Niveles de hidrocarburos alifáticos en sedimentos superficiales de diversos sistemas costeros del Estado de Nayarit, Méx. 1997. (Valores en µg/g peso seco).

	COMPUESTO	SC 41	SC 42	SB 43	SB 44	MX 45	MX 46	TEC 47	TEC 48	CONC. TOTAL POR COMPUESTO	CONCENTRACIÓN PROMEDIO
1	C13	0.22	0.35	0.13	N.D.	0.18	0.36	N.D.	N.D.	1.24	0.16
2	C14	0.16	0.19	N.D.	N.D.	0.19	0.24	N.D.	N.D.	0.78	0.10
3	C15	0.31	0.32	0.20	N.D.	0.32	0.37	0.11	0.14	1.77	0.19
4	C16	0.33	0.33	0.31	0.15	0.28	0.30	0.14	0.18	2.02	0.21
5	C17	0.41	0.43	0.31	0.21	0.57	0.41	0.28	0.30	2.92	0.29
6	PRISTANO	0.35	0.33	0.20	N.D.	0.35	0.25	0.14	0.23	1.85	0.19
7	C18	0.55	0.76	0.69	0.30	0.83	0.47	0.41	0.37	4.38	0.45
8	FITANO	0.54	0.52	0.63	0.26	0.73	0.46	0.32	0.82	4.28	0.39
9	C19	0.26	0.21	0.40	N.D.	0.41	0.19	0.21	0.94	2.62	0.18
10	C20	0.33	0.24	0.59	N.D.	0.65	2.47	0.31	1.9	6.49	0.54
11	C21	0.46	0.43	0.60	N.D.	0.75	0.27	0.39	1.56	4.46	0.31
12	C22	0.37	0.34	0.45	N.D.	0.50	0.14	0.25	0.35	2.40	0.23
13	C23	0.38	0.24	0.56	0.29	0.35	0.20	0.19	0.32	2.53	0.25
14	C24	0.75	0.97	0.21	N.D.	0.22	1.98	0.21	0.33	4.67	0.52
15	C25	3.52	2.54	0.81	0.82	0.14	13.17	3.32	0.99	25.31	2.63
16	C26	1.17	0.95	0.92	0.78	0.08	2.38	0.97	0.66	7.91	0.79
17	C27	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.14	0.21	N.D.	0.35	0.02
18	C28	0.45	0.36	N.D.	N.D.	N.D.	1.15	N.D.	0.13	2.09	0.25
19	C29	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.26	N.D.	N.D.	0.26	0.03
20	C30	2.87	2.24	0.82	0.57	N.D.	2.24	1.22	1.41	11.37	1.09
21	C31	0.27	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.30	0.11	N.D.	0.68	0.07
22	C32	1.10	N.D.	0.42	N.D.	N.D.	1.67	0.34	0.49	4.02	0.40
	CONC. TOTAL	14.80	11.75	8.25	3.38	6.55	29.42	9.13	11.12	94.40	11.80
	CPI	0.76	0.66	0.69	0.73	0.96	1.27	1.31	0.82		
	C17/C18	0.75	0.57	0.45	0.70	0.69	0.87	0.68	0.81		
	C17/PRIS	1.17	1.30	1.55	N.C.	1.63	1.64	2.00	1.30		
	C18/FIT	1.02	1.46	1.10	1.15	1.14	1.02	1.28	0.45		
	PRIS/FIT	0.65	0.63	0.32	N.C.	0.48	0.54	0.44	0.28		
	Cimp/Cpares	0.72	0.71	0.68	0.73	0.99	1.20	1.25	0.73		
	CONC. PROM.										11.80 +/- 7.91

N.D. <0.01µg/g; N.C. No calculado; TEC = Teacapan-Agua Brava; MX = Mexcallitan; SB = San Blás; SC= San Cristóbal
 CPI = 0.93; C17/C18 = 0.74; C17/PRIS = 1.58; C18/FIT = 1.15; PRIS/FIT = 0.47; Cimp/Cpares = 0.67 (Global para el estado).

Las 6 estaciones restantes, tuvieron niveles entre los 3.38 y los 11.75 $\mu\text{g/g}$. El origen de los hidrocarburos alifáticos fue petrogénico en la estación de San Blas (SB-44), donde se llevan a cabo operaciones portuarias, aunado a la presencia de comunidades rurales dedicadas a la pesca. El valor del CPI menor o igual a 1 en cinco de las ocho estaciones de colecta, hizo evidente el origen del petróleo, tanto de derivados de los productos del energético, como de la combustión incompleta del mismo o de materiales biológicos recientes (Azevedo *et al.*, 1999), por lo que en general podría considerarse a los hidrocarburos alifáticos de origen mixto.

La presencia de parafinas de la C_{23} a la C_{33} , muestra el aporte de detrito vegetal terrestre. La relación Pristano/Fitano = 1 en las 8 estaciones, indicó una fuente petrogénica.

Las relaciones estadísticas entre los parámetros sedimentológicos y los hidrocarburos alifáticos (Tabla 16) no registraron un coeficiente significativo ($p > 0.05$) con los tipos de sedimento, materia orgánica y carbonatos.

Hidrocarburos totales del petróleo

El nivel promedio de hidrocarburos totales fue de $19.14 \pm 17.34 \mu\text{g/g}$ (Tabla 15), la estación de Mexcaltitán (MX-46) obtuvo el nivel más alto con $56.05 \mu\text{g/g}$, seguida por la de San Cristóbal (SC-41) con $34.17 \mu\text{g/g}$, en la primera estación el aporte de hidrocarburos alifáticos fue mayor que el de HAPs, al igual que en el 87.5% de las estaciones, mientras que para la estación ubicada en San Cristóbal, fueron los HAPs los que dominaron sobre los hidrocarburos alifáticos.

Las correlaciones de los hidrocarburos totales del petróleo con los parámetros sedimentológicos, el contenido de CaCO_3 , y el contenido de materia orgánica (Tabla 16) no muestran un patrón definido de significancia ($p > 0.05$).

Tabla 15. Niveles de Hidrocarburos totales en sedimentos superficiales de diversos sistemas costeros del Estado de Nayarit, Mex. 1997. (Valores en µg/g peso seco).

ESTACIÓN	HAPs	H. ALIFÁTICOS	H. TOTALES
ESTERO SAN CRISTÓBAL (SC-41)	19.37	14.80	34.17
ESTERO SAN CRISTÓBAL (SC-42)	1.83	11.75	13.58
SAN BLÁS (SB-43)	0.45	8.25	8.70
SAN BLÁS (SB-44)	0.65	3.38	4.03
S.L. MEXCALITÁN (MX-45)	4.69	6.55	11.24
S.L. MEXCALITÁN (MX-46)	26.63	29.42	56.05
S.L. TEACAPÁN-AGUA BRAVA (TEC-47)	2.45	9.13	11.58
S.L. TEACAPÁN-AGUA BRAVA (TEC-48)	2.66	11.12	13.78
PROMEDIO	7.34	11.80	19.14
DESV. ESTANDAR	9.94	7.91	17.34

Criterio internacional para sedimentos costeros no contaminados (UNESCO, 1976): 70µg/g

Tabla 16. Parámetros sedimentológicos e hidrocarburos del petróleo de diversos sistemas costeros del Estado de Nayarit, Méx. 1997.

ESTACIONES	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	% M.O.	% CaCO ₃	HAPs*	H. ALIFAT.*	H. TOTALES*	TIPO DE SEDIMENTO
ESTERO SAN CRISTÓBAL (SC-41)	17.46	29.37	53.17	10.37	6.72	19.37	14.8	34.17	ARCILLOLIMOSO
ESTERO SAN CRISTÓBAL (SC-42)	13.04	45.1	41.86	14.14	4.29	1.83	11.75	13.58	LIMOSOARCILLOSO
SAN BLAS (SB-43)	32.64	51.97	15.38	1.25	1.51	0.45	8.25	8.70	LIMOARENOSO
SAN BLAS (SB-44)	68.41	21.2	10.39	1.63	2.71	0.65	3.38	4.03	ARENOSO
S.L. MEXCALTITAN (MX-45)	3.61	54.95	41.44	11.13	4.7	4.69	6.55	11.24	LIMOARCILLOSO
S.L. MEXCALTITAN (MX-46)	4.39	57.53	38.08	11.84	4.79	26.63	29.42	56.05	LIMOARCILLOSO
S.L. TEACAPÁN-AGUA BRAVA (TEC-47)	0.0	59.02	40.98	9.08	0.85	2.45	9.13	11.58	LIMOARCILLOSO
S.L. TEACAPÁN-AGUA BRAVA (TEC-48)	32.65	57.32	10.02	8.93	43.24	2.66	11.12	13.78	LIMOARENOSO
PROMEDIO	21.53	47.06	31.42	8.55	8.60	7.34	11.80	19.14	
Desv. Est.	22.72	14.29	16.80	4.68	14.13	9.94	7.91	17.34	

* [µg/g]; M.O. = Materia orgánica; CaCO₃ = Carbonato de calcio

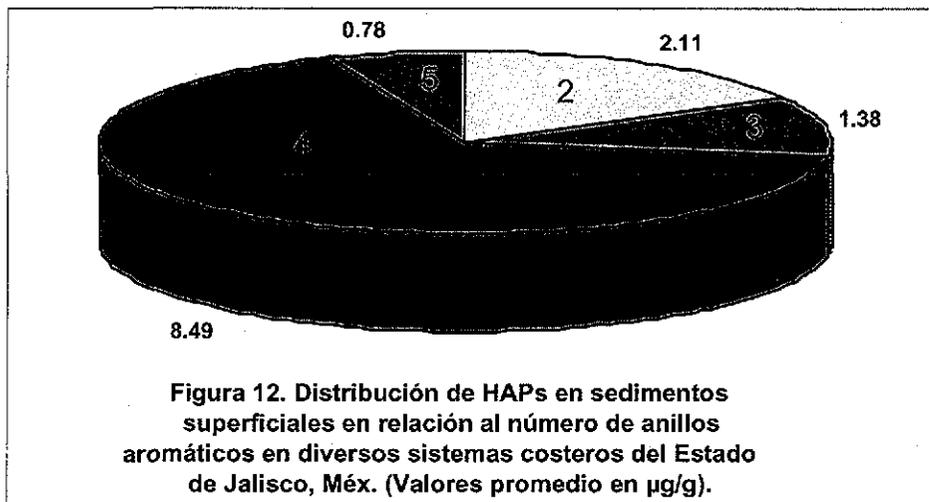
JALISCO

Hidrocarburos aromáticos policíclicos

En este estado (Figs. 1 y 11) se colectaron 6 muestras de sedimentos superficiales a lo largo de diversos ambientes costeros, donde se registró una concentración promedio de $9.69 \pm 14.9 \mu\text{g/g}$ (Tabla 17). Sobresalen las estaciones de Vallarta (VA-38) y Barra de Navidad (BN-36) por ser los valores totales más altos de esta entidad con 38.65 y 12.88 $\mu\text{g/g}$ respectivamente (Tabla 17); las 4 estaciones restantes oscilaron entre 1.0 $\mu\text{g/g}$ en Vallarta (VA-40) y 3.14 $\mu\text{g/g}$ en la misma zona (VA-37).

Los HAPs formados por 4 anillos dominaron registrando un promedio de $8.49 \pm 3.96 \mu\text{g/g}$ (Fig. 12), en el orden siguiente:

$$\overset{4}{(8.49 \mu\text{g/g})} > \overset{2}{(2.11 \mu\text{g/g})} > \overset{3}{(1.38 \mu\text{g/g})} > \overset{5}{(0.78 \mu\text{g/g})}$$



Nuevamente los hidrocarburos pirogénicos fueron los más abundantes en estos sistemas costeros; la presencia de HAPs de 2 anillos (Fig. 12) en el segundo lugar manifiesta los aportes recientes provenientes de las embarcaciones que navegan por esta región. Lo anterior está sustentado por los cocientes obtenidos Fen/Ant

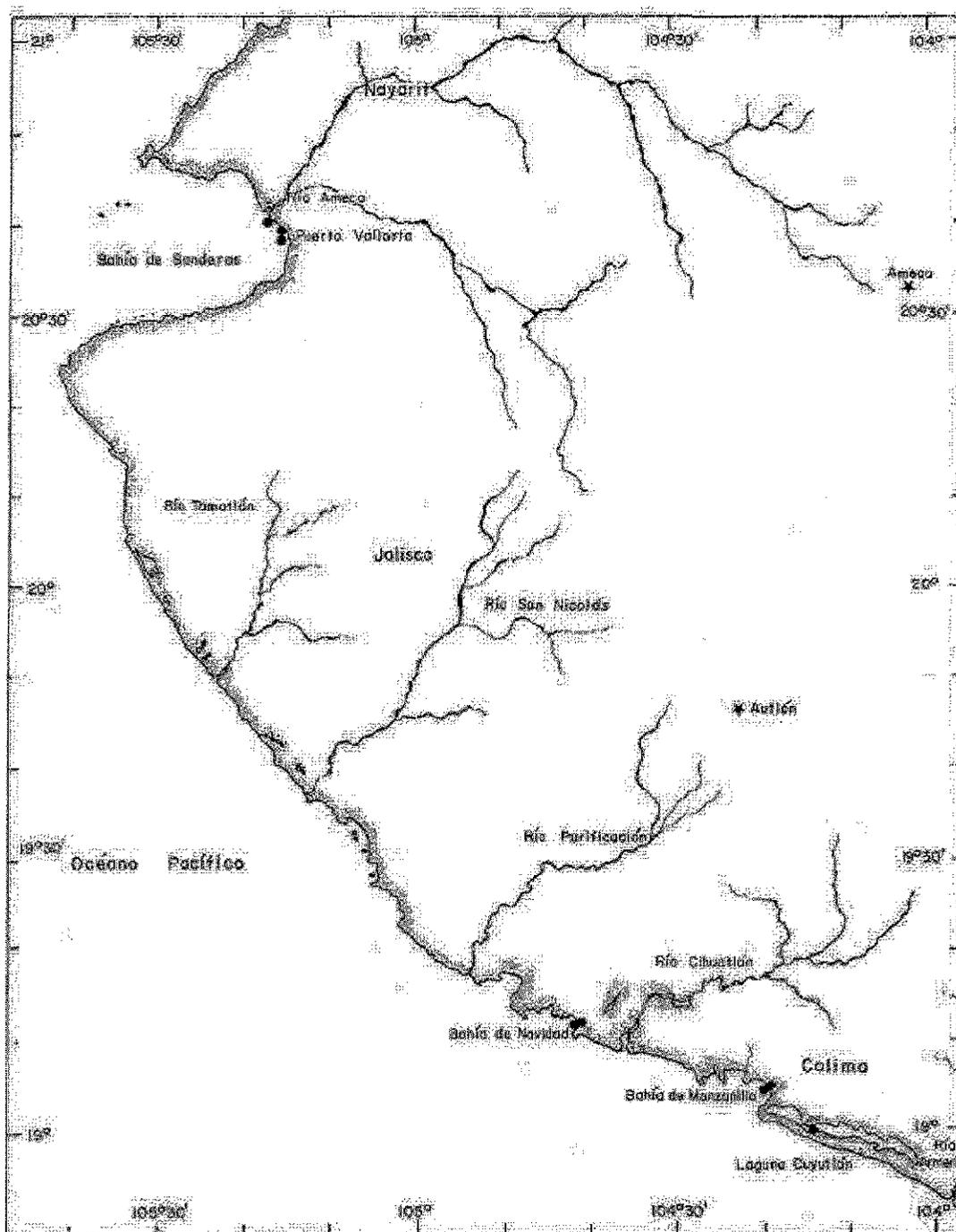


Fig. 11. Sitios de colecta en los Estados de Jalisco y Colima, Méx.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 17. Niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos superficiales de diversos sistemas costeros del Estado de Jalisco, Méx. 1997. (Valores en µg/g peso seco).

	COMPUESTO	No. ANILLOS	BN 35	BN 36	VA 37	VA 38	AM 39	VA 40	CONC. TOTAL POR COMPUESTO	CONC. PROM. POR COMPUESTO	EFECTOS BIOLÓGICOS Long et al. 1995	
											ERL	ERM
1	NAFTALENO	2	N.D.	N.D.	N.D.	0.07	N.D.	N.D.	0.07	0.01	0.16	2.10
2	ACENAFLENO	2	N.D.	N.D.	N.D.	0.90	N.D.	0.01	0.91	0.15	0.04	0.64
3	ACENAFLENO	2	N.D.	N.D.	N.D.	0.11	0.09	0.02	0.22	0.04	0.02	0.50
4	FLUORENO	2	0.61	0.43	0.88	4.78	0.21	0.54	7.25	1.21	0.02	1.54
5	FENANTRENO	3	N.D.	N.D.	0.07	0.40	N.D.	0.02	0.49	0.08	0.24	1.50
6	ANTRACENO	3	N.D.	N.D.	0.15	0.90	N.D.	0.04	1.09	0.18	0.09	1.10
7	FLUORANTENO	3	0.11	0.08	0.72	1.40	0.10	0.15	2.56	0.43	0.60	5.10
8	PIRENO	4	N.D.	0.05	N.D.	0.10	N.D.	0.03	0.18	0.03	0.67	2.60
9	BENZO(a)ANTRACENO	4	0.08	2.20	1.10	18.69	N.D.	0.04	22.11	3.69	0.26	1.60
10	CRISENO	4	0.47	10.03	0.26	8.60	0.20	N.D.	19.56	3.26	0.38	2.80
11	BENZO(b)FLUORANTENO	4	N.D.	N.D.	N.D.	0.19	N.D.	N.D.	0.19	0.03	N.R.	N.R.
12	BENZO(k)FLUORANTENO	4	N.D.	N.D.	N.D.	0.40	N.D.	N.D.	0.40	0.07	N.R.	N.R.
13	BENZO(a)PIRENO	5	N.D.	0.09	0.03	0.14	N.D.	N.D.	0.26	0.04	0.43	1.60
14	INDENO(1,23-cd)PIRENO	5	N.D.	N.D.	N.D.	0.41	N.D.	0.10	0.51	0.09	N.R.	N.R.
15	DIBENZO(ah)ANTRACENO	5	N.D.	N.D.	N.D.	0.52	N.D.	N.D.	0.52	0.09	0.06	0.26
16	BENZO(ghi)PERILENO	5	N.D.	N.D.	0.13	1.04	0.60	0.05	1.82	0.30	N.R.	N.R.
	CONCENTRACION TOTAL		1.27	12.88	3.14	38.65	1.20	1.00	58.14		4.02	44.8
	FENANT		N.C.	N.C.	0.47	0.44	N.C.	0.50				
	FLUOPIR		N.C.	1.60	N.C.	14	N.C.	5.00				
	CRIS/B(a)ANT		5.88	4.56	0.24	0.46	N.C.	N.C.				
	CONC.PROM.								9.69 +/- 14.90			

N.D.<0.01µg/g; N.C. No calculado por falta de datos; N.R. No registrado

Fenantreno/Antraceno = 0.45; Fluoranteno/Pireno = 14.2; Criseno/Benzo(a)antraceno = 0.88 (Global por estado)

Efectos Biológicos Frecuentes (Long et al. 1995) : 4.02-44.8µg/g

AM = Río Ameca; VA = Puerto Vallarta; BN= Barra de Navidad.

ERL=Los efectos biológicos adversos son raramente observados ERM=Los efectos biológicos adversos se presentan ocasionalmente

(0.45), Fluor/Pir (14.2) y Cris/B(a)A (0.88), los cuales denotan el origen pirolítico de los HAPs.

En general, el Benzo(a)antraceno fue el compuesto con una concentración promedio más alta (3.69 µg/g) seguido por el Criseno (3.26 µg/g), el Fluoreno (1.21 µg/g), el Fluoranteno (0.43 µg/g) y el Benzo(ghi)perileno con 0.30 µg/g (Tabla 17); cabe mencionar que solamente en la estación VA-38 localizada en Vallarta se detectó la presencia de los 16 hidrocarburos analizados (100%) (Tabla 17). El Benzo(a)pireno se registró en una concentración promedio de 0.04 µg/g considerándose como no peligroso para el ambiente acuático.

El Fluoreno estuvo presente en todos los sitios de colecta, en tres de ellos los niveles propuestos por Long y sus colaboradores (1995) para este analito (0.02-0.54 µg/g) fueron superados (0.61, 0.68 y 4.78 µg/g) mientras que para las estaciones restantes los datos se encontraron dentro de dicho intervalo (Tabla 17). Este compuesto, no está comprobado científicamente que ocasione problemas de cáncer, por no tener evidencia adecuada (Boffetta *et al.*, 1997).

La estación VA-38 en Puerto Vallarta registró el mayor número de compuestos (4) que sobrepasaron los niveles mencionados por Long *et al.* (1995) e igual número de analitos están dentro de los intervalos propuestos (Tabla 17), las condiciones ecológicas se han visto afectadas debido a las operaciones portuarias, el turismo y los escurrimientos domésticos.

De las relaciones entre los HAPs y los parámetros del sedimento cuantificados, se observó una correlación significativa únicamente con la arcilla ($r=0.83; p<0.05$) (Fig. 13) manifestando un patrón de acumulación directo entre este componente y los contaminantes evaluados; aunque de forma individual las estaciones con mayor cantidad de HAPs presentaron un sedimento de tipo limoso (62 y 82%) (Tabla 17).

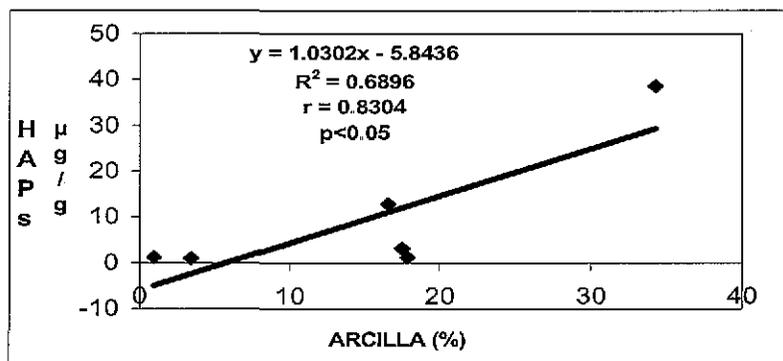


Figura 13. Correlación lineal entre la arcilla y el contenido de HAPs en diversas áreas costeras del Estado de Jalisco, Méx.

Hidrocarburos alifáticos

En la tabla 18, se presentan los niveles de estos hidrocarburos en los sedimentos de 3 sistemas costeros del estado de Jalisco (Figs. 1 y 11), con una concentración promedio de $12.83 \pm 13.41 \mu\text{g/g}$, sobresaliendo las estaciones ubicadas en Puerto Vallarta con concentraciones de 32.68 y $24.27 \mu\text{g/g}$ (VA-38 y VA-37 respectivamente), seguidas por Barra de Navidad (BN-36) con $14.7 \mu\text{g/g}$, el 50% de las estaciones restantes tuvieron niveles por debajo de los $3.65 \mu\text{g/g}$.

La parafina dominante fue el C_{25} , indicador de materia orgánica originada tanto por plantas terrestres como acuáticas, con una concentración promedio de $4.8 \mu\text{g/g}$.

En todas las estaciones está presente el C_{16} , aunque en niveles que van del 0.06 al $0.41 \mu\text{g/g}$ es un claro indicador de petróleo no degradado.

Las parafinas impares provenientes del fitoplancton C_{15} al C_{21} , están representadas en las 6 estaciones. Sin embargo las relaciones entre Pristano y Fitano, indican que para el 67% de las estaciones el tipo de alifáticos es petrogénico; el coeficiente C_{17}/C_{18} al ser menor a 1 muestra que se trata de parafinas petrogénicas en las estaciones evaluadas.

Tabla 18. Hidrocarburos alifáticos en sedimentos superficiales de diversos sistemas costeros del Estado de Jalisco, Méx. 1997. (Valores en µg/g peso seco).

	COMPUESTO	BN 35	BN 36	VA 37	VA 38	AM 39	VA 40	CONC. TOTAL POR COMPUESTO	CONCENTRACIÓN PROMEDIO
1	C13	N.D.	N.D.	0.20	N.D.	N.D.	N.D.	0.20	0.03
2	C14	N.D.	N.D.	0.12	N.D.	N.D.	N.D.	0.22	0.04
3	C15	0.04	0.24	0.17	0.19	0.07	N.D.	0.71	0.12
4	C16	0.10	0.41	0.30	0.29	0.66	0.12	1.28	0.21
5	C17	0.14	0.49	0.39	0.34	0.04	0.19	1.59	0.27
6	PRISTANO	0.06	0.32	0.25	0.25	N.D.	N.D.	0.88	0.15
7	C18	0.27	0.81	0.71	0.69	0.10	0.28	2.86	0.48
8	FITANO	0.18	0.74	0.68	0.71	N.D.	0.21	2.52	0.42
9	C19	0.11	0.34	0.53	0.29	0.06	N.D.	1.33	0.22
10	C20	0.12	0.73	0.87	0.29	0.08	0.12	2.21	0.37
11	C21	0.10	0.55	1.33	0.80	0.11	0.30	3.19	0.53
12	C22	N.D.	0.23	1.00	0.60	N.D.	0.17	2.00	0.33
13	C23	N.D.	0.27	1.37	0.79	N.D.	0.26	2.69	0.45
14	C24	N.D.	0.79	1.57	1.86	N.D.	0.24	4.46	0.74
15	C25	N.D.	5.86	6.99	15.57	N.D.	0.58	29.00	4.83
16	C26	N.D.	1.91	1.43	3.37	N.D.	0.32	7.03	1.17
17	C27	N.D.	0.24	N.D.	0.26	N.D.	N.D.	0.50	0.08
18	C28	N.D.	0.50	1.05	1.19	N.D.	0.26	3.00	0.50
19	C29	N.D.	N.D.	0.29	0.43	N.D.	N.D.	0.72	0.12
20	C30	N.D.	0.27	2.89	3.50	N.D.	0.37	7.03	1.17
21	C31	N.D.	N.D.						
22	C32	N.D.	N.D.	2.13	1.26	N.D.	0.19	3.68	0.60
	CONC. TOTAL	1.12	14.70	24.27	32.68	0.62	3.61	77.00	12.83
	CPI	0.80	1.41	1.02	1.51	1.00	0.67		
	C17/C18	0.52	0.60	0.55	0.49	0.40	0.68		
	C17/PRIS	2.33	1.53	1.56	1.36	N.C.	N.C.		
	C18/FIT	1.50	1.09	1.04	0.97	N.C.	1.33		
	PRIS/FIT	0.33	0.43	0.37	0.35	N.C.	N.C.		
	Cimp/Cpares	0.80	1.41	0.93	1.43	0.82	0.64		
	CONC. PROM.								12.83 +/- 13.41

N.D. <0.01µg/g; N.C. No calculado

CPI = 1.26; C17/C18 = 0.56; C17/PRIS = 1.81; C18/FIT = 1.13; PRIS/FIT = 0.35; Cimp/Cpares = 1.19 (Global p:

AM= Río Ameca; VA= Puerto Vallarta; BN= Barra de Navidad.

En relación a los parámetros sedimentológicos, el contenido de materia orgánica y de carbonatos de calcio con los hidrocarburos alifáticos, solamente se encontró relación significativa con las arcillas ($r = 0.82$; $p < 0.05$) (Fig. 14), a pesar de que las estaciones con mayor concentración de estos compuestos tuvieron sedimentos del tipo limoso y areno-limoso.

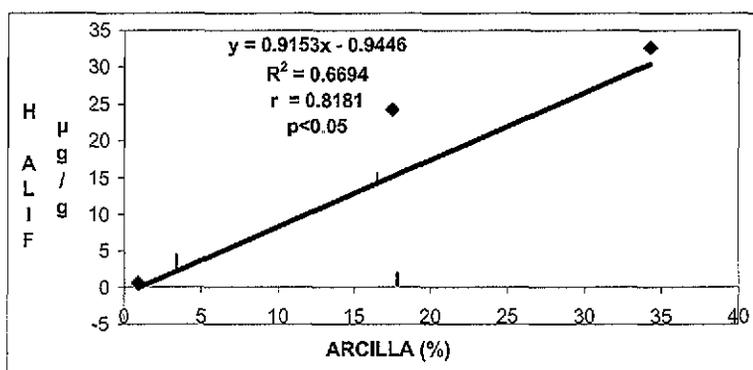


Figura 14. Correlación lineal entre la arcilla y el contenido de H.alifáticos en diversas áreas costeras del Estado de Jalisco, Méx.

Hidrocarburos totales del petróleo

Los hidrocarburos totales del petróleo (Tabla 19), presentaron la concentración mayor en la estación VA-38 con 71.33 $\mu\text{g/g}$ que corresponde al 52.78% de los hidrocarburos totales presentes, seguida por las ubicadas en Barra de Navidad (BN-36) y la del Puerto Vallarta (VA-37), la primera con 27.58 $\mu\text{g/g}$ que representa el 20.41% y la segunda con 27.41 $\mu\text{g/g}$ (20.28%). Los HAPs predominaron sobre los alifáticos sólo en 2 de las 6 estaciones (33%). Los hidrocarburos totales del petróleo y los parámetros sedimentológicos (Tabla 20) tuvieron correlaciones significativas con el porcentaje de arcilla ($r = 0.87$; $p < 0.05$) (Fig. 15).

Tabla 19. Niveles de hidrocarburos totales en sedimentos superficiales de diversos sistemas costeros del Estado de Jalisco, Méx. 1997. (Valores en µg/g peso seco).

ESTACION	HAPs	H. ALIF.	H. TOTALES
BARRA DE NAVIDAD (BN-35)	1.27	1.12	2.39
BARRA DE NAVIDAD (BN-36)	12.88	14.70	27.58
PUERTO VALLARTA (VA-37)	3.14	24.27	27.41
PUERTO VALLARTA (VA-38)	38.65	32.68	71.33
RÍO AMECA (AM-39)	1.20	0.62	1.82
PUERTO VALLARTA (VA-40)	1.00	3.61	4.61
PROMEDIO	9.69	12.83	22.52
DESV. ESTANDAR	14.90	13.41	26.78

Criterio internacional para sedimentos costeros no contaminados (UNESCO, 1976) : 70 µg/g

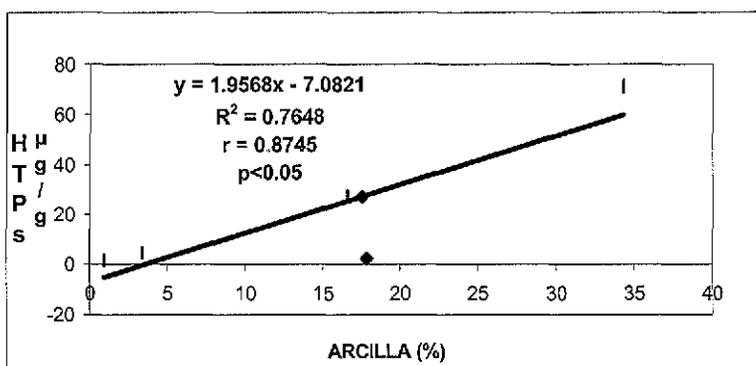


Figura 15. Correlación lineal entre la arcilla y el contenido de HTPs en diversas áreas costeras del Estado de Jalisco, Méx.

Tabla 20. Parámetros sedimentológicos e hidrocarburos del petróleo en diversos sistemas costeros del Estado de Jalisco, Méx.

ESTACIÓN	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	% M.O.	% CaCO ₃	HAPs*	H. ALIFÁTICOS*	H. TOTALES*	TIPO DE SEDIMENTO
BARRA DE NAVIDAD (BN-35)	0.78	81.38	17.84	6.00	3.65	1.27	1.12	2.39	LIMOSO
BARRA DE NAVIDAD (BN-36)	1.89	81.56	16.55	10.98	7.47	12.88	14.70	27.58	LIMOSO
PUERTO VALLARTA (VA-37)	52.95	29.59	17.51	6.57	0.87	3.14	24.27	27.41	ARENOLIMOSO
PUERTO VALLARTA (VA-38)	4.22	61.51	34.27	7.33	2.79	38.65	32.68	71.33	LIMOSO
RÍO AMECA (AM-39)	95.34	3.74	0.91	0.87	0.79	1.20	0.62	1.82	ARENOSO
PUERTO VALLARTA (VA-40)	80.65	15.96	3.39	4.66	0.89	1.00	3.61	4.81	ARENOSO
PROMEDIO	39.31	45.62	15.08	6.07	2.74	9.69	12.83	22.52	
Desv. Est.	42.78	33.80	12.01	3.32	2.60	14.90	13.41	26.78	

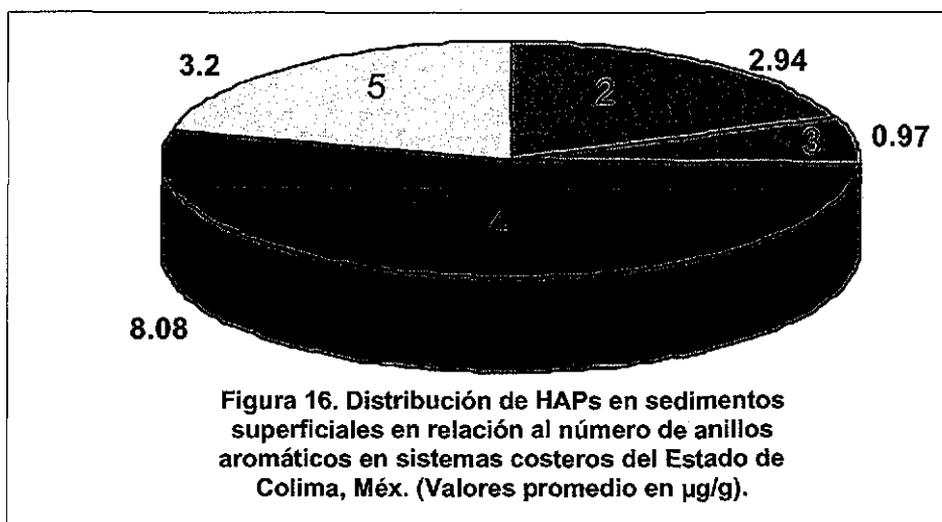
* [µg/g]; M O = MATERIA ORGÁNICA; CaCO₃ = CARBONATO DE CALCIO

COLIMA

Hidrocarburos aromáticos policíclicos

Fueron analizadas 4 muestras en esta entidad (Figs. 1 y 11) dos en Manzanillo (MA 31 y 32) y dos en Cuyutlán (CU 33 y 34), con una concentración promedio de $16.96 \pm 19.13 \mu\text{g/g}$ (Tabla 21). El valor más alto por sitio se registró en CU-33 con $42.87 \mu\text{g/g}$ seguido por MA-32 con $19.92 \mu\text{g/g}$ (Tabla 21), las dos estaciones restantes tuvieron niveles de 3.17 (CU-34) y $1.88 \mu\text{g/g}$ (MA-31).

Entre los compuestos formados por 4 anillos aromáticos (Fig. 16) el Benzo(a)antraceno obtuvo niveles promedio de $9.72 \pm 18.02 \mu\text{g/g}$ siendo abundante en la muestra CU-33 ($36.73 \mu\text{g/g}$) (Tabla 21); los HAPs de 2 y 5 anillos tuvieron niveles similares con 2.94 y $3.2 \mu\text{g/g}$ respectivamente.



La pirólisis vuelve a ser la fuente principal de la mayoría de los hidrocarburos detectados en estos ambientes evaluados (Heit, 1985), sin dejar de lado la presencia de compuestos ligeros de origen reciente (Acenaftileno, Acenafteno y Fluoreno), el cociente de los compuestos involucrados para tal efecto (Fen/Ant, Fluo/Pir y Cris/B(a)A, señalan que el origen de los hidrocarburos es pirolítico. En Manzanillo, Col., se encuentra la termoeléctrica Manzanillo I y II cuya capacidad es de las más altas en su tipo (1900 MW), en el país, operada por combustóleo, (Secretaría de Energía, 2001).

Tabla 20. Parámetros sedimentológicos e hidrocarburos del petróleo en diversos sistemas costeros del Estado de Jalisco, Méx. 1997.

ESTACIÓN	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	% M.O.	% CaCO ₃	HAPs*	H. ALIFÁTICOS*	H. TOTALES*	TIPO DE SEDIMENTO
BARRA DE NAVIDAD (BN-35)	0.78	81.38	17.84	6.00	3.65	1.27	1.12	2.39	LIMOSO
BARRA DE NAVIDAD (BN-36)	1.89	81.56	16.55	10.98	7.47	12.88	14.70	27.58	LIMOSO
PUERTO VALLARTA (VA-37)	52.95	29.59	17.51	6.57	0.87	3.14	24.27	27.41	ARENOLIMOSO
PUERTO VALLARTA (VA-38)	4.22	61.51	34.27	7.33	2.79	38.65	32.68	71.33	LIMOSO
RIO AMECA (AM-39)	95.34	3.74	0.91	0.87	0.79	1.20	0.62	1.82	ARENOSO
PUERTO VALLARTA (VA-40)	80.65	15.96	3.39	4.66	0.89	1.00	3.61	4.61	ARENOSO
PROMEDIO	39.31	45.62	15.08	6.07	2.74	9.69	12.83	22.52	
Desv. Est.	42.78	33.80	12.01	3.32	2.60	14.90	13.41	26.78	

* (µg/g); M.O. = Materia Orgánica; CaCO₃ = Carbonato de calcio

Las muestras colectadas en Manzanillo, presentaron algunos compuestos, como el Fluoreno y el Dibenzo(ah)antraceno que rebasan los límites superiores de los intervalos propuestos por Long *et al.* (1995) (donde existe el riesgo de encontrar efectos biológicos adversos frecuentes) en el caso del primero es de 0.54 µg/g y fue superado hasta en 8 veces con una concentración de 4.63 µg/g detectada en la estación 32; en el caso del segundo el límite superior propuesto dentro de los mismos criterios es de 0.26 µg/g y el nivel encontrado fue de 8.54 µg/g (alrededor de 33 veces más) (MA32). Es importante, destacar la presencia del Benzo(a)pireno, compuesto cancerígeno, en 3 de las 4 estaciones, con un promedio de (0.28 µg/g). En esta región, se llevan a cabo actividades portuarias, turísticas, pesqueras además de que se registró la presencia de desechos domésticos cerca de la zona de colecta.

Para la Laguna Cuyutlán, se observaron actividades turísticas, pesqueras y escurrimientos agrícolas muy localizados. El Benzo(a)antraceno y el Fluoreno nuevamente superaron los límites para cada compuesto del intervalo (1.6 y 0.54 µg/g para cada compuesto), con concentraciones de 36.73 y 3.8 µg/g respectivamente.

No se obtuvieron relaciones estadísticas significativas entre los parámetros sedimentológicos determinados y el contenido total de HAPs ($p > 0.05$); sin embargo, de forma particular, la estación CU-33 con el valor más alto de estos compuestos presentó un sedimento arcilloso (97.7%) y un contenido de carbonato de calcio de los más altos de esta entidad (16.25%) (Tabla 24), estableciéndose condiciones sedimentológicas en este punto propicias para que ocurra la acumulación de diversas sustancias entre ellas los HAPs, así como también debe existir una fuente cercana de donde se originan estos hidrocarburos.

Hidrocarburos alifáticos

La estación con mayor concentración de hidrocarburos alifáticos fue la MA-32 con 34.6 µg/g, seguida por la ubicada en Cuyutlán (CU-33) con 14.85 µg/g. La concentración promedio fue de 13.98 ± 14.89 µg/g (Tabla 22). En base a algunos parámetros, tales como el índice de carbono preferencial (CPI), y a las relaciones existentes entre ciertas parafinas y sus isómeros se precisa que la fuente de

Tabla 21. Niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos superficiales de diversos sistemas costeros del Estado de Colima Méx. 1997. (Valores en µg/g peso seco).

COMPUESTO	No. ANILLOS	MA 31	MA 32	CU 33	CU 34	CONC. TOTAL POR COMPUESTO	CONC. PROM POR COMPUESTO	EFECTOS BIOLÓGICOS Long et al. 1995	
								ERL	ERM
1	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.16	2.10
2	2	N.D.	0.08	0.09	2.34	2.51	0.63	0.04	0.64
3	2	N.D.	0.14	0.20	N.D.	0.34	0.09	0.02	0.50
4	2	0.11	4.63	3.8	0.36	8.90	2.23	0.02	0.54
5	3	N.D.	0.35	0.3	0.17	0.82	0.21	0.24	1.50
6	3	N.D.	0.58	0.54	0.09	1.21	0.30	0.09	1.10
7	3	N.D.	0.67	0.19	0.01	0.87	0.22	0.60	5.10
8	4	0.11	0.26	N.D.	N.D.	0.37	0.09	0.67	2.60
9	4	0.53	1.41	36.73	0.20	38.87	9.72	0.26	1.60
10	4	0.47	0.44	N.D.	N.D.	0.91	0.23	0.38	2.80
11	4	N.D.	0.15	N.D.	N.D.	0.15	0.04	N.R.	N.R.
12	4	N.D.	N.D.	0.08	N.D.	0.08	0.02	N.R.	N.R.
13	5	0.66	0.36	0.09	N.D.	1.11	0.28	0.43	1.60
14	5	N.D.	0.87	0.37	N.D.	1.24	0.31	N.R.	N.R.
15	5	N.D.	8.54	N.D.	N.D.	8.54	2.14	0.06	0.26
16	5	N.D.	1.44	0.48	N.D.	1.92	0.48	N.R.	N.R.
CONC. TOTAL		1.88	19.92	42.87	3.17	67.84		4.02	44.8
FEN/ANT		N.C.	0.60	0.56	1.89				
FLUO/PIR		N.C.	2.58	N.C.	N.C.				
CRIS/B(a)ANT		0.89	0.31	N.C.	N.C.				
CONC. PROM.								16.96 +/- 19.13	

N.D. <0.01 µg/g; N.C. No calculado por falta de datos; N.R. No registrado
 Fenantreno/Antraceno = 0.68 ; Fluoranteno/Pireno = 2.35; Criseno/ Benzo(a)antraceno = 0.02 (Global por estado)
 Efectos Biológicos Frecuentes (Long et al. 1995) : 4.02-44.8 µg/g
 MA = Manzanillo; CU = Cuyutlán

ERL=Los efectos biológicos adversos son raramente observados; ERM=Los efectos biológicos adversos se presentan ocasionalmente

donde provienen las parafinas en las estaciones ubicadas en Manzanillo, son petrogénicas, posiblemente producto de las actividades portuarias. Básicamente se registran casi todas las parafinas desde el C₁₃ hasta el C₃₂, incluyendo los isoprenoides, Pristano y Fitano, para ambas estaciones. Mientras que las estaciones localizadas en Cuyutlán (Fig. 11) tienden a provenir de fuentes biogénicas, derivadas de los detritos de vegetación terrestre, aunque el C₁₆ netamente petrogénico estuvo presente en ambas estaciones (CU-33 y CU-34).

En relación a los parámetros sedimentológicos, el contenido de materia orgánica y de carbonatos de calcio con los hidrocarburos alifáticos (Tabla 24), no se encontraron correlaciones significativas ($p>0.05$). Los sedimentos de las estaciones analizadas fueron del tipo limoso-arcilloso y arcilloso para las dos estaciones con mayor concentración de hidrocarburos alifáticos (Tabla 24).

Hidrocarburos totales del petróleo

En la tabla 23, se presentan los niveles de hidrocarburos totales en sedimentos superficiales de 2 sistemas costeros del estado de Colima, se obtuvo una concentración promedio de 30.94 ± 29.19 $\mu\text{g/g}$, de las 4 estaciones analizadas en MA-31 y en CU-33 se detectaron concentraciones superiores de HAPs que de hidrocarburos alifáticos, la concentración promedio de HAPs fue de 16.96 ± 19.13 $\mu\text{g/g}$, mientras que la concentración promedio de hidrocarburos alifáticos fue de 13.98 ± 14.89 $\mu\text{g/g}$.

En cuanto a los parámetros sedimentológicos, contenidos de materia orgánica y carbonatos de calcio, no se encontraron relaciones estadísticas significativas entre dichos parámetros y las concentraciones de hidrocarburos totales del petróleo ($p>0.05$).

Tabla 23. Niveles de Hidrocarburos totales en sedimentos superficiales de diversos sistemas costeros del Estado de Colima, Méx. 1997. (Valores en µg/g peso seco).

ESTACION	HAPs	H. ALIFATICOS	H. TOTALES
MANZANILLO (MA-31)	1.88	1.21	3.09
MANZANILLO (MA-32)	19.92	34.60	54.52
CUYUTLÁN (CU-33)	42.87	14.85	57.72
CUYUTLÁN (CU-34)	3.17	5.24	8.41
PROMEDIO	16.96	13.98	30.94
DESV. ESTANDAR	19.13	14.89	29.19

Criterio internacional para sedimentos costeros no contaminados (UNESCO, 1976) 70µg/g

Tabla 24. Parámetros sedimentológicos e hidrocarburos del petróleo en diversos sistemas costeros del Estado de Colima, Méx. 1997.

ESTACIÓN	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	% M.O.	% CaCO ₃	HAPs*	H. ALIF.*	H. TOT.*	TIPO DE SEDIMENTO
MANZANILLO (MA-31)	18.07	68.96	12.98	11.76	4.6	1.88	1.21	3.09	LIMOSO
MANZANILLO (MA-32)	9.97	46.1	43.93	14.46	2.86	19.92	34.60	54.52	LIMOARCILLOSO
CUYUTLÁN (CU-33)	2.27	0	97.73	7.13	16.25	42.87	14.85	57.72	ARCILLOSO
CUYUTLÁN (CU-34)	0	0	100	4.37	16.59	3.17	5.24	8.41	ARCILLOSO
PROMEDIO	7.58	28.77	63.66	9.43	10.08	16.96	13.98	30.94	
Desv. Est.	8.19	34.50	42.58	4.53	7.36	19.13	14.89	29.19	

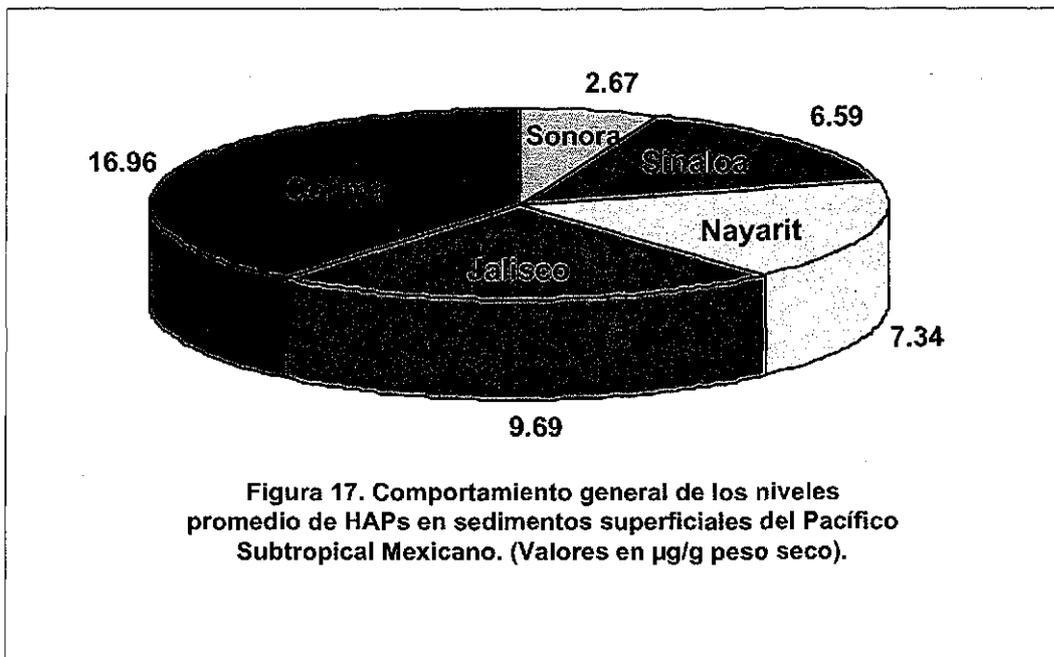
* [µg/g]; M.O. = Materia Orgánica; CaCO₃ = Carbonato de calcio

COMPORTAMIENTO GENERAL EN SEDIMENTOS

Hidrocarburos aromáticos policíclicos

Considerando la concentración promedio por estado ($\mu\text{g/g}$), se pudo observar el siguiente orden (Fig. 17):

$$\text{Colima (16.96 } \mu\text{g/g)} > \text{ Jalisco (9.69 } \mu\text{g/g)} > \text{ Nayarit (7.34 } \mu\text{g/g)} > \text{ Sinaloa (6.59 } \mu\text{g/g)} > \text{ Sonora (2.67 } \mu\text{g/g)}$$



Un análisis importante en los estudios sobre evaluaciones de HAPs en ambientes costeros, es su dominio y distribución con relación al número de anillos aromáticos que los constituyen ya que esto se relaciona con su origen. El patrón observado de forma general para las 5 entidades fue (Fig. 18):

$$4 \text{ (7.95 } \mu\text{g/g)} > 3 \text{ (4.05 } \mu\text{g/g)} > 2 \text{ (3.7 } \mu\text{g/g)} > 5 \text{ (1.55 } \mu\text{g/g)}$$

Sinaloa presentó los más altos niveles para los de 2, 3 y 4 anillos y Colima para los de 5 (Figs. 9 y 16 respectivamente).

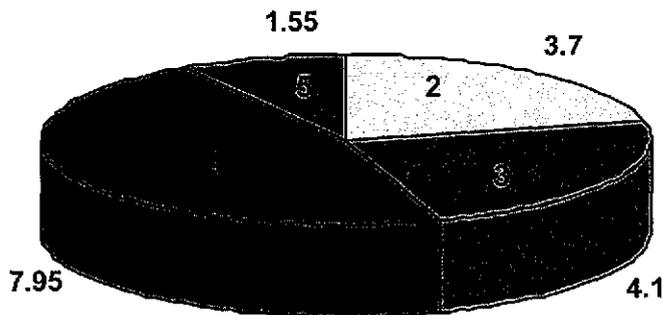


Figura 18. HAPs dominantes en relación al número de anillos aromáticos en el Pacífico Subtropical Mexicano. (Valores promedio en µg/g peso seco).

Existe un origen predominantemente pirolítico, pudiendo alcanzar la zona costera con sus diversos ecosistemas, mediante el transporte atmosférico y precipitarse en forma de partículas finas de diámetros <5µm (Johnson *et al.*, 1985, Sicre *et al.*, 1987). Es importante señalar, que la presencia en segundo lugar de HAPs de 3 anillos manifiesta un proceso crónico de contaminación por petróleo en sus formas refinadas como gasolina, diesel u otro tipo de combustible procesado, los cuales representan un problema ambiental de consideración. Debe mencionarse que se detectaron compuestos peligrosos como el Benzo(a)pireno cuyo promedio registró un valor de 0.81 µg/g para los 5 estados estudiados; las propiedades carcinogénicas de esta sustancia han sido reportadas en la literatura junto con otros HAPs como Criseno, Benzo(a)antraceno y los Benzofluorantenos, todos ellos registrados en estos sedimentos costeros (Mallet *et al.*, 1972; Brunnemann y Hoffmann, 1976; IARC, 1983; Boffetta, *et al.*, 1997) y además con una vida media en estos ambientes, superior a los 5 años (MacKay *et al.*, 1992).

De forma individual, para este estudio los compuestos más abundantes fueron: Benzo(a)antraceno, Criseno, Fluoreno, Acenaftileno, Fenantreno, Fluoranteno y

Benzo(ghi)perileno, sin dejar de considerar al Pireno para Sinaloa, al Benzo(a)pireno para Nayarit y al Dibenzo(ah)antraceno para Colima (Tabla 25), los dos últimos con propiedades cancerígenas.

En la figura 19 se presenta el perfil de distribución para los HAPs promedio en los 5 estados involucrados, se observa una frecuencia en la aparición del tipo de compuestos para esta región del Pacífico, por lo que puede comentarse que el tipo de contaminación recibida tanto por transporte aéreo, escurrimientos, arrastre fluvial y quema de combustibles fósiles, entre otros, proviene de las mismas fuentes relacionadas con las actividades antropogénicas de la zona. La relación de los índices Fen/Ant vs Fluor/Pir, se presenta en la figura 20, para detectar la fuente de los HAPs por la proporción que se presenta entre los isómeros (Fen/Ant <10 y Fluor/Pir >1, confirman que la contaminación de HAPs fue debida a procesos de combustión) y para los 5 estados estudiados correspondió a un origen pirolítico (Benlahcen *et al.*, 1997).

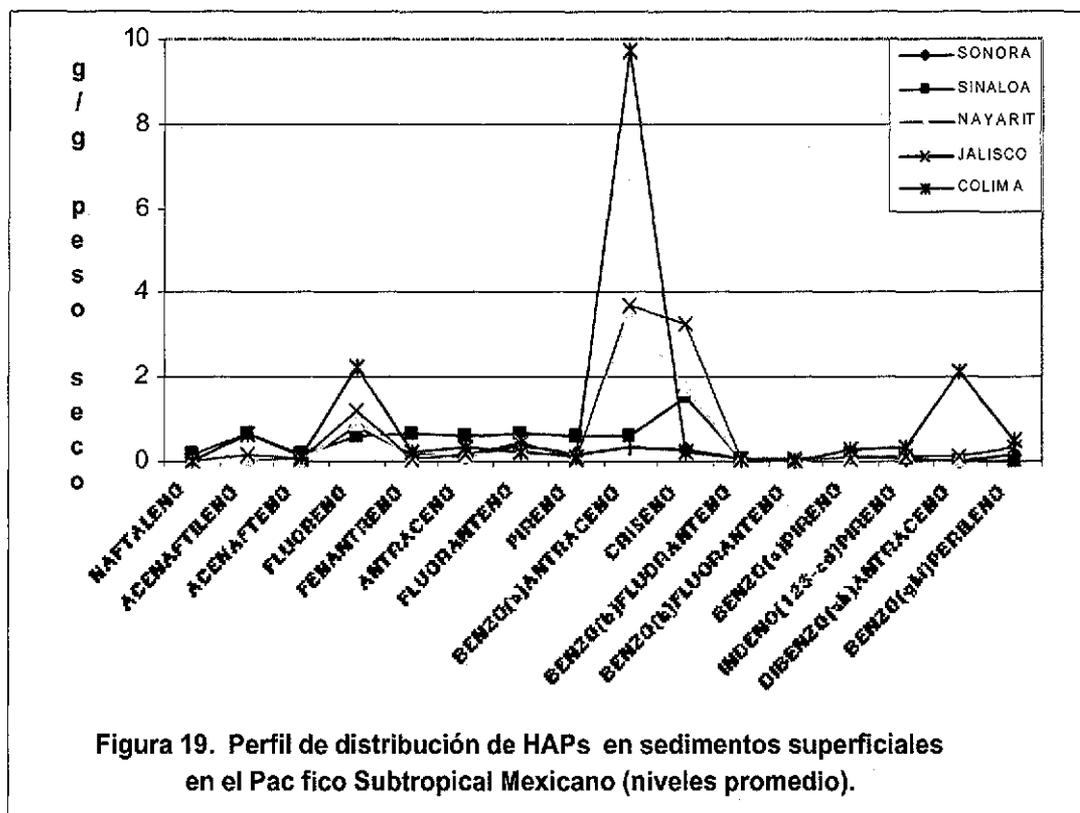


Figura 19. Perfil de distribución de HAPs en sedimentos superficiales en el Pacífico Subtropical Mexicano (niveles promedio).

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Tabla 25. HAPs más abundantes en sedimentos superficiales de diversas zonas costeras del Pacífico Subtropical Mexicano (Valores en µg/g peso seco).

LOCALIDAD	COMPUESTOS	CONCENTRACION PROMEDIO
SONORA	FLUORENO	0.79
	FLUORANTENO	0.36
	BENZO(a)ANTRACENO	0.35
	CRISENO	0.28
	BENZO(ghi)PERILENO	0.18
SINALOA	CRISENO	1.54
	FLUORANTENO	0.65
	ACENAFTILENO	0.65
	FENANTRENO	0.63
	PIRENO	0.62
NAYARIT	BENZO(a)ANTRACENO	3.46
	CRISENO	1.75
	FLUORENO	0.93
	FLUORANTENO	0.21
	BENZO(a)PIRENO	0.18
JALISCO	BENZO(a)ANTRACENO	3.69
	CRISENO	3.26
	FLUORENO	1.21
	FLUORANTENO	0.43
	BENZO(ghi)PERILENO	0.30
COLIMA	BENZO(a)ANTRACENO	9.72
	FLUORENO	2.23
	DIBENZO(ah)ANTRACENO	2.14
	ACENAFTILENO	0.63
	BENZO(ghi)PERILENO	0.48

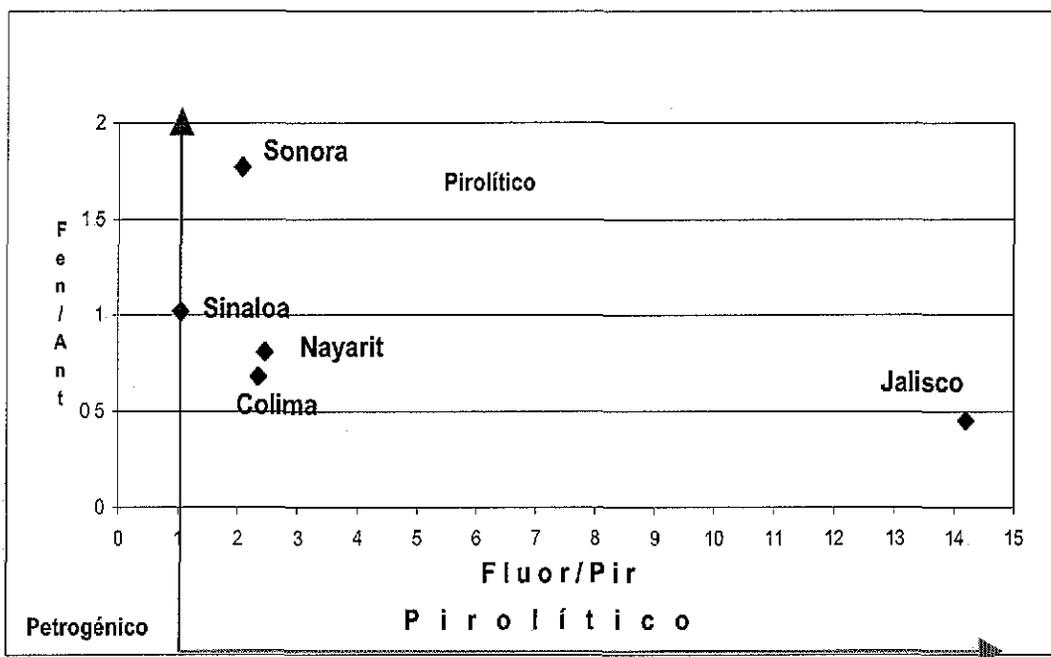


Figura 20. Índices de HAPs para definir su origen en sedimentos superficiales del Pacífico Subtropical Mexicano

Respecto al comportamiento del contenido de HAPs con los parámetros sedimentológicos analizados, en general no se observó una tendencia definida de acumulación salvo en casos muy puntuales ya mencionados y esto significa que no basta con tener determinadas características texturales y orgánicas en los sedimentos, sino también deben existir otros factores como son las condiciones hidrodinámicas, la cercanía de las fuentes que aportan estos compuestos para que ocurra tal proceso (Readman *et al.*, 1987; Raoux y Garrigues, 1993; Ponce, 1995; Botello *et al.*, 2001; Tam *et al.*, 2001).

En la Tabla 26, se presentan las concentraciones promedio de los hidrocarburos aromáticos policíclicos junto con el intervalo propuesto por Long *et al.* (1995), en los que los efectos biológicos adversos pueden ocurrir rara, ocasional o frecuentemente. Algunas de las concentraciones promedio de compuestos tales como el Naftaleno, Acenaftileno, Acenafteno, Fenantreno, Antraceno, Fluoranteno, Pireno, Criseno y Dibenzo(ah)antraceno, se encuentran dentro del intervalo

Tabla 26. Comparación entre los niveles para provocar efectos adversos propuestos por Long et al. 1995 para HAPs individuales y las concentraciones promedio encontradas en este estudio.

COMPUESTO	SONORA	SINALOA	NAYARIT	JALISCO	COLIMA	ERL	ERM
NAFTALENO	N.D.	0.17	N.D.	0.01	N.D.	0.16	2.10
ACENAFTILENO	0.01	0.65	N.D.	0.15	0.63	0.04	0.64
ACENAFTENO	0.03	0.18	N.D.	0.04	0.09	0.02	0.50
FLUORENO	0.79	0.61	0.93	1.21	2.23	0.02	0.54
FENANTRENO	0.17	0.63	0.12	0.08	0.21	0.24	1.50
ANTRACENO	0.10	0.61	0.15	0.18	0.30	0.09	1.10
FLUORANTENO	0.36	0.65	0.21	0.43	0.22	0.60	5.10
PIRENO	0.17	0.62	0.09	0.03	0.09	0.67	2.60
BENZO(a)ANTRACENO	0.35	0.59	3.46	3.69	9.72	0.26	1.60
CRISENO	0.28	1.54	1.75	3.26	0.23	0.38	2.80
BENZO(b)FLUORANTENO	0.05	0.05	0.04	0.03	0.04	N.R.	N.R.
BENZO(k)FLUORANTENO	N.D.	0.01	0.04	0.07	0.02	N.R.	N.R.
BENZO(a)PIRENO	0.12	0.19	0.18	0.04	0.28	0.43	1.60
INDENO(123-cd)PIRENO	0.06	0.06	0.17	0.09	0.31	N.R.	N.R.
DIBENZO(ah)ANTRACENO	N.D.	0.01	0.04	0.09	2.14	0.06	0.26
BENZO(ghi)PERILENO	0.18	0.02	0.18	0.30	0.48	N.R.	N.R.
CONC. PROMEDIO	2.67	6.60	7.34	9.69	16.96	4.02	44.8

N.D. <0.01; N.R. No registrado

Los valores se encuentran en el intervalo entre la ERL y la ERM

Los valores se encuentran por encima del intervalo entre la ERL y la ERM

propuesto por Long *et al.* (1995), en los que se pueden encontrar ocasionalmente efectos biológicos adversos (\geq ERL $<$ ERM), tales como la disminución de la riqueza ó de la abundancia total de las comunidades bentónicas y desórdenes histopatológicos, entre otros; si las concentraciones son equivalentes o están por encima del ERM, los efectos biológicos adversos ocurrirán frecuentemente, lo que representa en mayor grado la aparición de los efectos biológicos adversos, que pueden coincidir con la mortalidad de poblaciones. Las concentraciones del Fluoreno fueron superiores a los valores del ERM en los 5 estados de la región de estudio y a pesar de que no está clasificado como carcinogénico para humanos (Boffetta *et al.* 1997), es considerable el daño frecuente que podrían estar causando a organismos que son consumidos por el ser humano.

Aunque estos datos sirven como herramienta para detectar las áreas problema, por sí solos no proveen una base efectiva para la estimación del potencial de efectos adversos sobre los recursos vivientes. Se requieren de herramientas interpretativas para relacionar los datos químicos del ambiente sedimentario con el potencial para efectos biológicos adversos, incluyendo pruebas de toxicidad y de bioacumulación (Burton, 1992).

En México, son pocos los estudios que se han realizado en sedimentos superficiales del Pacífico Mexicano, enfocados a evaluar las concentraciones promedio de hidrocarburos aromáticos policíclicos, en la tabla 27 se presentan valores de algunos trabajos como los de Gutiérrez *et al.* (1996) ($<0.05 \mu\text{g/g}$), González-Estrada (1998) ($12.8 \mu\text{g/g}$), reportados para la costa occidental de Baja California y Pica-Granados *et al.* en 1994 ($42.4\mu\text{g/g}$) para las costas de Oaxaca, en Salina Cruz.

De igual forma en la misma tabla se muestra la comparación de niveles de hidrocarburos aromáticos policíclicos en algunas regiones del mundo, Golfo de México, Caribe, así como, para el Pacífico Mexicano incluyendo las obtenidas en este estudio, cuyos niveles promedio ($2.7-17.0 \mu\text{g/g}$) estuvieron por encima de los obtenidos en otros lugares del mundo ($0.1-3.0 \mu\text{g/g}$) y fueron equiparables a los encontrados en este país, tanto en la costa occidental de Baja California como en el Golfo de México, exceptuando los niveles promedio registrados en Salina Cruz,

Oax. (Pica Granados *et al.*, 1994) y en las costas de Michoacán y Guerrero, reportados por López-Veneroni *et al.* (1999) (27.5 µg/g).

En comparación con las concentraciones encontradas en EUA, en la Bahía de San Diego, la Bahía Casco y la Bahía Penobscot (3.0, 2.9 y 2.6 µg/g respectivamente) sólo los encontrados en la costa de Sonora (2.7 µg/g) fueron similares, al igual que el reportado por Storelli y Marcotrigiano (2000) para Taranto, en el Golfo de Italia con un promedio de 2.0 µg/g.

Tabla 27. HAPs presentes en sedimentos costeros y marinos de algunas regiones del mundo y México. Valores en µg/g.

ZONA DE ESTUDIO	NIVEL PROMEDIO	INTERVALO	REFERENCIA
Taranto, Golfo de Italia	2.0	0.34-5.19	Storelli y Marcotrigiano, 2000
Mar Adriatico	0.2	0.02-0.58	Caricchia <i>et al.</i> 1993
Mar Adriatico	0.1	0.03-0.53	Guzella y De Paolis, 1994
Mar Mediterraneo occidental	1.3	0.18-3.2	Lipiatou y Saliot, 1991
Bahía de San Diego, EUA	3.0	0.08-20.0	Anderson <i>et al.</i> 1996
Bahía Casco, EUA	2.9	0.02-21.0	Kennicutt <i>et al.</i> 1994
Bahía Penobscot, EUA	2.6	0.29-8.8	Johnson <i>et al.</i> 1985
Costa de Washington, EUA	0.2	0.029-0.46	Prahl y Carpenter, 1983
Río Passaic, EUA	0.2	2.2×10^{-4} -8.0	Huntley <i>et al.</i> 1995
Bahía Chesapeake, EUA	0.5	5.6×10^{-4} -0.18	Foster y Wright, 1988
Ensenada Manukau, Nueva Zelanda	0.8	0.02-5.3	Holland <i>et al.</i> 1993
Mar Báltico	1.2	0.72-1.9	Witt, 1995
Bahía Kyeonggi, Corea	0.1	9.1×10^{-3} -1.4	Kim <i>et al.</i> 1999
México :			
Laguna Pueblo Viejo, Veracruz	3.7	2.05-5.21	Botello y Calva, 1998
Laguna Tamiahua, Veracruz	3.0	0.58-8.14	Botello y Calva, 1998
Laguna Tampamachoco, Veracruz	4.5	0.67-9.39	Botello y Calva, 1998
Bahía Chetumal, México	2.3	0.34-8.91	Noreña-Barroso <i>et al.</i> 1998
Salina Cruz, Oax. México	42.4	0.16-286.8	Pica-Granados <i>et al.</i> 1994
Salina Cruz, y áreas costeras adyacentes, Oax. Méx.	0.5	<0.01-3.208	Botello, <i>et al.</i> 1998
Costa de Michoacán y Guerrero	27.5	1.3-272.5	López-Veneroni <i>et al.</i> 1999
Bahía de San Quintín, B.C. México	< 0.05	< 0.05	Gutiérrez <i>et al.</i> 1996
Punta San Miguel, Bahía Todos Santos, B.C.		0.46-0.71	Villegas-Jimenez <i>et al.</i> 1996
Punta Banda, Bahía Todos Santos, B.C.		1.27-1.61	Villegas-Jimenez <i>et al.</i> 1996
Parte central de la Bahía Todos Santos, B.C.		0.12-0.80	Villegas-Jimenez <i>et al.</i> 1996
Costa Occidental B.C., México	13.0	1.0-43.0	González-Estrada, 1998
Costa Occidental B.C., México	12.6	2.1-31.1	González-Estrada, 1998
Costa de Sonora, México	2.7	0.20-7.48	Presente estudio
Costa de Sinaloa, México	6.6	0.01-55.32	Presente estudio
Costa de Nayarit, México	7.3	0.45-26.63	Presente estudio
Costa de Jalisco, México	9.7	1.0-38.65	Presente estudio
Costa de Colima, México	17.0	1.88-42.87	Presente estudio

Hidrocarburos alifáticos

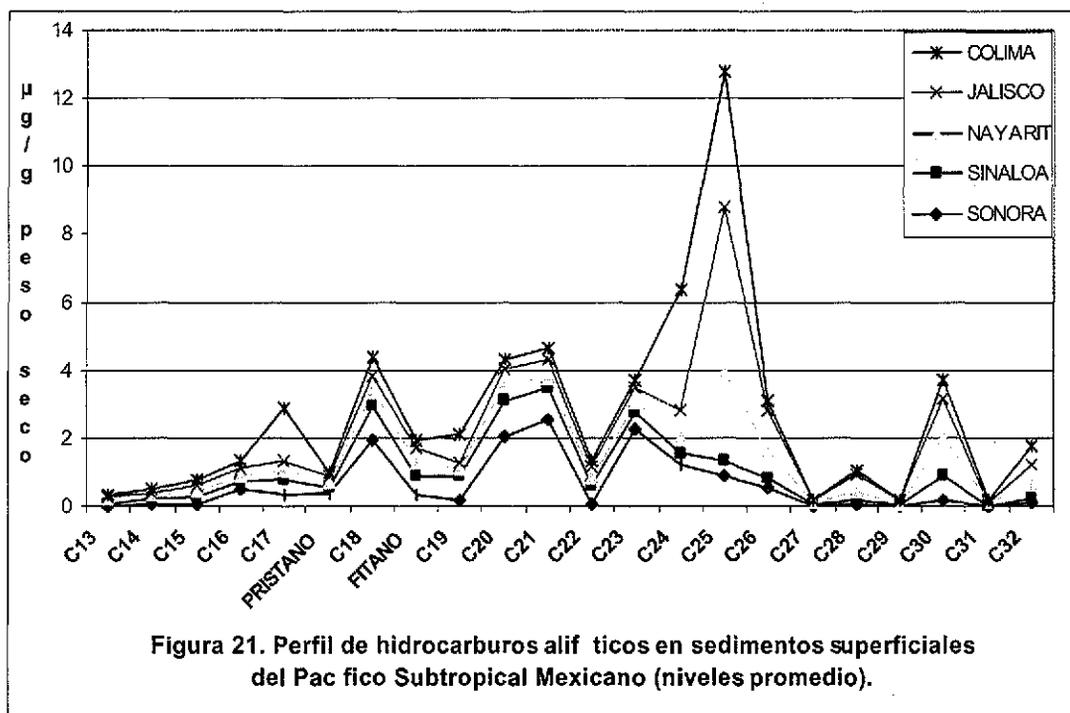
Considerando la concentración promedio por estado se observó lo siguiente:

$$\text{Colima } 13.98 \mu\text{g/g} > \text{Sonora } 13.61 \mu\text{g/g} > \text{Jalisco } 12.83 \mu\text{g/g} > \text{Nayarit } 11.8 \mu\text{g/g} > \text{Sinaloa } 8.81 \mu\text{g/g}$$

Las parafinas mejor representadas en los 5 estados fueron:

El C₂₅ con una concentración promedio de 1.73 $\mu\text{g/g}$; seguida por el C₂₁ con 1.18 $\mu\text{g/g}$, el C₂₀ con 1.13 $\mu\text{g/g}$ y el C₁₈ con 1.06 $\mu\text{g/g}$.

En la figura 21 se presenta la distribución de las parafinas en el área de estudio, la tendencia general de la región incluye a los compuestos desde el C₁₃ hasta el C₃₂, el patrón muestra la similitud en cuanto a los ambientes analizados (sistemas lagunares y estuarinos) con la presencia de hidrocarburos alifáticos provenientes de los manglares así como de las cubiertas cerosas de la vegetación terrestre (C₂₅, C₂₇, C₂₉ y C₃₁). Cabe destacar la presencia del C₁₆ en los cinco estados por ser parafinas provenientes de los sistemas de combustión incluyendo a los constituyentes de los aceites lubricantes (Rogge *et al.*, 1993) así como la presencia del isoprenoide Fitano.



Se ha establecido que el origen de los hidrocarburos alifáticos en los sedimentos del fondo es principalmente de material biológico, derivado tanto de la flora y fauna marina y continental, bajo condiciones de sedimentación normal (Chernova *et al.*, 1999). De acuerdo a la información existente, las parafinas del C₁₅ hasta el C₂₄ son características de hidrocarburos marinos y del C₂₅ al C₃₃ preferentemente C₂₅, C₂₇, C₂₉ y C₃₁ son típicas de material terrígeno (Colombo *et al.*, 1989).

En la tabla 28 se presentan los niveles de hidrocarburos alifáticos en otras áreas del Pacífico Mexicano y se incluyen las obtenidas en este estudio, cuyos niveles promedio (8.81-13.98 µg/g) estuvieron ligeramente por debajo de los obtenidos en las costas de Michoacán y Guerrero por López-Veneroni *et al.* (1999) (18 µg/g) y de los obtenidos por González-Estrada (1998) (469-539 µg/g) en la costa occidental de la península de Baja California. Las concentraciones en este estudio fluctuaron desde valores inferiores al límite de detección (<0.01) hasta cerca de los 100 µg/g, semejantes a los reportados por López-Veneroni *et al.* (1999) (1.3-61.3 µg/g).

Tabla 28. Hidrocarburos alifáticos en sedimentos del Pacífico Mexicano.

ZONA DE ESTUDIO	NIVEL prom. µg/g	INTERVALO	REFERENCIA
Costas de Michoacán y Guerrero	18.0	1.3-61.3	López-Veneroni, <i>et al.</i> 1999
Punta San Miguel, Bahía Todos Santos, B.C.	—	0.11-0.36	Villegas-Jimenez <i>et al.</i> 1996
Punta Banda, Bahía Todos Santos, B.C	—	0.43-1.78	Villegas-Jimenez <i>et al.</i> 1996
Parte central de la Bahía Todos Santos, B.C.	—	0.15-2.67	Villegas-Jimenez <i>et al.</i> 1996
Bahía de San Quintín, B.C. México	1.0	0.13-2.9	Gutierrez <i>et al.</i> 1996
Costa Occidental B.C., México	469.0	6.0-1175	González-Estrada, 1998
Costa Occidental B.C., México	539.0	87.0-1455	González-Estrada, 1998
Costa de Sonora, México	13.81	0.26-99.16	Presente estudio
Costa de Sinaloa, México	8.81	<0.01-52.97	Presente estudio
Costa de Nayarit, México	11.8	3.38-29.42	Presente estudio
Costa de Jalisco, México	12.83	0.62-32.68	Presente estudio
Costa de Colima, México	13.98	1.21-34.60	Presente estudio

Hidrocarburos totales del petróleo

El patrón de las concentraciones promedio de estos hidrocarburos en los 5 estados es como sigue:

$$\begin{matrix} \text{Colima} & & \text{Jalisco} & & \text{Nayarit} & & \text{Sonora} & & \text{Sinaloa} \\ 30.94 \mu\text{g/g} & > & 22.52 \mu\text{g/g} & > & 19.14 \mu\text{g/g} & > & 16.28 \mu\text{g/g} & > & 5.41 \mu\text{g/g} \end{matrix}$$

Algunos autores han encontrado que los hidrocarburos alifáticos contribuyen con cerca del 95% de la fracción de los hidrocarburos totales, mientras que los hidrocarburos aromáticos policíclicos participan con alrededor de un 5% (Chernova *et al.*, 1999).

En el presente estudio los porcentajes de hidrocarburos alifáticos y aromáticos con respecto a los hidrocarburos totales del petróleo se encontraron así:

ESTADO	H. ALIF. (%)	HAPs(%)
Sonora	83.6	16.4
Sinaloa	57.21	42.79
Nayarit	61.65	38.35
Jalisco	56.98	43.02
Colima	45.17	54.82

Resalta el hecho que para el estado de Colima el porcentaje de HAPs, supera al de los hidrocarburos alifáticos y la relación que guarda con los demás estados, excepto en Sonora, dista mucho del 5% de HAPs mencionado por Chernova *et al.* (1999). Es probable que ésto se deba a que se trata de zonas afectadas por actividades humanas tales como la navegación, el uso vehicular, la presencia de industrias, de centrales eléctricas, etc.

Los niveles promedio registrados en el presente estudio (15.4-30.9 $\mu\text{g/g}$), no rebasaron el criterio internacional para sedimentos costeros no contaminados propuesto por la UNESCO en 1976 (70 $\mu\text{g/g}$), en México existen localidades que superan este nivel, siendo el Río Tonalá, Ver. (1189.0 $\mu\text{g/g}$), el lugar donde se registra la mayor concentración (Botello *et al.*, 1996) (Tabla 29).

Tabla 29. Hidrocarburos del petróleo presentes en sedimentos costeros y marinos del Golfo de México, Mar Caribe y Pacífico Mexicano

ZONA DE ESTUDIO	NIVEL PROMEDIO $\mu\text{g/g}$	REFERENCIA
Laguna Madre, Tamps.	26.0	Botello <i>et al.</i> 1996
Laguna de Pueblo Viejo, Ver.	53.0	Botello <i>et al.</i> 1996
Laguna de Tamiahua, Ver.	31.0	Botello <i>et al.</i> 1996
Laguna de Alvarado, Ver.	18.0	Botello <i>et al.</i> 1996
Laguna del Ostión, Ver.	120.0	Botello <i>et al.</i> 1996
Río Coatzacoalcos, Ver.	680.0	Botello <i>et al.</i> 1996
Río Tonalá, Ver.	1189.0	Botello <i>et al.</i> 1996
Laguna del Carmen, Tab.	45.0	Botello <i>et al.</i> 1996
Laguna Machona, Tab.	45.0	Botello <i>et al.</i> 1996
Laguna Mecoacán, Tab.	88.0	Botello <i>et al.</i> 1996
Laguna de Términos, Camp.	85.0	Botello <i>et al.</i> 1996
Laguna de Términos, Camp.	37.0	Botello <i>et al.</i> 1996
Laguna Bojórquez, Q. Roo	12.0	Botello <i>et al.</i> 1996
Laguna Nichupté	93.0	Botello <i>et al.</i> 1996
Plataforma Continental de Campeche	43.3	Botello <i>et al.</i> 1996
Golfo de México	94.0	Botello <i>et al.</i> 1996
Caribe Mexicano	70.0	Botello <i>et al.</i> 1996
Laguna Madre	2.6-692	Sharma <i>et al.</i> 1997
Costa Occidental B.C., México	465.0	González-Estrada, 1998
Costa Occidental B.C., México	522.0	González-Estrada, 1998
Sonora, Méx.	16.3	Presente estudio
Sinaloa, Méx.	15.4	Presente estudio
Nayarit, Méx.	19.1	Presente estudio
Jalisco, Méx.	22.5	Presente estudio
Colima, Méx.	30.9	Presente estudio
Criterio internacional para sedimentos costeros no contaminados	70.0	UNESCO, 1976

MOLUSCOS BIVALVOS

A continuación se presentan algunas características de las especies :

Crassostrea palmula (osti6n palmeado)

Distribuci6n geogr6fica: A partir de la Laguna de San Ignacio, Baja California, a trav6s del Golfo de California, M6xico hasta Ecuador e Isla Gal6pagos (Keen, 1971).

Esta especie vive asociada principalmente sobre las ra6ces de mangle, pero donde predominan las condiciones marinas, en cuerpos de agua semicerrados de bah6as y lagunas costeras, tambi6n sobre 6reas rocosas expuestas, penetra a esteros y 6reas de manglar resistiendo aguas salobres.

Crassostrea corteziensis (osti6n de placer)

Distribuci6n geogr6fica: Golfo de California hasta Panam6 (Keen, 1971). Es una especie de aguas salobres, la cual se encuentra principalmente asociada a las ra6ces de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en M6xico.

Se encuentra preferentemente en el nivel medio de mareas, adheridas a sustratos duros (rocas, mangles o api6ados) en fondos fangosos. Forma grandes bancos ostr6colas en lagunas costeras en donde la salinidad se considera t6picamente salobre.

Crassostrea gigas (osti6n japon6s)

Distribuci6n geogr6fica: por motivos de mercado, ha sido introducida en M6xico, nativa de Jap6n.

Se desarrolla en aguas someras y protegidas.

Crassostrea iridescens (osti6n de roca)

Distribuci6n geogr6fica: Baja California Sur, Mex., hasta Per6 (Keen, 1971).

Es una especie marina la cual vive adherida a sustratos duros como las rocas (2-12m de profundidad) expuesta al mar abierto.

Actualmente en M6xico esta especie es un recurso ostr6cola importante en la costa del Pac6fico por el tama6o y el peso que alcanza la parte blanda.

Mytella strigata (mejill6n de laguna)

Distribuci6n geogr6fica: Sonora, M6x. a El Salvador y Las Gal6pagos (Keen, 1971)

Esta especie ha sido descrita viviendo en fango en bancos descubiertos en bajamar y en lagunas someras. Su distribuci6n es frecuentemente limitada a zona de manglares y esteros en condiciones salobres. Al crecer en fondos fangosos tiene una caracter6stica de fijaci6n, api6ados unos con otros, manteni6ndose en aguas relativamente tranquilas.

Crassostrea palmula

Hidrocarburos aromáticos policíclicos

La concentración promedio de la especie fue de $6.47 \pm 6.84 \mu\text{g/g}$, fue colectada en los estados de Sonora, Sinaloa y Baja California Sur, en este último fue donde se registró el nivel mayor de HAPs con $22.86 \mu\text{g/g}$, en la localidad de Pichilingue, La Paz (PI-15), donde las actividades de mantenimiento y lavado de embarcaciones es usual; en orden decreciente estuvieron las estaciones TU-6 y EM-5, donde alcanzaron los 10.24 y $7.52 \mu\text{g/g}$ respectivamente, las estaciones restantes (67%) tuvieron valores menores a los $6 \mu\text{g/g}$ (Tabla 30).

Los compuestos dominantes fueron Benzo(k)fluoranteno ($1.55 \mu\text{g/g}$), Pireno ($1.21 \mu\text{g/g}$), Indeno(123-cd)pireno ($0.65 \mu\text{g/g}$), Fluoranteno ($0.64 \mu\text{g/g}$) y Benzo(b)fluoranteno ($0.57 \mu\text{g/g}$).

Los únicos compuestos que no se detectaron, para estos ostiones, fueron el Naftaleno, el Acenaftileno, el Fluoreno y el Dibenzo(ah)antraceno (Tabla 30).

El Benzo(a)pireno (BaP), compuesto pirolítico con propiedades cancerígenas y mutagénicas reconocidas (Akcha *et al.*, 1999; Valerio *et al.*, 2000) estuvo presente únicamente en la estaciones PI-15 y TO-18, en una concentración de 1.60 y $1.64 \mu\text{g/g}$, respectivamente. Es importante señalar que *C. palmula*, es un ostión de importancia comercial para el consumo humano y los efectos de biomagnificación a través de la cadena trófica están bien documentados (Okay *et al.*, 2000).

La estación PI-15 registró el porcentaje mayor de compuestos detectados (56.25%) para esta especie. Existen algunos factores que pueden influenciar la bioacumulación de Benzo(a)pireno en el cuerpo de los moluscos, tales como la temperatura ambiente, la disponibilidad de alimento y el estado reproductivo (Kira *et al.*, 2000); el aumento de temperatura influye en la degradación de los HAPs en compuestos más hidrosolubles y por ende los transforma en analitos más tóxicos para los organismos. En condiciones adecuadas de temperatura, el metabolismo de los ostiones y mejillones, se ve estimulado, ingiriendo cantidades mayores de alimento por filtración, por lo que la acumulación de contaminantes puede verse incrementada.

Tabla 30. Hidrocarburos aromáticos policíclicos en *Crassostrea palmula* de diversos sistemas costeros del Pacífico Subtropical Mexicano. (Valores en µg/g peso seco).

COMPUESTO	No. ANILLOS	ES 1	ECA 2	EM 5	TU 6	PI 15	CE 17	TO 18	AG 24	YA 25	CONCENTRACIÓN TOTAL POR COMPUESTO	CONCENTRACIÓN PROMEDIO POR COMPUESTO
1	NAFTALENO	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2	ACENAFTILENO	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
3	ACENAFTENO	N.D.	N.D.	1.20	N.D.	0.47	0.65	N.D.	N.D.	N.D.	2.32	0.26
4	FLUORENO	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
5	FENANTRENO	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.69	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.69	0.19
6	ANTRACENO	N.D.	N.D.	0.58	N.D.	1.35	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.93	0.21
7	FLUORANTENO	N.D.	N.D.	0.69	1.71	2.56	N.D.	N.D.	0.84	N.D.	5.80	0.64
8	PIRENO	0.96	N.D.	0.78	0.46	7.91	0.78	N.D.	N.D.	N.D.	10.91	1.21
9	BENZO(a)ANTRACENO	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3.43	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3.43	0.38
10	CRISENO	N.D.	N.D.	N.D.	0.82	1.67	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2.49	0.28
11	BENZO(b)FLUORANTENO	N.D.	N.D.	2.94	N.D.	2.18	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5.12	0.57
12	BENZO(k)FLUORANTENO	2.39	1.37	N.D.	5.26	N.D.	2.48	0.79	1.63	N.D.	13.92	1.55
13	BENZO(a)PIRENO	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.60	N.D.	1.64	N.D.	N.D.	3.24	0.36
14	INDENO(1,2,3-cd)PIRENO	N.D.	N.D.	1.33	1.99	N.D.	1.71	N.D.	N.D.	0.86	5.89	0.65
15	DIBENZO(a,h)ANTRACENO	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
16	BENZO(g,h)PERILENO	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.52	N.D.	1.52	0.17
CONC. TOTAL		3.37	1.37	7.52	10.24	22.86	5.62	2.43	3.99	0.86	58.26	6.47±6.84
CONC. PROMEDIO												
Fen /Ant						1.25						
Fluo/Pir						0.32						
Cris/B(a)A						0.49						
Factor de Bioacumulación		0.45		3.11	0.65		8.39	0.54	2.83	0.35		

N.D.=<0.01µg/g; Fen/Ant = 0.88; Fluo/Pir = 0.53; Cris/B(a)A = 0.73; Origen= mxto
 ES = Estero del Soldado, Son.; ECA = Estero Cerro Cabezoñi, Sin.; EM = Estero del Mapache, Son.; TU = Las Tunillas, Sin.; PI = Pichilingue, La Paz, BCS;
 CE = Ceuta, Sin.; TO = Topolobampo, Sln.; AG = Agiabampo/Ateras, Son.; YA = Estero Yauaros, Son.

El origen de los HAPs para esta especie, en cuanto a la relación Fenantreno/Antraceno (Fen/Ant) (<1) indica que es pirolítico (Budzinsky *et al.*, 1997; Soclo *et al.*, 2000), mientras que la relación Fluoranteno/Pireno (Fluo/Pir) señala una fuente petrogénica (<1) (Sicre *et al.*, 1987; Soclo *et al.*, 2000), por lo que se puede referir a un origen mixto de estos hidrocarburos, provenientes tanto de las embarcaciones de diverso calado, así como del transporte atmosférico, las descargas municipales y la quema de basura.

Se han propuesto varios modelos para explicar la bioacumulación de los contaminantes orgánicos a través de los sedimentos, la mayoría señala la importancia del contenido de carbono orgánico de los sedimentos y del contenido de lípidos de los organismos como parámetros para la distribución de los contaminantes orgánicos (Di Toro *et al.*, 1991; Gunnarsson *et al.*, 1996).

La presencia de sustancias tóxicas en los sedimentos repercute directamente sobre los organismos por la acumulación de éstos en sus tejidos, dada su relación directa con el sustrato, por el tipo de alimentación, si se alimentan directamente de materia orgánica depositada en el fondo o de la que al ser removida es fácilmente mezclada con las partículas y filtrada por los ostiones y mejillones; con el propósito de relacionar el contenido de contaminantes en los sedimentos con los encontrados en los organismos se calculó el factor de bioacumulación (FBA) (Baumard *et al.*, 1998), en las localidades donde fue posible coleccionar ambas matrices:

$$\text{F.B.A.} = \frac{\text{Concentración del contaminante en los organismos}}{\text{Concentración del contaminante en los sedimentos}}$$

En la estación CE-17 se obtuvo el valor más alto del FBA (8.39), está ubicada en Ceuta, Sinaloa; en orden decreciente estuvo la EM-5 con 3.11 y la AG-24 con 2.83, ubicadas en el estado de Sonora (Tabla 30). Cuando esta relación es >1 los organismos están concentrando por encima de los niveles que se encuentran en los sedimentos, esto quizá por descargas puntuales que estuvieron biodisponibles en este caso para los ostiones y que no quedaron registradas en los sedimentos por la rapidez del evento.

Hidrocarburos alifáticos

En la tabla 31, se presentan los niveles de hidrocarburos alifáticos para la especie *C. palmula*, la concentración promedio fue de $15.99 \pm 24.77 \mu\text{g/g}$, al igual que en el caso de los HAPs, la estación con nivel mayor fue la de PI-15 con $81.32 \mu\text{g/g}$, seguida por la TU-6 ($14.24 \mu\text{g/g}$) y la ECA-2 con $12.23 \mu\text{g/g}$. En el resto de las estaciones se registraron niveles por debajo de los $10.0 \mu\text{g/g}$. La estación con mayor número de parafinas detectadas fue la PI-15 (82%) contrastando con la EM-5 ubicada en el estado de Sonora, donde solamente se detectaron 3 parafinas (C_{19} , C_{24} y C_{25}).

Las parafinas dominantes en cuanto a la concentración promedio fueron en orden decreciente el C_{25} con $2.11 \mu\text{g/g}$ (proveniente de material biológico terrestre), el C_{20} ($2.05 \mu\text{g/g}$) (emisiones vehiculares) y el C_{21} con $1.95 \mu\text{g/g}$ (plancton). No se detectaron los isoprenoides (Fitano y Pristano). El C_{16} es proveniente del petróleo crudo y se registró únicamente en PI-15, seguramente del lavado y mantenimiento de embarcaciones.

Hidrocarburos totales del petróleo (HTPs)

La concentración promedio de HTPs es de 22.47 ± 31.04 . De la cual la fracción alifática contribuye aproximadamente con el 70% de los HTPs para *C. palmula*. La estación PI-15 (BCS) participa de manera significativa en los HTPs de la especie, proporcionando más del 20% de la suma total de los hidrocarburos alifáticos detectados en el resto de los organismos de la especie, colectados en los estados de Sinaloa y Sonora (Tabla 32).

Tabla 31. Hidrocarburos alifáticos en *Crassostrea palmula* de diversos sistemas costeros del Pacífico Subtropical Mexicano. (Valores en µg/g peso seco).

COMPUESTO	ES	ECA	EM	TU	PI	CE	TO	AG	YA	CONC. TOTAL POR COMP.	CONC. PROMEDIO POR COMP.
	1	2	5	6	15	17	18	24	25		
1 C13	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2 C14	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
3 C15	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2.16	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2.16	0.24
4 C16	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3.06	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3.06	0.34
5 C17	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	4.52	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	4.52	0.50
6 Pristano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
7 C18	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	10.31	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	10.31	1.15
8 Filano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
9 C19	N.D.	N.D.	1.33	0.95	2.26	N.D.	0.63	N.D.	0.49	5.66	0.63
10 C20	N.D.	0.88	N.D.	3.48	12.12	N.D.	0.93	0.47	0.55	18.43	2.05
11 C21	N.D.	1.75	N.D.	0.87	13.56	N.D.	0.6	0.77	N.D.	17.55	1.95
12 C22	1.04	1.38	N.D.	N.D.	2.47	0.43	0.44	N.D.	0.67	6.43	0.72
13 C23	1.21	N.D.	N.D.	1.94	3.05	1.08	0.47	N.D.	0.65	8.40	0.93
14 C24	1.03	1.00	1.45	1.10	4.00	0.66	N.D.	N.D.	N.D.	9.24	1.03
15 C25	0.99	1.42	1.19	1.71	4.17	2.85	1.38	1.48	3.80	18.99	2.11
16 C26	0.89	0.93	N.D.	0.93	4.04	0.43	N.D.	N.D.	0.43	7.65	0.85
17 C27	1.19	N.D.	N.D.	1.40	3.78	0.61	0.61	N.D.	N.D.	7.59	0.84
18 C28	1.29	1.63	N.D.	N.D.	2.02	0.48	0.43	N.D.	N.D.	5.85	0.65
19 C29	1.37	1.94	N.D.	N.D.	2.31	N.D.	N.D.	N.D.	1.30	6.92	0.75
20 C30	N.D.	1.30	N.D.	0.98	3.60	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5.88	0.65
21 C31	N.D.	N.D.	N0	0.88	1.90	N.D.	0.54	N.D.	N.D.	3.32	0.37
22 C32	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.99	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.99	0.22
CONC. TOTAL	9.01	12.23	3.97	14.24	81.32	6.54	6.03	2.72	7.89	143.95	
CONC. PROM.											15.99±24.77

N.D. <0.01µg/g; ES = Estero del Soldado, Son.; ECA = Estero Cerro Cabezon, Sin.; EM = Estero del Mapache, Son.; TU = Las Tunitas, Sin.; PI = Pichilingue, La Paz, BCS; CE = Ceuta, Sin.; TO = Topolobampo, Sin.; AG = Agiabampo/Ateras, Son.; YA = Estero Yavaros, Son.

Tabla 32. Hidrocarburos totales del petróleo en *Crassostrea palmula* de diversos sistemas costeros del Pacífico Subtropical Mexicano. (Valores en µg/g peso seco).

ESTACION	HAPs	H. ALIF.	H. TOTALES
ES 1	3.37	9.01	12.38
ECA 2	1.37	12.23	13.60
EM 5	7.52	3.97	11.49
TU 6	10.24	14.24	24.48
PI 15	22.86	81.32	104.18
CE 17	5.62	6.54	12.16
TO 18	2.43	6.03	8.46
AG 24	3.99	2.72	6.71
YA 25	0.86	7.89	8.75
CONC. PROM.	6.47	15.99	22.47
DESV. EST.	6.84	24.77	31.07

ES = Estero del Soldado, Son.; ECA = Estero Cerro Cabezón, Sin.;

EM = Estero del Mapache, Son.; TU = Las Tunitas, Sin.;

PI = Pichilingue, La Paz, BCS; CE = Ceuta, Sin.; TO = Topolobampo, Sin.;

AG = Ajiabampo/Ateras, Son.; YA = Estero Yavaros, Son.

Crassostrea corteziensis

Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)

Esta especie se colectó en los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit; la concentración promedio fue de 2.16 ± 5.24 µg/g; los niveles se encontraron dentro del intervalo <0.01 - 13.16 µg/g, este último correspondiente a la estación ubicada en Ohuira, Sin., donde el compuesto dominante fue el Benzo(k)fluoranteno (7.8 µg/g); para el resto de las estaciones la concentración se registró por debajo de los 3.0 µg/g y en 4 sitios de colecta los valores estuvieron por debajo del límite de detección (<0.01 µg/g) (Tabla 33).

La concentración promedio más elevada fue para el Benzo(k)fluoranteno (1.41 µg/g), después el Benzo(b)fluoranteno (0.27 µg/g), el Dibenzo(ah)antraceno (0.21 µg/g) y el Pireno (0.12 µg/g) detectado en 2 estaciones; todos ellos analitos pesados (4 y 5 anillos) (pirolíticos), cuya biotransformación es poco probable, dada la complejidad de las moléculas (Tabla 33). (D'Adamo *et al.*, 1997; Fernandes *et al.*, 1997; Baumard *et al.*, 1998).

La relación Fluo/Pir en la estación UR-10 ubicada en Sinaloa, es de 1.07, lo que señala aportes petrogénicos de estos hidrocarburos que están siendo acumulados por el ostión, en la localidad.

Tabla 33. Hidrocarburos aromáticos policíclicos en *Crassostrea corteziensis* de diversos sistemas costeros del Pacífico Subtropical Mexicano. (Valores en µg/g peso seco).

COMPUESTO	No. ANILLOS	TE 4	SC 8	ECA 9	UR 10	CE 11	AG 19	NV 20	OH 23	EP 26	CONCENTRACIÓN TOTAL POR COMPUESTO	CONCENTRACIÓN PROMEDIO POR COMPUESTO
1	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.							
2	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.							
3	2	N.D.	0.62	N.D.	0.62	0.07						
4	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.							
5	3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.							
6	3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.							
7	3	N.D.	N.D.	N.D.	0.72	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.72	0.08
8	4	N.D.	N.D.	N.D.	0.67	N.D.	N.D.	N.D.	0.45	N.D.	1.12	0.12
9	4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.							
10	4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.							
11	4	N.D.	2.39	N.D.	2.39	0.27						
12	4	1.73	N.D.	1.25	1.22	0.72	N.D.	N.D.	7.8	N.D.	12.72	1.41
13	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.							
14	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.							
15	5	N.D.	1.93	N.D.	1.93	0.21						
16	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.							
CONC. TOTAL		1.73	N.D.	1.25	2.61	0.72	N.D.	N.D.	13.19	N.D.	19.50	
CONC. PROMEDIO												2.16±5.24
Fluo/Pir					1.07							
Factor de Bioacumulación		0.68			0.08	1.07			2.16			

N.D.< 0.01 µg/g; TE = Tecuailia, Agua Brava, Nay.; SC = Estero San Cristóbal, San Blas, Nay.; ECA = Estero Cerro Cabezón, Sin.

UR = Estero Urrias, Mazatlán, Sin.; CE = Estero El Tambor, Ceuta, Sin.; AG = Aglabampo/Aterras, Son.

NV = Nuevo Vallarta, Nay.; OH = Ohuira, Sin.; EP = Enseñada Pabellón, Estero Verde, Sin.

El factor de bioacumulación (Baumard *et al.*, 1998), para la estaciones ubicadas en Sinaloa, se registró desde los 0.08 en la UR-10 (Urías, Mazatlán, Sin.), hasta los 2.16 en Ohuira, Sin. (OH-23), niveles que manifiestan la biodisponibilidad de los HAPs para los organismos marinos, en este caso de los moluscos bivalvos; el factor de bioacumulación menor de 1 en la estación de Urías, significa que la concentración de los contaminantes en los sedimentos es mayor que en los organismos, por lo que su depósito puede ser reciente, o bien que su biodisponibilidad esté comprometida por tratarse de compuestos pesados de 4 o más anillos de difícil absorción.

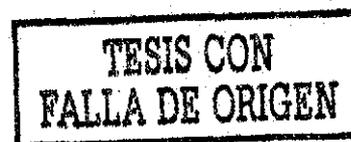
Hidrocarburos alifáticos

En la tabla 34, se presentan los niveles de hidrocarburos alifáticos para *C. corteziensis*, la concentración promedio fue de $8.0 \pm 6.62 \mu\text{g/g}$; en Urías, Sin. la estación UR-10 registró la más alta concentración ($17.3 \mu\text{g/g}$), seguida por la ubicada en Tecualilla, Nay. TE-4 ($16.7 \mu\text{g/g}$), el estero San Cristóbal, Nay. (SC-8) con $12.82 \mu\text{g/g}$ y Nuevo Vallarta, Nay. (NV-20) ($12.28 \mu\text{g/g}$). En el resto de las estaciones los niveles oscilaron entre <0.01 y $3.33 \mu\text{g/g}$. Las parafinas tanto nones como pares estuvieron presentes manifestando un origen mixto desde las cubiertas cerosas de las hojas de vegetación terrestre, las provenientes del plancton, pastos marinos, hasta las de fuentes petrogénicas (emisiones vehiculares). Se registraron compuestos alifáticos como el C_{14} y del C_{17} hasta el C_{32} , no así el Pristano ni el Fitano. La presencia del C_{25} , muestra una aportación de material terrígeno orgánico, originado por plantas terrestres y acuáticas, siendo el compuesto que obtuvo la concentración promedio mayor ($1.11 \mu\text{g/g}$) y compuestos como el C_{18} son indicadores de aportes petrogénicos.

Tabla 34. Hidrocarburos alifáticos en *Crassostrea corteziensis* de diversos sistemas costeros del Pacífico Subtropical Mexicano. (Valores en µg/g peso seco).

COMPUESTO	TE 4	SC 8	ECA 9	UR 10	CE 11	AG 19	NV 20	OH 23	EP 26	CONC. TOTAL POR COMP.	CONC. PROMEDIO POR COMP.
1 C13	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2 C14	1.27	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.27	0.14
3 C15	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
4 C16	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
5 C17	1.17	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.45	N.D.	N.D.	1.62	0.18
6 Phisano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
7 C18	0.89	0.97	N.D.	1.42	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3.28	0.36
8 Filano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
9 C19	0.86	N.D.	N.D.	2.20	N.D.	N.D.	0.52	N.D.	N.D.	3.58	0.40
10 C20	N.D.	0.84	N.D.	1.39	N.D.	0.77	1.74	N.D.	N.D.	4.74	0.53
11 C21	0.99	N.D.	N.D.	2.29	N.D.	1.58	0.43	N.D.	0.43	5.72	0.64
12 C22	1.90	1.24	N.D.	1.91	N.D.	N.D.	0.68	N.D.	0.43	6.16	0.68
13 C23	1.37	1.70	N.D.	1.54	N.D.	0.49	0.77	N.D.	N.D.	5.87	0.65
14 C24	1.15	1.58	N.D.	1.19	N.D.	0.50	0.50	N.D.	N.D.	4.92	0.55
15 C25	1.16	2.99	N.D.	1.03	2.33	1.10	0.74	N.D.	0.62	9.97	1.11
16 C26	1.09	1.06	N.D.	1.01	N.D.	N.D.	2.02	N.D.	N.D.	5.18	0.57
17 C27	2.09	0.89	N.D.	1.28	N.D.	N.D.	0.87	N.D.	0.45	5.58	0.62
18 C28	1.37	N.D.	N.D.	0.88	N.D.	N.D.	0.52	N.D.	N.D.	2.77	0.30
19 C29	1.39	1.55	N.D.	1.16	N.D.	1.02	2.02	0.47	N.D.	7.61	0.85
20 C30	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.51	N.D.	N.D.	1.40	1.91	0.21
21 C31	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.70	0.53	N.D.	N.D.	1.23	0.14
22 C32	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.42	0.49	N.D.	N.D.	0.91	0.10
CONC. TOTAL	16.70	12.82	N.D.	17.30	2.33	7.09	12.28	0.47	3.33	72.32	
CONC. PROM.											8.04±6.83

N.D. < 0.01 µg/g; TE = Tecuailiá, Agua Brava, Nay.; SC = estero San Cristóbal, San Blas, Nay.; ECA = Estero Cerro Cabezón, Sin.
 UR = Estero Urias, Mazatlán, Sin.; CE = Estero El Tambor, Ceuta, Sin.; AG = Agiabampo/Aterras, Son. NV = Nuevo Vallarta, Nay.;
 OH = Ohuira, Sin.; EP = Ensenada Pabellón, Estero Verde, Sin.



Hidrocarburos totales del petróleo (HTPs)

La concentración promedio de hidrocarburos totales del petróleo fue de 10.2 ± 6.83 $\mu\text{g/g}$. Los hidrocarburos alifáticos contribuyeron con el 78.7% en la concentración de los totales. La estación UR-10 obtuvo el primer lugar en concentración (19.91 $\mu\text{g/g}$), seguida por la TE-4 (18.43 $\mu\text{g/g}$) y OH-23 (13.66 $\mu\text{g/g}$), las restantes con niveles por debajo de los 13.0 $\mu\text{g/g}$. En contraste, con lo anterior, la estación ECA-9, ubicada en el estero Cerro Cabezón, Sin. solamente registró un nivel total de 1.25 $\mu\text{g/g}$ (Tabla 35).

Tabla 35. Hidrocarburos totales del petróleo en *Crassostrea corteziensis* de diversos sistemas costeros del Pacífico Subtropical Mexicano. (Valores en $\mu\text{g/g}$ peso seco).

ESTACION	HAPs	H. ALIF.	H. TOTALES
TE 4	1.73	16.70	18.43
SC 8	N.D.	12.82	12.82
ECA 9	1.25	N.D.	1.25
UR 10	2.61	17.30	19.91
CE 11	0.72	2.33	3.05
AG 19	N.D.	7.09	7.09
NV 20	N.D.	12.28	12.28
OH 23	13.19	0.47	13.66
EP 26	N.D.	3.33	3.33
CONC. PROM.	2.16	8.04	10.20
DESV. TOTAL	5.24	6.62	6.83

N.D. < 0.01 $\mu\text{g/g}$

TE = Tecualilla, Agua Brava, Nay.; SC = Estero San Cristóbal, San Blas, Nay.; ECA = Estero Cerro Cabezón, Sin.

UR = Estero Urias, Mazatlán, Sin.; CE = Estero El Tambor, Ceuta, Sin.; AG = Agiabampo/Ateras, Son.

NV = Nuevo Vallarta Nay.; OH = Ohuira, Sin.; EP = Ensenada Pabellón, Estero Verde, Sin.

Crassostrea gigas

Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)

Las muestras se colectaron solamente en el estado de Sonora, en las localidades de Guaymas y el Estero del Soldado; sólo se detectaron el Benzo(b)fluoranteno (0.82 $\mu\text{g/g}$) para la ES-14 y el Benzo(k)fluoranteno (0.68 $\mu\text{g/g}$) para Guaymas. Estos compuestos presentan 4 anillos bencénicos y están íntimamente ligados a la pirólisis de combustible fósil (Tabla 36). La concentración promedio de los compuestos fue de 0.75 $\mu\text{g/g}$.

Tabla 36. Hidrocarburos aromáticos policíclicos en *Crassostrea gigas* de diversos sistemas costeros del Pacífico Subtropical Mexicano. (Valores en µg/g peso seco).

	COMPUESTO	No. ANILLOS	G	ES 14	CONCENTRACIÓN TOTAL POR COMPUESTO	CONCENTRACIÓN PROMEDIO POR COMPUESTO
1	NAFTALENO	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2	ACENAFTILENO	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
3	ACENAFTENO	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
4	FLUORENO	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
5	FENANTRENO	3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
6	ANTRACENO	3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
7	FLUORANTENO	3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
8	PIRENO	4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
9	BENZO(a)ANTRACENO	4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
10	CRISENO	4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
11	BENZO(b)FLUORANTENO	4	N.D.	0.82	0.82	0.41
12	BENZO(k)FLUORANTENO	4	0.68	N.D.	0.68	0.34
13	BENZO(a)PIRENO	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
14	INDENO(123-cd)PIRENO	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
15	DIBENZO(ah)ANTRACENO	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
16	BENZO(ghi)PERILENO	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	CONC. TOTAL		0.68	0.82	1.50	
	Factor de Bioacumulación		0.27	0.17		
	CONC. PROMEDIO					0.75±0.10

N.D. < 0.01 µg/g; G = Guaymas, Son.; ES = Estero del Soldado, Son.

Hidrocarburos alifáticos

Los niveles promedio de hidrocarburos alifáticos fueron de $6.8 \pm 1.41 \mu\text{g/g}$, la parafina C_{25} con $3.63 \mu\text{g/g}$ fue la que mayor concentración obtuvo, seguida por el C_{24} ($2.43 \mu\text{g/g}$) y el C_{27} ($2.03 \mu\text{g/g}$), dichas parafinas son el resultado de aportaciones terrestres, como el detrito vegetal y las cubiertas cerosas de las hojas. El C_{24} se deriva de hidrocarburos marinos (Chernova *et al.*, 1999), por lo que el origen de los hidrocarburos alifáticos debe considerarse como mixto (Tabla 37).

Hidrocarburos totales del petróleo (HTPs)

La concentración total de HTPs en esta especie fue de $15.1 \mu\text{g/g}$, el 9.94% proviene de los hidrocarburos aromáticos policíclicos, la concentración promedio fue de $7.55 \mu\text{g/g}$ (Tabla 38). Los Hidrocarburos alifáticos representan el 90% de los HTPs.

Tabla 38. Hidrocarburos totales del petróleo en *Crassostrea gigas* de diversos sistemas costeros del Pacífico Subtropical Mexicano. (Valores en $\mu\text{g/g}$ peso seco).

ESTACION	HAPs	H. ALIF.	H. TOTALES
G 7	0.68	5.80	6.48
ES 14	0.82	7.80	8.62
CONC. TOTAL	1.50	13.60	15.10
CONC. PROM.	0.75	6.80	7.55
DESV. EST.	0.10	1.41	1.51

G = Guaymas, Son.; ES = Estero del Soldado, Son.

Tabla 37. Hidrocarburos alifáticos en *Crassostrea gigas* de diversos sistemas costeros del Pacífico Subtropical Mexicano. (Valores en µg/g Peso seco).

	COMPUESTO	G 7	ES 14	CONC. TOTAL POR COMP.	CONC. PROMEDIO POR COMP.
1	C13	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2	C14	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
3	C15	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
4	C16	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
5	C17	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
6	Pristano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
7	C18	1.26	N.D.	1.26	0.63
8	Filano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
9	C19	0.93	N.D.	0.93	0.47
10	C20	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
11	C21	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
12	C22	N.D.	0.97	0.97	0.49
13	C23	N.D.	1.42	1.42	0.71
14	C24	1.54	0.89	2.43	1.22
15	C25	0.91	2.72	3.63	1.82
16	C26	N.D.	0.93	0.93	0.47
17	C27	1.16	0.87	2.03	1.02
18	C28	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
19	C29	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
20	C30	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
21	C31	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
22	C32	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	CONC. TOTAL	5.80	7.80	13.60	
	CONC. PROM.				6.80±1.41

N.D. < 0.01 µg/g; G = Guaymas, Son.; ES = Estero del Soldado, Son.

Crassostrea iridescens

Hidrocarburos aromáticos policíclicos

Se colectaron en dos estaciones, una ubicada en Puerto Vallarta, Jal. y la otra en la Bahía de Mazatlán, Sin. La concentración de HAPs fue mayor en la estación PV-16, alcanzado un nivel de 10.24 µg/g mientras que en la BMA-29 presentó una concentración de 3.58 µg/g (Tabla 39). La concentración promedio para esta especie fue de 6.91±4.71 µg/g. Entre los compuestos dominantes, se encontraron el Benzo(k)fluoranteno y el Benzo(a)pireno (compuestos producto de la pirólisis) con un promedio de 2.48 y 2.08 µg/g respectivamente; en la estación ubicada en la Bahía de Mazatlán, el Benzo(a)pireno fue el único compuesto detectado, su concentración correspondió al 86% del total registrado para este analito y su importancia radica en que es un compuesto con propiedades altamente genotóxicas y cancerígenas.

La relación Fluoranteno/Pireno (0.88) indica un aporte petrogénico, aunado al hecho de que compuestos ligeros (2 anillos), tales como el Acenaftileno y el Acenafteno estén presentes (PV-16); mientras que la relación Criseno/Benzo(a)antraceno (0.95) pone de manifiesto una fuente pirolítica (Soclo *et al.*, 2000; Sicre *et al.*, 1987). Por lo que se consideran HAPs de origen mixto. El factor de bioacumulación para ambas estaciones es inferior a uno, lo que denota que en el momento de la colecta la concentración de contaminantes era todavía superior en sedimentos que en organismos, o bien, la mayoría de los compuestos registrados son pesados de 4 y 5 anillos, por lo que están menos biodisponibles.

Hidrocarburos alifáticos

El promedio de hidrocarburos alifáticos fue de 1.32±1.87 µg/g; la estación PV-16 ubicada en el estado de Jalisco, no registró compuesto alguno mientras que la concentración para la Bahía de Mazatlán fue de 2.64 µg/g. El C₂₅ (proveniente de fuentes terrígenas) fue la parafina que registró el máximo en la localidad con 1.01 µg/g, seguida por el C₂₀ (0.6 µg/g) y el C₂₂ (0.59 µg/g), n-alcanos provenientes de las emisiones vehiculares (Kavouras *et al.*, 1999) y finalmente por el C₂₁ (0.44µg/g) (fitoplancton) (Tabla 40). El origen de las parafinas puede ser considerado como mixto y pobre en diversidad.

Tabla 39. Hidrocarburos aromáticos policíclicos en *Crassostrea iridescens* de diversos sistemas costeros del Pacífico Subtropical mexicano. (Valores en µg/g peso seco).

COMPUESTO	No. ANILLOS	PV 16	BMA 29	CONCENTRACIÓN TOTAL POR COMPUESTO	CONCENTRACIÓN PROMEDIO POR COMPUESTO
1 NAFTALENO	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2 ACENAFTILENO	2	0.30	N.D.	0.30	0.15
3 ACENAFTENO	2	0.27	N.D.	0.27	0.14
4 FLUORENO	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
5 FENANTRENO	3	1.60	N.D.	1.60	0.80
6 ANTRACENO	3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
7 FLUORANTENO	3	0.37	N.D.	0.37	0.19
8 PIRENO	4	0.42	N.D.	0.42	0.21
9 BENZO(a)ANTRACENO	4	0.39	N.D.	0.39	0.20
10 CRISENO	4	0.37	N.D.	0.37	0.18
11 BENZO(b)FLUORANTENO	4	0.47	N.D.	0.47	0.23
12 BENZO(k)FLUORANTENO	4	4.97	N.D.	4.97	2.48
13 BENZO(a)PIRENO	5	0.57	3.58	4.15	2.08
14 INDENO(123-cd)PIRENO	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
15 DIBENZO(a,h)ANTRACENO	5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
16 BENZO(g,h,i)PERILENO	5	0.51	N.D.	0.51	0.25
CONCENTRACIÓN TOTAL		10.24	3.58	13.82	
CONC. PROM.					6.91±4.71
Fluo/Pir		0.88			
Cris/B(a)A		0.95			
Factor de Bioacumulación		0.72	0.65		

N.D.< 0.01 µg/g; PV = Puerto Vallarta, Los Arcos, Jal.; BMA = Bahía de Mazatlán, Sin.

Tabla 40. Hidrocarburos alifáticos en *Crassostrea iridescens* de diversos sistemas costeros del Pacífico Subtropical Mexicano. (Valores en µg/g Peso seco).

	COMPUESTO	PV 16	BMA 29	CONC. TOTAL POR COMP.	CONC. PROMEDIO POR COMP.
1	C13	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2	C14	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
3	C15	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
4	C16	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
5	C17	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
6	Pristano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
7	C18	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
8	Filano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
9	C19	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
10	C20	N.D.	0.60	0.60	0.30
11	C21	N.D.	0.44	0.44	0.22
12	C22	N.D.	0.59	0.59	0.30
13	C23	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
14	C24	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
15	C25	N.D.	1.01	1.01	0.51
16	C26	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
17	C27	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
18	C28	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
19	C29	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
20	C30	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
21	C31	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
22	C32	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	CONC. TOTAL	N.D.	2.64	2.64	
	CONC. PROM.				1.32±1.87

N.D. < 0.01 µg/g; PV = Puerto Vallarta, Los Arcos, Jal.; BMA = Bahía de Mazatlán, Sin.

Hidrocarburos totales del petróleo

En la tabla 41, se muestra que la estación PV 16 obtuvo la concentración mayor con 10.24 µg/g, la concentración promedio para *C. iridescens* fue de 8.23±2.84 µg/g.

La participación de los hidrocarburos alifáticos fue tan sólo del 16%, con respecto a la concentración total de los HTPs, es obvia la fuerte presencia de los aromáticos sobre las parafinas en estos organismos. Aunque en el caso de la estación de colecta ubicada en la Bahía de Mazatlán, el contenido de hidrocarburos tanto aromáticos policíclicos como alifáticos fue similar, por lo que se puede afirmar que la fuente generadora de hidrocarburos aromáticos policíclicos es constante y considerable, dada que la proporción entre alifáticos y aromáticos debe ser a los sumo de 8:2 generalmente de 9:1 (alifáticos: aromáticos) (Chernova *et al.*, 1999).

Tabla 41. Hidrocarburos totales del petróleo en *Crassostrea iridescens* de diversos sistemas costeros del Pacífico Subtropical Mexicano. (Valores en µg/g peso seco).

ESTACION	HAPs	H. ALIF.	H. TOTALES
PV 16	10.24	N.D	10.24
BMA 29	3.58	2.64	6.22
CONC. PROM.	6.91	1.33	8.23
DESV. EST.	4.71	1.87	2.84

N.D.< 0.01 µg/g

PV = Puerto Vallarta, Los Arcos, Jal.; BMA = Bahía de Mazatlán, Sin.

Mytella strigata

Hidrocarburos aromáticos policíclicos

Esta especie fue colectada en tres estados: Sonora, Sinaloa y Nayarit, alcanzando el nivel más alto en Nayarit, en la estación MX-13 con 18.16 µg/g, lo que representa el 75% de la concentración total.

El Benzo(b)fluoranteno dominó en la estación MX-13 y representó el 39.4% de la concentración total registrada por compuesto.

En las estaciones de Sinaloa, se registró un nivel promedio de 4.6 µg/g; semejante con lo obtenido en los organismos de esta especie en el Estado de Nayarit (6.0 µg/g) y tan sólo 1.3 µg/g se detectó para los mejillones del estado de Sonora (Tabla 42).

La concentración promedio para *Mytella strigata* fue de 3.44±6.57 µg/g.

En orden decreciente se presentan las concentraciones de los tres compuestos dominantes:

$$\begin{array}{ccc} \text{Benzo(b)fluoranteno} & > & \text{Benzo(ghi)perileno} & > & \text{Indeno(123)pireno} \\ 1.57 \mu\text{g/g} & & 0.43 \mu\text{g/g} & & 0.35 \mu\text{g/g} \end{array}$$

El Pireno y el Criseno, aunque presentes no clasifican como carcinogénicos para humanos en la lista de compuestos orgánicos relacionados con el petróleo de la IARC (Agencia Internacional de Investigaciones sobre Cáncer), mientras que el Benzo(a)antraceno, el Benzo(a)pireno y el Dibenzo(ah)antraceno, aparecen incluidos en el grupo 2^a donde se marca su potencial como probables inductores de cáncer y el Fluoranteno en el grupo 2^B como posible carcinogénico para humanos (IARC, 1983; Boffetta *et al.* 1997). El resto de los compuestos se encontraron por debajo del límite de detección (<0.01 µg/g).

El Benzo(a)pireno registró una concentración total de 1.82 µg/g en la estación MX-13, y está considerado también dentro del grupo 2^a (IARC, 1983; Boffetta *et al.* 1997).

No se detectaron analitos de 2 anillos aromáticos, lo cual manifiesta que no hubo aportes recientes y el único compuesto de 3 anillos registrado fue el Fluoranteno para la estación ubicada en Navachiste, Son. (NA-21). En esta especie, sólo se registraron 9 de los 16 compuestos analizados (56%) y en los sitios de colecta CE-3, SC-27 y MX-28 no se detectaron analitos.

Tabla 42. Hidrocarburos aromáticos policíclicos en *Mytella strigata* en diversos sistemas costeros del Pacifico Subtropical Mexicano. (Valores en µg/g peso seco).

	COMPUUESTO	No. ANILLOS	CE 3	EP 12	MX 13	NA 21	UR 22	SC 27	MX 28	CONCENTRACIÓN TOTAL POR COMPUUESTO	CONCENTRACIÓN PROMEDIO POR COMPUUESTO
1	NAFTALENO	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2	ACENAFILENO	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
3	ACENAFTEC	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
4	FLUORENO	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
5	FENANTRENO	3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
6	ANTRACENO	3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
7	FLUORANTENO	3	N.D.	N.D.	N.D.	0.55	N.D.	N.D.	N.D.	0.55	0.08
8	PIRENO	4	N.D.	0.77	0.66	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.43	0.2
9	BENZO(a)ANTRACENO	4	N.D.	N.D.	1.03	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.03	0.15
10	CRISENO	4	N.D.	N.D.	1.28	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.28	0.18
11	BENZO(b)FLUORANTENO	4	N.D.	0.72	7.16	0.79	2.82	N.D.	N.D.	10.99	1.57
12	BENZO(k)FLUORANTENO	4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
13	BENZO(a)PIRENO	5	N.D.	N.D.	1.82	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.82	0.26
14	INDENO(123-cd)PIRENO	5	N.D.	N.D.	2.45	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2.45	0.35
15	DIBENZO(ah)ANTRACENO	5	N.D.	0.81	0.76	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.57	0.22
16	BENZO(ghi)PERILENO	5	N.D.	N.D.	3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3.00	0.43
	CONC. TOTAL		N.D.	2.30	18.16	1.34	2.32	N.D.	N.D.	24.12	
	CONC. PROMEDIO										3.44±6.57
	Fluo/Pir				1.24						0.38
	CriB(a)A			0.37	1.16	1.65	0.07	*	*		
	Factor de Bioacumulación										

N.D.<0.01 µg/g; CE = Ceuta/El Tambor, Sin.; EP = Enseñada Pabellón/El Contrabando, Sin.; MX = Mexcallitán /Toluca Nay.; NA = Navachiste, Son.; UR = Urias, Mazatlán, Sin.; SC = San Cristóbal, San Blas, Nay.

El factor de bioacumulación se calculó para el 57% de las estaciones y los valores fluctuaron entre 0.07 y 1.65. Las estaciones en las que los mejillones sobrepasaron el nivel de contaminantes con relación a los sedimentos fueron aquellas ubicadas en Sonora (NA-21) y en Nayarit (MX-13).

En cuanto a las relaciones entre el Fluor/Pir se obtuvo en general para los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit, dependiendo de las zonas muestreadas, un valor de 0.38 que al ser menor que la unidad denota una fuente petrogénica, confirmado por el 1.24 obtenido por la relación Cri/B(a)A del Estado de Nayarit (Soclo *et al.*, 2000; Sicre *et al.*, 1987); aunque se puede inferir un origen mixto, por la presencia de compuestos derivados de la combustión incompleta de combustibles fósiles (3, 4 y 5 anillos).

Hidrocarburos alifáticos

La estación ubicada en Ceuta, Sin. fue la que mayor concentración de alifáticos presentó, 15.12 µg/g representados por el 54% de las parafinas analizadas, seguida por la estación Urías del mismo estado con 12.77 µg/g en la que se detectaron el 77% de las parafinas y en tercer lugar Mexcaltitán, del estado de Nayarit con 11.32 µg/g. Las cuatro estaciones restantes con niveles inferiores a los 8.5 µg/g (Tabla 43).

Destacaron en orden decreciente, las parafinas C₂₅ (originada por plantas terrestres y acuáticas), C₂₉ (incorporación de detrito del manglar), C₂₃ (plantas terrestres y acuáticas), C₂₂ (en bajas concentraciones provenientes del fitoplancton y las bacterias) y el C₂₀.

Se hicieron colectas en 2 sitios de Mexcaltitán, aquellos mejillones provenientes de la estación MX-13 obtuvieron una concentración de 11.32 µg/g, mientras que en la estación MX-28 alcanzó tan sólo 1.16 µg/g, esta diferencia debida probablemente a la dinámica propia del lugar.

En la estación ubicada en el estero de Urías, Sin. (UR-22) está presente el C₁₈, indicador de fuentes petrogénicas; no se detectaron los isoprenoides (pristano y fitano). El origen mixto de los n-alcános se hace notar por la presencia desde el C₁₅ al C₃₂.

Tabla 43. Hidrocarburos alifáticos en *Mytilus strigata* de diversos sistemas costeros del Pacífico Subtropical Mexicano. (Valores en µg/g peso seco).

	COMPUESTO	CE 3	EP 12	MX 13	NA 21	UR 22	SC 27	MX 28	CONC. TOTAL POR COMP.	CONC. PROMEDIO POR COMP.
1	C13	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2	C14	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
3	C15	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
4	C16	1.13	N.D.	N.D.	N.D.	0.52	N.D.	N.D.	1.65	0.24
5	C17	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.92	N.D.	N.D.	0.92	0.13
6	Pristano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
7	C18	0.89	N.D.	N.D.	N.D.	0.66	N.D.	N.D.	1.55	0.22
8	Filano	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
9	C19	N.D.	0.88	N.D.	N.D.	1.53	N.D.	N.D.	2.41	0.34
10	C20	0.92	0.98	1.01	1.22	0.52	N.D.	N.D.	4.65	0.66
11	C21	1.20	0.86	1.22	N.D.	0.93	N.D.	N.D.	4.21	0.60
12	C22	1.57	N.D.	1.79	N.D.	1.29	N.D.	N.D.	4.65	0.66
13	C23	1.84	2.16	1.11	0.57	0.52	N.D.	N.D.	6.20	0.89
14	C24	1.07	1.23	1.35	N.D.	0.58	0.52	N.D.	4.75	0.68
15	C25	0.85	2.23	1.05	1.01	0.57	0.43	1.16	7.30	1.04
16	C26	1.30	N.D.	1.21	N.D.	0.78	N.D.	N.D.	3.29	0.47
17	C27	1.92	N.D.	1.40	0.71	0.52	0.52	N.D.	5.07	0.72
18	C28	0.86	N.D.	N.D.	0.46	0.47	N.D.	N.D.	1.79	0.26
19	C29	1.57	N.D.	1.18	1.65	0.88	1.57	N.D.	6.85	0.98
20	C30	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.64	N.D.	N.D.	0.64	0.09
21	C31	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.81	N.D.	N.D.	0.81	0.12
22	C32	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.63	N.D.	N.D.	0.63	0.09
	CONC. TOTAL	15.12	8.34	11.32	5.62	12.77	3.04	1.16	57.37	8.2±9.57
	CONC. PROM.									

N.D. < 0.01 µg/g; CE = Ceuta/El Tambor, Sin.; EP = Ensenada Pabellón/El Contrabando, Sin.; MX = Mexcalitlán/Toluca Nay.; NA = Navachiste, Son.; UR = Urias, Mazatlán, Sin.; SC = San Cristóbal, San Blas, Nay.

Hidrocarburos totales del petróleo

Estos hidrocarburos estuvieron representados en un 70% por los hidrocarburos alifáticos y el 30% restante por los hidrocarburos aromáticos policíclicos; las estaciones con mayor concentración de HTPs fueron (Tabla 44):

$$\text{MX-13 } 29.48 \mu\text{g/g} > \text{CE-3 } 15.12 \mu\text{g/g} > \text{UR-22 } 15.09 \mu\text{g/g} > \text{EP-12 } 10.64 \mu\text{g/g}$$

Tabla 44. Hidrocarburos totales del petróleo en *Mytella strigata* de diversos sistemas costeros del Pacífico Subtropical Mexicano. (Valores en $\mu\text{g/g}$ peso seco).

ESTACIÓN	HAPs	H. ALIF.	H. TOTALES
CE 3	N.D.	15.12	15.12
EP 12	2.30	8.34	10.64
MX 13	18.16	11.32	29.48
NA 21	1.34	5.62	6.96
UR 22	2.32	12.77	15.09
SC 27	N.D.	3.04	3.04
MX 28	N.D.	1.16	1.16
CONC. PROM.	3.44	8.20	11.64
DESV. EST.	6.57	5.19	9.57

N.D. < 0.01 $\mu\text{g/g}$; CE = Ceuta/ El Tambor, Sin.; EP = Ensenada Pabellón/El Contrabando, Sin.;

MX = Mexcaltitán /Toluca Nay.; NA = Navachiste, Son.; UR = Urias, Mazatlán, Sin.;

SC = San Cristóbal, San Blas, Nay.

COMPORTAMIENTO GENERAL

Moluscos Bivalvos

Hydrocarburos aromáticos policíclicos

La distribución seguida por la concentración promedio en cada especie (Tabla 45) se muestra a continuación:

$$\begin{array}{ccccccccc} C. \textit{iridescens} & > & C. \textit{palmula} & > & M. \textit{strigata} & > & C. \textit{cortezensis} & > & C. \textit{gigas} \\ 6.91 \mu\text{g/g} & & 6.47 \mu\text{g/g} & & 3.44 \mu\text{g/g} & & 2.16 \mu\text{g/g} & & 0.75 \mu\text{g/g} \end{array}$$

La especie *C. iridescens*, es marina y está asociada al sustrato rocoso en áreas submareales; estos bivalvos fueron colectados en Puerto Vallarta, Jalisco y en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, ambos puertos tienen un intenso tráfico marítimo, grandes asentamientos humanos que incluyen actividades agroindustriales, pesqueras y turísticas bien desarrolladas, derivándose de todas ellas, los altos niveles de compuestos aromáticos analizados.

En segundo lugar, *C. palmula*, vive asociado a las raíces de mangle, donde predominan las condiciones marinas, en cuerpos de agua semicerrados de bahías y lagunas costeras. El nivel promedio encontrado (6.47 $\mu\text{g/g}$) se debe principalmente a la aportación de los organismos colectados en la localidad de Pichilingue, La Paz, BCS, donde las actividades de mantenimiento y lavado de embarcaciones es usual y también a la presencia de la termoeléctrica A. Olachea A. (San Carlos) cuya fuente de energía es combustóleo y diesel.

El mejillón, *M. strigata*, habita en las planicies lodosas, se les encuentra asociados a las raíces de mangle y a los fangos lodosos someros de las lagunas costeras. Los organismos colectados que registraron el nivel mayor pertenecen a la localidad de Mexcaltitán, zona considerada como complejo lagunar, ubicada en el estado de Nayarit y que funciona como una trampa de contaminantes.

Al analizar el comportamiento por estado, se observó que en Sonora, donde hubo la presencia de 4 de las 5 especies evaluadas, *C. palmula* ocupó el primer lugar

Tabla 45. Niveles promedio de hidrocarburos aromáticos policíclicos en bivalvos de diversos sistemas costeros del Pacífico subtropical mexicano, 1996. (Valores en µg/g peso seco).

	COMPUUESTO	No. ANILLOS	PROMEDIO POR COMPUESTO					<i>Crassostrea iridescens</i>	<i>Mytella strigata</i>
			<i>Crassostrea palmula</i>	<i>Crassostrea corteziensis</i>	<i>Crassostrea gigas</i>	<i>Crassostrea iridescens</i>	<i>Mytella strigata</i>		
1	NAFTALENO	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
2	ACENAFTILENO	2	N.D.	N.D.	N.D.	0.15	N.D.	N.D.	
3	ACENAFTENO	2	0.26	0.07	N.D.	0.14	N.D.	N.D.	
4	FLUORENO	2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
5	FENANTRENO	3	0.19	N.D.	N.D.	0.8	N.D.	N.D.	
6	ANTRACENO	3	0.21	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
7	FLUORANTENO	3	0.64	0.08	N.D.	0.18	0.08	0.08	
8	PIRENO	4	1.21	0.12	N.D.	0.21	0.2	0.2	
9	BENZO(a)ANTRACENO	4	0.38	N.D.	N.D.	0.19	0.15	0.15	
10	CRISENO	4	0.28	N.D.	N.D.	0.18	0.18	0.18	
11	BENZO(b)FLUORANTENO	4	0.57	0.27	0.41	0.23	1.57	1.57	
12	BENZO(k)FLUORANTENO	4	1.55	1.41	0.34	2.48	N.D.	N.D.	
13	BENZO(a)PIRENO	5	0.36	N.D.	N.D.	2.07	0.26	0.26	
14	INDENO(123-cd)PIRENO	5	0.65	N.D.	N.D.	N.D.	0.35	0.35	
15	DIBENZO(ah)ANTRACENO	5	N.D.	0.21	N.D.	N.D.	0.22	0.22	
16	BENZO(ghi)PERILENO	5	0.17	N.D.	N.D.	0.25	0.43	0.43	
	NIVELES PROMEDIO		6.47	2.16	0.75	6.91	3.44		

N.D. <0.01 µg/g

con una concentración promedio de 3.9 µg/g, mientras que no se detectaron HAPs en *C. corteziensis*; para Sinaloa, fue *C. palmula* la especie que presentó el mayor nivel promedio con 4.9 µg/g y hubo mas homogeneidad entre los valores promedio encontrados en el resto de los organismos; para Nayarit solamente se presentaron el ostión *C. corteziensis* (0.58 µg/g) y el mejillón *M. strigata* (6.1 µg/g) con un patrón contrastante, probablemente por la capacidad de filtración mayor de este último. En Jalisco, la especie *C. iridescens* registró una concentración de 10.2 µg/g en la estación PV-16 (Puerto Vallarta) ocupando el segundo lugar general ya que el primero estuvo representado por *C. palmula* proveniente de una localidad turística en el estado de Baja California Sur (Fig. 1).

En las 5 especies, el Benzo(b)fluoranteno y el Benzo(k)fluoranteno presentaron niveles importantes, encontrándose para el primero la concentración promedio mayor en *M. strigata* con 1.57 µg/g, seguido por *C. palmula* con 0.57 µg/g, mientras que en las 3 especies restantes se registraron niveles por debajo de los 0.42 µg/g y para el segundo el nivel más alto estuvo en *C. iridescens* con 2.48 µg/g, *C. palmula* con 1.55 µg/g, y *C. corteziensis* con 1.41 µg/g y las especies restantes con concentraciones menores de 0.35 µg/g. El Fluoranteno, el Pireno y el Benzo(k)fluoranteno, estuvieron presentes en 4 de las 5 especies. El Criseno, el Benzo(a)antraceno, el Benzo(a)pireno y el Benzo(ghi)perileno sólo se reportaron en *C. palmula*, en *C. iridescens* y en *M. strigata* (Tabla 42). Cabe destacar el hecho de que en los tejidos de *C. gigas* únicamente se detectaron los Benzofluorantenos.

La distribución en general de los HAPs (Tabla 46), considerando el número de anillos bencénicos que los constituyen mostró el siguiente comportamiento :

$$4 > 5 > 3 > 2$$

Esta distribución sugiere un origen mixto de las fuentes (pirólisis y petrogénesis) de donde se derivan los hidrocarburos: incendios de la vegetación costera, escurrimientos industriales y urbanos y de embarcaciones de diversa índole, con una fuerte tendencia a los pirogénicos.

Tabla 46. Hidrocarburos aromáticos policíclicos en diversas especies de moluscos bivalvos del Pacífico Subtropical Mexicano. Valores promedio y distribución por número de anillos bencénicos. (Niveles en µg/g peso seco).

ESPECIES	NUMERO DE ANILLOS BENECNICOS				
	X	2	3	4	5
<i>Crassostrea palmula</i>	6.47	0.58	3.14	7.17	2.66
<i>Crassostrea corteziensis</i>	2.16	0.16	0.24	3.25	0.48
<i>Crassostrea gigas</i>	0.75	N.D.	N.D.	0.30	N.D.
<i>Crassostrea iridescens</i>	6.91	0.14	0.66	1.32	1.17
<i>Mytella strigata</i>	3.44	N.D.	0.18	2.95	2.21

N.D.< 0.01 µg/g

Lo registrado en las especies del Pacífico Subtropical Mexicano, para el caso de los aromáticos analizados, presenta en algunas especies factores de bioacumulación por lo que la incidencia de efectos biológicos negativos en sus tasas de crecimiento, reproducción y mortalidad, así como la afectación de la riqueza específica y la abundancia, pueden estarse dando en algunas localidades del área de estudio. La bioacumulación puede ocasionar riesgo para los consumidores incluyendo al hombre, por la biomagnificación de los efectos adversos.

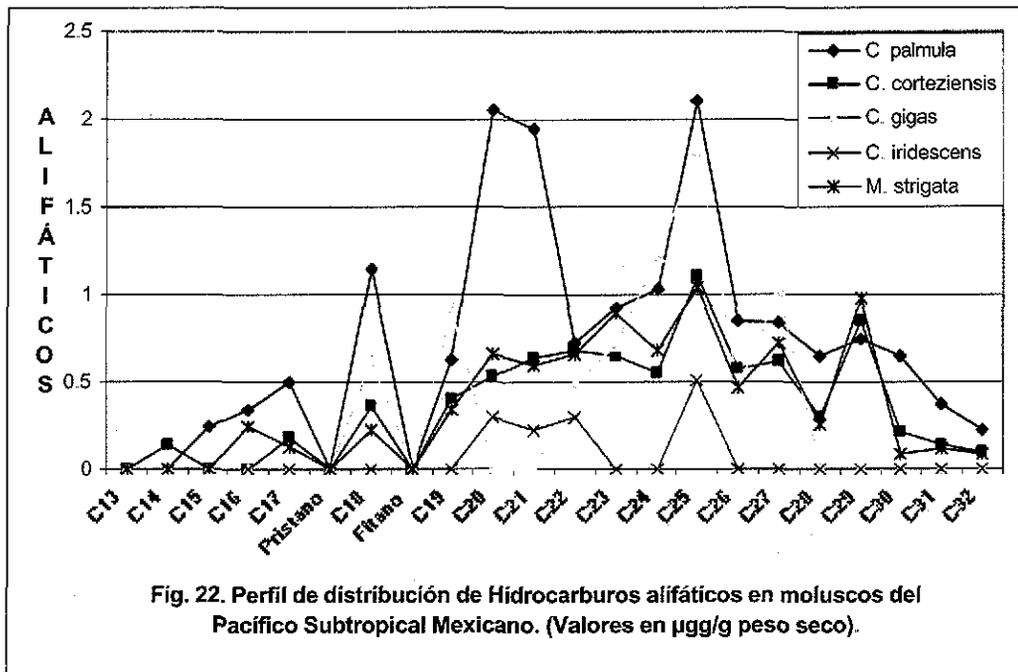
Es importante señalar que se detectó el Benzo(a)pireno en tejidos de los ostiones y mejillones (*C.palmula*, *C. iridescens* y *M. strigata*) en cinco localidades, este compuesto es importante debido a sus efectos mutagénicos y cancerígenos y lo hacen peligroso para el consumo humano. Autores como Michel *et al.* (1994) y Micic *et al.* (2002), han realizado estudios para demostrar tales efectos en mejillones.

Los moluscos analizados en este estudio, están dentro de la cultura del consumo del mercado mexicano, por lo que se hace indispensable una vigilancia continua y establecer los límites permisibles para su ingesta por el hombre, en México y el resto del mundo, ya que no existen normas mexicanas ni de tipo internacional que

limiten la concentración de estos compuestos en tejidos de organismos marinos utilizados como alimento.

Hidrocarburos alifáticos

En la figura 22, se presentan las parafinas registradas en las 5 especies de moluscos bivalvos, desde el C₁₃ al C₃₂. Se observa que los n-alcanos desde el C₁₆ hasta el C₃₂ están en más de una especie, el C₂₅ destaca por estar presente en las 5 especies de moluscos, al igual que el C₂₂. Debido a la diversidad de los alifáticos, se reconoce un origen mixto de las parafinas, tanto de fuentes petrogénicas como biogénicas. Cabe señalar que Zhou y colaboradores (1996) reportan para *Mytilus edulis*, en Nueva Escocia cadenas largas de alifáticos (C₂₀-C₃₂), atribuyendo su presencia al crecimiento inusual de fitoplancton en el área estudiada por ellos.



En la tabla 47, se presentan los hidrocarburos del petróleo en algunos moluscos del Golfo de México y Pacífico Mexicano y la información obtenida en el presente estudio. El ostión *Crassostrea palmula* de Baja California Sur, en la región Subtropical del Pacífico Mexicano, reporta la mayor concentración tanto para hidrocarburos aromáticos policíclicos (22.86 µg/g), como para hidrocarburos alifáticos (81.32 µg/g) y para los hidrocarburos totales (104.18 µg/g), seguido por la misma especie para la costa de Sinaloa, que reporta HAPs entre 1.37 y 10.24 µg/g e hidrocarburos totales entre los 8.46 y los 24.43 µg/g; para Nayarit, las parafinas alcanzan valores entre 12.82 y 16.7 µg/g.

Las concentraciones de otros bivalvos de los estados de Campeche, Baja California, Tabasco y Veracruz, son menores a 0.01 y llegan hasta 0.61 µg/g para HAPs, de 1.99 a 5.21 µg/g para hidrocarburos alifáticos y de 2.12 a 5.33 µg/g en hidrocarburos totales del petróleo.

En la tabla 48, se presentan los valores de hidrocarburos del petróleo en bivalvos, las concentraciones de HAPs para diversas regiones van de 0.01 a 11.02 µg/g, los hidrocarburos alifáticos de 3.9 a 44.5 µg/g y para la región Subtropical del Pacífico Mexicano los valores de HAPs se encuentran entre <0.01 y 22.86 µg/g; para hidrocarburos alifáticos en Nueva Escocia, Canadá, el mejillón *Mytilus edulis* presentó concentraciones de 3.9 a 44.5 µg/g y para el Pacífico Subtropical Mexicano, los valores de las 5 especies de bivalvos analizados en el presente trabajo, oscilan desde <0.01 hasta 81.32 µg/g.

Tabla 47. Hidrocarburos del petróleo presentes en moluscos del Golfo de México y Pacífico Mexicano.

LOCALIDAD	Nombre científico	Nombre común	INTERVALO DE VALORES DE HIDROCARBUROS $\mu\text{g}\text{g}^{-1}$			REFERENCIA
			AROMÁTICOS	ALIFÁTICOS	TOTALES	
Lag. Términos, Camp.	<i>Crassostrea virginica</i>	Ostión	0.57-1.8			Noreña-Barroso et al., 1999
Rosarito, B.C.	<i>Mytilus californianus</i>	mejillón	<0.01			Castillo-Peraza, 1990
Laguna Mecoaacán, Tab.	<i>Crassostrea virginica</i>	ostión	0.14-0.33			Gold-Bouchot et al., 1997
Laguna Carmen, Tab.	<i>Crassostrea virginica</i>	ostión	0.13-0.32			Gold-Bouchot et al., 1997
Laguna Machona, Tab.	<i>Crassostrea virginica</i>	ostión	0.14-0.61			Gold-Bouchot et al., 1997
Isla Pajaritos, Ver.	<i>Polymesoda caroliniana</i>	almeja chica	0.13	1.99	2.12	Botello et al., 1996
Río Coatzacoalcos, Ver.	<i>Rangia flexuosa</i>	almeja grande	0.12	5.21	5.33	Botello et al., 1996
Pichilingue, B.C.S.	<i>Crassostrea palmula</i>	ostión palmeado	22.86	81.32	104.18	Presente estudio
Costa de Sonora	<i>Crassostrea palmula</i>	ostión palmeado	0.86-7.52	2.72-9.01	6.71-12.38	Presente estudio
Costa de Sinaloa	<i>Crassostrea palmula</i>	ostión palmeado	1.37-10.24	6.03-14.24	8.46-24.48	Presente estudio
Costa de Nayarit	<i>Crassostrea corteziensis</i>	ostión de placer	<0.01-1.73	12.82-16.70	12.82-18.43	Presente estudio
Costa de Sinaloa	<i>Crassostrea corteziensis</i>	ostión de placer	<0.01-13.2	<0.01-17.30	1.25-19.91	Presente estudio
Costa de Sonora	<i>Crassostrea corteziensis</i>	ostión de placer		7.09	7.09	Presente estudio
Costa de Jalisco	<i>Crassostrea corteziensis</i>	ostión de placer		12.28	12.28	Presente estudio
Costa de Sonora	<i>Crassostrea gigas</i>	ostión japonés	0.68-0.82	5.8-7.8	6.48-8.62	Presente estudio
Costa de Sinaloa	<i>Crassostrea iridescens</i>	ostión de roca	3.58	2.64	6.22	Presente estudio
Costa de Jalisco	<i>Crassostrea iridescens</i>	ostión de roca	10.24	<0.01	10.24	Presente estudio
Costa de Sinaloa	<i>Mytella strigata</i>	mejillón	<0.01-2.32	8.34-12.77	10.64-15.12	Presente estudio
Costa de Nayarit	<i>Mytella strigata</i>	mejillón	<0.01-18.16	1.16-11.32	1.16-29.49	Presente estudio
Costa de Sonora	<i>Mytella strigata</i>	mejillón	1.34	5.62	6.96	Presente estudio

Tabla 48. Hidrocarburos del petróleo presentes en moluscos del Mundo y el Pacífico Mexicano.

LOCALIDAD	Nombre científico	Nombre común	INTERVALO DE VALORES DE HIDROCARBUROS $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$			REFERENCIA
			AROMÁTICOS	ALIFATICOS	TOTALES	
Hong Kong	<i>Perna viridis</i>	mejillón	0.01-0.3			Cheung et al., 2001
Europa, Francia y España	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	mejillón	0.03-0.34			Baunard et al., 1998
Tampa Bay, Florida, EUA	<i>Crassostrea virginica</i>	ostión	0.51-11.026			Fisher et al., 2000
Nova Scotia, Canadá	<i>Mytilus edulis</i>	mejillón		3.9-44.5		Zhou et al., 1996
Delta Ebro, Mediterraneo	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	mejillón	0.07-0.15			Solé et al., 2000
Delta Ebro, Mediterraneo	<i>Ostrea edulis</i>	ostión	0.01-0.2			Solé et al., 2000
Delta Ebro, Mediterraneo	<i>Crassostrea gigas</i>	ostión japonés	0.02-0.05			Solé et al., 2000
Delta Ebro, Mediterraneo	<i>Ruditapes decussata</i>	bivalvo	0.02-0.12			Solé et al., 2000
Baja California Sur, México	<i>Crassostrea palmula</i>	ostión palmeado	22.86	81.32	104.18	Presente estudio
Costa de Sonora, México	<i>Crassostrea palmula</i>	ostión palmeado	0.86-7.52	2.72-9.01	6.71-12.38	Presente estudio
Costa de Sinaloa, México	<i>Crassostrea palmula</i>	ostión palmeado	1.37-10.24	6.03-14.24	8.46-24.48	Presente estudio
Costa de Nayarit, México	<i>Crassostrea corteziensis</i>	ostión de placer	<0.01-1.73	12.82-16.70	12.82-18.43	Presente estudio
Costa de Sinaloa, México	<i>Crassostrea corteziensis</i>	ostión de placer	<0.01-13.2	<0.01-17.30	1.25-19.91	Presente estudio
Costa de Sonora, México	<i>Crassostrea corteziensis</i>	ostión de placer		7.09	7.09	Presente estudio
Costa de Jalisco, México	<i>Crassostrea corteziensis</i>	ostión de placer		12.28	12.28	Presente estudio
Costa de Sonora, México	<i>Crassostrea gigas</i>	ostión japonés	0.68-0.82	5.8-7.8	6.48-8.62	Presente estudio
Costa de Sinaloa, México	<i>Crassostrea iridescens</i>	ostión de roca	3.58	2.64	6.22	Presente estudio
Costa de Jalisco, México	<i>Crassostrea iridescens</i>	ostión de roca	10.24	<0.01	10.24	Presente estudio
Costa de Sinaloa, México	<i>Mytella strigata</i>	mejillón	<0.01-2.32	8.34-12.77	10.64-15.12	Presente estudio
Costa de Nayarit, México	<i>Mytella strigata</i>	mejillón	<0.01-18.16	1.16-11.32	1.16-29.49	Presente estudio
Costa de Sonora, México	<i>Mytella strigata</i>	mejillón	1.34	5.62	6.96	Presente estudio

CONCLUSIONES

1. En el Pacífico Subtropical Mexicano, en la franja costera que abarca desde el Estado de Sonora hasta Colima, se detectaron hidrocarburos aromáticos policíclicos, en los sedimentos superficiales, tanto ligeros (2 y 3 anillos), como pesados (4 y 5 anillos). El patrón observado en el comportamiento general de las 5 entidades fue:

$$4 > 3 > 2 > 5$$

Este comportamiento denota de forma dominante un origen pirolítico, atribuido tanto a la quema de combustibles fósiles, como al incendio de vegetación costera y a incineración de basura; el aporte petrogénico puede considerarse como secundario.

2. Respecto al comportamiento del contenido de los HAPs con los parámetros sedimentológicos analizados se obtuvieron correlaciones significativas con los carbonatos de calcio para el estado de Sinaloa y con la arcilla en el estado de Jalisco. En el caso de los carbonatos de calcio, parámetro en el que no se espera encontrar correlación con los HAPs, puede atribuírsele a descargas puntuales y continuas que saturan los sedimentos calcáreos, mientras que con las arcillas es la relación naturalmente esperada, debido a una mayor área superficial de esta fracción sedimentaria fina.
3. La presencia de HAPs de alto riesgo ambiental en los sedimentos, como el Benzo(a)pireno en la mayoría de las entidades estudiadas, manifiesta un evidente impacto ambiental de las actividades humanas sobre los sistemas costeros y sus recursos.
4. Los hidrocarburos alifáticos que se registraron con mayor frecuencia en los sedimentos de los 5 estados fueron: $C_{25} > C_{21} > C_{20} > C_{26}$ por lo que el origen de los n-alcanos fue mixto tanto biogénico como petrógeno, principalmente provenientes de la vegetación terrestre existente en los márgenes de los ecosistemas costeros evaluados. Para los hidrocarburos alifáticos se encontraron correlaciones significativas con la materia orgánica en el estado de Sonora y con las arcillas en el estado de Jalisco, concordando con lo reportado en la literatura científica.
5. En el caso de los hidrocarburos totales del petróleo, en los sedimentos, se encontró una correlación significativa con las arcillas, para el estado de Jalisco, confirmando la preferencia por la materia orgánica, la hidrofobicidad y como consecuencia de la fracción parafínica dominante en esta entidad.

6. En comparación con otras zonas costeras de México, los niveles de HAPs en sedimentos superficiales encontrados en el presente estudio (0.01-43.0 µg/g), están dentro de los intervalos observados para entidades como Veracruz, Michoacán, Guerrero y Oaxaca (0.01-286.8 µg/g) y por encima de los registrados en la Bahía de San Quintín y Bahía Todos Santos, B.C. (<0.05-1.61 µg/g).
7. Las concentraciones de HAPs en sedimentos superficiales, registrados en el presente estudio fueron superiores a los niveles reportados en áreas como el Golfo de Italia, el Mar Adriático (0.02-5.19 µg/g) y en niveles semejantes a los encontrados en costas de los Estados Unidos de Norteamérica, tales como la Bahía Casco y la Bahía Penobscot (0.02-21.0 µg/g).
8. En el caso de los hidrocarburos alifáticos en sedimentos superficiales, los niveles obtenidos en el presente estudio (0.01-99.16 µg/g) son equiparables a los de las Costas de Michoacán y Guerrero y de la Bahía de Todos Santos, BC. No así para los encontrados en la Costa Occidental de Baja California (6.0-1455.0 µg/g).
9. En general las concentraciones detectadas de los hidrocarburos totales en sedimentos superficiales, no rebasaron el criterio internacional para zonas costeras y marinas no contaminadas de 70.0 µg/g propuesto por la UNESCO (1972).
10. Se establecieron los primeros registros cualitativos y cuantitativos de HAPs, hidrocarburos alifáticos y totales para moluscos centinelas en el Pacífico Subtropical Mexicano.
11. Los niveles de HAPs en los moluscos bivalvos examinados en las diferentes localidades de los 5 estados presentaron el siguiente comportamiento :

C. iridescens > *C. palmula* > *M. strigata* > *C. corteziensis* > *C. gigas*
12. Los HAPs dominantes en los bivalvos fueron: el Fluoranteno y el Pireno presentes en 4 de las cinco especies; el Benzo(a)antraceno, el Criseno, el Benzo(a)pireno, el Benzo(ghi)perileno y el Acenafteno solamente en 3 de las especies y coinciden en general, con los analitos dominantes registrados en los sedimentos.
13. El Benzo(a)pireno, compuesto reconocido por sus características cancerígenas y mutagénicas, se encontró en *C. palmula* (en Pichilingue, B.C.S. y Topolobampo, Sin.), *C. iridescens*, (en Puerto Vallarta, Jal. y Bahía de

Mazatlán, Sin.) y *M. strigata* (en Mexcaltitán, Nay.) con concentraciones desde 0.57 a 3.58 µg/g, estas especies son utilizadas para el consumo humano, con los riesgos de salud que la biomagnificación de estos compuestos al escalar en la red trófica implica.

14. Las localidades con mayor concentración de HAPs para las diferentes especies fueron: Pichilingue, BCS y Tunitas, Sin. para *C. palmula*; Mexcaltitán, Nay para *M. strigata*; Ohuira, Sin, para *C. corteziensis* y Puerto Vallarta, Jal. para *C. iridescens*; con valores superiores a los 10 µg/g y para *C. gigas* el Estero del Soldado, Son. con 7.8 µg/g.
15. Existe un dominio de los HAPs de 4 y 5 anillos, en los tejidos blandos de los bivalvos denotando un origen pirolítico, al igual que el encontrado para los sedimentos superficiales del área de estudio.
16. En el 33% de las localidades donde simultáneamente estuvieron presentes bivalvos y sedimentos, el factor de bioacumulación fue ligeramente superior a 1, pudiéndose tratar de eventos puntuales en la descarga de contaminantes.
17. Los hidrocarburos alifáticos en las especies de moluscos bivalvos, no registraron isoprenoides (Fitano y Pristano). El origen de las parafinas se considera mixto, con aportes de la vegetación terrestre principalmente de las cubiertas cerosas de las hojas, marinos provenientes del plancton y de manera importante de las emisiones vehiculares (C₁₆-C₂₀).

LITERATURA CITADA

- Akcha, F., Burgeot, T., Venier, P., y J.F. Narbonne. 1999. Relationship between kinetics of Benzo(a)pyrene bioaccumulation and DNA binding in the mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 62: 455-462.
- Albaigés, J. y P. Albrecht. 1979. Fingerprinting marine pollutant hydrocarbons by computerized gas chromatography mass spectrometry. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* 6: 171-190.
- Al-Lihaibi, S.S. y L. Al-Omran. 1996. Petroleum hydrocarbons in offshore sediments from the Gulf. *Mar. Pollut. Bull.* 32 (1): 65-69.
- Al-Lihaibi, S.S. y S. J. Ghazi. 1997. Hydrocarbon distributions in sediments of the open area of the Arabian Gulf following the 1991 gulf war oil spill. *Mar. Pollut. Bull.* 34 (11): 941-948.
- Anderson, J.W., Newton, F.C., Hardin, J., Tukey, R.H. y K.E. Richter. 1996. Chemistry and toxicity of sediments from San Diego Bay, including a biomarker (P450 RGS) response. *In: Environmental toxicology and risk assessment: Biomarkers and risk assessment*, vol. 5, ASTM STP 1306, DA Bengtson and DS Henshel Eds. p. 53-78. American Society for Testing and Material Philadelphia.
- Azevedo, D.A., Silveirak, M.L., y D.S. Soares. 1999. Composition of extractable organic matter in aerosols from urban areas of Rio de Janeiro city, Brazil. *Atmos. Environ.* 33 : 4987-5001.
- Baker, J.E., Eisenreich, S.J. y B.J Eadi. 1991. Sediment trap fluxes and benthic recycling of organic carbon, polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls across the air-water interface of Lake Superior. *Environ. Sci. Technol.* 2 : 500-509.
- Baumard, P., Budzinsky, H., Garrigues, P., Sorbe, J.C., Burgeot, T. y J. Bellocq. 1998. Concentrations of PAHs (Polycyclic aromatic hydrocarbons) in various marine organisms in relation to those in sediments and to trophic level. *Mar. Pollut. Bull.* 36 (12): 951-960.
- Benlahcen, K.T., Chaoui, A., Budzinski, H., Bellocq, J. y P.H. Garrigues. 1997. Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in some Mediterranean coastal sediments. *Mar. Pollut. Bull.* 34 (5): 298-305.
- Beliaeff, B., O'Connor, P.O., Daskalakis, D.K. y P.J. Smith. 1997. U.S. Mussel watch data from 1986 to 1994: Temporal trend detection at large spatial scales. *Environ Sci. Technol.* 31 : 1411-1415.

Boehm, P.D., Douglas, G.S., Burns, W.A., Mankiewicz, P.J., Page, D.S. y A.E. Bence 1997. Application of petroleum hydrocarbon chemical fingerprinting and allocation techniques after the Exxon Valdez oil spill. *Mar. Pollut. Bull.* 34 (8): 599-613.

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

Botello, A.V. 1996. Características, composición y propiedades fisicoquímicas del petróleo, p. 203-210. *En: A.V. Botello, J.L. Rojas-Galaviz, J.A. Benítez y D. Zárate-Lomelí (Eds.) Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. EPOMEX Serie Científica 5. Universidad Autónoma de Campeche. México, 666p.*

Botello, A.V., Ponce V.G. y S.A. Macko. 1996. Niveles de concentración de hidrocarburos en el Golfo de México, p. 225-253. *En: A.V. Botello, J.L. Rojas-Galaviz, J.A. Benítez, D. Zárate-Lomelí (Eds.). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. EPOMEX Serie Científica, 5. 666 p. Universidad Autónoma de Campeche*

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

Botello, A.V., Villanueva, S.F., Diaz, G.G. y E. Escobar-Briones. 1998. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from Salina Cruz Harbour and coastal Areas, Oaxaca, México. *Mar. Pollut. Bull.* 36(7):554-558.

Botello, A.V. y L.G. Calva B. 1998. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from Pueblo Viejo, Tamiahua and Tampamachoco Lagoons in the southern Gulf of México. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 60:96-103.

Botello, A.V., Calva, B.L.G y G. Ponce V. 2001. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from coastal lagoons of Veracruz State, Gulf of Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 67:889-897.

Brunnemann, K.D. y D. Hoffmann. 1976. Analysis of polynuclear aromatic hydrocarbons in the respiratory environment. pp. 283-298. *In: Carcinogenesis a comprehensive survey. Vol. 1. Polynuclear aromatic hydrocarbons. Chemistry, metabolism and carcinogenesis.* R. Freudenthal y P.W. Jones (eds.). New York. Raven Press.

Brusca, R.C. y B.R. Wallerstein. 1979. Zoogeographic patterns of isopods in the northeast Pacific, with a review of shallow water zoogeography of the area. *Bull. Biol. Soc. Wash.* 3:67-105.

Budzinski, H., Jones, I., Bellocq, J., Piérard, C. y P. Garrigues. 1997. Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary. *Mar. Chem.* 58:85-97.

Burton, G.A., Jr. 1992. Sediment toxicity assessment. *Lewis Publishers, Chelsea, Massachusetts.* 457 pp.

CAMEINTRAM. 2002. Cámara Mexicana de la Industria del Transporte Marítimo. URL : <http://www.cameintram.org.mx>

Cantillo, A.Y., Lauenstein, G.G. y T.P.O'Connor. 1997. Mollusc and sediment contaminant levels and trends in South Florida coastal waters. *Mar. Pollut. Bull.* 34 (7): 511-521.

Caricchia, A., Chiavarini, M., Cremisini, S., Marrini, F. Y R. Morabito. 1993. PAHs, PCBs, and DDE in the Northern Adriatic Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 26 : 581-583.

Castillo-Peraaza, M.N.M. 1990. Determinación e identificación de la contaminación por hidrocarburos del petróleo en la zona noroccidental de la península de Baja California utilizando el mejillón *Mytilus californianus* como organismos bioindicadores. Tesis de Maestría. CICESE. 205pp.

Cavaliere, E.L., Rogan, E.G., Murray, W.J. y N.V.S. Ramakrishna. 1993. Mechanistic aspects of Benzo(a)pyrene metabolism. Supplement to vol. 3 of The J. Polycyclic aromatic compounds. pp. 397-404. In: *Polycyclic aromatic compounds, synthesis, properties, analytical measurements, occurrence and biological effects.* Proceedings of the 13th International Symposium on Polynuclear Aromatic Hydrocarbons. Garrigues, P. y M. Lamote (Eds.). Gordon & Breach Sciences Publishers. Bordeaux, France. 1264.

Chernova, T.J., Paropkari A.L., Pikovskii, Y.I. y T.A. Alekseeva. 1999. Hydrocarbons in the Bay of Bengal and Central Indian Basin bottom sediments: indicators of geochemical processes in the lithosphere. *Mar. Chem.* 66: 231-243.

Cheung, C.C.C., Zheng, G.J., Li, B.J. Richardson y P.K.S. Lam. 2001. Relationships between tissue concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons and antioxidative responses of marine mussels, *Perna viridis*. *Aquat. Tox.* 52 : 189-203.

Clark, R.B. 1997. *Marine Pollution.* Gookcraft (bath) Ltd, Great Britain, UK.23-59.

Colombo, J.C., Pelletier, E., Brochu, Ch., y M. Khalil. 1989. Determination of hydrocarbon sources using n-alkane and polyaromatic hydrocarbon distribution indexes. Case study: Rio de La Plata Estuary, Argentina. *Environ. Sci. Technol.*, 23 (7) : 888-894.

D'Adamo, R., Pelosi, S., Trotta P., y G. Sansone. 1997. Bioaccumulation and biomagnification of polycyclic aromatic hydrocarbons in aquatic organisms. *Mar. Chem.* 56: 45-49.

Daskalakis, K.D. y T. P. O'Connor. 1995. Distribution of chemical concentrations in US coastal and estuarine sediment. *Mar. Environ. Res.* 40 (4): 381-398.

Dastillung, M. y P. Albrecht. 1979. Molecular test for oil pollution in surface sediments. *Mar. Pollut. Bull.* 7: 13-15.

Denant, V. y A. Saliot, 1991. Biogeochemistry of organic matter at the freshwater/seawater interface in the Rhone delta, Mediterranean sea, France. *En: Diversity of environmental Biogeochemistry. Developments in Geochemistry 6.* Berthelin, J. (Ed.) Elsevier. Amsterdam, Holland.

Di Toro, D.M., Zarba, C.S., Hansen, D.J., Berry, W.J., Schwartz, R.C., Cowan, C.E., Pavlou, S.P., Allen, H.E., Thomas, N.A. y P.R. Paquin. 1991. Technical basis for establishing sediment quality criteria for nonionic organic chemicals using equilibrium partitioning: Annual review. *Environ. Tox. Chem.* 10: 1541-1583.

Farrington, J.W., Goldberg, E.D., Risebrough, R.W., Martin, J.H. y V. T. Bowen. 1983. U.S. "Mussel Watch" 1976-1978: An overview of the trace-metal, DDE, PCB, Hydrocarbon, and artificial radionuclide data. *Environ. Sci. & Technol.* 17 : 490-496.

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

Foster, G. y D.A. Wright. 1988. Unsubstituted polynuclear aromatic hydrocarbons in sediments, clams, and clam worms, from Chesapeake Bay. *Mar. Pollut. Bull.* 19 :459-465.

Fisher, W.S., Oliver, L.M., Winstead, J.T. y E.R. Long. 2000. A survey of oysters *Crassostrea virginica* from Tampa Bay, Florida: associations of internal defense measurements with contaminant burdens. *Aquat. Toxicol.* 51: 115-138.

Gaudette, HE., Flight, WR., Toner, L., y Folger. 1974. An inexpensive titration method for the determination of the organic carbon in recent sediments. *J. Sediment. Petrol.*, 44 (1): 249-253.

Glegg, G.A. y S:J. Rowland. 1996. The Braer oil spill – hydrocarbon concentrations in intertidal organism. *Mar. Pollut. Bull.* 32: 486-492.

Gogou, A., Bouloubassi, I. y E.G. Stephanou. 2000. Marine organic geochemistry of the Eastern Mediterranean: 1. Aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in Cretan Sea surficial sediments. *Mar. Chem.* 68: 265-282.

Gold-Bouchot, G., Zavala-Coral, M., Zapata-Pérez, O. y V. Ceja-Moreno. 1997. Hydrocarbon concentrations in oysters (*Crassostrea virginica*) and recent sediments from three coastal lagoons in Tabasco, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 59 : 430-437.

González-Estrada, C. 1998. Evaluación de los niveles de hidrocarburos alifáticos y aromáticos policíclicos en sedimentos recientes de la costa occidental de Baja California, Méx. Tesis de Maestría. ICMYL, UNAM. 100 pp.

Gremm, T.J. y F.H. Frimmel. 1994. Application of liquid chromatography-particle beam mass spectrometry and gas chromatography-mass spectrometry for the identification of metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Chromatographia* 38 : 781-788.

Grimmer, G. 1993. Revelance of polycyclic aromatic hydrocarbons as environmental carcinogens. In: Garrigues, P. & Lamotte, M. (eds.). *Polycyclic aromatic compounds synthesis, properties, analitical measurements, ocurrence and biological effects*, Vol. 3. Gordon & Breach Science Publishers SA, Amsterdam, p. 1259.

Gunnarsson, J.S., Schaanning, M.T, Hylland, K., Sköld, M., Eriksen, D.O, Berge, J.A. y J. Skei. 1996. Interactions between eutrophication and contaminants. III. Mobilization and bioaccumulation of Benzo(a)pyrene from marine sediments. *Mar. Pollut. Bull.* 33 (1-6): 80-89.

Gunther, A.J., Davis, J.A., Hardin, D.D., Gold, J., Bell, D., Crick, J.R., Scelfo, G.M., Sericano, J. y M. Stephenson. 1999. Long-term bioaccumulation monitoring with transplanted bivalves in the San Francisco Estuary. *Mar. Pollut. Bull.* 38 (3) : 170-181.

Gustafson, K.E. y R.M. Dickhut. 1997. Particle/Gas concentrations and distributions of PAHs in the atmosphere of southern Chesapeake Bay. *Environ. Sci. Technol.* 31 : 140-147.

Gutiérrez, G., E.A., Villaescusa C., J.A., Flores M.G. y J.L. Sericano. 1996. Organic contaminants in sediments from San Quintín Bay, Baja California, México. *Mar. Pollut. Bull.* 32 (4): 378-381

Guzella, L. y A. De Paolis. 1994. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of the Adriatic Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 28 : 159-165.

Heit, M. 1985. The relationship of a coal-fired power plant to the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in the sediment of Cayuga Lake. *Energy Re.* 12 (3): 69.

Holland, P.T., Hickey, C.W., Roper, D.S. y T.M. Trower. 1993. Variability of organic contaminants in inter-tidal sandflat sediments from Manukau Harbour, New Zealand. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 25 : 456-463.

Ho, K., Patton, L., Latimer, J.S., Pruell, R.J., Pelletier, M., McKinney, R. y S. Jayaraman. 1999. The chemistry and toxicity of sediment affected by oil from the North Cape spilled into Rhode Island Sound. *Mar. Pollut. Bull.* 38 (4): 314-323.

Hoong Gin, K.Y., Kamrul Huda, M.D., Kiat Lim, W. y P. Tkalic. 2001. An oil spill-food chain interaction model for coastal waters. *Mar. Pollut. Bull.* 42 (7) : 590-597.

Huntley, S.L., Bonnevie, N.L. y R.J. Wenning. 1995. Polycyclic aromatic hydrocarbon and petroleum hydrocarbon contamination in sediment from the Newark Ba estuary, New Jersey. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 28 : 93-107.

IARC. 1983. *IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. Vol.32: Polynuclear aromatic compounds: Part 1. Chemical, environmental and experimental data.* Lyons, France: World Health Organization, International Agency for –Research on Cancer, 155-161, 225-237.

INEGI. 1994. Estados Unidos Mexicanos, Panorama Agropecuario VII Censo Agropecuario 1991, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Aguascalientes, México, 191 pp.

INEGI. 1996. Censo 95 de Población y Vivienda, Estados Unidos Mexicanos, Resultados preliminares, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Aguascalientes, México, 301 pp.

INEGI. 1997. Puertos y Terminales por tipo de tráfico y Actividad preponderante. www.inegi.gob.mx/economia/español/infraestructura/tra_04.html

Jaffé, R., Leal, I., Alvarado, J., Gardinalis P, y J. Sericano (1995) Pollution effects of the Tuy river on the Central Venezuelan Coast: Anthropogenic organic compounds and heavy metals in *Tivela mactroidea*. *Mar. Pollut. Bull.* 30 (12): 820-825.

Johnson, A.C., Larsen, P.F., Gadbois, D.F. y A.W. Humason. 1985. The distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the surficial sediments of Penobscot Bay (Maine, USA) in relation to possible sources and to other sites worldwide. *Mar. Environ. Res.* 15 : 1-16.

Kavouras, I.G., Lawrence J., Koutrakis P., Stephanou, E.G. y P. Oyola. 1999. Measurement of particulate aliphatic and polynuclear aromatic hydrocarbons in Santiago de Chile: source reconciliation and evaluation of sampling artifacts. *Atmos. Environ.* 33 : 4977-4986.

Keen, A.M. 1971. Sea shells of Tropical West America: *Marine mollusks from Baja California to Perú*. Stanford Univ. Press, Stanford, 1064 pp.

Kennicutt, M.C. y Brooks, J.M. 1990. Unusual normal alkane distributions in offshore New Zeland sediments. *Org. Geochem. 15* : 193-197.

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

Kennish, J.M. 1992. *Ecology of Estuaries: Anthropogenic Effects*. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. 133-181.

Kim, Y., Powell, E.N., Wade, T.L., Presley, B.J. y J.M. Brooks. 1999. Influence of climate change on interannual variation in contaminant body burden in Gulf of Mexico oysters. *Mar. Environ. Res. 48* : 459-488.

Kira, S, Katsuse T, Nogami Y, y T Ito (2000) Measurement of Benzo(a)pyrene in sea water and in mussels in the Seto Inland Sea, Japan. *Bull. Environ. Contam. Toxicol. 65* : 631-637.

Laflamme, R.E. y R.A. Hites. 1978. The global distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in recent sediments. *Geochem. Cosmochim. Acta 42* : 289-303.

Koh, C.-H., Kim, G.B., Maruya, K.A., Anderson, J.W., Jones, J.M. y S.-G. Kang. Induction of the P450 reporter gene system bioassay by Polycyclic aromatic hydrocarbons in Ulsan Bay (South Korea) sediments. *Environ. Pollut. 111* : 437-445.

Lankford, R.R. 1977. Coastal lagoons of Mexico. Their origin and classification. *In: Estuarine Processes*, Ed. Wiley, M. Academic Press, New York, 182-215.

Larsen, B. y A. Jensen. 1989. Evaluation of the sensitivity of sediment stations in pollution monitoring. *Mar. Pollut. Bull. 30* : 834-839.

Lee R.F. y D.S. Page. 1997. Petroleum hydrocarbons and their effects in subtidal regions after major oil spills. *Mar. Pollut. Bull. 34* (11) : 928-940.

Lipiatou, E. Y A. Saliot. 1991. Fluxes and transport of anthropogenic and natural polycyclic aromatic hydrocarbons in the western Mediterranean Sea. *Mar. Chem. 32* : 51-71.

Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L. y F.D. Calder. 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environ. Manag. 19*(1) : 81-97.

Lopes, C.F., Milanelli, J.C.C., Prospero, V.A., Zanardi, E. y A.C. Truzzi. 1997. Coastal monitoring program of Sao Sebastiao Channel: assessing the effects of 'Tebar V' oil spill on rocky shore populations. *Mar. Pollut. Bull. 34* (11) : 923-927.

López-Veneroni, D., De La Lanza, G. y A.V. Botello. 1999. Hydrocarbons in surface sediments of the Mexican Tropical Pacific Ocean. *Rev. Int. Contam. Ambien.* 15 (2) : 85-93.

Mackay, D. y A. Fraser. 2000. Bioaccumulation of persistent organic chemicals: mechanisms and models. *Environ. Pollut.* 110 : 375-391.

MacKay, D., Ying, S.W. y D.Ch. Ma. 1992. Illustrated handbook of physical-chemical properties and environmental fate for organic chemicals. Vol. II. Lewis Publishers. Michigan, U.S.A. 1-233.

Mallet, L., Heros, M., y J. Brisou. 1972. Biosynthesis and bioregression of carcinogenic polybenzene hydrocarbons of the benzo-3,4 pyrene type, taken as controls at the expense of lipids. pp. 177-180. In: *Pollution des Milieux vitaux par les Hydrocarbures Polybenzeniques du Type Benzo-3,4-pyrene*. L. Mallet (Ed.) Paris: Librairie Maloine.

Mancha, R., Díaz, G. y A. Arese. 1997. Prediction of bioaccumulation potential of some aromatic hydrocarbons in indicator species of ecotoxicity. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 59 : 422-429.

Menzie, C.A., Potocki, B.B. y J. Santodonato. 1992. Exposure to carcinogenic PAHs in the environment. *Environ. Sci. Technol.* 26 :1278-1284.

Micic, M., Bihari, N., Jaksic, Z., Müller, W.E.G. y R. Batel. 2002. DNA damage and apoptosis in the mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Mar. Environ. Res.* 53 : 243-262.

Michel, X., Salaün, J.P., Galgani, F., y J.F. Narbonne. 1994. Benzo(a)pyrene hidroxylase activity in the marine mussel *Mytilus galloprovincialis*: A potential marker of contamination by polycyclic aromatic hydrocarbon-type compounds. *Mar. Environ. Res.* 38 : 257-273.

Miles C.J. y J.J. Delfino. 1999. Priority pollutant polycyclic aromatic hydrocarbons in Florida sediments. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 63 : 226-234.

Myers, M.S., Johnson, L.L., Olson, O.P., Stehr, C.M., Horness, B.H., Collier, T.K. y B.B. McCain. 1998. Toxicopathic hepatic lesions as biomarkers of chemical contaminant exposure and effects in marine bottomfish species from the Northeast and Pacific Coasts, USA. *Mar. Pollut. Bull.* 37 (1-2) : 92-113.

Munoz, D., Guilliano, M., Doumenq, P., Jacquot, F., Scherrer, P. y G. Mille. 1997. Long term evolution of petroleum biomarkers in mangrove soil (Guadeloupe). *Mar. Polut. Bull.* 34 (11) : 868-874.

Murray, A.P., Richardson, B.J., y C.F. Gibbs. 1991. Bioconcentration factors for petroleum hydrocarbons, PAHs, LABs and biogenic hydrocarbons in the blue mussel. *Mar. Pollut. Bull.* 22 : 595-603.

National Research Council (NRC). 1985. Oil in the Sea. Inputs, fates and effects. National Academy press. Washington D.C.

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

Noreña-Barroso, E., Zapata-Pérez, O., Ceja-Moreno, V. y G. Gold-Bouchot. 1998. Hydrocarbon and organochlorine residues concentrations in sediments from Bay of Chetumal, México. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 61 : 80-87.

Noreña-Barroso, E., Gold-Bouchot, G., Zapata-Perez, O. y J. L. Sericano. 1999. Polynuclear aromatic hydrocarbons in American Oysters *Crassostrea virginica* from the Terminos Lagoon, Campeche, Mexico. *Mar. Pollut. Bull.* 38 (8) : 637-645.

Notar, M., Leskovsek, H. y J. Faganeli. 2001. Composition, distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of the Gulf of Trieste, Northern Adriatic Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 42 (1) :36-44.

O'Connor, T.P. 1998. The NOAA National status and trends program. *Mar. Pollut. Bull.* 37 (1-2): 3-5.

Okay, O.S., Donkin P., Peters, L.D. y D.R. Livingstone. 2000. The role of algae (*Isochrysis galbana*) enrichment on the bioaccumulation of benzo(a)pyrene and its effects on the blue mussel *Mytilus edulis*. *Environ. Pollut.* 110 : 103-113

Páez-Osuna, F. 2001. La interacción camaronicultura y medio ambiente. p. 14-21. *En: Camaronicultura y medio ambiente*. Páez-Osuna, F. (Ed). Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Programa Universitario de Alimentos y El Colegio de Sinaloa. 450p.

Page, D.S., Boehm, P.D., Douglas, G.S., Bence, A.E., Burns, W.A. y P.J. Mankiewicz. 1999. Pyrogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments record past human activity : A case study in Prince William Sound, Alaska. *Mar. Pollut. Bull.* 38(4): 247-260.

Pereira-Netto, A.D., Barreto, R.P., Moreira, J.C. y G. Arbilla. 2001. Preliminary comparison of PAH in total suspended particulate samples taken at Nikerói and Rio de Janeiro Cities, Brazil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 66 : 36-43

Perminova, I.V., Grechishcheva, Y.U. y V.S. Petrosyan. 1999. Relationships between structure an binding affinity of humic substances for polycyclic aromatic hydrocarbons: Relevance of Molecular Descriptors. *Environ. Sci. Technol.* 33 : 3781-3787.

Pica-Granados, Y., Botello, A.V. y S.F.Villanueva. 1994. La contaminación por actividades petroleras en el Puerto de Salina Cruz, Oaxaca (1990-1991). Serie Grandes Temas de la Hidrobiología: Los Sistemas Litorales. UAMI, UNAM. (2): 127-140.

Piccardo, M.T., Coradeghini R. y F. Valerio. 2001. Polycyclic aromatic hydrocarbon pollution in native and caged mussels. *Mar. Pollut. Bull.* 42 (10) : 951-956.

Ponce-Vélez, G. 1995. Evaluación de los niveles de metales pesados e hidrocarburos aromáticos polinucleares en la zona costera del Golfo de México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. División de Estudios de Posgrado. UNAM. 157pp.

Prahl, F.G. y R. Carpenter. 1983. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH)-phase associations in Washington coastal sediment. *Geochim. Cosmochim. Acta* 47: 1013-1023.

Roux, C. y P. Garrigues. 1993. Modelisation of the mechanisms of PAH contamination of marine coastal sediments from the Mediterranean Sea. *In: Pol. Arom. Comp. (sup. Vol. 3): Synthesis, properties, analytical measurements, occurrence and biological effects.* P. Garrigues et M. Lamotte Eds., G.&B. Science Publishers, 443-450.

Readman, J. W., Mantoura, R. F. C. y M. M. Rhead. 1987. A record of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) pollution obtained from accreting sediments of the Tamar Estuary, U. K.: Evidence for non-equilibrium behaviour of PAH. *Sci. Total. Environ.* 66 : 73-94.

Rogge, W.F., Hildemann, L.M., Mazurek, M.A., Cass, G.R. y B.R.T. Simoneit. 1993. Sources of fine organic aerosol. Noncatalyst and catalyst-equipped automobiles and heavy-duty diesel trucks. *Environ. Sci. Technol.* 27 : 636-651.

Santschi, P.H., Presley, B.J., Wade, T.L., García-Romero, B. y M. Baskaran. 2001. Historical contamination of PAHs, PCBs, DDTs, and heavy metals in Mississippi River Delta, Galveston Bay and Tampa Bay sediment cores. *Mar. Environ. Res.* 52: 51-79.

Schlenk, D. 1999. Necessity of defining biomarkers for use in ecological risk assessments. *Mar. Pollut. Bull.* 39 (1-12), 48-53.

Sericano, J.L., Wade, T.L., Jackson, T.J., Brooks, J.M., Tripp, B.W., Farrington, J.W., Mee, L.D., Readman, J.W., Billeneuve, J.-P y E.D. Goldberg. 1995. Trace organic contamination in the Americas: An overview of the US National Status & Trends and the International 'Mussel Watch' programmes. *Mar. Pollut. Bull.* 31 (4-12): 214-225.

Sharma, V.K., Rhudy, K., Brooks, R., Hollyfield, S. y F.G. Vazquez. 1997. Petroleum hydrocarbons in sediments of upper Laguna Madre. *Mar. Pollut. Bull.* 34(4): 229-234.

Schmeltz, I., y D. Hoffmann, 1976. Formation of polynuclear aromatic hydrocarbon from combustion of organic matter. pp. 225-240. *In Carcinogenesis A comprehensive survey. Vol. 1. Polynuclear Aromatic Hydrocarbons. Chemistry, Metabolism, and Carcinogenesis.* R. Freudenthal y P. W. Jones (eds.), New York: Raven Press.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. 1997. Coordinación General de Puertos y Marina Mercante. Los Puertos Mexicanos en Cifras, 1991-1997. www.inegi.gob.mx/economia/espanol/infraestructura/tra_04.html

Secretaría de Energía. 2001. www.energia.gob.mx/energia/generación.htm

Short, J.W., Kvendolven, K.A., Carlson, P.R., Hostettler, F.D., Rosenbauer, R.J. y B.A. Wright. 1999. Natural hydrocarbon background in benthic sediments of Prince William Sound, Alaska: oil vs coal. *Environ. Sci. Technol.* 33 : 34-42.

Sicre, M.A., Marty, J.C., Saliot, A., Aparicio, X., Grimalt, J. y J. Albaigés. 1987. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in different sized aerosols over the Mediterranean Sea: occurrence and origin. *Atmos. Environ.* 21 : 2247-2259.

Soclo, H.H., Garrigues, P.H. y M. Ewald. 2000. Origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal marine sediments: Case studies in Cotonou (Benin) and Aquitaine (France) areas. *Mar. Pollut. Bull.* 40 (5) : 387-396.

Steinert, S.A., Streib-Montee, R., Leather, J.M: y D.B. Chadwick. 1998. DNA damage in mussels at sites in San Diego Bay. *Mutation Research* 399 : 65-85.

Storelli, M.M. y G.O. Marcotrigiano. 2000. Polycyclic aromatic hydrocarbon distributions in sediments from the Mar Piccolo, Ionian Sea, Italy. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 65 : 537-544.

Suess, M. J. 1976. The environmental load and cycle of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Sci. Tot. Environ.* 6 : 239-250.

Tam, N.F.Y., Ke, L., Wang X.H. y Y.S. Wong. 2001. Contamination of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of mangrove swamps. *Environ. Poll.* 114 : 255-263.

Thompson, R.E., Voit, E.O. y G.I. Scott. 2000. A probabilistic model for predicting distributions of PAH ratios between oysters and marine sediments. *Ecological Modelling* 135 : 231-242.

UNEP/IAEA/FAO/IOC. 1993. Guidelines for monitoring chemical contaminants in the sea using marine organisms. Reference method No. 6. United Nations Experts Pollution (UNEP).

UNEP/IOC/IAEA. 1992. Determination of petroleum hydrocarbons in sediments. Reference method No. 20. United Nations Experts Pollution (UNEP).

UNESCO, 1976. Guide to operational procedures for the IGOS pilot project on marine pollution (petroleum). Monitoring Manual and guides No. 7.

U.S., EPA Environmental Protection Agency. 1990. Compilation of E.P.A.'s sampling and analysis methods. Compilado por Müeler, W. y D.L. Smith en: Keith, I.D. (Eds.) EUA. 803 p.

Valerio F., Piccardo M.T. y E. Grasso. 2000. Precision of Benzo(a)pyrene (BaP) Analysis in mussel tissue. *Mar. Pollut. Bull.* 40 (6): 551-554.

Villegas-Jiménez, A., Macías-Zamora, J.V. y J.A. Villaescusa-Celaya. 1996. Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in surficial sediments of Bahía de Todos Santos, B.C. *Hidrobiológica* 6 (1-2): 25-32.

Volkman, J.K., Holdsworth, D.F., Neill, G.P. y H.J. Bavor Jr. 1992. Identification of natural, antropogenic and petroleum hydrocarbons in aquatic sediments. *Sci. Tot. Environ.* 112 : 203-209.

Wade, T.L., Atlas, E.L., Brooks, J.M., Kennicutt II. M.C., Fox, R.G., Sericano, J., García-Romero, B. y D. DeFreitas. 1988. NOAA Gulf of Mexico status and trends program: Trace organic contaminant distribution in sediments and oysters. *Estuaries* 11 : 171-179.

Witt, G. 1995. Polycyclic aromatic hydrocarbons in water and sediment of the Baltic Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 31 : 237-248.

Zanardi, E., Bicego, M.C. y R.R. Weber. 1997. Distribution and origin of hydrocarbons in water and sediment in Sao Sebastiao, SP, Brazil. *Mar. Pollut. Bull.* 38 (4) : 261-267.

Zhou, S., Ackman, R.G. y J. Parsons. 1996. Very long-chain aliphatic hydrocarbons in lipids of mussels (*Mytilus edulis*) suspended in the water column near petroleum operations off Sable Island, Nova Scotia, Canada. *Mar. Biol.* 126 : 499-507.

PAH Levels in Bivalve Mollusks from the Mexican Subtropical Pacific

A. V. Botello, C. García-Ruelas, G. Ponce-Vélez

Institute for Marine Sciences and Limnology, Marine Pollution Laboratory, UNAM,
Post Office Box 70-310, México 04510 D.F. Mexico

Received: 11 June 2001/Accepted: 27 April 2002

Marine and coastal environments specially coastal lagoons receive a large variety of pollutants derived from anthropogenic activities (NOAA 1998). Rivers are one of the main transport mechanisms of these pollutants from terrestrial environments to the coasts (Witt 1995). On the other hand, the quality of aquatic environments would be assessed through the analysis of organisms considered indicators of pollution, such as mussels and other bivalve mollusks (Pereira et al. 1992; Jaffé et al. 1995; Lauenstein 1995; Beliaeff et al. 1997).

Bivalve organisms can also be used as indicators to predict exposure, effects, and susceptibility due to the presence of anthropogenic substances (Sericano et al. 1995; Cantillo et al. 1997; Schlenk 1999). They can bioaccumulate a large variety of pollutants in levels higher than those present in surrounding water or sediments, and their behavior can be recorded in short periods of time (Baumard et al. 1998; Solé et al. 2000).

The amount of organic compounds synthesized by humans are well above 1.8 millions and production of new compounds increases each year. Its global production is about of 100 to 200 million tons per year. These compounds include the PAH and can be introduced into aquatic environments through atmospheric transport (Page et al. 1999), sprays, water filtration into the ground, wastewater (Valerio et al. 2000) and pluvial discharges (Bidleman et al. 1990), which, once transported are subjected to transformation and bioaccumulation processes (Zhou et al. 1996).

The environmental importance of PAH resides in their mutagenic and carcinogenic properties, mainly benzo(a)pyrene (Grimmer 1993).

The objective of this study was to evaluate the baseline levels of PAH in coastal systems from the Mexican Subtropical Pacific by using the most abundant bivalve species of this region as biological indicators.

MATERIALS AND METHODS

The study area is located in the coastal zone of the Mexican Pacific, from 28°00'

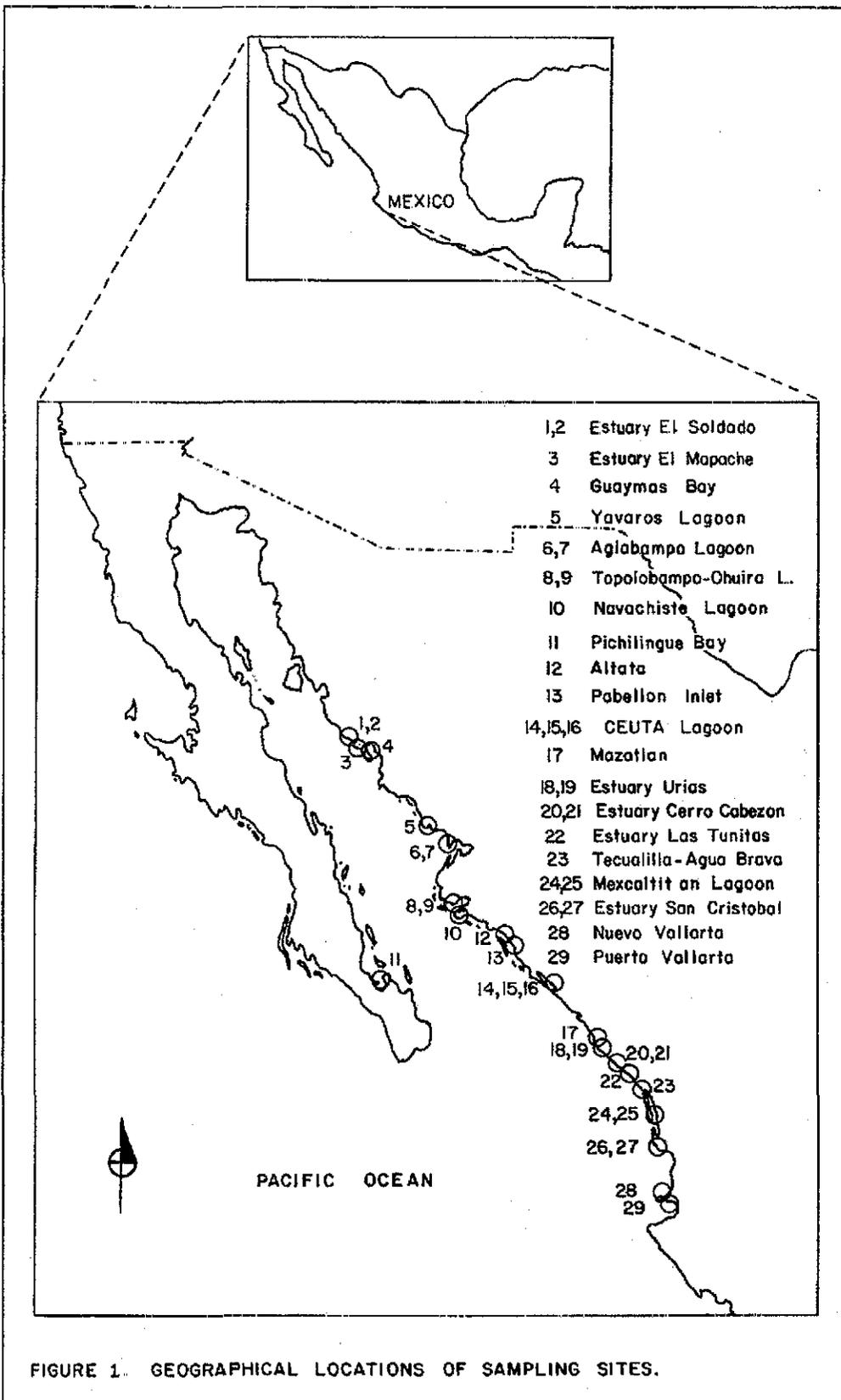
N latitude and 111°05' W longitude to 19°12' N latitude and 104°50' W longitude (Figure 1). Bivalves were sampled in 29 stations during May 1996, in the region from Guaymas, Sonora, to Puerto Vallarta, Jalisco, Mexico. In each station, bivalves were collected manually and packed in aluminum foil, maintained in refrigeration. All samples were oven dried (50°C) and then macerated and homogenate. The analytical procedure for extraction and purification of PAH was carried out by the method of UNEP/IAEA/FAO/IOC (1993). Each set of 5 samples was accompanied by a blank. Five grams of dried tissue was soxhlet extracted with methanol (250mL) for 8 hr, then added KOH 0.7M (20mL) and tridistilled water and refluxed for 2 hr more. The extract containing saturated and aromatic fractions was purified by adsorption chromatography using glass columns (30cm long) packed with alumina and silica gel. The elution for the fraction 1 (saturated) was made with hexane (20mL); and the fraction 2 (aromatics) was eluted with 30mL of hexane:methylene chloride (9:1). The eluates were evaporated in a rotary flask to near 10 mL and then evaporated to near 3 mL under N₂ flow.

Separation of PAH was made by means of a Hewlett Packard gas chromatograph model 5890 equipped with capillary fused silica column (30 m x 0.25 mm ID x 0.25µm bonded 5%-phenylmethylsilicone). The temperature was programmed from 30 – 300°C with an increase of 4°C /min. Helium was used as carrier gas (flow 1 mL/min). Quantification and identification of PAH was by means of a standard mixture ("Chemical Service" PPH-10M) with 16 PAH: naphthalene (NA), acenaphthylene (AC), acenaphthene (ACE), fluorene (FL), phenanthrene (PHE), anthracene (AN), fluoranthene (FLU), pyrene (PY), benzo(a)anthracene (BA), chrysene (CR), benzo(b)fluoranthene (BbF), benzo(k)fluoranthene (BkF), benzo(a)pyrene (BP), indeno(1,2,3-cd)pyrene (IP), dibenzo(a,h)anthracene (DA), and benzo(g,h,i)perylene (BPE). The limit of detection was 0.01µg/g and recovery yields were up to 90%. The analytical performance of the method employed was accredited by the participation of the laboratory in an international intercomparison exercise conducted by the International Atomic Energy Agency (IAEA-140) for petroleum hydrocarbons (1997).

RESULTS AND DISCUSSION

A total of 16 individual constituents of PAH were determined in the 29 bivalve samples, pertaining to five species: *Crassostrea palmula*, *Crassostrea corteziensis*, *Crassostrea gigas*, *Crassostrea iridescens* and *Mytella strigata*. Mean concentration of PAH each species (Table 1) was as follows: *C. iridescens* (6.91µg/g) > *C. palmula* (6.47µg/g) > *M. strigata* (3.44µg/g) > *C. corteziensis* (2.16µg/g) > *C. gigas* (0.75µg/g); statistical differences not significant between species were observed (p>0.05).

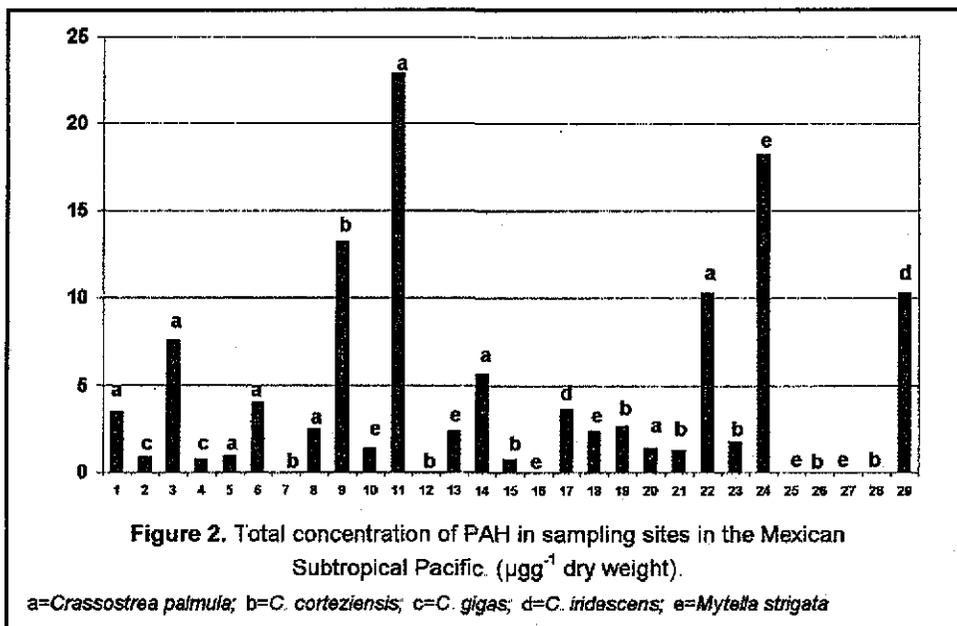
Figure 2 shows the total concentrations of PAH (ΣPAH) in each site covered by this study. It can be observed that the highest level was found in *C. palmula* with 22.86 µg/g at 11 site located in Pichilingue Bay at South Baja California; followed by *M. strigata* (18.16µg/g) at 24 site belonging Mexcaltitan, Nayarit; *C.*



ESTRATOS CON
 FALLA DE ORIGEN

Table 1 Mean concentrations of individual polycyclic aromatic hydrocarbons in bivalves from coastal systems of the Mexican Subtropical Pacific. ($\mu\text{g g}^{-1}$ dry weight)

COMPOUND	<i>Crassostrea palmula</i>	<i>Crassostrea corteziensis</i>	<i>Crassostrea gigas</i>	<i>Crassostrea iridescens</i>	<i>Mytella strigata</i>
COMPOUND AVERAGE					
NAPHTALENE	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
ACENAPHTHYLENE	<0.01	<0.01	<0.01	0.15	<0.01
ACENAPHTHENE	0.26	0.07	<0.01	0.14	<0.01
FLUORENE	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
PHENANTHRENE	0.19	<0.01	<0.01	0.80	<0.01
ANTHRACENE	0.21	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
FLUORANTHENE	0.64	0.08	<0.01	0.18	0.08
PYRENE	1.21	0.12	<0.01	0.21	0.20
BENZO(a)ANTHRACENE	0.38	<0.01	<0.01	0.19	0.15
CHRYSENE	0.28	<0.01	<0.01	0.18	0.18
BENZO(b)FLUORANTHENE	0.57	0.26	0.41	0.23	1.57
BENZO(k)FLUORANTHENE	1.55	1.41	0.34	2.48	<0.01
BENZO(a)PYRENE	0.36	<0.01	<0.01	2.07	0.26
INDENO(1,2,3-cd)PYRENE	0.65	<0.01	<0.01	<0.01	0.35
DIBENZO(a,h)ANTHRACENE	<0.01	0.21	<0.01	<0.01	0.22
BENZO(g,h,i)PERYLENE	0.17	<0.01	<0.01	0.25	0.43
MEAN LEVELS FROM COLECTED SITES BENCENIC RINGS					
2	6.47	2.17	0.75	6.91	3.44
3	0.58	0.16	<0.01	0.14	<0.01
4	3.14	0.24	<0.01	0.66	0.18
5	7.17	3.25	0.3	1.32	2.95
5	2.66	0.48	<0.01	1.17	2.21



FALLA DE ORIGEN

125

corteziensis (13.19 $\mu\text{g/g}$) at 9 site in Ohuira, Sinaloa; *C. iridescens* (10.24 μg) at 29 site in Puerto Vallarta, Jalisco; the rest of the samples showed levels below 10 $\mu\text{g/g}$.

C. iridescens is a marine specie associated to rocky substrates in sub-tidal areas. These specimens were collected in Puerto Vallarta (Jalisco) and in the Mazatlan Bay (Sinaloa), both ports have an intense marine traffic, large human settlements that include agroindustrial, fishery, and tourist activities, which are sources of PAH. On the other hand, *C. palmula* is a specie that lives associated to the roots of mangroves, where marine conditions predominate, in semi-enclosed water bodies of coastal lagoons and bays, whose hydrological conditions allow the residence time of PAH. The average level found in this specie (6.47 $\mu\text{g/g}$) is mainly due to activities as maintenance and washing of vessels which are common in Pichilingue locality, La Paz, BCS. The mussel, *M. strigata*, inhabits the muddy plains, and is associated to mangrove roots and shallow muddy slimes of the coastal lagoons. For this specie, the greatest concentration belonged to the locality of Mexcaltitan, a region considered to be a lacunar complex located in the state of Nayarit, and which can function as a pollutants trap.

In the five analyzed species, the PAH benzo(b)fluoranthene predominates, the highest average concentration was found in *M. strigata* with 1.57 $\mu\text{g/g}$, followed by *C. palmula* with 0.57 $\mu\text{g/g}$, whereas in the other three species levels below 0.42 $\mu\text{g/g}$ were recorded. Fluoranthene, pyrene, and benzo(k)fluoranthene were found in four of the five species. Chrysene, benzo(a)anthracene, benzo(a)pyrene and benzo(ghi)perylene were only found in *C. palmula*, *C. iridescens* and *M. strigata* (Table 1). It must be noted that in *C. gigas* only benzofluoranthenes were detected.

Considering the amount of benzene rings that constitute them, general distribution of PAH showed the following behavior: 4 > 5 > 3 > 2 (Table 1). This distribution suggests a mixed origin of the sources (pyrolysis and petrogenesis) from which the hydrocarbons are derived, i.e., coastal vegetation burning, industrial and urban drains and effluents from diverse types of vessels (Hong et al. 1995; Sherblom et al. 1995; Page et al. 1999). The PAH predominating in the five species of bivalve analyzed were as follows: benzo(k)fluoranthene (38%), benzo(b)fluoranthene (24%), pyrene (17%), benzo(a)pyrene (11%) and indeno(1,2,3,-cd)pyrene (10%).

Previous data reported in the Mussel Watch Program, indicated a range of concentrations for PAH of 0.1 to 0.6 $\mu\text{g/g}$ for oysters and mussels from the Pacific coast and the Gulf of Mexico (O'Connor, 1992; Lauenstein et al. 1995; Sericano et al. 1995; Cantillo et al. 1997). Indeed, Jaffé et al. (1995) reported mean concentrations of 0.04 $\mu\text{g/g}$ in the bivalve *Tivela mactroidea* from the Venezuelan littoral, where a high impact of oil activities is present.

Gold-Bouchot et al. (1997) established a range of concentrations of 0.01-0.24 $\mu\text{g/g}$ for *Crassostrea virginica*, in mexican areas of the Gulf of Mexico, and Jackson et al. (1994) reported a range of 0.21 to 0.35 $\mu\text{g/g}$ of PAH for the same

specie in the northern part of the Gulf of Mexico. In contrast, the concentrations of PAH determined in this study are higher than those found in previous published data, with values from 0.75 in *Crassostrea gigas* up to 6.9 μ g/g in *Crassostrea iridescens*, thus, indicating a high bioaccumulation process.

The presence and high concentrations of PAH in the organisms analyzed, indicate their bioavailability, and the fact to find a dominance of them with high molecular weights would indicate their fast sedimentation and later bioaccumulation by benthic species (Pereira et al. 1992; Baumard et al. 1998). In laboratory experiments, it has been observed that mollusks bivalves showed high bioconcentration to heavy PAH as benzo(a)anthracene with depuration rates of almost 30 days (D'Adamo et al. 1997).

The mollusks analyzed in this study are within the consumption habits of the Mexican market. Therefore a continuous surveillance as well as the establishment of the regulatory permissible limits for human consumption is indispensable not only in Mexico but throughout the world, since no international standards are available that limit the permissible concentration of these compounds in the marine organisms tissue.

Acknowledgments. This research was supported by grant from CONACyT Project No. 0185P-T. We thank Alicia Durán for her help drawing the map.

REFERENCES

- Baumard P, Budzinski H, Garrigues P, Sorbe JC, Burgeot T, Bellocq J (1998) Concentrations of PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) in various marine organisms in relation to those in sediments and to trophic level. *Mar Poll Bull* 36: 951-960
- Beliaeff B, O'Connor TP, Daskalakis DK, Smith PJ (1997) U.S. Mussel watch data from 1986 to 1994: Temporal trend detection at large spatial scales. *Environ Sci Technol* 3: 1411-1415
- Bidleman TF, Castleberry AA, Foreman W, Zaranski WT, Wall DW (1990) Petroleum hydrocarbons in the surface water of two estuaries in the southeastern United States. *Est Coastal Shelf Sci* 30: 91-109
- Cantillo AY, Lauenstein GG, O'Connor TP (1997) Mollusc and sediment contaminant levels and trends in South Florida coastal waters. *Mar Pollut Bull* 34: 511-521
- D'Adamo R, Pelosi S, Trotta P, Sansone G (1997) Bioaccumulation and Biomagnification of polycyclic aromatic hydrocarbons in aquatic organisms. *Mar Chem* 56: 45-49
- Gold-Bouchot G, Zavala-Coral M, Zapata-Pérez O, Ceja-Moreno V (1997) Hydrocarbon concentrations in oysters (*Crassostrea virginica*) and recent sediments from three coastal lagoons in Tabasco, Mexico. *Bull Environ Contam Toxicol* 59: 430-437
- Grimmer G (1993) Relevance of polycyclic aromatic hydrocarbons as environmental carcinogens. In: Garrigues P and Lamotte M (eds) Polycyclic aromatic compounds synthesis, properties, analytical measurements occurrence

- and biological effects, vol 3. Gordon and Breach Science Publishers SA, Amsterdam, p 1259
- Hong H, L Xu L, Zhang L, Chen JC, Wong YS, Wan TSM (1995) Environmental fate and chemistry of organic pollutants in the sediment of Xiamen and Victoria Harbours. *Mar Pollut Bull* 31: 229-236
- Jackson TJ, Wade TL, McDonald TJ, Wilkinson DL, Brooks JM (1994) Polynuclear aromatic hydrocarbon contaminants in oysters from the Gulf of Mexico (1986-1990). *Environ Pollut* 83: 291-298
- Jaffé R, Leal I, Alvarado J, Gardinalis P, Sericano J (1995) Pollution effects of the Tuy river on the Central Venezuelan Coast: Anthropogenic organic compounds and heavy metals in *Tivela mactroidea*. *Mar Pollut Bull* 30: 820-825
- Lauenstein GG (1995) Comparison of organic contaminants founding mussels and oysters from a current Mussel Watch Project with those from archived mollusk samples of the 1970s. *Mar Pollut Bull* 30: 826-833
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (1998) Chemical Contaminants in Oysters and Mussels by Tom O'Connor. NOAA's State of the Coast Report. Silver Spring, MD:NOAA
- O'Connor TP (1992) Recent trends in coastal environmental quality. Results from the first five years of the NOAA Mussel Watch project. NOAA Rockville, MD. 46pp
- Page DS, Boehm PD, Douglas GS, Bences AE, Burns WA, Mankiewicz PJ (1999) Pyrogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments record past human activity: A case study in Prince William Sound, Alaska. *Mar Pollut Bull* 38: 247-260
- Pereira WE, Hostettler FD, Rapp JB (1992) Bioaccumulation of hydrocarbons derived from terrestrial and anthropogenic sources in the Asian Clam, *Potamocorbula amurensis*, in San Francisco Bay Estuary. *Mar Pollut Bull* 24: 103-109
- Schlenk D (1999) Necessity of defining biomarkers for use in ecological risk assessments. *Mar Pollut Bull* 39: 48-53
- Sericano JL, Wade TL, Jackson TJ, Brooks JM, Tripp BW, Farrington JW, Mee LD, Readmann JW, JP Villeneuve, ED Goldberg (1995) Trace organic contamination in the Americas: An overview of the US National Status & Trends and the international "Mussel Watch" Programmes. *Mar Pollut Bull* 31: 214-225
- Sherblom PM, Kelly D, Pierce RH (1995) Baseline survey of pesticide and PAH concentrations from Sarasota Bay, Florida, USA. *Mar Pollut Bull* 30: 568-563
- Solé M, Porte C, Barceló D, Albaigés J (2000) Bivalves residue analysis for the assessment of coastal pollution in the Ebro Delta (NW Mediterranean). *Mar Pollut Bull* 40: 746-753
- UNEP/IAEA/FAO/IOC (1993) Guidelines for monitoring chemical contaminants in the sea using marine organisms. Reference method No. 6. United Nations Experts Pollution (UNEP)
- Valerio F, Piccardo MT, Grasso E (2000) Precision of Benzo(a)pyrene (BaP) Analysis in mussel tissue. *Mar Pollut Bull* 40: 551-554
- Witt G (1995) Polycyclic aromatic hydrocarbons in water and sediment of the Baltic Sea. *Mar Pollut Bull* 31: 237-248

Zhou JL, Fileman TW, Evans S, Donkin P, Fauzi RCM, Rowland SJ (1996)
Seasonal distribution of dissolved pesticides and polynuclear aromatic
hydrocarbons in the Humber Estuary and Humber Coastal Zone. Mar Pollut
Bull 32: 599-608