



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE SUCRE
ESCUELA DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HIDROCARBUROS
AROMÁTICOS POLICÍCLICOS EN LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES
DEL SACO DEL GOLFO DE CARIACO, ESTADO SUCRE, VENEZUELA.
(Modalidad: Investigación)

SURIMA DAKDOUK ORTIZ

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN QUÍMICA

CUMANÁ, 2009

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HIDROCARBUROS
AROMÁTICOS POLICÍCLICOS EN LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES
DEL SACO DEL GOLFO DE CARIACO, ESTADO SUCRE, VENEZUELA

APROBADO POR:

Profa. María Valentina Fuentes
(Asesor)

Profa. Haydelba D'Armas
(Jurado principal)

Prof. Gregorio Martínez
(Jurado principal)

DEDICATORIA

Al más especial de todos, a ti Dios porque hiciste realidad este sueño, por todo el amor con el que me rodeas y por ayudarme en tantos momentos.

A mi madre Ynes Ortiz, por todo su esfuerzo y dedicación para sacarnos adelante, por darme confianza y apoyo a lo largo de mi vida. Esta meta es tuya.

A mi abuela Melania Carrillo de Ortiz por quererme tanto, preocuparse por mí y por todas sus bendiciones.

A mis hermanas Samira y Abbir Dakdouk por hacerme reír, por consolarme, por apoyarme y porque en algún momento un granito de arena pusieron.

A mi mejor amiga Diana Gómez por brindarme cariño, comprensión y apoyo, dándome con ello, momentos muy gratos, por estar tan orgullosa de mí como yo de ella.

A mi sobrina Sofía Valentina, aunque todavía no puedes leer, un día vas a aprender y por eso también te dedico esta tesis, gracias por alegrarme.

A mi tía Edgline Ortiz por estar pendiente de mi y mis hermanas, y cuidarnos como una segunda madre.

A mi prima Emily Martínez, por siempre estar dispuesta a ayudarme en todo lo que necesité. Espero que esta tesis te sirva de ejemplo y en el futuro poder ayudarte en la culminación de tus metas.

A todos mis tíos, primos y demás familiares porque contribuyeron positivamente para llevar a cabo esta jornada.

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Química de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre, por haber contribuido en mi formación académica. Al departamento de Oceanografía del instituto Oceanográfico de Venezuela y al departamento de Química Analítica de la Universidad Central de Venezuela por proporcionar sus instalaciones para la realización de las mediciones requeridas en esta tesis.

A mi asesora María Valentina Fuentes por sus consejos, apoyo y por brindarme todos sus conocimientos. De igual forma la Dra. Luisa Rojas de Astudillo por sus relevantes aportes, críticas, comentarios y sugerencias durante el desarrollo de esta investigación. A los doctores Andrés Escalona y Armando Ramírez por su desinteresada colaboración y asistencia profesional al poner a disposición la instrumentación necesaria para la realización de esta investigación y a la Dra. Haydelba D'Armas por sus valiosos consejos para la realización de esta tesis.

A mis padres Ynes Ortiz y Abbas Dakdouk, y a mis abuelos Melania Carrillo y Francisco Ortiz, pilares fundamentales en mi vida, dignos de ejemplo de trabajo y constancia, quienes han brindado todo el apoyo necesario para alcanzar mis metas y sueños, son a ellos a quien les debo todo. Los quiero mucho y gracias. De igual forma a mis tíos y tías: Imarys Ortiz, Aida Betancourt, María Marcano, Cesar Ortiz, William Ortiz, Emilio Martínez y Edgline Ortiz.

A mis mejores amigas Diana Gómez y Rosana Gómez que siempre están, estuvieron y seguirán estando, brindándome cariño y soporte y a mis amigos universitarios: Zenaida Barroyeta, Karina Marín, Haidetty Villarroel, Felitza Guerra, Pablo Guzmán, Luis Malavé y Frederys Hernández. Les agradezco con toda mi alma el haber llegado a mi vida y el compartir momentos agradables y tristes, los cuales me ayudaron a crecer. Los quiero mucho y siempre los llevaré en el corazón.

A mis compañeros y amigos del laboratorio de suelos Larenys Romero y Octavio Sanguinetti, siempre serán mis hermanitos de tierra. Gracias por acompañarme en tantos momentos y brindarme su apoyo cuando más lo necesitaba. Gracias por ser el último escalón para poder alcanzar este sueño. A mis vecinos porosos Pablo Ramírez, Celiana Turbay y Rossismar Morey, por hacer más divertidos mis últimos semestres en la UDO y a mi amigo y camarada José Augusto Bucarito, porque siempre pude contar contigo cuando lo necesitaba.

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	IV
LISTA DE TABLAS	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
RESUMEN	VIII
INTRODUCCIÓN	1
METODOLOGÍA	9
ÁREA DE MUESTREO	9
RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS	10
ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS	12
Textura	12
Carbono orgánico	13
Extracción de los HAPs	14
Purificación de los extractos	14
Caracterización y cuantificación de los HAPs	15
ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	16
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
TEXTURA	17
CARBONO ORGÁNICO	20
OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES CROMATOGRÁFICAS	22
Optimización de la fase móvil	25
Optimización de la detección	25
Patrón de referencia estándar SRM 1647e	27
HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAPs)	28
Naftaleno	29
Fenantreno	32
Antraceno	35
Fluoranteno	37
Pireno	40
Benzo[b]fluoranteno	42
HAPs TOTALES Y SUS FUENTES PROBABLES	44
CONCLUSIONES	49
BIBLIOGRAFÍA	50
APÉNDICE	56
HOJA DE METADATOS	62
APÉNDICE	

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Localidades de los muestreos realizados en el Saco del Golfo de Cariaco, Venezuela durante la temporada de lluvia.....	11
Tabla 2. Localidades de los muestreos realizados en el Saco del Golfo de Cariaco, Venezuela durante la temporada de sequía.....	11
Tabla 3. Condiciones de operación del HPLC con detector de fluorescencia	15
Tabla 4. Texturas de los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco para la temporada de lluvia	18
Tabla 5. Texturas de los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco para la temporada de sequía.....	18
Tabla 6. Gradiente de la fase móvil empleada para la determinación de los HAPs.....	25
Tabla 7. Longitudes de onda de excitación y emisión usadas en la detección de los HAPs por fluorescencia	26
Tabla 8. Tiempos de retención y límites de detección de los HAPs detectados en el patrón SRM 1647e	28
Tabla 9. Valores de las relaciones fenantreno/antraceno y fluoranteno/pireno en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, durante la temporada de lluvia.....	47
Tabla 10. Valores de las relaciones fenantreno/antraceno y fluoranteno/pireno en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, durante la temporada de sequía.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Hidrocarburos aromáticos policíclicos clasificados por la USEPA como contaminantes prioritarios	7
Figura 2. Región oriental del Golfo de Cariaco mostrando la ubicación de las estaciones para el presente estudio (Velásquez, 2005).	10
Figura 3. Draga Diez Laffont de 0,02m ² de área (Velásquez, 2005).....	12
Figura 4. Densímetro Bouyoucos.....	13
Figura 5. Porcentajes de carbono orgánico total en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco durante las temporadas de lluvia y sequía.	21
Figura 6. Cromatograma de una mezcla patrón de naftaleno y antraceno, obtenido durante la optimización de las condiciones cromatográficas.....	23
Figura 7. Cromatograma de la estación 1 (lluvia), obtenido durante la optimización de las condiciones cromatográficas	24
Figura 8. Cromatograma del extracto de la estación 2 (lluvia). A) sin purificar B) purificado con la mini columna cromatográfica de alúmina	24
Figura 9. Cromatograma de una de las diluciones del patrón SRM 1647e detectado por fluorescencia	27
Figura 10. Distribución de naftaleno en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, durante las temporadas de lluvia y sequía.	31
Figura 11. Distribución de fenantreno en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, durante las temporadas de lluvia y sequía.....	34
Figura 12. Distribución de antraceno en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, durante las temporadas de lluvia y sequía.....	36
Figura 13. Distribución de fluoranteno en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, durante las temporadas de lluvia y sequía.....	38
Figura 14. Distribución de pireno en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, durante las temporadas de lluvia y sequía.....	41
Figura 15. Distribución de benzo[b]fluoranteno en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, durante las temporadas de lluvia y sequía.	43
Figura 16. Distribución de los HAPs totales en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, durante las temporadas de lluvia y sequía. .	45

RESUMEN

En el presente trabajo fue determinado el contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, en 12 estaciones y durante las temporadas de lluvia (junio 2007) y sequía (abril 2008). Para la extracción de los HAPs fue empleada la técnica de ultrasonido, mientras que para la caracterización y cuantificación de los mismos, se usó HPLC con detector de fluorescencia, tomando como material de referencia el SRM 1647e, el cual contiene los 16 HAPs considerados por la EPA como contaminantes prioritarios; sin embargo, sólo 6 de éstos fueron detectados en las muestras. Los resultados de textura obtenidos en los sedimentos del Saco los definen como areno-limosos en su mayoría, sobre todo en la zona norte del área de estudio, mientras que en la zona central sedimentos limo-arenosos, obteniéndose mayor porcentaje de carbono orgánico en los últimos. Los resultados obtenidos para las concentraciones de los HAPs asociados al sedimento demuestran la presencia mayoritaria del fluoranteno, seguido del fenantreno, naftaleno, pireno, antraceno y benzo[b]fluoranteno. Según los análisis de varianza realizados a cada uno de los HAPs, se demostró que no había diferencias significativas entre las concentraciones encontradas en las dos temporadas, con excepción del fenantreno, del cual se encontraron concentraciones más altas durante la época de sequía. Sin embargo, según el criterio de calidad estándar de los sedimentos, ninguno superó el límite establecido para sedimentos no contaminados y sin efectos adversos en los recursos biológicos.

INTRODUCCIÓN

El ambiente está sujeto a una creciente cantidad de sustancias contaminantes, naturales y antropogénicas, que pueden producir efectos adversos en el ecosistema (Mastrángelo *et al.*, 2005). Muchas de ellas (como elementos radiactivos y metales pesados) se encuentran naturalmente en suelos, agua, plantas y animales. Por tanto, es importante conocer sus concentraciones, sus flujos naturales y el incremento generado por las actividades humanas. Estos contaminantes pueden ser tomados por los organismos directamente, por absorción o por ingestión de partículas, y pueden ser transportados a niveles más altos en la cadena trófica (Stellman y McCan, 1998).

En el medio marino, los contaminantes pueden estar en la columna de agua, en disolución o adsorbidos a las partículas. Muchos de ellos tienen baja solubilidad en agua y alta afinidad por las partículas y pueden alcanzar el fondo del mar e allí incorporarse a los sedimentos marinos (Singh *et al.*, 1999). De esta manera, los sedimentos constituyen una matriz integradora, en el tiempo, de los cambios químicos y equilibrios de solubilidad de los compuestos orgánicos e inorgánicos, contenidos en la columna de agua. La adsorción de compuestos orgánicos a partículas, la formación de complejos y/o la formación de precipitados, son mecanismos de transferencias de compuestos químicos a los sedimentos (Rudolph *et al.*, 2002).

Las partículas insolubles de material no solidificado de los sedimentos marinos, llevado al fondo de los mares y océanos por los agentes de transporte, contienen, además, acumulaciones de minerales detríticos y precipitados químicamente, junto con sustancias de origen orgánico e

inorgánico, naturales y/o antropogénicas. Ellos pueden actuar como portadores y posibles fuentes de contaminación de los medios ambientes acuáticos, porque actúan como sumideros intermedios y finales para muchos contaminantes. Al producirse removilizaciones, especialmente de sustancias orgánicas, parte de los contaminantes pueden pasar a la biota (Pino, 2002).

La presencia de sedimentos contaminados en ambientes acuáticos, es un hecho constatado a nivel mundial. Esta contaminación es provocada tanto por los vertidos incontrolados desde las industrias como por la utilización de productos químicos (pesticidas, plaguicidas, disolventes industriales, colorantes, plastificantes, agentes tensioactivos) y muchas otras moléculas orgánicas complejas que llegaran a los sedimentos una vez que son transportados desde diversas zonas por las aguas (González *et al.*, 2006). También, están presentes en ellos, los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) procedentes, entre otras fuentes, de la combustión de los combustibles fósiles. Todos ellos son motivo de preocupación por sus efectos potenciales sobre el medio ambiente y, en particular, sobre la salud humana (Villar, 2004). Muchos esfuerzos de protección ambiental reconocen a los sedimentos como una porción crítica de los ecosistemas acuáticos y requieren de su evaluación para las actividades de dragado y su remediación (González *et al.*, 2006). Por tanto, el estudio de los sedimentos marinos es uno de los tópicos más importantes dentro de la disciplina oceanográfica y de considerable interés en las investigaciones biogeoquímicas (Bonilla y Lin, 1979)

Los HAPs son un grupo de compuestos orgánicos que consisten en moléculas con dos o más anillos aromáticos fusionados, alto grado de insaturación, y gran cantidad de electrones deslocalizados (Ping y Panuwat, 2006). Los sistemas conjugados de orbitales π son los responsables de su

estabilidad química, son sólidos a temperatura ambiente y su volatilidad es baja. Dependiendo de su carácter aromático, absorben la luz ultravioleta y producen un espectro fluorescente característico. Son solubles en muchos disolventes orgánicos, pero prácticamente insolubles en agua, tanto menos cuanto mayor sea su masa molar (Stellman y McCan, 1998).

Los HAPs se originan de la combustión incompleta o pirólisis de la materia orgánica, por la actividad natural o antropogénica (Peña *et al.*, 2003). Así, son fuentes principales de emisión de HAPs: los automóviles, los aviones, los barcos, las plantas de generación de energía eléctrica y las incineradoras de residuos, las calefacciones de los edificios, los incendios forestales y el humo del tabaco, así como los alimentos ahumados, a la parrilla o a la barbacoa. En general, la tasa de formación de estos compuestos depende de las condiciones de combustión. Una combustión que genera mucho humo negro dará lugar a una mayor cantidad de estos hidrocarburos por masa de compuesto quemado (Vives *et al.*, 2001). Factores tales como el tipo y la cantidad de combustible, la temperatura, duración de la combustión y disponibilidad de oxígeno determinan la naturaleza y grado de formación de los HAPs (Peña *et al.*, 2003). Evidentemente, los HAPs se liberan de la zona de combustión en forma de vapores y debido a sus bajas presiones de vapor, se condensan en el acto sobre partículas de hollín o forman ellos mismos partículas muy pequeñas. De esta forma pueden ser transportados a grandes distancias por los vientos (Stellman y McCan, 1998).

El recorrido de los HAPs en el medio ambiente depende mucho de la forma y modo en que se incorporan. Pueden ingresar al ecosistema marino a través de la atmósfera y de descargas o vertidos directos, mediante lixiviado de suelos circundantes, deposición atmosférica seca y húmeda (agua de

lluvia) y por biosíntesis (Pino, 2002). También, se detectan en las aguas subterráneas, como resultado de la migración directa de las aguas superficiales contaminadas o como consecuencia de los suelos contaminados. Los compuestos de mayor persistencia se acumulan en plantas, peces e invertebrados terrestres y acuáticos (Villar, 2004).

Las características físicas y químicas de los HAPs determinan en gran medida su comportamiento en el ambiente y los procesos de descarga a otros receptores. Por ejemplo, la transferencia a otros compartimentos del ambiente y la degradación es más alta para los compuestos de bajo peso molecular que para los de alto peso molecular (Cram *et al.*, 2004). Los HAPs de bajo peso molecular más volátiles dominan en el aire y se encontrarán principalmente en la fase de vapor (Jaward *et al.*, 2004). Los HAPs son susceptibles a la descomposición (fotoquímica y térmica) en el aire, lo que restringe sus tiempos de residencia en la atmósfera a un par de días. Aquellos que no son degradados son transferidos a aguas superficiales, suelos o sedimentos por depositación húmeda o seca, y allí serán más susceptibles a la degradación los HAPs más ligeros. Generalmente, mientras más anillos bencénicos presente la molécula, menor la solubilidad, movilidad y degradación; y mayor la adsorción, acumulación y persistencia en el ambiente (Cram *et al.*, 2004).

Dentro de los ambientes acuáticos los HAPs sufren una serie de procesos de intemperización (físicos, químicos y biológicos), tales como evaporación, oxidación fotoquímica, degradación microbiana, dispersión y disolución en el agua, de esta forma se asocian fácilmente con la materia particulada y finalmente se depositan en el sedimento. A través del agua, de los sedimentos o del material suspendido, los organismos marinos son expuestos a los HAPs (Peña *et al.*, 2003).

Las cantidades de HAPs que entran anualmente en el medio acuático son significativamente menores que las que entran a la atmósfera o suelo. Si fueran distribuidos homogéneamente por ríos, mares y océanos, sus concentraciones serían indetectables. Sin embargo, estos compuestos permanecen relativamente cerca del punto de entrada en el medio acuático, decreciendo su concentración de forma logarítmica con la distancia al punto de entrada. Consecuentemente, las mayores concentraciones de HAPs se encuentran en ríos, estuarios y costas marinas del planeta (Rand y Petrocelli, 1985).

Los HAPs son más persistentes en el medio acuático que en el aire, llegando a alcanzar, en el primero, tiempos de persistencia geológicos cuando se incorporan a sedimentos anóxicos (Villar, 2004). La lixiviación del fondo acuático, así como la actividad biológica en el mismo, provocan que una pequeña fracción de los HAPs se transfiera al agua, acumulándose rápidamente en la fauna marina debido a su alta hidrofobia. Así, se encuentran concentraciones altas de HAPs en los sedimentos, medias en la fauna marina y bajas en el agua, mil veces menor que la concentración en los sedimentos (Rand y Petrocelli, 1985). En los sedimentos, la degradación, de los HPAs, generalmente, es lenta, particularmente los de mayor masa molar (Pino, 2002).

Estas sustancias, también conocidas como hidrocarburos aromáticos polinucleares o poliarenos, constituyen una familia ampliamente distribuida en el medio ambiente (Debestani y Ivanov, 1999). Algunos de ellos poseen propiedades carcinogénicas, mutágenas y teratógenas por lo cual son considerados contaminantes prioritarios por la Agencia Norteamericana de Protección del Medio Ambiente (USEPA) y la Unión Europea. Aunque existen

más de 100 tipos de HAPs diferentes, sólo 16 están clasificados como contaminantes prioritarios, los cuales han sido analizados en matrices como agua potable, industrial y de desecho, sedimentos, suelos, partículas atmosféricas, así como en tejidos biológicos. Si bien su propiedad carcinogénica varía de un compuesto a otro su selección se basa en factores como son la toxicidad, la facilidad de obtener información acerca de ellos, la exposición humana a estos compuestos a lo largo de la historia y su frecuente aparición en lugares contaminados (Villar, 2004).

Un procedimiento común para el análisis de los HAPs en matrices sólidas consiste en la extracción seguido por el análisis instrumental, como la cromatografía de gases o la cromatografía líquida (Ping y Panuwat, 2006). Existen una amplia variedad de técnicas de extracción utilizadas para extraer hidrocarburos de muestras de suelos y sedimentos. Los procedimientos tradicionales de extracción incluyen: Soxhlet, ultrasonidos, agitación mecánica, reflujo con solución metanólica de KOH y la destilación por vapor. Las técnicas modernas incluyen la extracción por fluidos supercríticos, la extracción de líquidos a presión y la asistida por microondas. Cada técnica tiene sus propios méritos y la elección de la extracción depende de varios factores, entre ellos el costo de capital, gastos por operación, simplicidad de funcionamiento, cantidad de disolventes orgánicos requerida, rendimiento de la muestra y la habilidad de estandarizar el método (Banjoo y Nelson, 2005).

La extracción Soxhlet es el método más comúnmente usado para extraer HAPs y es el recomendado por la USEPA, sin embargo, se requieren grandes cantidades de solventes (hasta 150 ml) para ser reflujaos por la muestra sólida entre 6 y 24 horas y puede degradar a los compuestos térmicamente lábiles (Ping y Panuwat, 2006). En comparación, la extracción por ultrasonido es una técnica eficaz para la extracción de trazas orgánicas

de suelos y sedimentos. Los estudios han demostrado que los rendimientos obtenidos para la extracción de hidrocarburos por ultrasonidos son mayores en algunos casos que los obtenidos con otras técnicas de extracción (Banjoo y Nelson, 2005).

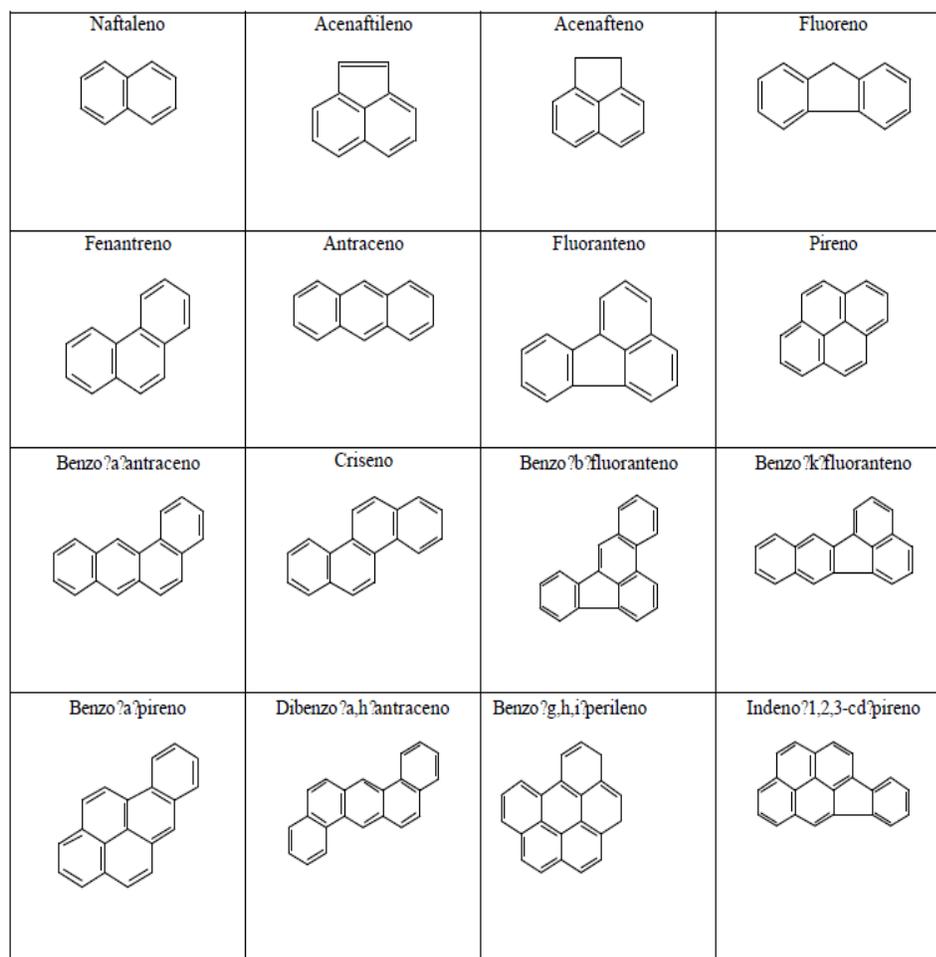


Figura 1. Hidrocarburos aromáticos policíclicos clasificados por la USEPA como contaminantes prioritarios

Debido a la peligrosidad de los hidrocarburos aromáticos policíclicos y la carencia de este tipo de investigaciones en el Golfo de Cariaco, estado Sucre, se considero importante su estudio en dicha área, la cual es de gran

importancia socioeconómica, científica y recreacional, además las comunidades residentes se alimentan de los recursos que ella provee. Asimismo recibe el impacto de descargas domésticas, agrícolas, frecuentes quemas y es una zona muy transitada por vehículos. Es por ello que se planteó determinar el contenido de HAPs en los sedimentos superficiales de la parte oriental del Golfo de Cariaco (Saco del Golfo) durante las temporadas de lluvia y sequía.

METODOLOGÍA

ÁREA DE MUESTREO

El Golfo de Cariaco se encuentra situado en la región nororiental de Venezuela, en el estado Sucre, al este de la Fosa de Cariaco entre 10° 25' - 10° 35' latitud N y 63° 13' 40'' - 63° 39' 50'' de longitud W. El mismo tiene aproximadamente 62 km de longitud en sentido este-oeste y un máximo de 15 km en su parte más ancha. El golfo cubre un área de 642 km², su volumen se estima en 3,15 x 10⁷ km³ aproximadamente y está separado de la depresión oriental por un umbral submarino entre 60 y 70 m de profundidad. Su entrada se encuentra ubicada por el oeste, con un ancho aproximado de 5,5 km y su característica topográfica principal es la presencia de una cuenca anóxica sedimentaria ubicada en la parte sur de la región central, con una profundidad cercana a los 93 m (Velásquez, 2005).

El área de estudio se ubica específicamente en sector oriental del Golfo, también conocido como Saco del Golfo de Cariaco (Figura 2). En esta zona predomina la suspensión como mecanismo de transporte de las partículas de sedimento, porque allí las aguas son someras, las corrientes débiles y hay poco oleaje. Además, la topografía no permite un mayor desarrollo de estos elementos hidrodinámicos. Por otra parte, los bosques de manglar, que cubre buena parte de ribera de la zona, absorben energía aportada por el río Carinicuaó (el principal de la zona). El caudal de este río es bajo, ya que se encuentra en su etapa de madurez y buena parte de él es desviado a labores agrícolas (Márquez *et al.*, 2005).

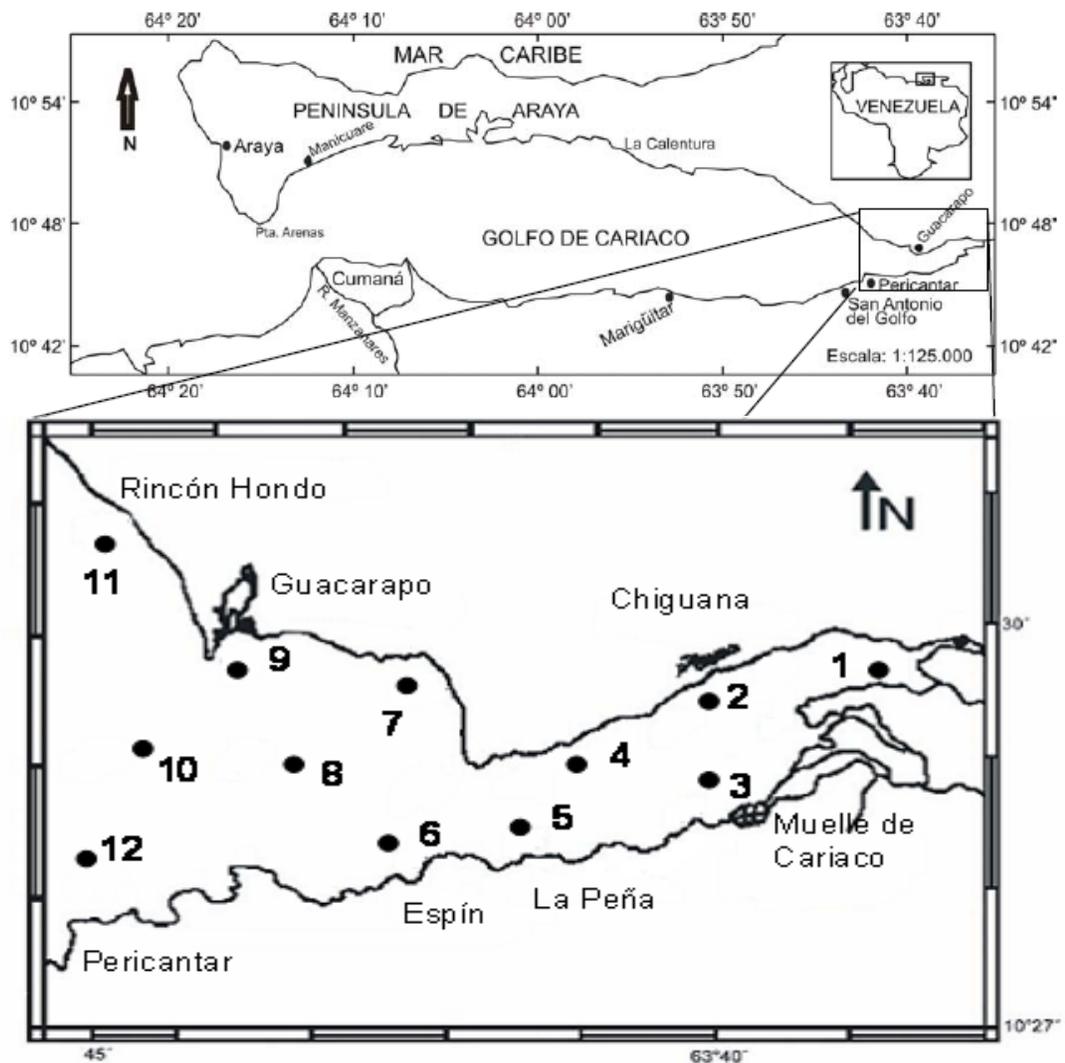


Figura 2. Región oriental del Golfo de Cariaco mostrando la ubicación de las estaciones para el presente estudio (Velásquez, 2005).

RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS

Para la realización de esta investigación fueron colectadas muestras de sedimentos superficiales en 12 estaciones a lo largo del Saco del Golfo de Cariaco (Tablas 1 y 2), durante los meses de junio 2007 (lluvia) y abril 2008 (sequía). Dicho muestreo fue realizado con una draga Diez Laffont de 0,02m²

de área (Figura 3). Las muestras de sedimentos fueron colocadas en bolsas de polietileno y conservadas a 4°C hasta su procesamiento.

Tabla 1. Localidades de los muestreos realizados en el Saco del Golfo de Cariaco, Venezuela durante la temporada de lluvia

Estación	Longitud oeste	Latitud norte
1	63° 39, 14	10° 29, 31
2	63° 40, 40	10° 29, 80
3	63° 39, 14	10° 28, 18
4	63° 41, 36	10° 28, 50
5	63° 41, 57	10° 28, 11
6	63° 43, 52	10° 27, 51
7	63° 42, 32	10° 29, 10
8	63° 42, 51	10° 28, 33
9	63° 44, 67	10° 29, 43
10	63° 44, 26	10° 28, 28
11	63° 44, 55	10° 30, 24
12	63° 46, 28	10° 27, 28

Tabla 2. Localidades de los muestreos realizados en el Saco del Golfo de Cariaco, Venezuela durante la temporada de sequía.

Estación	Longitud oeste	Latitud norte
1	63° 39, 14	10° 29, 31
2	63° 40, 33	10° 29, 86
3	63° 39, 14	10° 28, 18
4	63° 41, 36	10° 28, 51
5	63° 41, 39	10° 28, 31
6	63° 43, 61	10° 27, 99
7	63° 43, 33	10° 29, 11
8	63° 42, 50	10° 28, 40
9	63° 44, 67	10° 29, 43
10	63° 44, 56	10° 38, 24
11	63° 44, 56	10° 30, 24
12	63° 46, 48	10° 27, 05

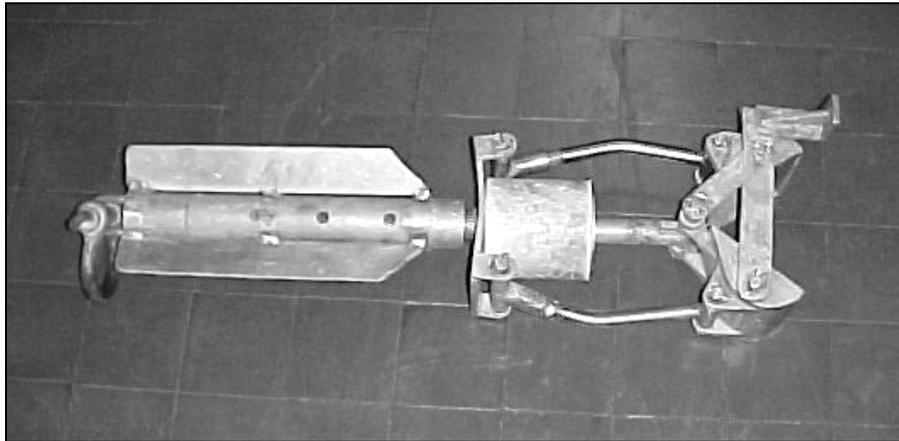


Figura 3. Draga Diez Laffont de $0,02\text{m}^2$ de área (Velásquez, 2005).

ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

Textura

Para el análisis granulométrico de las diferentes fracciones, fueron tomados 50 g del sedimento seco y previamente pasados por un tamiz de 2mm. Se colocaron en la copa de una batidora, mas 10 ml de la solución dispersante (polifosfato de sodio), agua destilada, y se agitaron durante 5 min. Luego fueron transferidos a una probeta de un litro, completados con agua destilada y agitados para homogeneizar el contenido. Se dejó la probeta sobre el mesón, se activó un cronómetro y se introdujo un densímetro Bouyoucos (Figura 4). A los 40 s del cese de la agitación fue tomada la medida del densímetro y la temperatura de la solución. Después de dejar pasar 120 min, se introdujo nuevamente el densímetro y fue tomada la temperatura.

Una vez conocidos los valores fueron introducidos en las formulas señaladas por Primo y Carrasco (1973), para así conocer los porcentajes de

arena, limo y arcilla. Mientras que la textura de los sedimentos se determinó según el triangulo de Sheppard (1954).



Figura 4. Densímetro Bouyoucos.

Carbono orgánico

El análisis del carbono orgánico (CO) se realizó por volumetría, oxidando el carbono del sedimento con un volumen conocido de dicromato de potasio de concentración estándar en ácido sulfúrico concentrado y en presencia de sulfato de plata (Gaudette *et al.*, 1974). Para ello fueron pesados 0,5 g de sedimento seco de cada muestra en un erlenmeyer, se añadió 10 ml de dicromato de potasio, 20 ml de ácido sulfúrico, 10 ml de sulfato de plata, para eliminar la interferencia del ion cloruro, y se dejó reposar durante 30 min a temperatura ambiente. Transcurrido el tiempo fueron añadidos 10 ml de ácido fosfórico, 0,02 g de fluoruro de sodio, 50 ml de agua destilada y 30 gotas del indicador difenilamina. Posteriormente se tituló el exceso de dicromato con sulfato de hierro amoniacal.

Las ecuaciones involucradas tanto para la oxidación del carbono de los sedimentos como para el exceso de dicromato de potasio, respectivamente son:





Estas ecuaciones de oxido-reducción fueron utilizadas para establecer las relaciones estequiométricas correspondientes, y realizar los cálculos necesarios para determinar la cantidad de carbono oxidado en el sedimento.

Extracción de los HAPs

El método usado fue una modificación del método de Banjoo y Nelson (2005). Para ello, las muestras de sedimentos fueron secadas y tamizadas y antes de extraerlas fue determinado el porcentaje de humedad de las mismas, el cual no superó el 2%. A 15 g del sedimento seco y homogéneo se le añadió 30 ml del solvente de extracción (diclorometano), posteriormente la mezcla de sedimento-solvente fue colocada en un baño ultrasónico a temperatura ambiente durante 30 min (primer ciclo). Una vez terminado este ciclo, la solución fue decantada. Al sedimento remanente fue agregado nuevamente 30ml de diclorometano y fue colocado en el baño ultrasónico por 30 min más (segundo ciclo); de nuevo fue extraída la solución de la manera descrita anteriormente y combinada con el extracto anterior. La combinación de los extractos obtenidos fue filtrada para remover las partículas de sedimentos, haciéndola pasar por una bureta con una pequeña porción de fibra de vidrio en su base. Luego se dejaron secar los extractos a temperatura ambiente.

Purificación de los extractos

Para purificar los extractos fueron pasados por una columna cromatográfica miniatura, la cual constó de una pipeta Pasteur con fibra de

vidrio en su base. La columna fue rellena con virutas de cobre activado hasta una altura de 1 cm, para así, remover el azufre elemental. A continuación, fue llenada hasta una altura de 5 cm, por gravedad, con una mezcla de alúmina (previamente activada, calentándola en la estufa a 150 °C por 16 h) y hexano. Los extractos (no mayor que 1 ml y las aguas de lavado) se cargaron en la columna y fueron eluidos por gravedad con 5 ml de una mezcla de hexano–diclorometano (10:1) para obtener la fracción aromática. Los eluatos fueron concentrados a pocos microlitros antes de caracterizarlos (Villar, 2004).

Caracterización y cuantificación de los HAPs

Las fracciones recogidas fueron caracterizadas y cuantificadas por HPLC con detector de fluorescencia. La caracterización se realizó al comparar los tiempos de retención de cada hidrocarburo con los correspondientes HAPs de la dilución del patrón SRM 1647e de la NIST, el cual contiene una mezcla de los 16 HAPs considerados por la USEPA como contaminantes prioritarios.

Las condiciones óptimas para la determinación de los HAPs por HPLC están descritas en la Tabla 3.

Tabla 3. Condiciones de operación del HPLC con detector de fluorescencia

HPLC	HP (Agilent Technologies)
Detector	Detector de fluorescencia modelo 1046a
Columna	LiChroCART 250-4 LiChrospher PAH (5µm)
Sistema de datos	Chem Station versión A.05.02 (Agilent Technologies)
Volumen de inyección	25 µl
Tiempo de corrida	45 minutos

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Los resultados se evaluaron estadísticamente por análisis de varianza de una vía con un $\alpha=0,05$. También se aplicó una prueba de correlación, utilizando el programa estadístico Statgraphics Plus 5.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

TEXTURA

Los parámetros texturales han sido ampliamente utilizados en la evaluación de ambientes sedimentarios. La textura de un sedimento depende de muchos factores, ya que sus componentes tienen orígenes muy variados y en consecuencia tamaños muy diferentes (Soledispa y Villacres, 1989). El conjunto de partículas de un sedimento cuyo diámetro medio está comprendido entre 5,000 a 0,063 mm se llaman arenas; las de diámetro medio entre 0,063 y 0,002 mm se llaman limos, y aquellas cuyo diámetro medio es inferior a 0,002 mm forman las arcillas. Según las fracciones que predominan en los sedimentos, se dice que son arenosos, limosos, arcillosos o una mezcla de ellos, y así se designa su textura (Primo y Carrasco, 1973).

La determinación de la textura de los sedimentos es primordial en los estudios de los sistemas acuáticos porque se ha demostrado que la adsorción de contaminantes orgánicos hidrofóbicos y metales se correlaciona con ambos (Calva *et al.*, 2006). Los resultados obtenidos del ensayo granulométrico de los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, tanto para la época de lluvia (junio 2007) como la de sequía (abril 2009), se recogen en las Tablas 4 y 5, respectivamente.

La textura de las muestras se caracterizó por estar compuesta en su mayor parte por arenas (superiores al 40%), luego por limos y en menor proporción arcillas, manteniéndose esta composición granulométrica en las dos temporadas estudiadas. En general, estos sedimentos pueden clasificarse como areno-limosos. Estos resultados se relacionan con estudios

previos realizados por Martínez (2002) y Velásquez (2005) en los sedimentos del Golfo de Cariaco, quienes los han descrito como areno-limosos, con proporciones de arenas superiores o cercanas al 50%, y menor contenido de limo y arcilla.

Tabla 4. Texturas de los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco para la temporada de lluvia

Fracciones mecánicas				
Estaciones	Arenas (%)	Arcillas (%)	Limos (%)	Textura
1	72,24	5,76	22,00	Arena limosa
2	77,52	7,76	19,72	Arena
3	46,24	3,76	50,00	Limo Arenosa
4	51,24	7,76	42,00	Arena limosa
5	32,24	5,76	62,00	Limo Arenosa
6	68,96	5,76	25,28	Arena limosa
7	41,52	9,76	48,72	Limo Arenosa
8	45,52	8,48	46,00	Limo Arenosa
9	75,52	4,48	20,00	Arena
10	63,52	4,48	32,00	Arena limosa
11	81,52	4,48	14,00	Arena
12	48,24	19,76	32,00	Arena limosa

Tabla 5. Texturas de los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco para la temporada de sequía

Fracciones mecánicas				
Estaciones	Arenas (%)	Arcillas (%)	Limos (%)	Textura
1	68,24	8,48	23,28	Arena limosa
2	85,52	5,76	8,72	Arena
3	50,24	3,76	46,00	Arena limosa
4	44,24	5,76	50,00	Limo Arenosa
5	46,24	5,76	48,00	Limo Arenosa
6	74,24	5,76	20,00	Arena limosa
7	48,96	7,04	44,00	Arena limosa
8	48,96	7,04	44,00	Arena limosa
9	90,24	3,76	6,00	Arena
10	56,24	4,48	39,28	Arena limosa
11	88,24	4,48	7,28	Arena
12	90,24	3,76	6,00	Arena

La fracción arenosa de los sedimentos representa la parte inerte de los mismos y tiene por lo tanto solamente funciones mecánicas, constituyen el armazón interno sobre las cuales se apoyan las otras fracciones finas (Constantino, 1970). En el caso de la distribución de los porcentajes de arena en los sedimentos estudiados durante la temporada de lluvia (Tabla 4), se observa que los más altos fueron los correspondientes a las estaciones 2, 9 y 11 (con aproximadamente 77, 75 y 81%), pertenecientes a la zona norte del Saco del Golfo de Cariaco y cercanas a las poblaciones de Chiguana, Guacarapo y Rincón Hondo respectivamente. En la temporada de sequía (Tabla 5), se puede apreciar que el comportamiento de esta fracción es muy similar, registrándose porcentajes de arena de aproximadamente 85, 90, 88%, un poco más altos a los de la temporada de lluvia, pero en las mismas estaciones (2, 11 y 9 respectivamente), con excepción de la estación 12, cercana a la población de Pericantar, en la cual también se registró un porcentaje alto de arenas (90,24%).

El análisis de varianza demostró que no existen diferencias significativas entre los porcentajes de arenas de los dos periodos, con un intervalo de confianza de 95% (Tabla A7, en apéndice).

El limo fue la segunda fracción predominante en los sedimentos del Saco del Golfo. Para la temporada de lluvia, las estaciones con mayores porcentajes fueron la 3, 4, 5, 7 y 8, correspondientes a la zona central del Saco y con valores que oscilaron entre 42 y 62%, mientras que para la temporada de sequía se mantuvieron los porcentajes más altos (entre 44 y 50%) en las mismas estaciones. La distribución de la fracción limosa en estas zonas específicas probablemente sea debida a la presencia de manglares en las localidades cercanas, puesto que sus raíces actúan como trampas de partículas sedimentarias y de materia orgánica, por ende

favorecen la acumulación de sedimento superficial (Parra y Espinoza, 2008).

El análisis de varianza realizado entre los porcentajes de limos, de las dos temporadas de estudio, no indicó diferencias significativas, con un nivel de confianza del 95% (Tabla A7, en apéndice).

La fracción arcillosa fue la que se encontró en menor proporción en los sedimentos estudiados. Los porcentajes de la misma variaron entre 3,76 y 19,76% para la temporada de lluvia, mientras que para la temporada de sequía los porcentajes no superaron el 8,48%.

Para el caso de las arcillas, tampoco se encontraron diferencias significativas entre las dos temporadas al hacer el análisis de varianza, con un nivel de confianza del 95% (Tabla A7, en apéndice).

CARBONO ORGÁNICO

Tal como se observa en la Figura 4, para la temporada de lluvia los porcentajes más altos de carbono orgánico (CO) se observaron en las estaciones 3, 4, 5, 7 y 8, con valores que oscilaron entre 2,53 y 4,67% (Tabla A1 en apéndice), mientras que para el caso de la temporada de sequía los porcentajes más altos variaron entre 2,75 y 4,73% (Tabla A2 en apéndice) en las mismas estaciones, correspondientes todas a la zona central del área estudiada. En esta zona específica, tal como se analizó anteriormente, es donde se registraron los porcentajes más altos de la fracción limosa en los sedimentos. De hecho, fue significativa la correlación limo-CO, la cual se muestra en las Tablas A10 y A11 del apéndice ($r=0,782$ y $0,859$ para lluvia y sequía, respectivamente).

Los porcentajes más bajos de CO, como se observa en la Figura 5, fueron obtenidos en la estación 11, cercana a la localidad de Rincón Hondo, con valores de 0,32 y 0,13% para las temporadas de lluvia y sequía respectivamente, esta fue una de las estaciones en donde se encontró mayor proporción de arenas. De igual manera, en las estaciones 9, 11 y 12, en donde también predominó la fracción arenosa, se registraron porcentajes bajos de CO, los cuales no superaron el 1%. Debido a esto, se obtuvo una correlación negativa significativa entre arena y CO ($r = -0,719$ y $-0,864$ para lluvia y sequía, respectivamente), lo cual corrobora que a mayor tamaño de grano del sedimento menor contenido de CO.

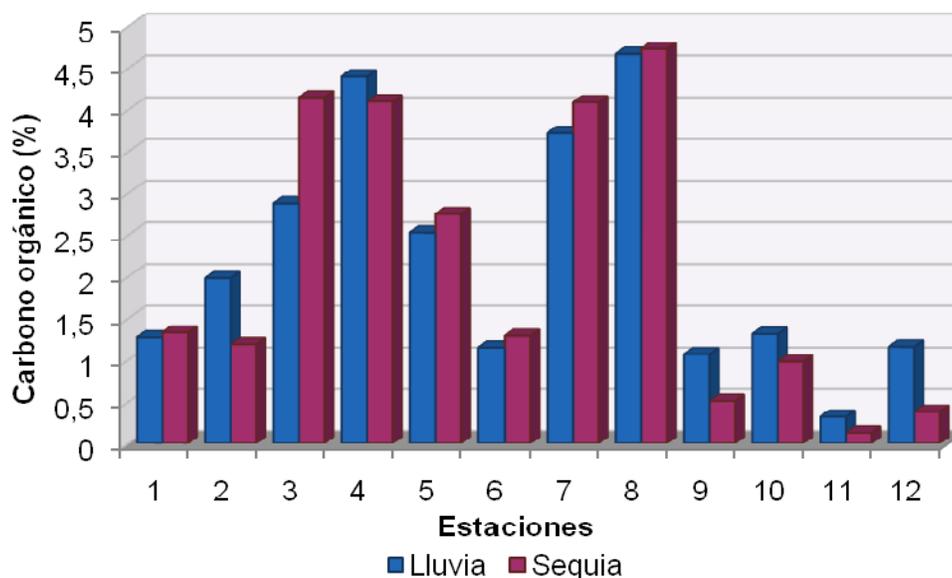


Figura 5. Porcentajes de carbono orgánico total en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco durante las temporadas de lluvia y sequía.

Estos resultados indican la afinidad del carbono orgánico por las partículas más finas (limo). A este respecto, muchas investigaciones han señalado la relación inversamente proporcional existente entre la distribución de materiales orgánicos y el tamaño de grano (Calva *et al.*, 2006) y la

influencia de la textura del sedimento en la capacidad de retención de material orgánico presente en los sedimentos, es decir, a menor tamaño de grano se presenta una mayor acumulación de carbono orgánico. Según Padmalal y Seralathan (1995), el aumento de la capacidad adsorbente puede ser atribuido a la mayor área superficial de las partículas más pequeñas (limo y arcilla).

El análisis estadístico (Tabla A7, en apéndice) indicó que la acumulación de carbono orgánico fue significativamente similar en los meses de estudio, con un grado de confianza de 95%.

OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES CROMATOGRÁFICAS

Los mejores resultados en la determinación de HAPs, en cualquier tipo de muestras, se han obtenido con técnicas cromatográficas. Entre ellas, la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y la cromatografía de gases son las más utilizadas. La técnica de HPLC, ha sido aplicada en la separación y cuantificación de HAPs con gran éxito (Manoli y Samara, 1996), y fue la técnica seleccionada para la determinación del contenido de los mismos en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco.

Antes de la caracterización y cuantificación definitiva de los HAPs, fueron probadas diferentes condiciones cromatográficas en el HPLC con las características de la Tabla A6 del apéndice. Con esas condiciones se logró obtener una buena separación de una mezcla de patrones de naftaleno y antraceno, tal como se observa en la Figura 6, haciendo uso de la fase móvil descrita en la Tabla A6 del apéndice y con longitud de onda fija. Sin embargo, al hacer los cromatogramas de las muestras de sedimentos no se logró obtener una buena resolución en los mismos, repetibilidad, y

mantenimiento de la línea base (Figura 7), por lo que la caracterización final de los HAPs en las muestras de sedimentos del Saco se realizó con el HPLC, cuyas características fueron descritas en la Tabla 2 de la metodología.

De igual manera, previo a la determinación de los HAPs en las muestras, fue necesaria la limpieza o purificación de las mismas, con el objetivo de eliminar las posibles impurezas que podrían llevar, que además de producir interferencias podrían afectar la conservación de la columna cromatográfica (Baran y Oleszczuk, 2002). Entre estas impurezas se encuentran sulfuros, compuestos que contienen azufre, aceites y una gran variedad de compuestos de origen natural y antropogénico (Villar, 2004). En la Figura 8 se puede evidenciar el cambio en la resolución de los picos de los cromatogramas, luego de la purificación del extracto de hidrocarburos en una mini columna cromatográfica con alúmina como adsorbente.

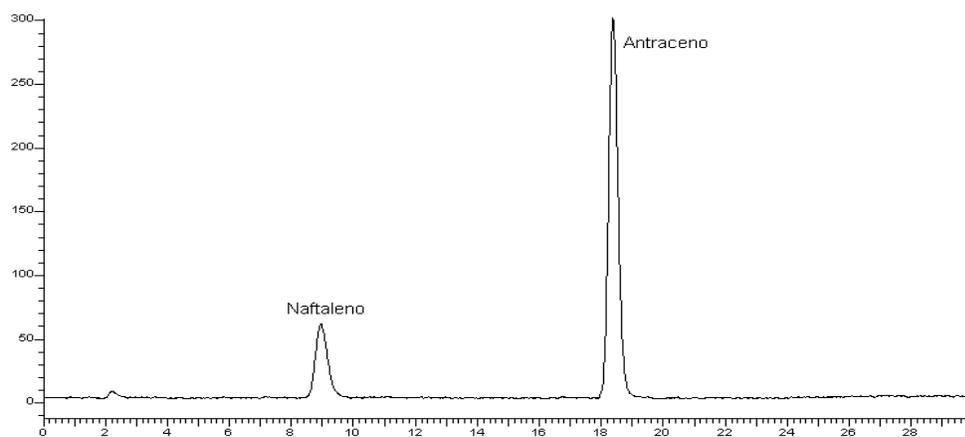


Figura 6. Cromatograma de una mezcla patrón de naftaleno y antraceno, obtenido durante la optimización de las condiciones cromatográficas

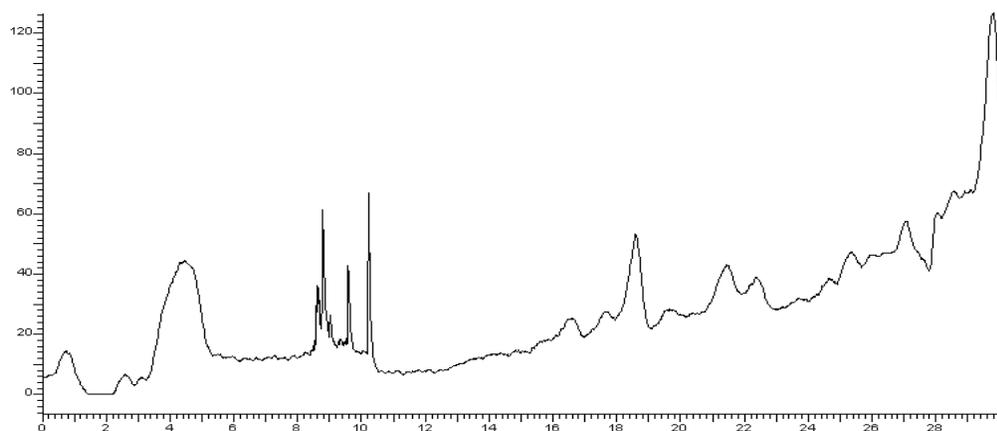


Figura 7. Cromatograma de la estación 1 (lluvia), obtenido durante la optimización de las condiciones cromatográficas

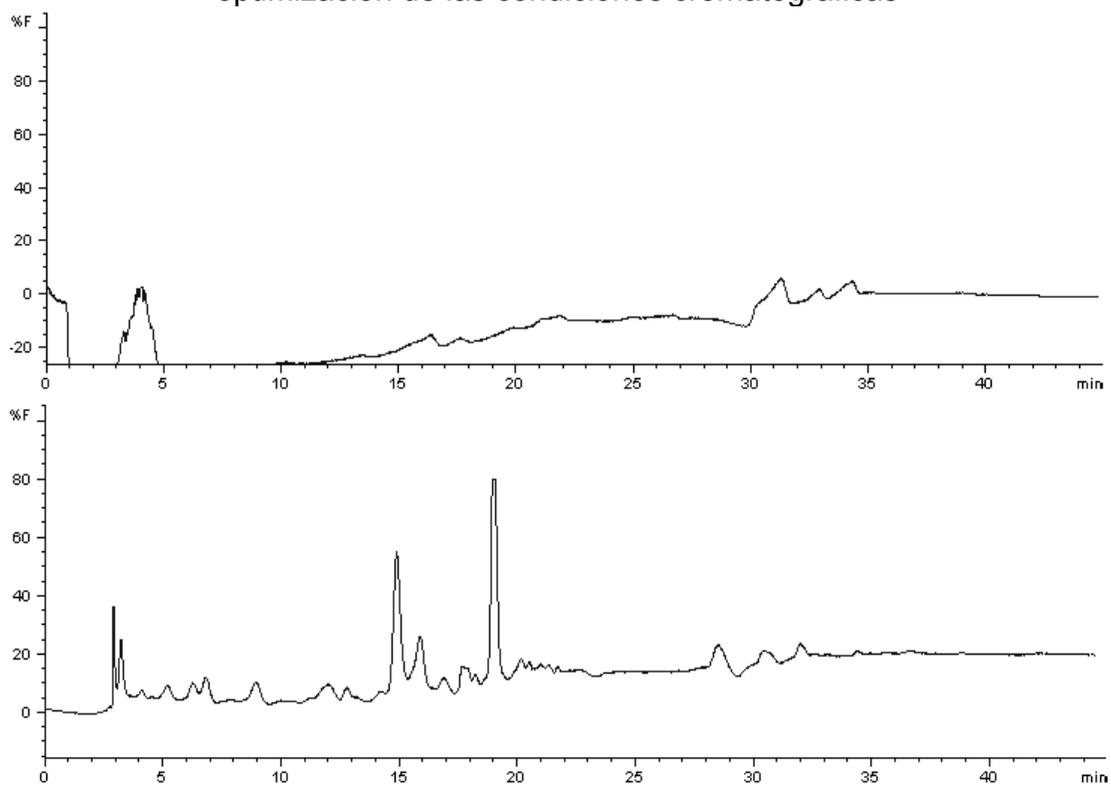


Figura 8. Cromatograma del extracto de la estación 2 (lluvia). A) sin purificar B) purificado con la mini columna cromatográfica de alúmina

Los parámetros optimizados para obtener una mejor resolución en los cromatogramas antes de la caracterización y cuantificación de los HAPs en

las muestras de sedimentos del Saco del Golfo de Cariaco fueron:

Optimización de la fase móvil

Para optimizar la composición de la fase móvil, fueron consideradas las recomendaciones bibliográficas sobre el uso de mezclas agua/acetonitrilo. Debido a que era necesario conseguir una adecuada resolución de los HAPs, fueron probados varios gradientes de composición de la fase móvil. Las mejores resoluciones fueron obtenidas con el gradiente que se presenta en la Tabla 6. Con el mismo, fue realizada la curva de calibración con el patrón SRM 1647e y medidas las muestras.

Tabla 6. Gradiente de la fase móvil empleada para la determinación de los HAPs

Paso	t (min)	%A	%B	Flujo(ml/min)
1	0	100	0	0,5
2	3	100	0	0,5
3	12	75	25	0,5
4	30	0	100	0,5
5	40	0	100	0,5
6	45	100	0	0,5

A: Acetonitrilo, B: Acetonitrilo: Agua (60:40)

Optimización de la detección

En cuanto a los sistemas de detección, debido a las propiedades fluorescentes de los HAPs, la utilización del detector de fluorescencia resultó muy adecuado.

La detección por fluorescencia se puede llevar a cabo con longitudes de onda de excitación y emisión fijas durante todo el desarrollo cromatográfico o

variando éstas a lo largo del mismo (que fue el método usado en el presente estudio), con objeto de excitar lo máximo posible cada compuesto eluido, y registrar su fluorescencia a la longitud de onda donde ésta es mayor, lo que repercute en un notable aumento de la sensibilidad de la técnica (Wingen *et al.*, 1998).

Con el detector de fluorescencia programable, fue posible irradiar la muestra a la longitud de onda de máxima excitación del analito que llega al detector en cada momento, midiendo a la longitud de onda de máxima emisión del mismo (Villar, 2004).

En la Tabla 7 se indican los valores de las longitudes de onda de máxima excitación y emisión, así como los HAPs que se midieron a esas longitudes de onda.

Tabla 7. Longitudes de onda de excitación y emisión usadas en la detección de los HAPs por fluorescencia

t (min)	Excitación (nm)	Emisión (nm)	HAPs
0	260	350	Naftaleno
10	275	350	Acenafteno, fluoreno fenantreno, antraceno
18	275	390	Fluoranteno
21	275	430	Pireno
24	290	430	Benzo(a)antraceno, criseno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno
35	290	498	Dibenzo(a,h)antraceno, benzo(g,i,h)perilno
40	290	498	Indeno(1,2,3,-cd)pireno

Patrón de referencia estándar SRM 1647e

Para la cuantificación de las concentraciones de los HAPs, se usó el método de calibración externa. El material SRM 1647e de la NIST que contiene una mezcla de los 16 HAPs, considerados por la USEPA como contaminantes prioritarios, fue empleado para los procedimientos de calibración. Uno de los cromatogramas obtenidos, para la calibración en la separación de los HAPs, es el mostrado en la Figura 9, mientras que en la Tabla 8 se identifica la ubicación de los compuestos, con sus respectivos tiempos de retención, límites de detección y la desviación estándar del tiempo en las diferentes diluciones del patrón. Como el acenaftileno no presenta la propiedad de fluorescencia no es detectado por este método.

En primer lugar, se eluye el naftaleno y de último el indeno [1,2,3-cd]pireno. El resto de los compuestos estudiados se eluye en orden creciente de masas moleculares, esto se puede relacionar con el carácter no polar de los mismos.

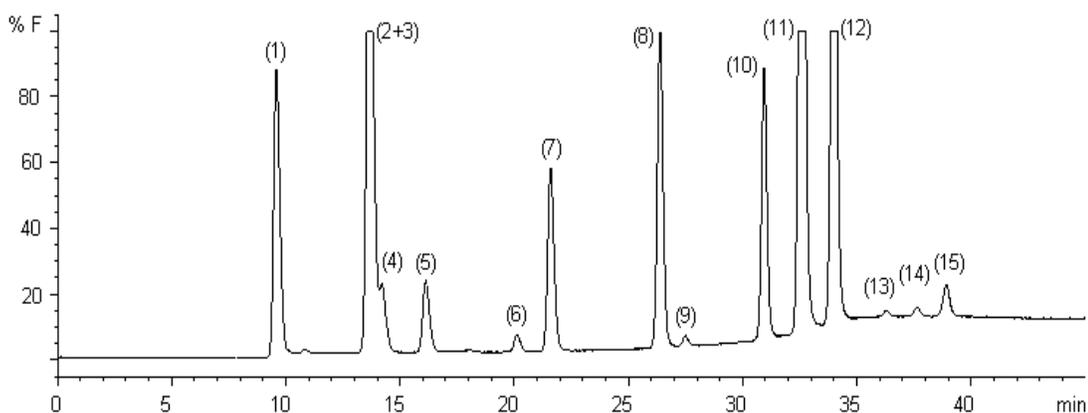


Figura 9. Cromatograma de una de las diluciones del patrón SRM 1647e detectado por fluorescencia

Los valores de la desviación estándar de la Tabla 8 indican la repetibilidad del método. Ninguna de ellas sobrepasa el 1% de la media del tiempo, por tanto se dice que las medidas son muy repetibles.

Tabla 8. Tiempos de retención y límites de detección de los HAPs detectados en el patrón SRM 1647e

Pico	Compuesto	$t_r(\text{min}) \pm S$	L.D. (pg/g)
1	Naftaleno	9,56±0,05	36
2+3	Acenafteno+Fluoreno	13,75±0,08	250
4	Fenantreno	14,16±0,06	6
5	Antraceno	16,10±0,07	0,59
6	Fluoranteno	20,10±0,12	2
7	Pireno	21,57±0,14	49
8	Benzo[a]antraceno	26,36±0,19	3
9	Criseno	27,50±0,21	5
10	Benzo[b]fluoranteno	30,91±0,30	0,92
11	Benzo[k]fluoranteno	32,69±0,23	6
12	Benzo[a]pireno	34,85±0,23	9
13	Dibenzo[a,h]antraceno	36,26±0,28	5
14	Benzo[g,i,h]perilino	37,60±0,27	916
15	Indeno[1,2,3,-cd]pireno	38,88±0,32	0,13

t_r : tiempo de retención; S: desviación estándar; L.D.: límite de detección

HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAPs)

Los sedimentos que se acumulan en el fondo de un cuerpo de agua son de gran valor para el estudio de esos ecosistemas, dado que conservan el registro histórico de lo acaecido en el lugar. Las sustancias tóxicas vertidas al agua, por ejemplo, tienden a depositarse en el sedimento y, si este se remueve, pueden volver a suspensión, quedando a disposición de los organismos de ese ambiente (Mariani y Pompeo, 2008). De esta manera, la composición de los sedimentos, además de suministrar información sobre la

influencia externa de fuentes contaminantes introducidas por el hombre, es un reflejo de la calidad del agua (Alvarez *et al.*, 2007). Son una parte integral e inseparable de los ecosistemas marinos, por lo que cualquier programa de gestión ambiental relativo a la calidad del agua, estaría incompleto sin el debido estudio de sus sedimentos (Singh *et al.*, 1998).

Los sedimentos marinos contienen comúnmente concentraciones importantes de HAPs, sobre todo en áreas con actividad industrial y los que son depositados a través del proceso de sedimentación del material suspendido, al cual son afines y tienden a adherirse al ser dispersados en los sistemas acuáticos (Bayona *et al.*, 1993). Debido a que los HAPs han sido definidos como tóxicos, mutagénicos y/o cancerígenos, su acumulación en los sedimentos representa un riesgo para la salud de los organismos y los ecosistemas acuáticos (Rudolph *et al.*, 2002), de allí la importancia de su estudio en los sedimentos.

A continuación se presentan las concentraciones de los HAPs detectados en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco.

Naftaleno

El naftaleno es el más sencillo de los HAPs y es el primer miembro del grupo de 16 considerado por la USEPA como contaminantes prioritarios (Cram *et al.*, 2004). Este es usado como material de partida para la síntesis orgánica de una amplia gama de sustancias químicas, como antipolillas, y en conservantes de madera (Stellman y McCan, 1998). La principal fuente de liberación del naftaleno al ambiente es la incineración doméstica de madera y combustibles fósiles. En segundo lugar está el uso de repelentes para polillas. Sólo aproximadamente el 10% del naftaleno que entra al ambiente

proviene de la producción y destilación del petróleo, mientras que menos del 1% presente en la atmósfera proviene de la liberación durante su producción (ATSRD, 2005).

El naftaleno es adsorbido de forma moderada (10%) por el suelo y los sedimentos. El grado de adsorción depende del contenido de carbono orgánico en el mismo, esperándose una mayor movilidad en suelos arenosos. El naftaleno que se encuentra cerca de la superficie del suelo se evaporará al aire mientras que algunos microorganismos presentes en el mismo degradarán la mayor parte del naftaleno en 1 a 3 meses (ATSRD, 2005).

El naftaleno fue detectado en todas las muestras de sedimentos analizados, tal como se observa en la Figura 10. Para la temporada de lluvia las concentraciones variaron entre 0,11 ng/g (Estación 11) y 12,93 ng/g (Estación 9); mientras que para la temporada de sequía estuvieron entre 0,81 ng/g (Estación 12) y 3,46 ng/g (Estación 8). Como se muestra en la Tabla A3 del apéndice, las estaciones con concentraciones más altas fueron la 3, 4, 5, 6, 8 y 9 para la época de lluvia; en sequía se mantuvo la misma tendencia, con excepción de las estaciones 6 y 9 donde se obtuvieron concentraciones más bajas (Tabla A4 del apéndice). Todas estas estaciones corresponden a la zona central del Saco del Golfo de Cariaco, en donde se detectaron los porcentajes más altos de carbono orgánico.

El análisis de varianza, aplicado a los resultados para ambos meses de estudio demostró que no hay diferencias significativas entre los dos periodos de estudio con un intervalo de confianza de 95% (Tabla A7 del apéndice).

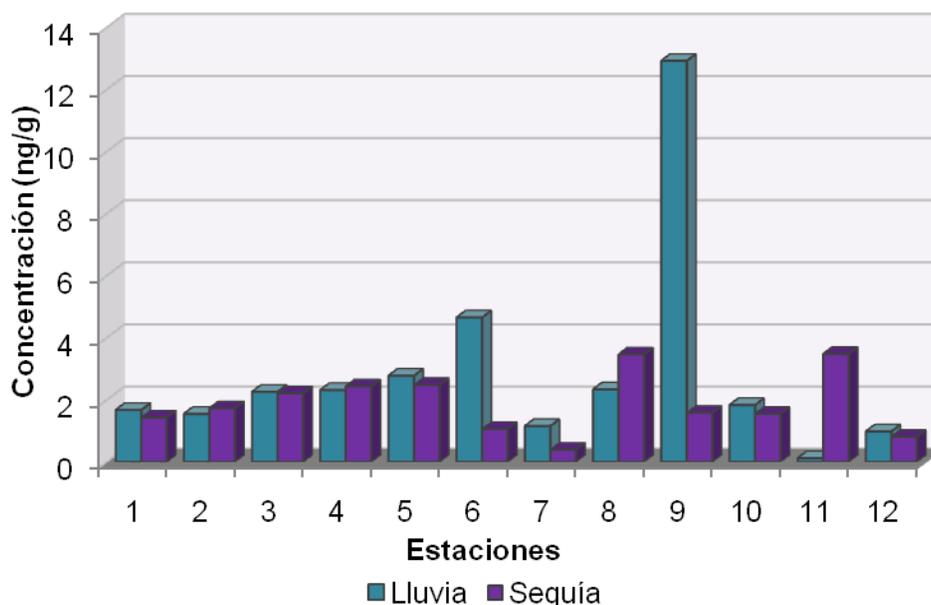


Figura 10. Distribución de naftaleno en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, durante las temporadas de lluvia y sequía.

Referente al naftaleno y otros HAPs de baja masa molecular, Huntley *et al.* (1993) argumentaron que éstos compuestos no necesariamente están asociados al petróleo y que bien pueden relacionarse con la fabricación de químicos y pintura; aunque en el área del Saco del Golfo de Cariaco no hay este tipo de industrias. Lo que puede explicar las bajas concentraciones encontradas del mismo, las cuales estuvieron por debajo del límite establecido por la WAC (2003) para ser considerado como contaminante (99 mg/kg).

El naftaleno presentó valores relativamente moderados en comparación con el resto de los HAPs detectados. Sin embargo, estos valores son mucho menores a los encontrados en otros estudios de sedimentos. En los sedimentos del canal de San Sebastián en São Paulo (Brasil), se reportaron valores cercanos, en el rango de 2,3 y 10,7 ng/g (Matheus y Caruso, 2004).

Las mayores concentraciones geoquímicas encontradas en este sitio se explican posiblemente, por la entrada del terminal marítimo de PETROBRAS, el puerto de San Sebastián y emisarios de aguas residuales a lo largo de la zona, asociados con las corrientes predominantes y los sedimentos de grano más fino.

En los sedimentos del Delta del Río Níger (Nigeria), Olajire y Brack (2005) detectaron concentraciones mucho más altas de naftaleno (entre 17 y 77 ng/g) que las encontradas en el Saco, siendo este uno de los compuestos predominantes; sin embargo, en esta área los resultados eran esperados ya que lo más probable es que las muestras estén contaminadas en varios grados por los vertidos de combustibles y aceites de los camiones y vehículos pesados que contienen los HAPs de interés. Otras actividades que pueden producir los HAPs, en esta área, incluyen la generación de electricidad de los generadores de diesel, las emisiones de las industrias petroquímica, vehículos ligeros y pesados, y la quema de gasolina y diesel.

Fenantreno

El fenantreno es un hidrocarburo que presenta tres anillos bencénicos fusionados. No es mutagénico o carcinogénico para los humanos, sin embargo, se ha demostrado que es tóxico para los organismos acuáticos. El fenantreno suele usarse como compuesto modelo para el estudio de la biodegradación de los HAPs, dado que se encuentra en altas concentraciones en las muestras ambientales (Herrera *et al.*, 2008).

La presencia de fenantreno en los ecosistemas se debe a la combustión incompleta de materiales orgánicos como carbón, petróleo, gasolina y madera. Una mínima porción es derivada de incendios forestales y

erupciones volcánicas. Las fuentes antropogénicas de contaminación de ambientes acuáticos con fenantreno son los derrames de petróleo crudo o refinado, efluentes industriales o domésticos, suelo acarreado por erosión hídrica y depositación directa desde la atmósfera (Castro *et al.*, 2008). El fenantreno, al igual que otros contaminantes pueden ser asimilados por las raíces de las plantas y acumulados, metabolizados o volatilizados (Reynolds y Skipper, 2005).

Las concentraciones obtenidas para el fenantreno, en los sedimentos del Saco del Golfo de Cariaco, durante las dos temporadas están graficadas en la Figura 11. Este fue el segundo HAPs en presentar las mayores concentraciones en las muestras estudiadas. Como se observa en la Figura, en casi todas las estaciones se detectaron mayores concentraciones durante la temporada de sequía, siendo estas prácticamente el doble de las encontradas durante lluvia (Tablas A3 y A4 del apéndice). Esto se comprobó con el análisis estadístico aplicado a los resultados de los dos muestreos, el cual arrojó que si existen diferencias significativas entre los dos períodos con un intervalo de confianza de 95% (Tabla A7, en apéndice).

La concentración más alta para ambas épocas fue hallada en la estación 7, con un valor de 4,52 ng/g para la época de lluvia y de 12,00 ng/g para sequía. Otras estaciones en las cuales se detectó concentraciones relativamente altas de fenantreno fueron las 4, 6, 8, 10 y la 11, para ambas temporadas, con excepción de la 10 en lluvia, en la cual se obtuvo una concentración relativamente baja. Ninguna de estas concentraciones superó el límite de la WAC (2003) para sedimentos contaminados (100 mg/kg).

Al igual que en las muestras del Saco, en los sedimentos alrededor de la montaña Qomolangma (China), Wang *et al.* (2007) reportaron al

fenantreno, como uno de los compuestos más abundantes en las muestras estudiadas. El mismo representó el 20% de los HAPs totales. Los resultados sugirieron que las actividades antropogénicas pueden contribuir a incrementar los niveles de HAPs. Se demostró de igual manera, que los HAPs en estas muestras llegaron allí por el transporte atmosférico, debido a que se encuentran en los mismos niveles que en otras regiones remotas.

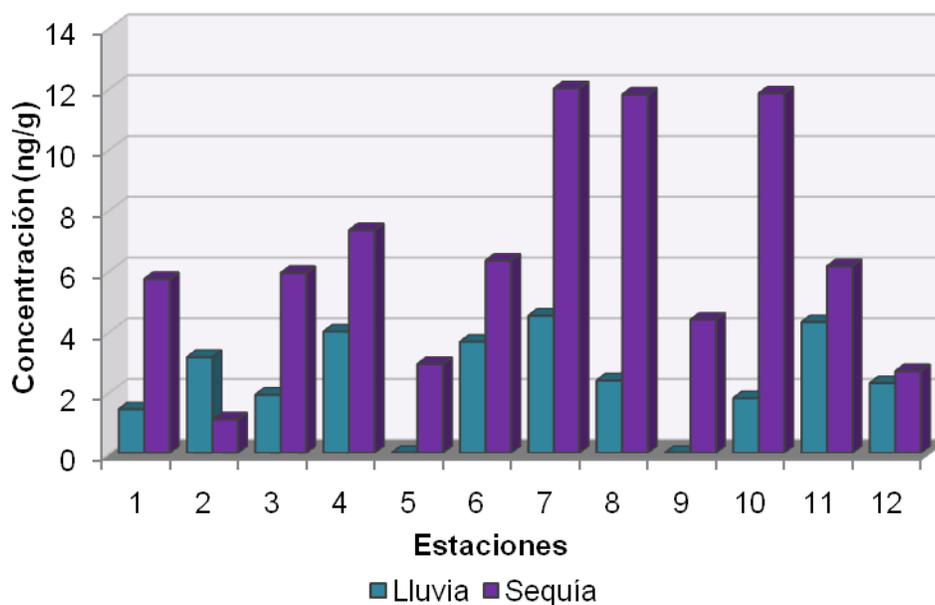


Figura 11. Distribución de fenantreno en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, durante las temporadas de lluvia y sequía.

En los sedimentos superficiales de la Bahía Concepción (Chile), Rudolph *et al.* (2002) encontraron concentraciones de fenantreno entre 64 y 281 mg/kg, mucho mayores a las del Saco, los autores sugirieron que el origen de este proviene de la oxidación de la materia orgánica, aguas servidas y residuales; sin embargo, las concentraciones del mismo están debajo del nivel de riesgo.

Antraceno

El antraceno es un HAPs de baja masa molecular de tres anillos aromáticos. Aunque anteriormente era tratado como un carcinógeno, fuentes más recientes han indicado que no es clasificable como carcinogénico para los seres humanos (Irwin, 1997). Es utilizado en la producción de antraquinona, una importante materia prima para la fabricación de colorantes rápidos. Se emplea también como diluyente para conservantes de la madera y en la producción de fibras sintéticas, plásticos y monocristales (Stellman y McCan, 1998).

La liberación del antraceno al medio ambiente es bastante general, ya que es un producto ubicuo de la combustión incompleta y tiene extensas fuentes naturales y antropogénicas. En gran parte esta asociado con el material particulado, suelos, y sedimentos; se ha detectado en los efluentes industriales, en las aguas de escorrentía, en las aguas superficiales y sedimentos, en las aguas subterráneas y en el agua potable. Los efluentes industriales que tienen más probabilidades de contener compuestos aromáticos polinucleares incluyendo antraceno son las aguas residuales de la industria de combustibles sintéticos (Irwin, 1997).

En los sedimentos del Saco del Golfo de Cariaco fueron encontradas concentraciones relativamente bajas de antraceno, como se puede observar en la Figura 12, dichas concentraciones mantienen una relación muy parecida en ambas temporadas, obteniéndose las mayores concentraciones en las estaciones 2, 4, 8 y 9, para ambos casos. Siendo la más alta de 1,21 ng/g (Estación 9) en la época de lluvia y de 2,15 ng/g (Estación 8) en sequía. Las concentraciones más bajas fueron halladas en las estaciones 1, 5 y 12. En ambos casos con valores inferiores a 0,30 ng/g. Dichas concentraciones

estuvieron por debajo del límite establecido por la WAC (2003), para ser considerados como sedimentos contaminados (220 mg/kg).

El análisis de varianza aplicado a las concentraciones halladas en las dos temporadas de estudio demostró que no existen diferencias significativas entre ambos periodos (Tabla A7 en apéndice) con un nivel de confianza del 95%.

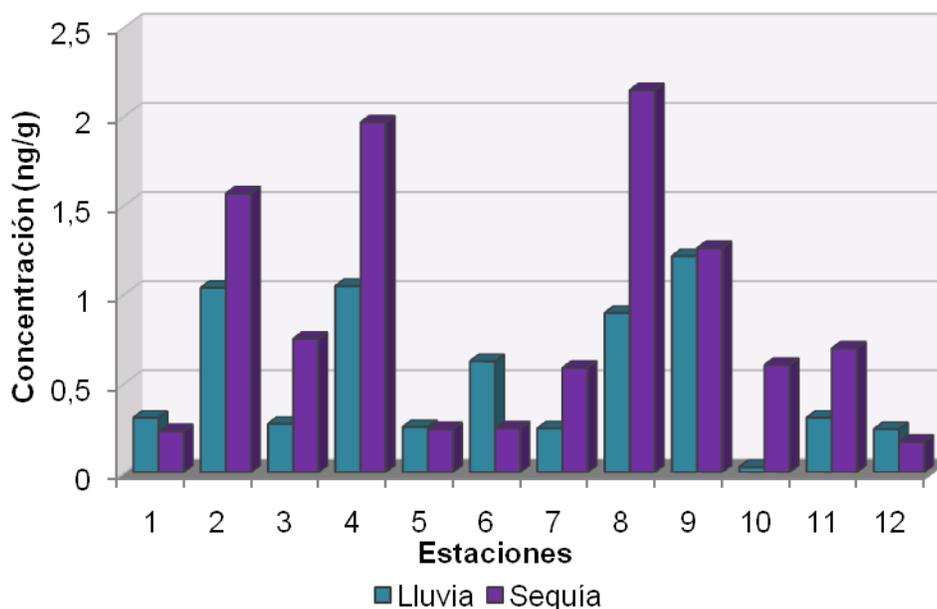


Figura 12. Distribución de antraceno en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, durante las temporadas de lluvia y sequía.

En los ambientes contaminados por HAPs generalmente suelen predominar los hidrocarburos con más de tres anillos aromáticos, ya que estos tienden a ser más persistentes (Pellini, 2006); sin embargo, en los sedimentos del Saco se observaron concentraciones bajas de los mismos. Al igual que en el caso del naftaleno, el antraceno no necesariamente está asociado a productos del petróleo (Huntley *et al.*, 1993), si no, con los derivados de las fábricas de pinturas y químicos, aunque en el área del Saco

del Golfo de Cariaco no hay este tipo de industrias. Sin embargo, Le Dréau *et al.* (1997) sostienen que el antraceno se detecta en áreas urbanas e industriales y también por la quema de bosques, al respecto, en varias poblaciones del Saco se puede observar la quema de árboles y de desechos.

En los sedimentos del Puerto de Salina Cruz, Oaxaca, México (Botello *et al.*, 1995) se hallaron concentraciones similares a las del Saco para el antraceno, con valores entre 0,13 y 23,35 ng/g para la época de sequía y entre 0,10 y 5,61 ng/g para lluvia. A pesar de que en esta área se determinaron altas concentraciones de HAPs totales, debido a los aportes petrogénicos de la refinería cercana al área de estudio, el antraceno representó bajos porcentajes de los mismos, siendo mayoritarios otros hidrocarburos.

En los sedimentos del Rio Metztitlan, México, García *et al.* (2006) reportaron concentraciones de antraceno mucho más altas a las encontradas en el Saco con valores que oscilan entre 2,1 y 33,6 ng/g. El origen de los HAPs en esa área es de tipo industrial, hecho que lo contrasta con la actividad agrícola en la región. En ese momento no fue posible señalar cual es la fuente de los HAPs; sin embargo, es posible que estos contaminantes se hayan transportado por agua o a través de la atmósfera, como señaló Calva *et al.* (2001).

Fluoranteno

El fluoranteno es un HAPs de alta masa molecular con 4 anillos. Los HAPs más pesados (4, 5 y 6 anillos), como este, tienden a ser más persistentes que los más ligeros (2 y 3 anillos).

La liberación del fluoranteno en el aire y el agua es bastante general ya que este es un producto de la combustión de materia orgánica y está presente en productos de combustible fósiles. Su liberación es mayor en las áreas con alta actividad antropogénica. Tanto en el aire, como el agua, tiende a ser asociado con el material de particulado. Cuando es liberado en el agua, rápidamente se adsorbe a los sedimentos y partículas en la columna de agua, y es bioconcentrado en organismos acuáticos. El fluoranteno suele ser estable en los sedimentos durante décadas o más (Irwin, 1997).

De los HAPs detectados en las muestras de sedimentos, el fluoranteno fue el que se encontró en mayor concentración en ambas temporadas. La mayor concentración en la temporada de lluvia fue la correspondiente a la estación 2 con 76,61 ng/g (Tabla A3 del apéndice), y para la temporada de sequía fue en la estación 12 con 71,34 ng/g (Tabla A4 del apéndice); mientras que la concentración más baja en ambos casos fue en la estación 11, con valores de 16,44 y 20,99 ng/g para lluvia y sequía respectivamente.

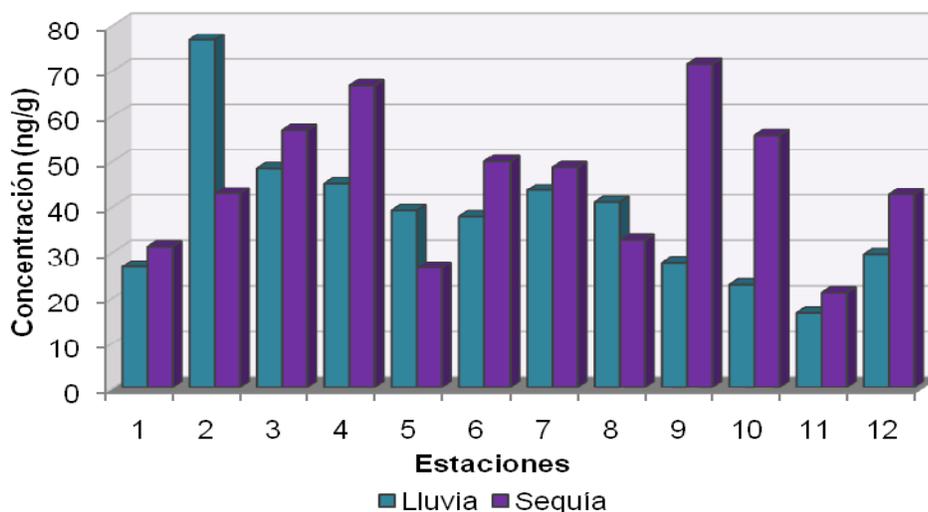


Figura 13. Distribución de fluoranteno en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, durante las temporadas de lluvia y sequía.

El análisis de varianza (Tabla A5, en apéndice) señaló que no existen diferencias significativas entre los valores hallados en los dos meses, con un intervalo de confianza de 95%.

A pesar de que las mayores concentraciones de este compuesto fueron halladas en estaciones en las que los sedimentos poseen textura arenosa, y bajos porcentajes de carbono orgánico, en el resto de las estaciones también se observan altas concentraciones del mismo (Figura 13); la distribución del compuesto en las distintas estaciones fue relativamente homogénea, observándose altos valores a lo largo de todo el Saco. Sin embargo, según el criterio de la calidad estándar de los sedimentos de la WAC (2003) ninguna de éstas superó el límite establecido para sedimentos contaminados y sin efectos adversos en el ecosistema (160 mg/kg).

La presencia mayoritaria de este compuesto en los sedimentos, puede ser comparada con otros estudios en los cuales se observa la misma tendencia. En los sedimentos del puerto de Salina Cruz, Oaxaca, México (Botello *et al.*, 1995), el fluoranteno estuvo en elevadas concentraciones, constituyendo parte importante de los materiales sedimentarios analizados. La singular presencia de fluoranteno y otros HAPs de 4 y 5 anillos en estos sedimentos, indica que su origen es debido a la combustión incompleta de los hidrocarburos fósiles (pirólisis), derivada de las múltiples actividades portuarias y de la refinería cercana al área de estudio, aunque las concentraciones encontradas en este análisis fueron menores a las halladas para los sedimentos del Saco. Por otro lado, en los sedimentos superficiales de la bahía Concepción, Chile (Rudolph *et al.*, 2002), se identificó el fluoranteno como compuesto mayoritario de los HAPs estudiados. El análisis de las relaciones de concentración y distribución sugirió que el mismo provenía de contaminación por hidrocarburos. Estas concentraciones fueron

mucho mayores que las encontradas en los sedimentos del Saco del Golfo de Cariaco, pero de igual manera están bajo el nivel de riesgo.

Pireno

El pireno es un HAPs que posee 4 anillos bencénicos, por este motivo entra en la clasificación de HAPs de alta masa molecular. No tiene actividad cancerígena, pero sus derivados benzo[a]pireno y dibenzopireno son cancerígenos muy potentes (Stellman y McCan, 1998).

Al liberarse el pireno al medio ambiente puede encontrarse en muchos lugares, ya que este es un producto ubicuo de combustión incompleta. En gran parte está asociado con la material particulado, suelos y sedimentos. Aunque las concentraciones suelen ser más altas en los sitios cercanos a la fuente de emisión, su presencia en sitios distantes de fuentes primarias indica que es razonablemente estable en la atmósfera y capaz de transportarse a largas distancias (Irwin, 1997).

Las concentraciones detectadas del pireno en las distintas estaciones y temporadas se pueden observar en la Figura 14. Para la época de lluvia sólo fue detectado en las estaciones 2, 3 y 6 con concentraciones de 1,82; 2,38 y 1,78 ng/g respectivamente, como se observa en la Tabla A3 del apéndice. De manera contraria, en la época de sequía, el pireno fue detectado en todas las estaciones; las concentraciones más bajas son las correspondientes a las estaciones 2 y 11 con valores de 1,26 y 1,16 ng/g; mientras que los más altos son de 3,12 y 2,93 ng/g en las estaciones 7 y 6 respectivamente. Como se puede observar en la Figura 13, en el resto de las estaciones las concentraciones del pireno se mantuvieron relativamente parecidas, observándose poca variación en las distintas concentraciones en la época de

sequía (Tabla A4 apéndices).

El análisis de varianza aplicado a los resultados para ambos meses de estudio, demostró que no hay diferencias significativas (Tabla A7 del apéndice) entre los dos periodos de estudio con un intervalo de confianza de 95%.

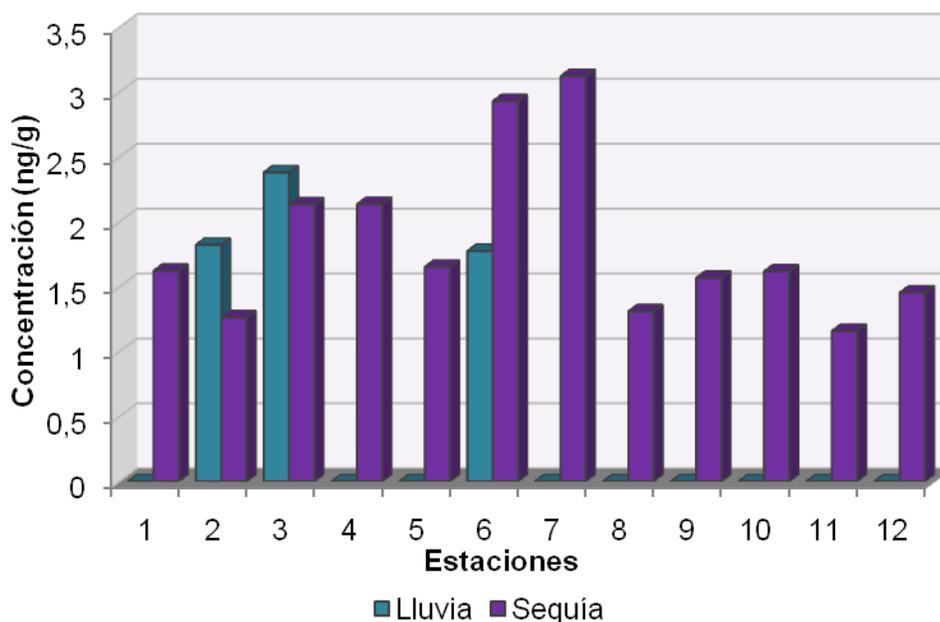


Figura 14. Distribución de pireno en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, durante las temporadas de lluvia y sequía.

El pireno, a pesar de que suele encontrarse como componente mayoritario del total de HAPs en el medio ambiente (Irwin, 1997), en los sedimentos del Saco se encontró en concentraciones relativamente bajas, mucho más al compararlas con las encontradas en otras áreas. En los sedimentos del Golfo de Rijeka, Croacia, Bihari *et al.* (2007) reportaron concentraciones entre 34 y 92 ng/g. En los sedimentos superficiales de una zona costera del litoral noreste de La Habana (Cuba), Companioni *et al.*

(2009) reportaron concentraciones promedio de 79 ng/g. En ambos casos, la presencia de este compuesto, al igual que del resto de los HAPs es debida una mezcla de fuentes antropogénicas, en la cual predomina la combustión. Dichas concentraciones, al igual que las del Saco del Golfo de Cariaco estuvieron por debajo del límite establecido por la WAC (2003) para sedimentos no contaminados (1000 mg/kg) y sin efectos adversos en los organismos acuáticos.

Benzo[b]fluoranteno

El benzo[b]fluoranteno es un HAPs el cual esta formado por un anillo de cinco carbonos y cuatro anillos de seis. Ha sido clasificado por la USEPA como posible carcinogénico. No hay producción comercial o de uso conocido de este compuesto. Este se encuentra en los combustibles fósiles y se produce por doquier en los productos de la combustión incompleta. Se ha detectado en el humo del cigarrillo normal, del aire urbano, escape del motor de gasolina, las emisiones de la quema de carbón y de gasoil de calefacción, alimentos ahumados y asados, aceites y margarinas, y en los suelos, aguas subterráneas y aguas superficiales en sitios de desechos peligrosos (ATSRD, 1990).

Aunque no existen datos en humanos que vinculen específicamente la exposición a benzo[b]fluoranteno con el cáncer, el mismo es un componente de las mezclas que se han asociado con el cáncer humano. Estos incluyen el alquitrán de carbón, hollín, emisiones de hornos de coque y el humo del cigarrillo. De todas las emisiones estimadas de benzo[b]fluoranteno al medio ambiente, el 97% son al aire. Del 3% restante, aproximadamente igual cantidad son liberadas al agua y la tierra (Irwin, 1997).

Este fue el HAPs detectado en menor concentración en los sedimentos del saco. Tal como se nota en la Figura 15, las concentraciones del benzo[b]fluoranteno no superaron los 1,2 ng/g; observándose las mayores concentraciones en las estaciones 4, 5, 6 y 8 en la temporada de lluvia, siendo la máxima de 0,67 ng/g (Estación 5), tal como se observa en la Tabla A3 del apéndice; mientras que para la época de sequía, de manera similar, las estaciones con más altas concentraciones fueron la 2, 4, 7, 8 y 10, reportándose el valor más alto de 1,11 ng/g en la estación 4 (Tabla A4 del apéndice). Todas estas estaciones, con excepción de la 2, se obtuvieron texturas para los sedimentos del tipo areno limosos y limo arenosos, con valores intermedios de carbono orgánico. En las estaciones 9 y 11 para la época de lluvia no fue detectado el compuesto, ambas estaciones con sedimentos de textura arenosa.

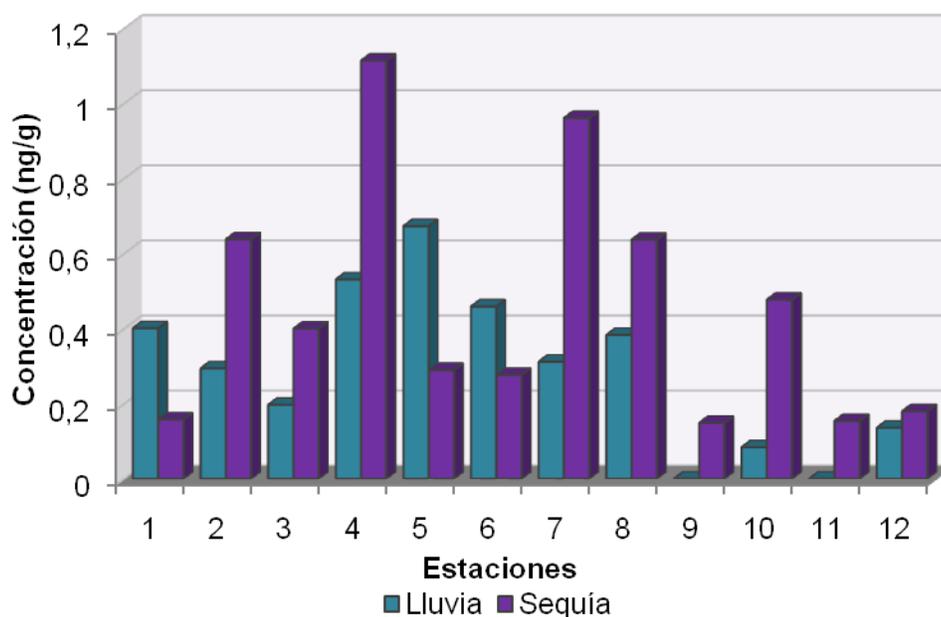


Figura 15. Distribución de benzo[b]fluoranteno en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, durante las temporadas de lluvia y sequía.

Al igual que en los sedimentos del Saco, existen estudios en otras áreas en que la presencia del benzo[b]fluoranteno es minoritaria. Baran *et al.* (2002) encontraron que este fue uno de los HAPs encontrado en menor porcentaje en los sedimentos superficiales del Rio Narew (Polonia), aunque con concentraciones más altas que las del Saco, las cuales estuvieron entre 1,7 y 6,1ng/g. Se ha reportado que la presencia de los HAPs de alta masa molecular en estos ecosistemas son ocasionados principalmente por la combustión a altas temperaturas (Fernández et al., 1997).

HAPs TOTALES Y SUS FUENTES PROBABLES

El contenido de HAPs en los suelos y sedimentos suele expresarse como suma total de los 16 HAPs considerados por la EPA.

En el caso de los sedimentos del Saco del Golfo de Cariaco, sólo fueron detectados 6 HAPs, y la sumatoria de estos, para las dos temporadas de estudio, están graficadas en la Figura 16 y los valores en las Tablas A3 y A4 del apéndice. Las concentraciones máximas fueron de 84,47 ng/g, en la estación 2, para la temporada de lluvia y de 81,54 ng/g, en la estación 4, para sequía, mientras que los valores mínimos fueron de 21,15 y 32, 62 ng/g, ambos en la estación 11. El resto de las estaciones con alto contenido de HAPs fueron la 3, 4, 6, 7 y 9, con valores superiores a 45 ng/g. La mayoría de estas estaciones pertenecientes a la zona central del Saco, en donde fue encontrado los porcentajes más altos de carbono orgánico.

Resultados similares fueron obtenidos por Baran *et al.* (2002) en los sedimentos superficiales del Rio Nawer, en Polonia, en donde las concentraciones de HAPs totales estuvieron en el rango de 21,0 y 598,8 ng/g, con un promedio de 192,8 ng/g. Los niveles más altos de concentración

en algunos sitios de recolección de la muestra fueron causados por la actividad antrópica, así como por las propiedades de los sedimentos estudiados, observándose mayores concentraciones en los del tipo limoso, con los HAPs de baja masa molecular como dominantes, con más del 65% de la cantidad total de los HAPs determinados, asociándose con la combustión de combustibles fósiles.

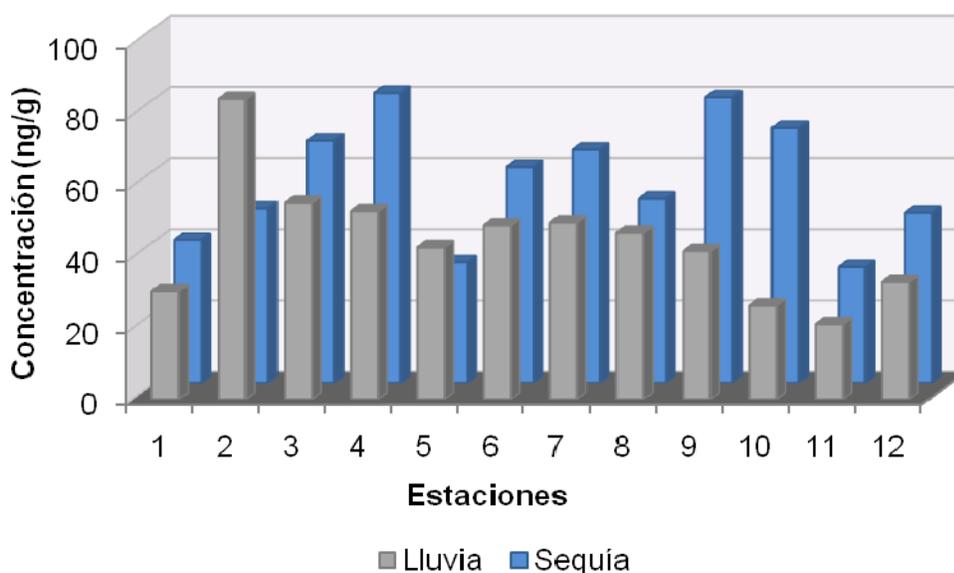


Figura 16. Distribución de los HAPs totales en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, durante las temporadas de lluvia y sequía.

La adsorción de moléculas orgánicas hidrofóbicas en los suelos y sedimentos es determinado generalmente por el contenido de carbono orgánico en el mismo (Toul *et al.*, 2005). La relación entre cada uno de los HAPs con el carbono orgánico de los sedimentos del Saco fueron estudiados por la matriz de correlación de Pearson, cuyos resultados para lluvia y sequía se muestran en las Tablas A8 y A9 del apéndice respectivamente. En ellas se puede observar que existen muy bajos niveles de correlación ($r < 0,500$) entre los pares de varianzas, con excepción del benzo[b]fluoranteno-CO,

cuya correlación fue significativa ($r= 0,533$ y $0,705$ para lluvia y sequía, respectivamente). Este hecho sugiere diferentes niveles específicos de contaminación de la materia orgánica en lugar de simple dilución con los componentes inorgánicos del sedimento. La falta de correlación entre los HAPs y el carbono orgánico de los sedimentos también puede atribuirse a condiciones meteorológicas, las propiedades del sedimento o la fácil degradación de los HAPs en el mismo (Olajire y Brack, 2005).

Los HAPs antropogénicos se forman principalmente por dos mecanismos: la combustión de combustibles fósiles (origen pirogénico) y la emisión de materiales relacionados con el petróleo (origen petrogénico) (Ranu *et al.*, 2009). Algunas de las relaciones que han sido usadas por varios autores para determinar el origen de los HAPs en ciertos ecosistemas son las de fenantreno/antraceno y fluoranteno/pireno (Budzinski *et al.*, 1997; King *et al.*, 2004 y Bihari *et al.*, 2007).

En términos generales, para el caso de la relación fenantreno/antraceno, valores superiores a 10 indican un origen petrogénico para los HAPs, mientras que cuando los valores son inferiores a 10 predominan las fuentes pirogénicas. Consideraciones similares son aplicables a la relación fluoranteno/pireno, en donde los valores mayores que 1 son clásicamente relacionados con los orígenes pirogénicos, mientras que al ser menores que 1, se asume que los HAPs provienen de productos derivados del petróleo (Baran *et al.*, 2002).

En los sedimentos del Saco del Golfo de Cariaco, en algunas estaciones la relación fenantreno/antraceno arrojó valores superiores a 10, lo que indicaría aparentemente un origen petrogénico de los HAPs, sin embargo fueron mayoritarios los valores inferiores a 10 (Tablas A8 y A9 en

apéndice), lo que se corrobora con los valores de la relación fluoranteno/pireno, en donde todos fueron superiores 1, ya que el fluoranteno fue el compuesto predominante en los sedimentos, lo que indica un origen pirolítico de los HAPs.

Tabla 9. Valores de las relaciones fenantreno/antraceno y fluoranteno/pireno en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, durante la temporada de lluvia

Estación	Fenantreno/antraceno	Fluoranteno/pireno
1	4,69	-
2	3,05	42,03
3	7,01	20,28
4	3,82	-
5	0,00	-
6	5,87	21,26
7	18,30	-
8	2,67	-
9	0,00	-
10	60,13	-
11	14,03	-
12	9,47	-

Tabla 10. Valores de las relaciones fenantreno/antraceno y fluoranteno/pireno en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, durante la temporada de sequía

Estación	Fenantreno/antraceno	Fluoranteno/pireno
1	24,69	19,15
2	0,71	33,84
3	7,90	26,57
4	3,74	31,15
5	12,05	15,98
6	25,65	17,02
7	20,45	15,55
8	5,50	24,81
9	3,49	45,50
10	19,64	34,33
11	8,83	18,11
12	15,66	29,25

De acuerdo a esas relaciones obtenidas se concluye que el origen de los HAPs determinados en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco es primordialmente pirolítico, tanto proveniente de combustibles fósiles (gasolinas, aceites y lubricantes) usados y transportados en las lanchas, y también por los vehículos que se desplazan en las localidades cercanas al Saco, como por la quema de vegetación en la áreas cercanas, sin descartar el transporte atmosférico de las partículas urbanas, los desechos arrojados por las poblaciones cercanas al mar y en menor proporción el origen petrogénico.

CONCLUSIONES

El carbono orgánico de los sedimentos del Saco presentó una correlación positiva con el porcentaje de limos en los mismos, observándose la mayor cantidad de carbono en aquellos sedimentos en los cuales se encontraron altos porcentajes de la textura limosa.

En todas las muestras analizadas, el compuesto en mayor concentración fue el fluoranteno, seguido del fenantreno, naftaleno, pireno, antraceno y benzo[b]fluoranteno.

Según el criterio de calidad estándar de los sedimentos, ninguna de las concentraciones halladas para los HAPs en los sedimentos del Saco del Golfo de Cariaco superó el límite establecido para sedimentos contaminados y sin efectos adversos en los recursos biológicos.

El origen de los HAPs en los sedimentos del Saco del Golfo de Cariaco es primordialmente pirolítico, tanto proveniente de los combustibles fósiles como por la quema de vegetación en las áreas cercanas.

El análisis de varianza realizado a todos los parámetros analizados arrojó que, estadísticamente, no hay diferencia significativa entre los dos meses estudiados con un intervalo de confianza de 95%, con excepción de las concentraciones del fenantreno.

BIBLIOGRAFÍA

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 1990. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). Department of Health and Human Services Public Health Service. *Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*. EEUU. < <http://www.atsdr.cdc.gov/>>.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2005. Resumen de salud pública: Naftalina, 1-Metilnaftalina y 2-Metilnaftalina. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. < <http://www.atsdr/cdc.gov/es>>.

Alvarez, M.; Méndez, F. y Chirinos, J. 2007. Estudio ambiental preliminar de los sedimentos de tres embalses de la región centro norte de Venezuela. *Ciencia*, 15(2): 259-269.

Banjoo, D. y Nelson, P. 2005. Improved ultrasonic extraction procedure for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments. *Journal of Chromatography A*, 1066: 9–18.

Baran, S. y Oleszczuk K. 2002. Chromatographic determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in sewage sludge, soil, and sewage sludge-amended soils. *Polish journal of environmental studies*, 11(6): 609-615.

Baran, S.; Oleszczuk, P.; Lesiuk, A. y Baranowska, E. 2002. Trace metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediment samples from the Narew River (Poland). *Polish Journal of Environmental Studies*, 11(4): 299-305.

Bayona, J.; Fernández, P. y Albaigés, J. 1993. Oxy-substituted PAH in urban atmospheric particulates and coastal marine sediments. *Polycyclic Aromatic Compounds*, (3): 371-378.

Bihari, N.; Fafandel, M. y Piskur, V. 2007. Polycyclic aromatic hydrocarbons and ecotoxicological characterization of seawater, sediment, and mussel *Mytilus galloprovincialis* from the gulf of Rijeka, the Adriatic Sea, Croatia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 52: 379–387.

Budzinski, H.; Jones, I.; Bellocq, J.; Pierard, C. y Garrigues, P. 1997. Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde Estuary. *Marine Chemistry*, 58:85-97.

Bonilla, J. y Lin, A. 1979. Materia orgánica en los sedimentos de los Golfos de Paria y Cariaco. *Boletín del Instituto Oceanográfico De Venezuela. Universidad De Oriente*, 18(1 y 2): 37-52.

Botello, A.; Villanueva, S.; Díaz, G. y Pica, Y. 1995. Contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos y organismos del puerto de Salina Cruz, Oaxaca, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 11(1): 21-30.

Calva, L.; Pérez, A. y Márquez, A. 2006. Contenido de carbono orgánico y características texturales de los sedimentos del sistema costero lagunar Chantuto- Panzacola, Chiapas. *Hidrobiológica*, 16(2): 127-135.

Castro, L.; Delgadillo, J.; Ferrera, R. y Alarcón, A. 2008. Remoción de fenantreno por *azolla caroliniana* utilizando bioaumentación con microorganismos hidrocarbonoclastas. *Interciencia*, 33(8): 591-597.

Cram, S.; Ortíz, R. y Paéz, R. 2004. Hidrocarburos aromáticos policíclicos. En: *Las sustancias tóxicas persistentes*. Fernández, A.; Yarto, M. y Castro, J. Master print, México.

Constantino, C. 1970. "Textura del suelo". "Wikipedia". <http://es.wikipedia.org/wiki/Textura_del_suelo>. (07/11/2009).

Companioni, E.; Núñez, C.; Cora, M.; González, L.; Marbot, R.; Moentes, R.; Rosabal, M. y Díaz, M. 2009. Petroleum hydrocarbon assessment in the sediments of the northeastern Havana littoral, Cuba. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 25 (1): 5-14.

Debestani, R. y Ivanov, I. 1999 Invited review: A compilation of physical, spectroscopic and photophysical properties of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Photochemistry and photobiology*, 70: 10.

Fernandez, M.; Sicre, M.; Bioreau, A. y Troczynski, J. 1997. Polyaromatic hydrocarbon (PAH) distributions in the Seine River and its estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 34(11): 857-867.

García, J.; Gordillo, A.; Pulido, Griselda.; Monks, S.; Villagómez, J.; y Acevedo, O. 2006. "Evaluación de la concentración de hidrocarburos

aromáticos policíclicos en las aguas de la reserva de la biosfera barranca de Metztlán. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo". <www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/CA/EO/CAO-59.pdf ->. (05/05/2009).

Gaudette, H.; Flight, W.; Toner, L. y Folger, D. 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *Journal of sedimentary Petrology*, 44(1): 249-253.

González, M.; Méndez, L.; López, D. y Vázquez, A. 2006. Evaluación de la contaminación en sedimentos del área portuaria y zona costera de salina cruz, Oaxaca, México. *Interciencia*, 31(9): 647-656.

Herrera, M.; Rodríguez, A. y Guerrero, Z. 2008. Evaluación del crecimiento, actividad de hemoperoxidasas y remoción de fenantreno de los cultivos celulares de *Fouquieria Splendens* y *Fouquieria Fasciculata*. *Polibotánica*, 25: 101-119.

Huntley, S.; Bonnevie, N.; Wenning, R. y Bedbury, H. 1993. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH's) in three norther New Jersey waterways. *Bulletin Environmental contamination y Toxicology*, 51: 865-872.

Irwin, R. (ed). 1997. *Environmental Contaminants Encyclopedia*. National Park Service. U.S. Department of the Interior, Colorado.

Jaward, F.; Barber, J.; Booij, K. y Jones, C. 2004. Spatial distribution of atmospheric PAHs and PCNs along a north south Atlantic transect. *Environmental Pollution*, 132: 173-181.

King, A.; Readman J. y Zhou. 2004. Dynamic behavior of polycyclic aromatic hydrocarbons in Brighton marina, UK. *Marine Pollution Bulletin.*, 48:229-239.

Le Dréau, Y.; Jacquot, P.; Doumenq, M.; Guiliano, J.; Bertrand, C. y Mille, C. 1997. Hydrocarbon balance of a site which has been hyghly and chronically contaminated by petroleum wastes of a refinery (From 1956 to 1992). *Marine Pollution Bulletin*, 34(6):456-468.

Manoli, E. y Samara, C. 1996. Polycyclic aromatic hydrocarbons in waste waters and sewage sludge: Extraction and clean-up for HPLC analysis with fluorescence detection. *Chromatographia*, 43(3): 135-142.

Mariani, C. y Pompeo, M. 2008. La calidad del sedimento. *Ciencia hoy: Asociación Ciencia Hoy*, 18: 48-53.

Márquez, A.; Bonilla, J.; Martínez, G.; Senior, W.; Aguilera, D. y González, A. 2005. Estudio geoquímico de los sedimentos superficiales del litoral nororiental del Golfo de Cariaco, Edo. Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico De Venezuela. Universidad De Oriente*. 44(2): 89-103.

Martinez, G. 2002. Metales pesados en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico De Venezuela. Universidad De Oriente*, 41 (1 y 2): 83-96.

Mastrángelo, M.; Topalián, M.; Mortier, C. y Fernández, A. 2005. Coeficientes de partición de hidrocarburos aromáticos policíclicos con sustancias húmicas: un método simple para su determinación. *Revista de Toxicología*, 22(3): 169-174.

Matheus, P. y Caruso, M. 2004. Investigation of natural and anthropogenic hydrocarbon inputs in sediments using geochemical markers. II. São Sebastião, SP-Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 49: 892-899.

Olajire, A y Brack, W. 2005. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Niger Delta soil: Contamination sources and profiles. *International journal of Environmental Science and Technology*, 2(4): 343-352.

Padmalal, D. y Seralathan, P. 1995. Organic carbón and phosphorus loading in recently deposited riverine and estuarine sediments—a granulometric approach-. *Indian Journal of Earth Sciences*, 22: 21-28.

Parra, J. y Espinoza, L. 2008. Distribución de metales pesados (Pb, Cd y Zn) en perfiles de sedimento asociado a *Rhizophora Mangle* en el río Sevilla-Ciénaga grande de Santa Marta, Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 37(1): 95-110.

Pellini, L. 2006. Biorremediación estimulada por efluentes cloacales tratados de suelos contaminados con hidrocarburos. Trabajo de pregrado. Departamento de Química de la Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional del Comahue, Buenos Aires.

Peña, A.; Morales, J.; Labastida, C. y Capella, S. 2003. Extracción en fase sólida como una alternativa para el procedimiento de limpieza en la determinación de hidrocarburos aromáticos policíclicos por cromatografía de gases: aplicación a organismos marinos. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 19(1):13-23.

Ping, L. y Panuwat, H. 2006. Characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) on lime spray dryer (LSD) ash using different extraction methods. *Chemosphere*. 62: 265-274.

Pino, V. 2002. Extracción y preconcentración micelar. Aplicación a la determinación de hidrocarburos aromáticos policíclicos en muestras de interés medioambiental. Trabajo de Ascenso. Departamento de Química Analítica, Nutrición y Bromatología. Universidad de La Laguna, España.

Primo, E. y Carrasco, J. 1973. *Química Agrícola I. Suelos y fertilizantes*. 1era. edición. Editorial Alhambra, S.A. España.

Reynolds, C. y Skipper, H. 2005. Bioremediation of contaminated soils. En: *Principles and Applications of Soil Microbiology*. Sylvia, D.; Furhmann, J.; Hartel, P. y Zuberer D. (eds.). Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, EEUU. Págs. 536-561.

Rand, G. y Petrocelli, S. 1985. *Fundamentals of aquatic toxicology*. Hemisphere Publishing Corporation. United States.

Ranu, T.; Rakesh, K.; Mohan, K.; Devendra, K. y Jai, R. 2009. Distribution, sources and characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediment of the river Gomti, lucknow, India. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 83: 449–454.

Rudolph, A.; Franco, C.; Becerra, J.; Barros, A. y Ahumada, R. 2002. Evaluación de materia orgánica e hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos superficiales, bahía Concepción-Chile. *Boletín de la Sociedad Chilena de Química*, 47(4).

Sheppard, F. 1954. Nomenclature based on sand-silk-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, 24(3): 151-158.

Singh, A.; Hasnain, S. y Banerjee, D. 1999. Grain size and geochemical partitioning of heavy metals in sediments of the Damodar River: a tributary of the lower Ganga, India. *Environmental geology*, 39 (1): 90-98.

Soledispa, B. y Villacres, J. 1989. Estudio sedimentológico y mineralógico de la plataforma continental ecuatoriana en el tramo comprendido entre salinas y ayampe. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 5(1): 56-77.

Stellman, J. y McCan, M. "Hidrocarburos poliaromáticos". *Enciclopedia de*

Salud y Seguridad en el Trabajo. 1998 ed., Págs. 310-319.

Toul, J.; Bezdek, J.; Kovarova, M.; Bahacek, Z.; Hanák, J.; Milicka, J. y Muller, P. 2005. Sorption of hydrophobic organic pollutants on soils and sediments. *Bulletin of Geosciences*, 78(3): 205–223.

Velásquez, L. 2005. Distribución y comportamiento de los metales pesados Cd, Cu, Ni, Zn, Fe, Mn, Co, Cr y Pb en sedimentos superficiales del sector oriental del Golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela. Trabajo de pregrado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.

Villar, M. 2004. Determinación y distribución de hidrocarburos aromáticos policíclicos en el tratamiento de lodos EDARs. Trabajo de Ascenso. Departamento de Química Analítica. Universidad de Sevilla, España.

Vives, I.; Grimalt, J. y Guitart, R. 2001. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos. *Apuntes de ciencia y tecnología*, 3: 45-51.

Washington Administrative Code. WAC. 2003. Marine sediment quality standards. Section 173-204-320. 4pp. Washington State Legislature. <<http://apps.leg.wa.gov/WAC/default.aspx?cite=173-204-320>>.

Wang, X.; Yao, T.; Cong, Z.; Yan, X.; Kang, S. y Zhang, Y. 2007. Concentration level and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil and grass around Mt. Qomolangma, China. *Chinese Science Bulletin*, 52(10): 1405-1413.

Wingen, L.; Low, J. y Fianlayson, B. 1998. Chromatography, absorption, and fluorescence: A new instrumental analysis experiment on the measurement of polycyclic aromatic hydrocarbons in cigarette smoke. *Journal of Chemical Education*, 75(12): 1599-1602.

APÉNDICE

Tabla A1. Porcentajes de carbono orgánico obtenidos en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, durante la temporada de lluvia

Estación	% Carbono orgánico
1	1,27
2	1,98
3	2,88
4	4,40
5	2,53
6	1,15
7	3,72
8	4,67
9	1,07
10	1,31
11	0,32
12	1,16
Mínimo	0,32
Máximo	4,67

Tabla A2. Porcentajes de carbono orgánico obtenidos en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, durante la temporada de sequía

Estación	% Carbono orgánico
1	1,33
2	1,19
3	4,15
4	4,10
5	2,75
6	1,29
7	4,09
8	4,73
9	0,51
10	0,98
11	0,13
12	0,38
Mínimo	0,13
Máximo	4,73

Tabla A3. Concentraciones de los HAPs en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, durante la temporada de lluvia

Estación	Concentración (ng/g)						HAPs Total
	Naftaleno	Fenantreno	Antraceno	Fluoranteno	Pireno	Benzo[b]fluoranteno	
1	1,67	1,44	0,31	26,64	N.D.	0,40	30,46
2	1,54	3,16	1,04	76,62	1,82	0,29	84,47
3	2,25	1,92	0,27	48,30	2,38	0,20	55,32
4	2,31	3,99	1,05	45,07	N.D.	0,53	52,95
5	2,77	N.D.	0,26	39,07	N.D.	0,67	42,77
6	4,65	3,66	0,62	37,74	1,78	0,46	48,91
7	1,15	4,52	0,25	43,50	N.D.	0,31	49,73
8	2,33	2,39	0,90	40,87	N.D.	0,38	46,86
9	12,92	N.D.	1,21	27,59	N.D.	N.D.	41,72
10	1,83	1,80	0,03	22,70	N.D.	0,08	26,45
11	0,11	4,31	0,31	16,42	N.D.	N.D.	21,15
12	0,98	2,3	0,24	29,41	N.D.	0,14	33,07

N.D.: No detectado

Tabla A4. Concentraciones de los HAPs en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, durante la temporada de sequía

Estación	Concentración (ng/g)						HAPs Total
	Naftaleno	Fenantreno	Antraceno	Fluoranteno	Pireno	Benzo[b]fluoranteno	
1	1,43	5,73	0,23	31,06	1,62	0,16	40,22
2	1,72	1,11	1,57	42,78	1,26	0,64	49,07
3	2,21	5,93	0,75	56,72	2,14	0,40	68,14
4	2,43	7,34	1,96	66,54	2,14	1,11	81,52
5	2,48	2,93	0,24	26,41	1,65	0,29	34,00
6	1,06	6,34	0,25	49,86	2,93	0,28	60,70
7	0,39	12,00	0,59	48,55	3,12	0,96	65,61
8	3,46	11,80	2,15	32,50	1,31	0,64	51,85
9	1,58	4,39	1,26	71,34	1,57	0,15	80,28
10	1,55	11,84	0,60	55,62	1,62	0,48	71,70
11	3,47	6,15	0,70	20,99	1,16	0,15	32,62
12	0,81	2,69	0,17	42,53	1,45	0,18	47,83

Tabla A5. Características del HPLC usado para probar las condiciones cromatográficas

Detector	Fluorescencia-Perkin Elmer. Series 2000
Bomba Columna	Perkin Elmer. Binary LC pump. 250 LiChroCART 250-4 LiChrospher PAH (5 μ m)
Sistema de datos Volumen de inyección Tiempo de corrida	Totalchrom Navigator-HPLC 25 μ l 20 min

Tabla A6. Gradiente de fase móvil usado para probar las condiciones cromatográficas

Stp	t (min)	%A	%B	Flujo (ml/min)
0	0	0	100	0,5
1	3	0	100	0,5
2	15	100	0	0,5
3	18	0	100	0,5
4	20	0	100	0,5

A: Acetonitrilo, B: Acetonitrilo: Agua (60:40 V/V)

Tabla A7. F, valor crítico para F y nivel de significancia, obtenidos en el análisis de varianza aplicado a los resultados de los diferentes parámetros para los dos meses analizados con un intervalo de confianza del 95%

Variables	F	Valor crítico para F	NSF
Arenas	1,017	5,33	NS
Limos	0,750	5,33	NS
Arcillas	1,943	5,33	NS
Carbono orgánico	0,012	5,33	NS
Naftaleno	0,973	5,33	NS
Fenantreno	8,653	5,33	S
Antraceno	2,036	5,33	NS
Fluoranteno	1,399	5,33	NS
Pireno	0,176	5,33	NS
Benzo(b)fluoranteno	0,862	5,33	NS

α : 0,05, NSF: Nivel de significancia, NS: No significativo, S: Significativo.

Tabla A8. Matriz de correlación de Pearson entre las diferentes variables estudiadas en los sedimentos superficiales del saco del Golfo de Cariaco para la temporada de lluvia

	Arena	Arcilla	Limo	CO	Naftaleno	Fenantreno	Antraceno	Fluoranteno	Pireno	Benzo[b]fluoranteno
Arena	1,000									
Arcilla	-0,333	1,000								
Limo	-0,962	0,078	1,000							
CO	-0,678	0,084	0,720	1,000						
Naftaleno	0,246	-0,284	-0,199	-0,178	1,000					
Fenantreno	0,133	0,178	-0,177	0,197	-0,564	1,000				
Antraceno	0,289	-0,090	-0,244	0,277	0,567	-0,002	1,000			
Fluoranteno	-0,150	0,059	0,224	0,469	-0,126	0,187	0,435	1,000		
Pireno	0,139	-0,241	-0,042	-0,047	-0,023	0,139	0,100	0,606	1,000	
Benzo[b]fluoranteno	-0,522	-0,007	0,578	0,533	-0,209	-0,014	0,085	0,384	0,046	1,000

Tabla A9. Matriz de correlación de Pearson entre las diferentes variables estudiadas en los sedimentos superficiales del saco del Golfo de Cariaco para la temporada de sequía

	Arena	Arcilla	Limo	CO	Naftaleno	Fenantreno	Antraceno	Fluoranteno	Pireno	Benzo[b]fluoranteno
Arena	1,000									
Arcilla	-0,380	1,000								
Limo	-0,997	0,309	1,000							
CO	-0,864	0,367	0,859	1,000						
Naftaleno	-0,179	-0,039	0,188	0,224	1,000					
Fenantreno	-0,568	0,300	0,559	0,480	0,052	1,000				
Antraceno	-0,195	0,083	0,194	0,451	0,508	0,204	1,000			
Fluoranteno	-0,069	-0,391	0,104	0,120	-0,387	0,112	0,286	1,000		
Pireno	-0,394	0,210	0,388	0,396	-0,566	0,357	-0,253	0,381	1,000	
Benzo[b]fluoranteno	-0,614	0,313	0,606	0,705	-0,020	0,463	0,588	0,339	0,403	1,000

HOJA DE METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/5

Título	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS EN LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL SACO DEL GOLFO DE CARIACO, ESTADO SUCRE, VENEZUELA
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Dakdouk Ortiz, Surima	CVLAC	16997277
	e-mail	sdo8@hotmail.com
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Hidrocarburos aromáticos policíclicos, sedimentos, contaminación.
--

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/5

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Sub área
Ciencias	Química

Resumen (abstract):

En el presente trabajo fue determinado el contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, en 12 estaciones y durante las temporadas de lluvia (junio 2007) y sequía (abril 2008). Para la extracción de los HAPs fue empleada la técnica de ultrasonido, mientras que para la caracterización y cuantificación de los mismos se usó HPLC con detector de fluorescencia, tomando como material de referencia el SRM 1647e, el cual contiene los 16 HAPs considerados por la EPA como contaminantes prioritarios; sin embargo, sólo 6 de éstos fueron detectados en las muestras. Los resultados de textura obtenidos en los sedimentos del Saco los definen como areno-limosos en su mayoría, sobre todo en la zona norte del área de estudio, mientras que en la zona central sedimentos limo-arenosos, obteniéndose mayor porcentaje de carbono orgánico en los últimos. Los resultados obtenidos para las concentraciones de los HAPs demuestran la presencia mayoritaria del fluoranteno, seguido del fenantreno, naftaleno, pireno, antraceno y benzo[b]fluoranteno asociados al sedimento. Según los análisis de varianza realizados a cada uno de los HAPs se demostró que no había diferencias significativas entre las concentraciones encontradas en las dos temporadas, con excepción del fenantreno del cual se encontraron concentraciones más altas durante la época de sequía. Sin embargo, según el criterio de calidad estándar de los sedimentos, ninguno superó el límite establecido para sedimentos no contaminados y sin efectos adversos en los recursos biológicos.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/5

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
MSc. María Valentina Fuentes	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input checked="" type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	mvfuentesh@gmail.com
	e-mail	
Dra. Haidelba D'Armas	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	htrinidad86@hotmail.com
	e-mail	
MSc. Gregorio Martínez	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	gmartine@sucre.udo.edu.ve
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año Mes Día

2009	10	09
------	----	----

Lenguaje: spa

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/5

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
TESIS.doc	Application/word

Alcance:

Espacial: Universal (Opcional)

Temporal: Intemporal (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Licenciatura en Química

Nivel Asociado con el Trabajo: Licenciado

Área de Estudio:

Química

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente. Núcleo de Sucre.

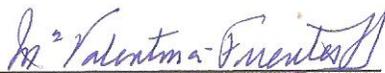
Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/5

Derechos:

Los autores garantizamos en forma permanente a la Universidad de Oriente el derecho de archivar y difundir, por cualquier medio, el contenido de este trabajo especial de grado. Esta difusión será con fines estrictamente científicos y educativos. Los autores nos reservamos los derechos de propiedad intelectual así como todos los derechos que pudieran derivarse de patentes industriales o comerciales.



Surima Dakdouk Ortiz



MSc. Maria Valentina Fuentes
Asesora



Dra. Haidelba D'Armas
Jurado principal



MSc. Gregorio Martínez
Jurado principal

