

ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN MARINA POR HIDROCARBUROS EN ÁREAS CRÍTICAS DE LA COSTA PACÍFICA COLOMBIANA

Alonso José Marrugo González
Químico CCCP

RESUMEN

Se presentan y evalúan los resultados obtenidos en el marco del Programa de Contaminación Marina por Hidrocarburos en el Pacífico Colombiano, los cuales corresponden al análisis de muestras de agua, sedimentos y bivalvos tomadas durante tres muestreos realizados en 1992 y dos de sedimentos y bivalvos en 1993, sobre puntos álgidos, seleccionados con base en valores registrados en anteriores trabajos ejecutados por el CCCP en las zonas costeras del Pacífico colombiano: ensenada de Tumaco, bahía Guapi, isla Gorgona, bahía de Buenaventura, bahía Málaga, bahía Solano y Bahía Cupica; correspondientes a la Región IV, Zonas 1, 2 y 3 del Plan de Desarrollo de Ciencias y las Tecnologías del Mar en Colombia, 1990-2000.

Los resultados obtenidos brindan una visión bastante clara en la mayoría de los casos, de cómo las actividades de movilización y almacenaje de petróleo y sus derivados, contribuyen al aumento de las concentraciones de hidrocarburos en los ecosistemas costeros. Por otro lado, el hecho de haber detectado hidrocarburos petrogénicos, especialmente aromáticos en agua, sedimentos y bivalvos, muestra la existencia de un problema inquietante para el medio marino.



ABSTRACT

The results of a research program on marine pollution by hydrocarbons in Colombian Pacific Ocean, are shown and evaluated corresponding to the analysis of sediment, water and bivalves samples, taken in April, August and December, 1992, and two sediment and bivalves samples taken in 1993 at "hot spots". The stations were selected based on registred values observed in former works carried out by CCCP at the hays of Tumaco, Guapi, Gorgona Island, Buenaventura Bay, Malaga Bay, Solano Bay and Cupica Bay belonging to the TV region, 1, 2, and 3 zones as stipulated by the "Plan de Desarrollo de Ciencias y Tecnologias del Mar en Colombia, 1990-2000"

The results clearly show how the oil handling and storage are significantly increasing the oil concentration in coastal ecosystems.

On the other hand, the fact that aromatic hydrocarbons have been detected both in water, sediments and organisms, accounts for the concern about a worrying marine environment problem.

I NTRODUCCION

Los hidrocarburos pertenecen al grupo de los "residuos químicos orgánicos", según el sistema de clasificación adoptado para catalogar los contaminantes. Los datos relativos a la toxicidad de estos, previenen efectos biológicos a corto y largo plazo, que son respectivamente, los causados por revestimiento y asfixia y los procedentes de la toxicidad del petróleo.

A corto plazo, los efectos se ven reflejados en:

- *La disminución de la transmisión de la luz que afecta la fotosíntesis de la vida vegetal marina.*
- *La disminución del oxígeno disuelto que afecta directamente la fauna marina y asfixia algas y líquenes intermareales.*
- *Daños a las aves acuáticas y a los mamíferos marinos por impregnación de sus plumas y cuerpo que impiden el vuelo y disminuye su flotabilidad con sus respectivas consecuencias. Por otra parte, los hidrocarburos alifáticos con puntos de ebullición bajos y concentraciones acuosas reducidas, producen anestesia y narcosis en una amplia gama de animales inferiores.*

- *La destrucción de plantas y organismos bentónicos al llegar los hidrocarburos al fondo marino, especialmente deslastrados por partículas minerales, reducen la cohesión de los sedimentos del fondo acelerando su transporte a grandes distancias bajo la influencia de mareas y olas.*

- *Los compuestos aromáticos pueden matar organismos incluso en soluciones formadas cuando estos se disuelven en el mar.*

Los efectos a largo plazo son menos conocidos, pero se destacan:

- *Interferencias con hormonas naturales, involucradas en procesos de atracción sexual, y mensajeros químicos en el agua de mar responsables de procesos como búsqueda de comida, huida y localización de hábitats, de varias especies.*

- *La bioacumulación de venenos potenciales y su difusión a través de la cadena trófica marina, que pueden llegar incluso a afectar al hombre.*

La carne de pescado adquiere un olor desagradable si la concentración de gasolina en agua es de 5 Ug/l, un valor de 100.000 Ug/l es letal para muchas larvas, en 50.000 Ug/l pierden la movilidad en una hora, siendo presa fácil de otros

depredadores. Los hidrocarburos aromáticos más tóxicos aun, en soluciones de 1000 Ug/l son letales para algunos peces y, los aromáticos polinucleares, tienen amplios antecedentes cancerígenos (Faber, 1960).

Durante las fases de estudio de la contaminación marina por hidrocarburos desarrolladas por el CCCP (1985-1992), ha sido evidente la presencia de hidrocarburos petrogénicos cuyas fuentes más probables son las actividades de transporte marítimo, almacenamiento y distribución de combustibles.

Una evidencia de ello es la detección de hidrocarburos aromáticos que despierta preocupación al considerar que algunos autores señalan que la toxicidad del crudo en agua o de las fracciones solubles está positivamente ligada con la concentración de aromáticos tales como benceno y naftaleno (Anderson, 1974; GESAMP, 1982).

Estos riesgos potenciales han sido estudiados por una serie de investigadores que, en vista del creciente desarrollo de actividades en la cual se involucra el uso del petróleo y sus derivados, han dirigido su interés, inicialmente, hacia la determinación de estas sustancias en aguas. La evaluación de los resultados en este medio, sin embargo, muestra dificultades debido principalmente a que el petróleo llegado al mar está sujeto a una serie de procesos físicos, químicos y biológicos

determinando su distribución y destino. Inicialmente, actúan los procesos fisicoquímicos (evaporación, temporización, etc.), y, después la degradación por microorganismos de las fracciones parafínicas y olefinicas, principalmente. En los trabajos realizados en el CCCP desde 1985 se ha estudiado el comportamiento de los Hidrocarburos disueltos/dispersos en agua, observándose una gran variabilidad, atribuida a la dinámica de las mareas que en esta parte del Pacífico fluctúan entre los 3 y 5 metros, favoreciéndose los procesos de dispersión y evaporación.

Esta dificultad para la evaluación de los HDD, ligada al interés ocasionado por el conocimiento de sus efectos a ciertas concentraciones, motivaron la ejecución de estudios con base en sedimentos y organismos indicadores, que resultaron ser mejores registradores de condiciones locales de contaminación.

Es por ello que la determinación de los hidrocarburos del petróleo disueltos/dispersos en el agua de mar, acumulados en sedimentos y organismos marinos se ha convertido, en los últimos años, en una necesidad para todos los países cuyas fronteras limitan con el mar.

La situación se hace más crítica en aquellas zonas de gran tráfico de barcos y en especial, de buques petroleros (Martínez y Martínez, 1987).

El presente estudio reporta y evalúa los resultados obtenidos durante la fase de estudio de 1992, considerando las zonas que en etapas anteriores mostraron los valores más críticos, incluyendo la continuación del estudio iniciado el año anterior en bahía Solano y bahía Cupica además, contempla el trabajo realizado en 1993 sobre la dispersión de los hidrocarburos en puntos álgidos.

MATERIALES Y METODOS

Area de estudio

Para el desarrollo de la presente investigación se escogieron las zonas detectadas, en estudios anteriores, de más alto riesgo y vulnerabilidad a la contaminación por petróleo en el Pacífico Colombiano.

Se realizaron cinco muestreos en los meses de abril, agosto y diciembre de 1992, abril y agosto de 1993, analizando muestras tomadas en veintitrés estaciones: seis en la ensenada de Tumaco, una en la isla Gorgona, una en bahía Guapi, cinco en bahía Buenaventura, tres en bahía Málaga,

cuatro en bahía Solano y tres en bahía Cupica (Figura 1).

Metodología

Como referencia se tomaron los Manuales y Guías No. 13 de la COI ("Manuales para la Vigilancia del Aceite y de los Hidrocarburos del Petróleo Disueltos-Dispersos en el Agua de Mar y en las Playas". UNESCO 1982), cuyo principio se fundamenta en la toma de muestras a un metro de profundidad, extracciones sucesivas con n- hexano, concentración.

Análisis por fluorometría; los Manuales y Guías No. 11 de la COI ("Determinación de los Hidrocarburos Petrogénicos en los Sedimentos". UNESCO 1982), basados en: digestión alcalina, extracciones sucesivas con n- hexano, fraccionamientos en columnas de alúmina

Análisis por fluorometría y cromatografía de gases; Manuales de Métodos de Muestreo, Manejo y Análisis recopilados por UNESCO/COI/PNUMA, 1984; y el Informe del Curso Regional de Técnicas Analíticas para la Determinación de Hidrocarburos de Petróleo, en Organismos y Sedimentos Marinos en el Pacífico Sudeste, Valparaíso, Chile (Bruhn et al., 1987), el cual consiste (para organismos) en una digestión

UBICACION GEOGRAFICA ESTACIONES DE MUESTREO

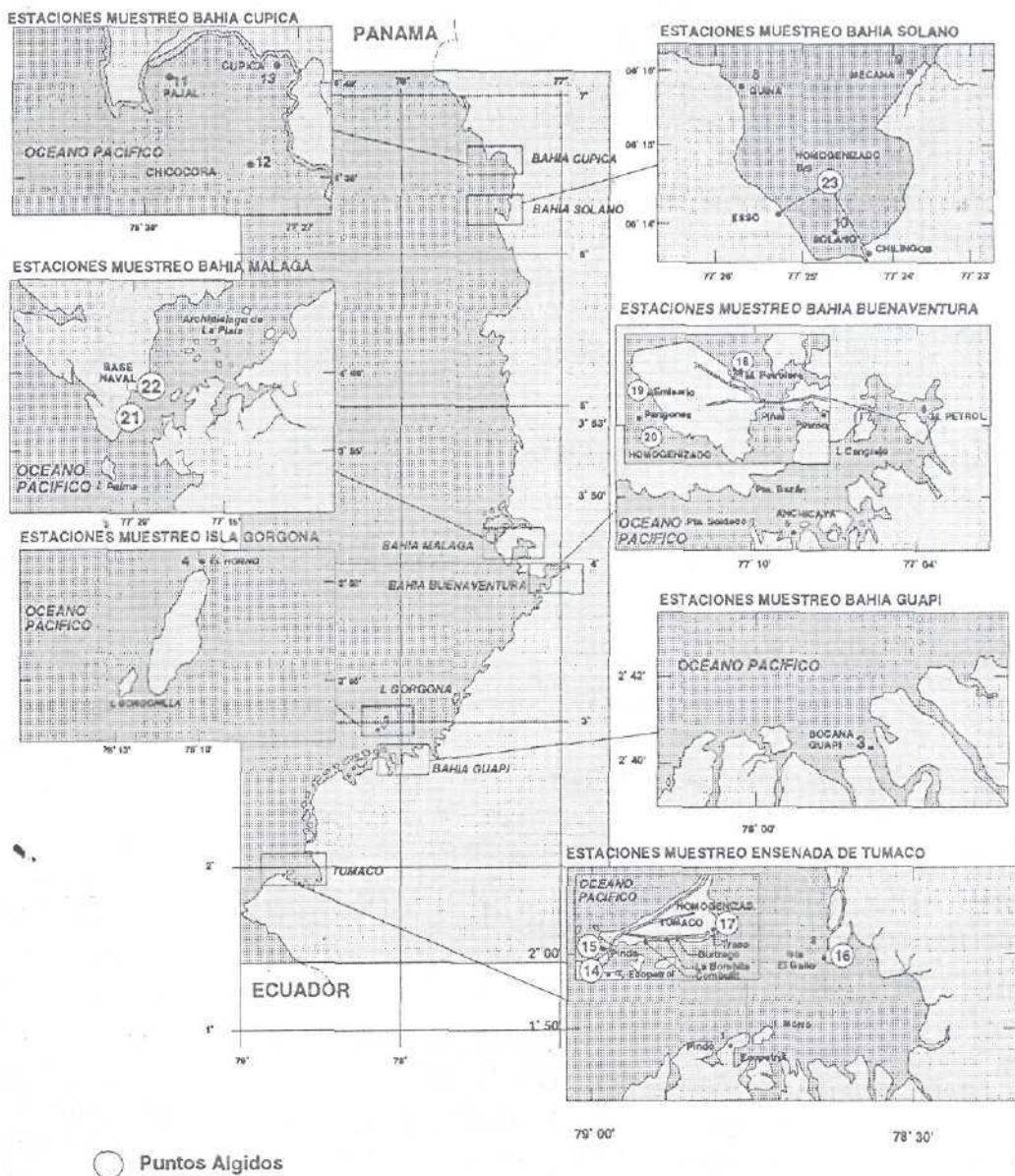


Figura 1
Area de estudio

alcalina de la muestra, extracciones sucesivas con éter etílico, concentración a sequedad y restitución con n-hexano, fraccionamiento en columnas de alúmina/sílica gel y análisis de polares por fluorometría y no polares por cromatografía de gases.

Para la realización de los análisis en bivalvos se tomaron muestras de Striostrea prismática, Anadara sp., Crassostrea columbience y Sacostrea palmula, en dieciocho estaciones de la ensenada de Tumaco, bahía Guapi, isla de Gorgona, bahía de Buenaventura, bahía Málaga, bahía Solano y bahía Cupica. La metodología de muestreo en los puntos álgidos para sedimentos, se fundamentó en tratar de lograr cuantificar hasta qué punto los contaminantes de una fuente determinada mantenían su influencia en el espacio circundante por tal razón, se tomaron muestras de sedimentos superficiales o recientes a diferentes distancias del lugar de vertimiento con el fin de determinar el gradiente de dispersión del contaminante a partir de los focos mediante la medición del mismo en muestra tomadas a aproximadamente diez, veinticinco y cincuenta metros; también se optó por hacer tres homogeneizados, mezclando las muestras de sitios aledaños a diferentes gasolineras en la ensenada de Tumaco, la bahía de Buenaventura y bahía Solano. Para los bivalvos se intentó hacer algo parecido pero la escasez de

organismos de la misma especie dificultó su realización al ciento por ciento.

R D

ESULTADOS Y ISCUSION

Estudio de áreas críticas y monitoreo de las bahías Solano y Cupica

Los valores obtenidos en los análisis de **HDD** en agua son heterogéneos, con promedios bajos que van desde *0.08 a 1.05 Ug/l*, y sin tendencia definida a través de los tres muestreos (Figura 2). Todos están por debajo de *10 Ug/l*, *norma establecida por UNESCO, 1976, como máximo para aguas superficiales no contaminadas*; sin embargo, en el desarrollo de la discusión de este estudio se realizó una comparación entre los mínimos y máximos valores de **HDD** obtenidos en las diversas estaciones.

El valor promedio más alto de **HDD** para el área estudiada correspondió a la *bahía Buenaventura con 0.92 Ug/l*, resultado lógico, teniendo en cuenta que es la zona del Pacífico colombiano donde se manejan los mayores volúmenes de derivados de

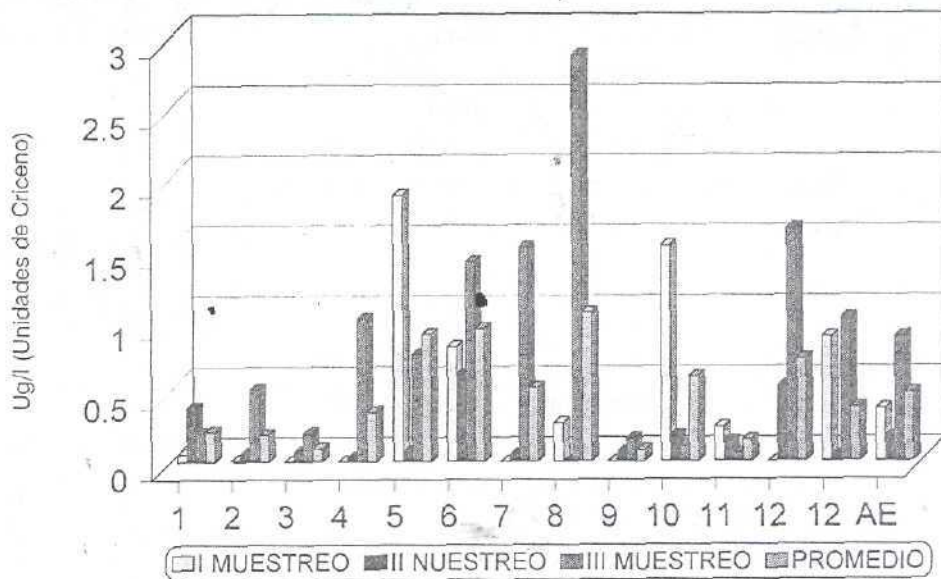


Figura 2

Hidrocarburos Disueltos/Dispersos en Aguas

petróleo, obteniéndose así los máximos valores en la estación Muelle Petrolero, localizada en el sitio donde se reciben hidrocarburos aromáticos y petróleo refinado que abastece parte del consumo del occidente colombiano y su industria química.

En esta estación se obtuvo un promedio de 0.94 Ug/l, con el mayor valor en el tercer muestreo de 1.41 Ug/l; el coeficiente de variación fue el más pequeño de todo el estudio (44.13).

El promedio de HDD en el Muelle Petrolero sólo fue superado en la estación *Guina en bahía Solano con 1.05 Ug/l.*

En bahía Solano se registró el segundo promedio más alto de HDD con 0.58 Ug/l; las mayores concentraciones se presentaron en Guina, con 1.05 Ug/l localizada al sur de la bahía, influenciada por el atracadero de buques y la gasolinera principal. También se obtuvieron altas concentraciones en la estación Solano al Este de la bahía con 0.60 Ug/l,

influenciada por aportes antropogénicos del poblado. *Los menores valores se registraron hacia el noreste en Mecana con 0.08 Ug/l.*

Para las demás regiones, las concentraciones media de HDD fueron las siguientes: *en bahía Málaga 0.52 Ug/l, isla Gorgona 0.35 Ug/l, ensenada de Tumaco 0.20 Ug/l, bahía Guápi 0.09 Ug/l, y en bahía Cupica 0.42 Ug/l con valores distribuidos similarmente a los de bahía Solano, es decir, presentando los más altos índices hacia el sudeste en las estaciones Chicocora 0.72 Ug/l, Cupica 0.38 Ug/l y las menores hacia la parte noreste en el Pajal con 0.15 Ug/l.*

Promediando las concentraciones de HDD registradas en toda el área estudiada, se obtuvo la cifra de 0.48 Ug/l.

El valor de HDD obtenido para el área estudiada en el presente trabajo fue inferior al registrado para la Costa Caribe Colombiana, en Barbacoas-Castilletes y San Andrés, donde se reportó un valor de 3.84 Ug/l (Garay, 1990); y a nivel mundial inferior a los obtenidos en la costa pacífica panameña de 11.9 Ug/l, litoral chileno 21.27 Ug/l, costa ecuatoriana 9.97 Ug/l (Escobar, 1987); Golfo de México 20 Ug/l (Celis, 1987), costa norte de Cuba 20 Ug/l (Martínez, 1987), costa de Jamáica 15 Ug/l (Barry, 1987), mar Mediterráneo 2.0 Ug/l; y superior a los obtenidos en la costa Japonesa 0.31 Ug/l, mar del Norte 0.02 Ug/l, costa norte de América 0.11 Ug/l,

mar del Sur de la China 0.20 Ug/l y bahía de Baffin 0.11 Ug/l (Global Oil Pollution, 1981). Estos valores relativamente bajos, en el Pacífico colombiano se pueden atribuir a que la región está poco desarrollada y no cuenta con grandes centros urbanos, los principales focos contaminantes son Buenaventura y Tumaco. Además de este factor, las bajas concentraciones de HDD pueden deberse a la gran dinámica de sus aguas y los cambios mareales, los cuales facilitan el intercambio con aguas oceánicas ricas en oxígeno y menos contaminadas.

Por otro lado encontramos que puede influir en esta zona el manejo, a excepción del Terminal de ECOPETROL en Tumaco, de hidrocarburos livianos como gasolina, diesel y aceites lubricantes, los cuales se evaporan en gran porcentaje en menos de 48 horas.

En el área existen diferentes fuentes de contaminación, las principales son en la ensenada de Tumaco: el terminal de ECOPETROL, que recibe un promedio de 800 mil barriles de petróleo al mes, generando unos 10 mil barriles de agua de desecho que son vertidos a la bahía interna de Tumaco después de pasar a oxidación en una serie de piscinas (Marrugo, 1993); algunos buques tanques que al llegar al puerto a cargar crudo, vierten parte de su lastre con hidrocarburos, a menos de tres millas de la costa. En Buenaventura, la principal fuente de contaminación es el muelle Petrolero donde atracan

mensualmente buque tanques con aproximadamente 50.000 toneladas de gasolina y gran cantidad de hidrocarburos aromáticos que abastecen la industria química y parte del consumo de refinados del occidente colombiano.

Otra fuente adicional de contaminación por hidrocarburos en la región, son las gasolineras que se encuentran ubicadas generalmente sobre muelles o en plataformas flotantes, los vertimientos de los pesqueros y todo tipo de embarcaciones que realizan sus cambios de aceites en las diferentes bahías sin tener en cuenta los efectos contaminantes que pueden generar.

El coeficiente de variación promedio para los análisis de **HDD** fue de 117.32, lo cual nos muestra una alta variabilidad en los resultados, debido posiblemente a la dinámica de las aguas y a los procesos de dilución y evaporación. Estos coeficientes estuvieron entre 44.13 y 165.77, observándose los menores valores en las estaciones Muelle Petrolero, el Pajal y el Puente el Pindo.

Los mayores promedios de HDD se registraron en el tercer muestreo realizado en el mes de diciembre con 0.88 Ug/l y un coeficiente de variación de 93.5 destacándose la máxima concentración de 2.88 Ug/l en la estación Guina frente a una gasolinera de Bahía Solano, la cual, a la postre, disparó el promedio de dicha estación a

1.05 Ug/l; resultando éste, el máximo valor registrado en el presente estudio. Teniendo en cuenta que en los dos primeros muestreos las concentraciones fueron 0.27 y no detectadas oportunamente, el coeficiente de variación estuvo entre los más altos 151.48, demostrándose así que el tercer valor es significativamente diferente de los anteriores.

La máxima concentración promedio de **HDD** en el tercer muestreo coincidió con los mínimos promedios de temperatura del agua y del aire, que ocasionan menor evaporación.

Las concentraciones obtenidas de **HTS** en cada muestreo se registran en la figura 3. Estos valores, a diferencia de los encontrados en aguas, son más significativos a la hora de dar un concepto sobre el grado en que la contaminación ha afectado al ecosistema, ya que son más homogéneos y varían menos en el tiempo.

El proceso de sedimentación de hidrocarburos se efectúa con bastante lentitud; y para determinar los hidrocarburos acumulados se toman los superficiales o también llamados recientes, cuyo contenido en hidrocarburos puede depender de la dinámica de sedimentación a que esté sometida el área estudiada.

La mayor concentración promedio de HTS se registró en la bahía de Buenaventura con 54.53 Ug/g.

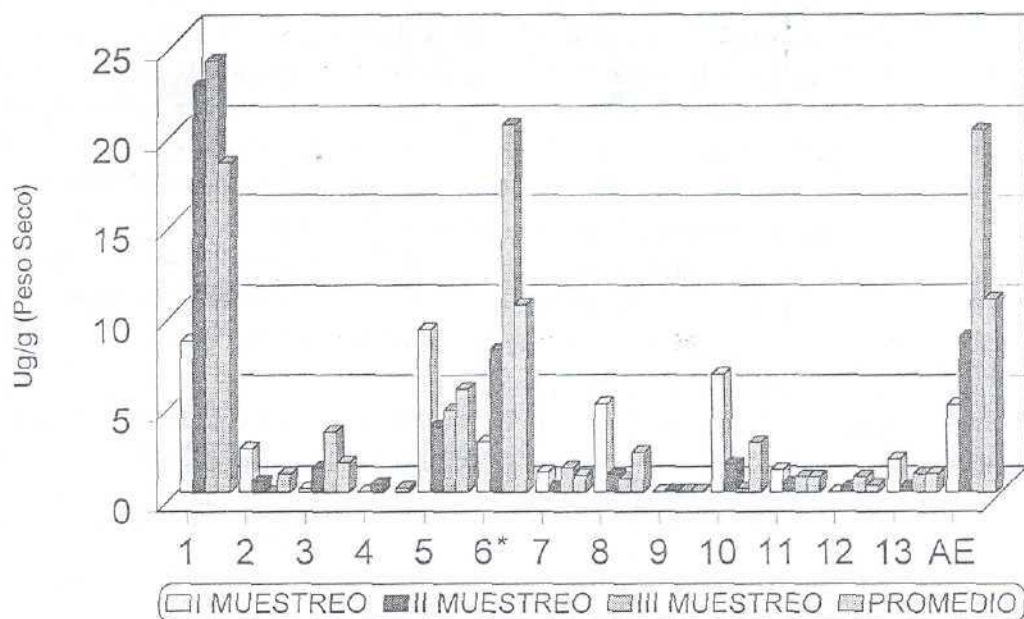


Figura 3

Hidrocarburos totales en sedimentos por muestreo. promedios

En la bahía de Buenaventura se destacaron las altas concentraciones de HTS en el Muelle Petrolero con promedio de 103.37 Ug/g, un intervalo de variación entre 27.51 y 203.89 Ug/g con el máximo valor en el mes de diciembre. Estos índices son comparables con los reportados en zonas altamente contaminadas como el puerto de Omán en Arabia con 226 Ug/g (Burns, 1982). Se puede considerar esta estación como crítica por el nivel de contaminación petrogénica.

También se encontraron altas concentraciones de HTS en el Puente el Pindo en Tumaco, con un promedio de 18.25 Ug/g, y un máximo de 23.9 Ug/g en el mes de diciembre.

En los cromatogramas obtenidos en las estaciones Muelle Petrolero y Puente el Pindo, pudo observarse el predominio de los hidrocarburos no resueltos (UCM), lo que evidencia la presencia de hidrocarburos petrogénicos (Farrington y Quinn, 1973), como también el alto grado

de degradación sufrido por el contaminante. Las concentraciones de HTS en las estaciones Puente el Pindo y Muelle Petrolero registraron un aumento progresivo en los tres muestreos.

Los cromatogramas de la estación Puente el Pindo, presentaron una serie de picos resueltos (n-parafinas) que van del C17 al C33, con predominio de las n-parafinas con números de carbonos pares sobre una gran envolvente (UCM), que evidencian la presencia de residuos petrogénicos transformados por la intemperie.

El cromatograma de la estación Cupica del mes de diciembre, contrario a los anteriores, mostró una serie homóloga de picos pequeños que van del C19 al C33 dispuestos sobre una pequeña envolvente, permitiendo evidenciar que se trataba de una contaminación ligera y reciente, posiblemente, en conjunto con hidrocarburos biogénico, atribuibles a la presencia de organismos asociados o al aporte de material orgánico. En el cromatograma del mes de agosto, de la misma estación, se observó la ausencia total de picos, típica de muestras no contaminadas por hidrocarburos.

En bahía Solano los HTS, al igual que los HDD, tuvieron sus mayores valores al sudeste, en la estación Solano y Guina con 2.75 y 2.20 Ug/g, respectivamente, y menores al noreste en la estación Mecana. En bahía Cupica las mayores concentraciones de HTS se registraron en

las estaciones Cupica y Pajal con 1.04 y 0.85 Ug/g, respectivamente, debido posiblemente a la mayor influencia de aportes antropogénicos por la cercanía al río Cupica y al caserío; como también a que algunos buques pesqueros después de sus faenas pernoctan en las aguas de este sector de la bahía, donde posiblemente efectúen achiques de sentinas o cambios de aceite.

Los análisis granulométricos realizados a las muestras de sedimentos, con el fin de conocer más a fondo la matriz objeto de estudio, debido a que los hidrocarburos se absorben mejor en sedimentos de estructura lodosa, mostraron que en general el tipo predominante está constituido en un mayor porcentaje por arenas finas exceptuando, las muestras tomadas en las estaciones Puente el Pindo, Anchicayá, Mecana y el Pajal, donde predominan los lodos. El coeficiente de correlación de los promedios entre el contenido de HTS y el porcentaje de lodos resultó paradójicamente ligeramente negativa con un valor de - 0.13. El porcentaje de materia orgánica en sedimentos, fue mayor en las estaciones Bocana Guapi, Puente el Pindo y Muelle Petrolero, seguidas de Anchicayá y Pajal. El resto de estaciones no supera el 7%. El coeficiente de correlación de los promedios entre el contenido de HTS y el porcentaje de materia orgánica fue de 0.50.

El área estudiada en el presente trabajo registró una concentración media de HTS

de 10.63 Ug/g, con un intervalo entre 0.24 y 103.37 Ug/g.

Comparando las concentraciones obtenidas en el presente trabajo con las reportadas en otras áreas del mundo, se observó que son inferiores a la de bahía California 45.0-730.0 Ug/g (National Academy press, 1985), bahía de Nueva York 2.0-2200.0 Ug/g (Farrington, 1977), golfo de Méjico 42.0-232.0 Ug/g (National Academy press, 1985), río Cuatzacualcos, México 89.0-2623.0 Ug/g (Botello, 1985), puerto de Nueva York 1.0-2900.0 Ug/g (Parker, 1974), puerto de Omán 42.0-835.0 Ug/g (Burns, 1982); y superior a bahía de Cartagena 4.86-22.8 Ug/g (Garay, 1990), costa caribe colombiana

0.37-22.8 Ug/g (Garay, 1990), costa Mediterránea 0.40-1.60 Ug/g (Albaigés, 1983), costa francesa 0.60-1.20 Ug/g (National Academy press, 1985), y noroccidente de Australia 0.02- 0.1 Ug/g (Pendoley, 1992). *Las mayores concentraciones de hidrocarburos totales en bivalvos (HTB), se presentaron en la bahía Buenaventura con 274.33 Ug/g; le siguieron las concentraciones en bahía Málaga con 37.41 Ug/g, bahía Solano con 34.04 Ug/g, ensenada de Tumaco con 30.31 Ug/g, isla Gorgona con 14.16 Ug/g, bahía Cupica 12.55 Ug/g y bahía Guapi 11.39 Ug/g. La estación que presentó el mayor promedio de HTB fue nuevamente el Muelle Petrolero con 469.06 Ug/g (Figura 4).*

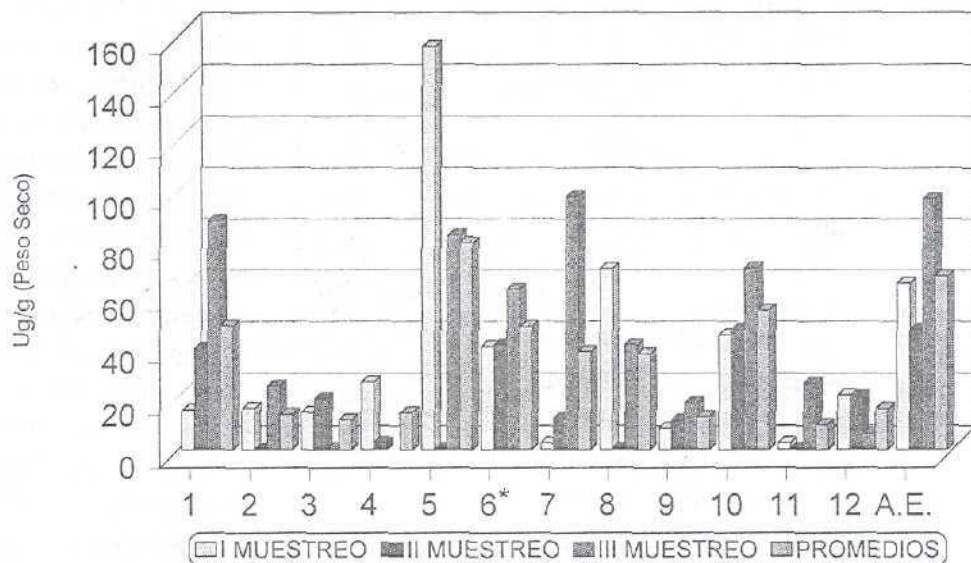


Figura 4
Hidrocarburos totales en bivalvos por muestreos y promedios

También presentó el menor coeficiente de variación y su máxima concentración en el mes de diciembre con 614.33 Ug/g.

A partir de los análisis de grasas realizados a los bivalvos colectados en dicha estación, se obtuvo un porcentaje del 10.7%, sólo superado por los bivalvos colectados en la isla Gorgona que registraron un 13.08%; teniendo en cuenta que los hidrocarburos son liposolubles, se calculó el coeficiente de correlación entre los promedios de HTB y el porcentaje de grasas, el cual fue de 0.41.

Los cromatogramas de HTB de la estación Muelle Petrolero presentaron una serie de picos bien definidos de n-parafinas con predominio de número de carbonos pares sobre los impares que van del C16 al C33 con un máximo a la altura del C18, sobre una gran envolvente (UCM), los cuales evidencian contaminación petrogénica, además, la presencia de largos picos sobre una gran envolvente podría indicar que la contaminación, siendo crónica, data de tiempo atrás, lo cual es corroborado por los resultados obtenidos en años anteriores, que catalogan a este sector como uno de los sitios más contaminados por hidrocarburos a nivel mundial (Marrugo, 1992).

En la estación Anchicayá, localizada en la desembocadura del río del mismo nombre, en Buenaventura, se presentaron altas concentraciones con promedio de 79.60 Ug/g. Los cromatogramas de bivalvos

(*Anadara sp*) colectados en esta estación, nos muestran una serie de picos resueltos del C16 al C26 con predominio de hidrocarburos con número de carbonos pares, propios de contaminación petrogénica, sobre una gran envolvente con un máximo a la altura del C26. Las posibles fuentes de contaminación en esta área son: primero, el aporte que pueda traer el río Anchicayá en su recorrido, y segundo la proveniente de las actividades marítimas y portuarias de Buenaventura. Las mayores concentraciones de hidrocarburos en esta estación, fueron las reportadas en los muestreos primero y tercero con 155.99 Ug/g y 82.55 Ug/g, respectivamente, y un coeficiente de variación (C.V) de 92.85.

En la estación Solano se registró el tercer más alto valor de HTB, con 53.20 Ug/g y un máximo en el mes de diciembre de 69.70 Ug/g. Los bivalvos (*Crasostrea columbience*) se recolectaron en un sitio cercano a un vertimiento de aguas servidas que llega al mar; probablemente, debido a esta circunstancia, los valores obtenidos sean tan altos. En un cromatograma de esta estación se pueden apreciar unos picos de n-parafinas bien resueltos, con predominio absoluto de parafinas con número de carbonos pares, sobre una pequeña envolvente típica de contaminación reciente.

Otro valor alto fue obtenido en los bivalvos (*Sacostrea palmula*) recolectados en la estación Puente el Pindo en la bahía

interior de Tumaco, con un promedio de 47.28 Ug/g; estos altos valores han sido atribuidos, a que el lugar es paso obligado de los desechos de la ciudad hacia la parte exterior de la Bahía, a la cercanía de varias gasolineras y del terminal de ECOPETROL que arroja una carga de hidrocarburos disueltos/dispersos en sus aguas residuales de 1.82 Gr/día (Marrugo, 1993). Los cromatogramas de esta estación mostraron una serie de picos resueltos desde el C16 al C24 con absoluto predominio de las parafinas petrogénicas, como son las C16, C18, C20, C22 y C24, típicas de hidrocarburos de aceites livianos.

En las estaciones de bahía Solano y Cupica, al igual que en los sedimentos, las mayores concentraciones de HTB se obtuvieron en las estaciones Guina, Solano y Chicocora, localizadas al sureste de dichas bahías. Las demás estaciones presentaron concentraciones bajas similares a las obtenidas en el Pajal e Isla Gallo.

El Pacífico colombiano presentó una concentración entre 9.42 y 469.06 Ug/g con un promedio de 66.62 Ug/g. Comparando los resultados obtenidos en el área estudiada con los reportados en otras zonas del mundo, tenemos que son mayores que en a la costa caribe colombiana 32.9-81.0 Ug/g (Garay, 1990), lugares no contaminados de la bahía de California 6.0-14.0 Ug/g (Rosebrough, 1983), Noroccidente de Australia

5.05-25.3 Ug/g (Pendoley, 1982), sectores de la costa española no contaminados 18.40-22.8 Ug/g (Rosebrough, 1983), e inferiores a los de la costa Kuwaiti 39.20-348.0 Ug/g (Anderlini, 1981), áreas contaminadas de la costa española 167.20-806.0 Ug/g (Rosebrough, 1983) y sectores de la bahía de California considerados contaminados 170.0-304.0 Ug/g (Rosebrough, 1983).

Los coeficientes de correlaciones entre las concentraciones medias obtenidas, presentaron los siguientes resultados: correlación entre HTS/HTB 0.99, entre HTS/HDD 0.40, entre HTS/materia orgánica en sedimentos (MOS) 0.50, entre HTS/porcentaje de lodos - 0.13, entre HTB/grasas en bivalvos 0.41 y entre HTB/HDD 0.50.

Estudio sobre dispersión de hidrocarburos en puntos álgidos

Con base en los anteriores resultados y observaciones de campo, se hicieron modificaciones al monitoreo de la contaminación marina por hidrocarburos de la costa pacífica colombiana, pasando del estudio y detección de "puntos álgidos", al estudio de estos sitios y sus zonas de influencias, con el objeto de combatir sus fuentes de contaminación a corto plazo.

El estudio de los puntos álgidos produjo los siguientes resultados:

Promediando los valores de hidrocarburos totales en sedimentos (HTS), registrados en las diferentes zonas a las tres distancias del foco de contaminación, se determinaron los máximos valores en la ensenada de Tumaco con 282.76 Ug/g, le siguieron Buenaventura con 192.51 Ug/g, bahía Málaga 9.05 Ug/g y bahía Solano 6.92 Ug/g. Estos altos resultados en Tumaco se atribuyen a la influencia de los residuos del terminal de ECOPETROL que tuvieron en su foco una concentración de 1452.03 Ug/g, y un promedio para los tres sectores muestreados de 623.18 Ug/g, con el agravante, que los sedimentos siguen contaminados más allá de los 50 m del sitio de vertimiento de los residuos (figura 5).

Las mayores concentraciones de HTS en los focos se registraron en orden descendente en las estaciones Terminal de ECOPETROL, Homogeneizado Buenaventura y Muelle Petrolero (figura 6).

Sólo en tres estaciones, Base Naval, Juanchaco y Emisario, las concentraciones a 50 m fueron del orden de, y en algunos casos menores, a 1.01 Ug/g, tomado como referencia de zona no contaminada en Isla Gallo, Tumaco (Marrugo, 1992).

Los hidrocarburos aromáticos, la fracción más tóxica del petróleo, se encontró en altas concentraciones en los focos en el terminal de ECOPETROL en Tumaco con 218.9 Ug/g, le siguió el Homogeneizado Tumaco con 42.43 Ug/g, el Homogeneizado Buenaventura con 28.25 Ug/g y Muelle Petrolero con 19.80 Ug/g. Concentraciones más bajas se registraron en los focos de las estaciones Puente el Pindo 4.52, Base Naval 2.09 y Emisario 2.07 Ug/g; si comparamos los resultados de hidrocarburos aromáticos obtenidos con los reportados en sitios altamente contaminados por Aromáticos en la Costa Americana de 3.9 Ug/g (NOAA, 1990), se puede concluir que los sedimentos colectados en ECOPETROL y Homogeneizado Tumaco se encuentran contaminados por aromáticos, incluso, después de los 50 m del lugar de vertimiento.

Los hidrocarburos alifáticos resueltos (*n*-parafinas no degradadas), muestran si la contaminación es reciente o no, debido a que las transformaciones de los hidrocarburos al llegar al medio acuático se producen con cierta rapidez, por fenómenos de temporización y biodegradación. La contaminación reciente mayor, se obtuvo en los sedimentos del terminal de ECOPETROL con 95.86 Ug/g, a pesar de que estos residuos, antes de llegar al medio marino, pasan a través de una serie de piscinas de oxidación.

No ESTACION	AROMATICOS			ALIFATICOS RESUELTOS			ALIFATICOS NO RESUELTOS			HIDROCARBUROS TOTALES			PROMEDIO ESTACION
	Andara Cofum	Prismatic	Pal-mula	Andara Cofum	Prismatic	Pal-mula	Andara Cofum	Prismatic	Pal-mula	Andara Cofum	Prismatic	Pal-mula	Σ ESPECIES
14 Ecopetrol	34.57	21.74	218.90	23.13	16.26	95.86	168.09	153.55	1137.27	225.96	191.54	1450.03	623.18
15 pindo	2.40	12.00	4.52	3.16	10.24	4.72	30.86	190.00	49.84	36.42	212.24	59.08	102.58
17 Hom. Tumaco	5.24	20.02	42.43	2.05	7.93	11.75	20.25	107.53	150.33	27.53	135.48	204.51	122.51
18 Petrolero	1.86	11.29	19.80	0.74	8.63	22.76	21.25	190.48	297.10	23.94	210.39	339.65	191.33
19 Emisario	0.39	2.18	2.07	0.20	0.91	2.00	0.60	12.62	27.38	1.18	15.71	31.45	16.11
20 Hom. B/vra	3.76	18.80	28.25	3.21	6.90	39.72	55.05	272.52	682.08	62.01	298.22	750.04	370.09
21 Juanchaco	0.06	0.15	0.04	0.48	1.30	2.05	ND	ND	4.09	0.54	1.44	6.18	2.72
22 Base Naval	0.14	0.31	2.09	0.33	1.16	2.68	ND	2.23	37.17	0.47	3.69	41.94	15.37
23 Hom. B/Sno	0.41	0.41	0.25	1.32	0.57	0.43	4.14	5.60	7.65	5.86	6.58	8.32	6.92

Figura 5

Concentración de hidrocarburos totales en sedimentos de puntos álgidos del pacífico colombiano. Promedios Ug/g en peso seco

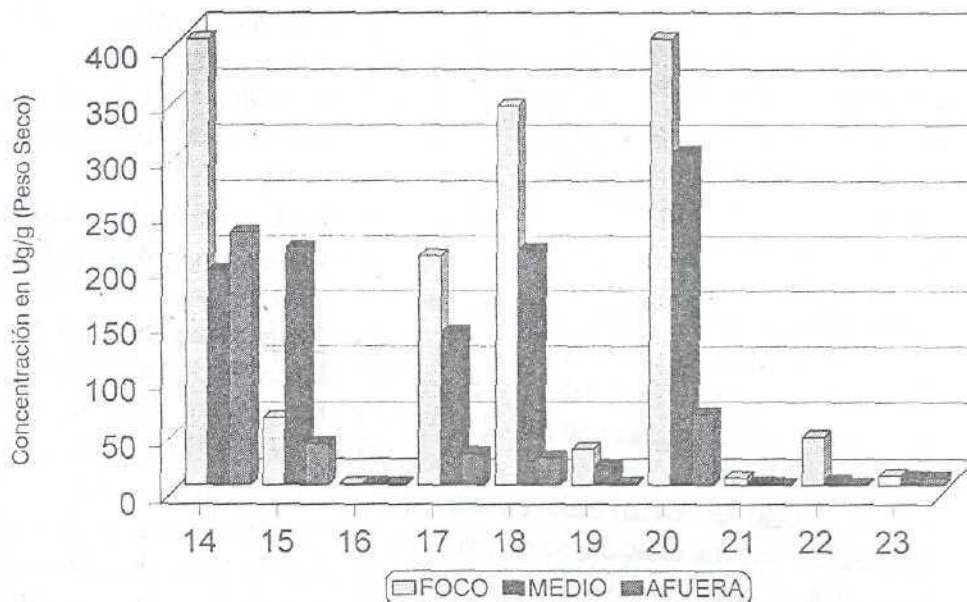


Figura 6

Concentración de hidrocarburos totales en sedimentos marinos puntos álgidos

Comparando los resultados obtenidos en el presente trabajo con los reportados en otras áreas del mundo como por ejemplo la bahía de California en donde la mínima concentración registrada fue de 45.0 y la máxima 730.0 Ug/g (National Academy Press, 1985), la bahía de New York con una mínima de 2.0 Ug/g y una máxima de 2200.0 Ug/g (Farrington, 1977) y la del río Cuatzacualcos, México con una mínima de 89.0 Ug/g y una máxima de 2623.0Ug/g (Botello, 1983) podemos observar que en el foco del terminal de ECOPETROL y del Homogeneizado Buenaventura, las concentraciones están por el orden de los sitios más contaminados de las bahías de New York y California.

Se podría catalogar un sedimento como no contaminado con valores comparables al blanco de referencia del presente estudio, tomado en la estación Isla Gallo con 1.01 Ug/g o a nivel internacional con sectores de la costa Mediterránea, en donde las menores concentraciones fueron de 0.4 a 1.60 Ug/g (Albaigés, 1983), con sectores de la costa francesa 0.60 a 1.20 Ug/g (National Academy Press, 1985) y con el noroccidente de Australia entre 0.02 y 0.1 Ug/g (Pendoley, 1992); teniendo en cuenta que el estudio se realizó sólo en puntos álgidos, en ninguna estación, se obtuvieron concentraciones por ese orden en los sitios focales, sin embargo en algunas estaciones a 50 m del foco se obtuvieron valores comparables a sitios no contaminados por hidrocarburos como en Juanchaco, Base

Naval, Emisario y Homogeneizado Bahía Solano.

En la figura 7, se presentan los resultados de los análisis de hidrocarburos en las diferentes especies de bivalvos recolectados en los focos de contaminación, discriminados en: aromáticos, alifáticos resueltos, no resueltos, totales (aromáticos más alifáticos) y los promedios para las diferentes especies por área.

En el estudio se analizaron cuatro especies diferentes de bivalvos debido a que se recolectaban los organismos que se encontraban en los sitios predestinados para la investigación y en algunas estaciones como Isla Gallo y Homogeneizado Bahía Solano se estudiaron tres especies distintas, notándose diferencias significativas en el nivel de acumulación del contaminante.

El bivalvo que más acumuló hidrocarburos fue la Crasostrea columbience reportada únicamente en sitios con alguna contaminación, siendo el mínimo valor reportado en Bahía Solano en sitios aledaños a los desagües de una pesquera con 53.2 Ug/g, la Anadara sp fue el bivalvo que acumuló menos hidrocarburos a pesar de encontrarse en algunos casos en sitios altamente polucionados; en el blanco de referencia la Anadara sp, presentó concentraciones entre 0.12 y 0.16 Ug/g, la Saccostrea palmula entre 1.84 y 2.13 Ug/g y la Striostrea prismatica entre 2.59

No ESTACION	AROMATICOS			ALIFATICOS RESUELTOS			ALIFATICOS NO RESUELTOS			HIDROCARBUROS TOTALES			PROMEDIO ESTACION
	Andara Colum	Prismatic	Pal-mula	Andara Colum	Prismatic	Pal-mula	Andara Colum	Prismatic	Pal-mula	Andara Colum	Prismatic	Pal-mula	Σ ESPECIES
14 Ecopetrol	0.22			6.55			2.66			9.43			9.43
15 pindo			14.54			36.24			226.08			276.85	276.85
16 Gallo	0.14	0.16	0.36	0.00	3.31	1.42	0.00	3.67	0.35	0.14	7.13	2.13	3.13
17 Hom. Tumaco		10.00	5.98			21.49		51.69	147.94		61.69	175.41	118.55
18 Petrolero	(31.00)	0.15		(86.45)	29.47		(366.2)	119.8		(483.6)	149.5		316.54
19 Emisario		9.21			43.68			211.8			264.7		264.69
20 Hom. B/vra			24.92		83.83			317.5			426.3		426.29
21 Juanchaco			0.72			48.03			68.50			117.24	117.24
22 Base Naval		33.28	15.50		32.00	26.16		161.3	213.18		210.0	254.83	232.39
23 Hom. B/Sno	(15.33)	1.02	2.26	51.31	9.33	3.42	(295.4)	1.86	0.00	(362.4)	12.30	5.68	126.81

Figura 7
 Concentración de hidrocarburos totales en bivalvos de puntos algidos del Pacífico colombiano

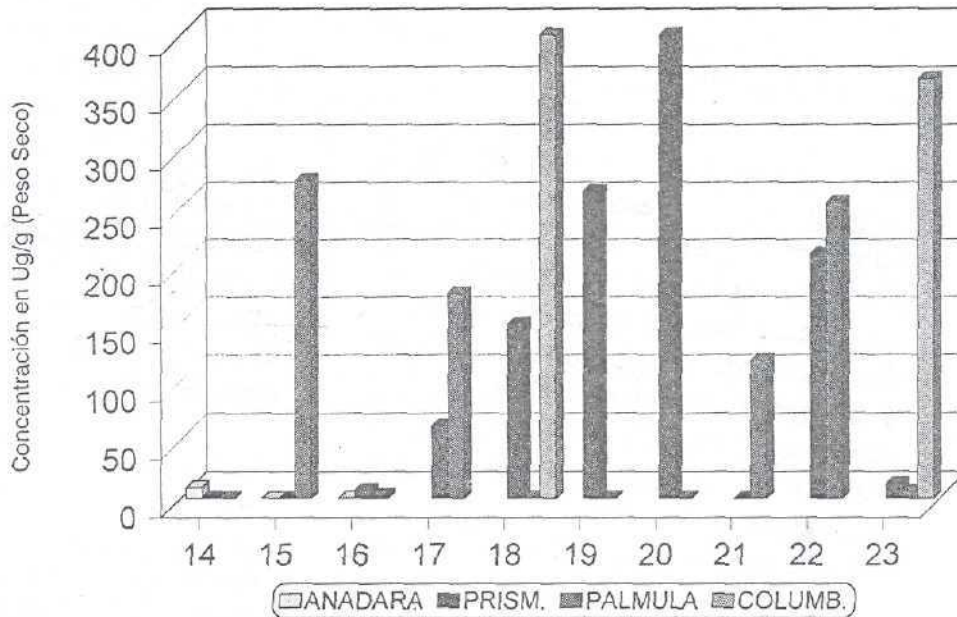


Figura 8
 Concentration de Hidrocarburos Totales en Bivalvos Pintos Algidos

y 7.13 Ug/g (figura 8). Los bivalvos recolectados en la estación ECOPETROL (*Anadara sp*) presentaron un promedio de 9.43 Ug/g, este valor de especies correspondería a un sitio no contaminado pero si lo comparamos con los niveles de hidrocarburos totales del blanco de su misma especie (0.14 Ug/g) se obtiene que es 67.4 veces mayor. La especie más abundante en los sitios muestreados fue *Striostrea prismatica* que se localizó en siete estaciones, el máximo valor obtenido en dicha especie, fue de 426.3 Ug/g en la estación homogeneizado Buenaventura, el blanco para esta especie fue de 7.13 Ug/g, lo que indica que la concentración en este sitio supera en 59.8 veces el sitio tomado como referencia. Le siguieron en orden descendente el Emisario con 264.7 Ug/g, Base Naval con 210.0 Ug/g y Muelle Petrolero con 149.5 Ug/g.

Otra especie analizada fue *Saccostrea palmula* que presentó su máxima concentración en la estación Puente El Pindo en Tumaco con promedio de 276.87 Ug/g, le siguieron en orden descendente la Base Naval de Málaga con 254.83 Ug/g, Homogeneizado Tumaco 175.41 Ug/g y Juanchaco con 117.24 Ug/g, el blanco tomado como referencia registró una concentración de 2.13 Ug/g siendo la muestra tomada en Bahía Solano con 5.68 Ug/g la de más bajo nivel de contaminación.

Los valores altos obtenidos en los bivalvos (*Saccostrea palmula*) recolectados en la

estación Puente el Pindo en la bahía interior de Tumaco, han sido atribuidos, a que el lugar es paso obligado de los desechos de la ciudad hacia la parte exterior de la Bahía, a la cercanía de varias gasolineras y del terminal de ECOPETROL.

La cuarta especie de bivalvos analizada fue *Crasostrea columbience* en las estaciones Muelle Petrolero y Homogeneizado Bahía Solano con 483.6 Ug/g y 362.4 Ug/g de promedio respectivamente. Este valor aparentemente ilógico, para la estación Homogeneizado Bahía Solano se puede explicar teniendo en cuenta que estos bivalvos se recolectaron en un sitio cercano al vertimiento de aguas servidas, provenientes de una pesquera que utiliza hidrocarburos constantemente en su planta eléctrica; probablemente debido a esta circunstancia los valores obtenidos sean tan altos. El valor más alto de hidrocarburos aromáticos en bivalvos (*Crasostrea columbience*) se registró en la estación Muelle Petrolero en Buenaventura con 31.0 Ug/g, seguido del Homogeneizado Bahía Solano en igual especie, con 15.3 Ug/g.

Los alifáticos resueltos se encontraron en mayor proporción en el Homogeneizado Buenaventura lo que indica contaminación reciente, también se registró contaminación reciente por los altos contenidos de hidrocarburos alifáticos en bivalvos, en las estaciones Emisario, Base Naval, Muelle

Petrolero, Pindo, Juanchaco y Homogeneizado Bahía Solano.

Comparando los resultados obtenidos en el área estudiada con los reportados en otras zonas del mundo, en sitios contaminados como por ejemplo la costa española 167.2-806.0 Ug/g (Rosebrough, 1983) y sectores de la bahía de California 170.0-304.0 Ug/g; y con sitios no contaminados como por ejemplo sectores de la bahía de California 6.0-14.0 Ug/g (Rosebrough, 1983) y sectores de la costa española no contaminados 18.4-22.8 Ug/g, se puede inferir que están contaminados los bivalvos recolectados en las estaciones Puente el Pindo, Homogeneizado Tumaco, Muelle Petrolero, Emisario, Homogeneizado Buenaventura, Juanchaco, Base Naval y la especie *Crasostrea columbience* en bahía Solano. Como se puede notar, todos los bivalvos estudiados en los puntos álgidos, detectados en estudios anteriores, están contaminados.

C ONCLUSIONES

El aporte en el Muelle Petrolero de hidrocarburos petrogénicos al agua, sedimentos y organismos es notorio, considerándose este sitio como crítico y

uno de los más contaminados por hidrocarburos a escala mundial.

En general, se obtuvieron las mayores concentraciones en los sitios de intenso tráfico marítimo y portuario así como de constante transporte y usos del petróleo.

La detección de hidrocarburos aromáticos, en agua, sedimentos y bivalvos, aunque en concentraciones por lo general bajas, muestra la existencia de un problema latente, puesto que estos son la fracción más tóxica del petróleo.

Los resultados de hidrocarburos disueltos/dispersos en agua en el Pacífico colombiano, muestran que los valores encontrados están por debajo del límite acogido como norma internacional, de 10 Ug/l, para aguas superficiales libres de contaminación.

Al estudiar los puntos álgidos se encontró una contaminación puntual en las estaciones Juanchaco, Emisario, Base Naval y Homogeneizado Bahía Solano debido, a que su alcance no va más allá de cincuenta metros.

Los mayores aportes de hidrocarburos a los sedimentos se localizaron en orden descendente en los siguientes puntos: Terminal ECOPETROL, las gasolineras y muelles de Buenaventura, el Muelle Petrolero, Puente el Pindo y las gasolineras de Tumaco.

Las especies estudiadas de bivalvos, presentaron índices de acumulación de hidrocarburos diferente. En orden descendente de bioacumulación tenemos: Crasostrea columbience, Striostrea prismatica, Saccostrea palmula y Anadara sp.

De las cuatro especies de bivalvos estudiadas se encontró, que las ostras acumulan más hidrocarburos que las Anadaras, en una proporción aproximada de 33 a 1.

Los bivalvos recolectados en los siguientes puntos: Terminal ECOPETROL, Puente el Pindo, Homogeneizado Tumaco, Emisario, Homogeneizado B/ventura, Muelle Petrolero, Muelle de Juanchaco, Base Naval y la especie Crasostrea columbience del sector monitoreado en Bahía Solano no son aptos para el consumo humano, debido a los altos niveles de hidrocarburos, detectados en sus tejidos.

RECOMENDACIONES

Al ministerio del medio ambiente, que diseñe políticas, leyes y normas claras, de fácil aplicación, con el fin de controlar el vertimiento de hidrocarburos en los cuerpos de agua además, que fomente

trabajos tendientes a establecer en el país niveles de contaminación máximos permitidos de hidrocarburos, especialmente aromáticos en sedimentos y organismos, que faciliten ejercer medidas de control eficaces sobre las fuentes de contaminación.

A las autoridades competentes y las corporaciones autónomas regionales un estricto control sobre los vertimientos de petróleo y sus derivados, provenientes de todas las actividades que generen estos residuos, en especial el muelle petrolero en B/ventura, el terminal petrolero de ECOPETROL en Tumaco, algunos buquetanques, buques de cabotaje y estaciones de suministro de combustibles en todo el litoral Pacífico.

Lo anterior permitirá erradicar los focos de contaminación.

ABREVIATURAS

HDD	Hidrocarburos Disueltos Dispersos
HTS	Hidrocarburos Totales en Sedimentos
HTB	Hidrocarburos Totales en Bivalvos

BIBLIOGRAFIA

ALBAIGES, J. y A. CUBERES, *Control de la contaminación marina por hidrocarburos y su aplicación al litoral mediterráneo español*. Barcelona, 1983, pp. 937-952.

ANDERLINI, V. C., A. HORMI, L., DE LAPPE, B. W. RISEBROUGH, R. W., WALKER, LL. W., SIMONEIT, B. R. T Y NEUTON. A. S. *Distribution of Hidrocarbons in the Oyster Pinctada margaritifera, Along the Coast of Kuwait*. *Mar. Pollut. Bull.* 12, 1981, 57-62.

ANDERSON, J. W., NEFF, I. M, COX, B. M., TATIM, H. E y HIGHLOWER, G. M., . *The effects of oil on estuarine animals: Toxicity and depuration, respiration*. En *Pollution and physiology of marine organisms*; editado por F. J. Vernberg y W.B. Vernberg. Academic Press. N. Y, 1974, Pag. 285 - 310.

BARRY, A. W. . *Origin, nature and effects of oil pollution in Kingston Harbour*; Jamaica, 1987.

BOTELLO, A. V., GONI, A. J Y CASTRO, S. A. . *Levels of Organic Pollution in Coastal Lagoons of Tabasco, Mexico, I: Petroleum hydrocarbons*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 31, 1983, 271-277

BRUHN, C., DUKE, V., LECAROS, O., MARRUGO, A., SONNERHOLZNER, S. .Informe del Curso Regional CPPS/PNUMA/COI "Técnicas analíticas para la determinación de hidrocarburos de petróleo en organismos y sedimentos marinos en el Pacifico o Sudeste". 1987, PP 23.

BURNS, C. *Survey of Tar, Hydrocarbons and Metal Pollution in the Coastal Waters of Oman* *Mar. Bull.* 13: 1982, 240 - 247

CELIS, A., BOTELLO, M., MENDELEWICZ Y DIAZ, G. *Actividades del proyecto CARIPOL en la zona costera de Mejico: 1. Hidrocarburos Disueltos. Méjico, 1987.*

CPPS/UNESCO/COI.. *Manual y Guía. "Determinación de los Hidrocarburos del Petróleo en los Sedimentos". Noruega. 1992*

ESCOBAR, J. *Investigación y Vigilancia de la Contaminación Marina por Hidrocarburos del Petróleo en el Pacífico Sudeste, dentro del Marco del Plan de Acción para la Protección del Medio Marino y a reas Costeras. CPPS., 1987.*

FABER H. A., *Conferencia sobre los efectos fisiológicos sobre la calidad del agua. Wash, 1960.*

FARRINGTON y QUINN. *Petroleum Hydrocarbons in Narragah Set Bay : Survey of Hydrocarbons in Sediments and Clams 1973.*

FARRINGTON, J. W., Y TRIPP, V. W., *Hydrocarbons in western north Atlantic surface sediments. Gechim. Cosmochim. acta 41, 1627-1641. 1977.*

GARAY, J., CASTRO, L. A., *Avances del Programa Caripol Colombia. 1985-1990. Memorias VII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar. 1990.*

GLOBAL OIL POLLUTION, *Resultados de MAPMOPP. 1981.*

MARRUGO, A., *Informe final del estudio de la contaminación marina por hidrocarburos en áreas críticas de la costa Pacífica Colombiana, Etapa I, 1992.*

MARRUGO, A., *Informe Análisis de hidrocarburos en aguas y Sedimentos de las piscinas de oxidación y aguas residuales del terminal de Ecopetrol en Tumaco. 1993.*