

Bol. Cient. CIOH	Cartagena de Indias (Colombia)	No. 13	Enero 1993	Pág. 85 - 101	ISSN 0120 0542
---------------------	-----------------------------------	--------	---------------	---------------	----------------

**NIVELES DE HIDROCARBUROS DEL PETROLEO
EN LA ISLA DE SAN ANDRES CARIBE COLOMBIANO/92.**

Por:

*Jesús A. Garay Tinoco**

*Luz A. Castro**

RESUMEN

En el presente estudio, se muestran los niveles de concentración de hidrocarburos derivados del petróleo en las aguas adyacentes a la Isla de San Andrés, Caribe colombiano, así como en sedimentos recientes cercanos a la costa y en peces de importancia comercial.

ABSTRACT

In the present study, sampling has been carried out of the levels of hydrocarbon derivates of petroleum in the waters adjacent to the San Andres island in the Colombian part of the caribbean, as well as in the recent sediments close to the coast.

1. INTRODUCCION

En Colombia el uso del petróleo y sus derivados como fuentes de energía y materia prima para la industria, es de importancia fundamental, y en la actualidad con la perforación y explotación de nuevos pozos, con fines de autoabastecimiento y exportación, la producción de crudos y productos refinados ha aumentado gradualmente. Por esta razón, es de suponer que los procesos de vertimientos a las zonas costeras y oceánicas se hallan incrementado (Garay, J.A.1987).

Las regiones litorales e insulares del Caribe colombiano ofrecen especial interés, en vista de que sus ecosistemas costeros conformados por estuarios, lagunas costeras, arrecifes de coral, man-

glares, etc., constituyen una zona productiva para el país. Por lo tanto, es importante determinar su vulnerabilidad y el impacto a que está siendo sometida por la acción de agentes contaminantes, especialmente vertimientos de residuos derivados del petróleo, procedentes de actividades locales o regionales.

Conscientes de esta problemática y cumpliendo con las actividades que por ley le corresponden, la Dirección General Marítima (DIMAR), a través del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) ha venido monitoreando la contaminación por petróleo en el Caribe colombiano desde 1985, año en que inició su participación en el Programa CARIPOL/IOCARIBE. A la central de datos de CARIPOL se han aportado cerca de 2.500

registros de HDD y APP, estando pendiente los resultados de hidrocarburos en sedimentos y ostras. El 80% del litoral Caribe colombiano ha sido monitoreado.

Asimismo, se ha participado en los cursos y reuniones de CARIPOL y actualmente en los del programa CEPOL/COI/PNUMA, sobre plaguicidas, petróleos y residuos sólidos flotantes (basuras).

El archipiélago colombiano de San Andrés y Providencia y cayos circunvecinos, por su situación geográfica en la zona sur del Mar Caribe, y por estar sometido a la "Corriente del Caribe", ofrece especial interés; por lo que es indispensable conocer los niveles de hidrocarburos del petróleo en sus aguas, en sedimentos y en algunos organismos marinos. Esta información es importante para conocer el origen, la dinámica y dispersión de los residuos del petróleo locales o provenientes de actividades terrestres o marítimas de Venezuela y las Islas del Caribe, los cuales son posiblemente transportados por dicha corriente.

Actualmente se dispone de poca información sobre las fuentes y los niveles de hidrocarburos del petróleo en las zonas adyacentes a San Andrés. Solamente tres muestreos en igual número de estaciones se han realizado por el CIOH, anterior al presente estudio. Por esta razón, se plantea el presente proyecto, con el fin de evaluar la problemática que actualmente se está presentando.

2. OBJETIVOS

A Largo Plazo:

Contribuir con una evaluación del estado de la contaminación por residuos petrolíferos en el Archipiélago de San Andrés y Providencia en el Caribe colombiano.

A Corto Plazo:

- Cuantificar en el espacio y en el tiempo los niveles de concentración y distribución de hidrocarburos derivados del petróleo en las aguas marinas adyacentes, en sedimentos y organismos marinos de la Isla de San Andrés, Colombia; con el fin de proporcionar un mejor conocimiento de las fuentes, destino y efectos de estos residuos sobre los ecosistemas costeros de las Islas del Caribe colombiano.

3. AREA DE ESTUDIO

3.1. Descripción del Area

El área de estudio comprende la Isla de San Andrés y zonas adyacentes, localizada en el Caribe colombiano, entre Latitud 12°29'-12°36'N y Longitud 81°41'-81°45'OE. (Figuras 1 y 2). Esta Isla encierra recursos de alto valor en diversas formas, especialmente el turismo, la pesca y el transporte marítimo. Por su situación geográfica es vulnerable a los derrames de petróleo en zonas adyacentes. Por estas razones se considera una "área crítica", dentro del Plan Nacional de Contingencias contra Derrames de Petróleo en Colombia.

Dentro de la clasificación climática presentada por STRAHLER Y STRAHLER (1976), el clima de la zona de estudio se ubica dentro de los de bajas latitudes, en particular el clima Húmedo Seco Tropical. El cual se caracteriza por estar controlado por los vientos alisios provenientes de los núcleos de alta presión subtropicales.

La temperatura media anual es de 27.2°C. Las variaciones promedio mensual a lo largo de todo el año son de poca amplitud, lo que se justifica por la acción del mar adyacente, el cual presenta variaciones de su temperatura promedio anual menores de 2°C. El promedio de temperatura

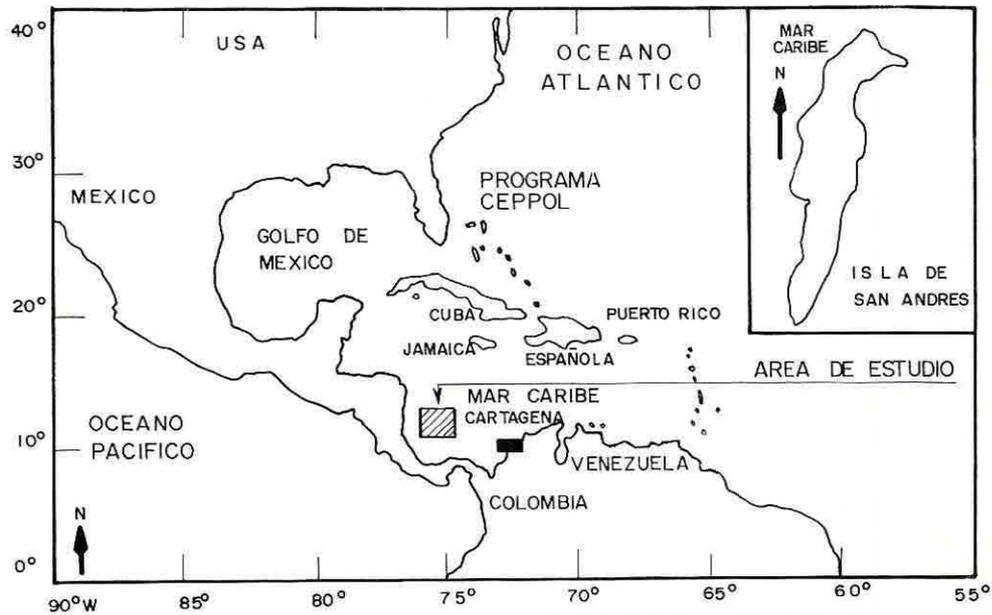


Figura 1. Mar Caribe - Programa CEPPOL/COI/PNUMA/CIOH. COLOMBIA 1992.

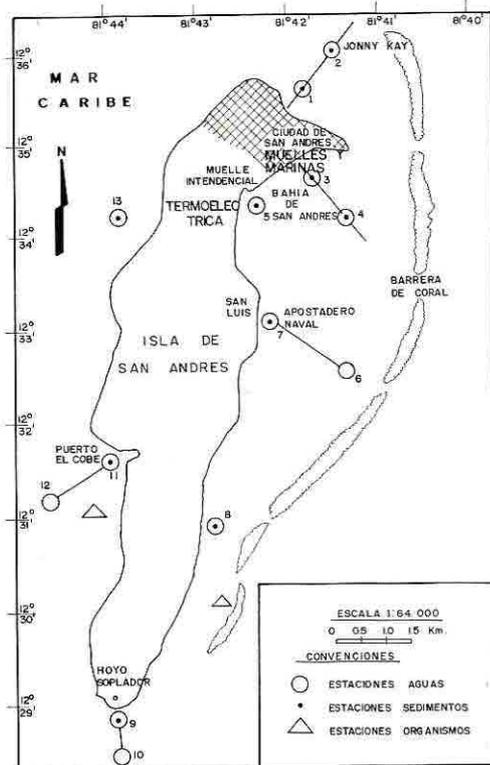


Figura 2. Isla de San Andrés Colombia. Estaciones de muestreo programa CEPPOL/COI/PNUMA/CIOH/92.

anual del agua superficial adyacente a la Isla es de 28.2 °C.

La suma de los promedios mensuales de lluvia, establecida con base en las estadísticas, almanaque Meteorológico 1986, indican una pluviosidad anual de 1912 mm. La relación lluvia-temperatura expresada en el diagrama ombrotérmico permite distinguir:

- Una época seca desde finales de enero hasta principios de abril.
- Una época húmeda de mayo a diciembre. Con la máxima de pluviosidad en noviembre.

El área de estudio está sometida al régimen de vientos alisios que soplan de manera constante del NE-N durante todo el año. Los de velocidad máxima incurren en diciembre y los vientos de velocidad mínima, entre septiembre y octubre, siendo el mes de octubre donde más varían de dirección. El mes de septiembre se caracteriza por un mayor porcentaje en calma.

Las corrientes superficiales del Caribe corresponden a dos masas de agua (Corrientes Nor-ecuatorial del Caribe y Corriente de Guyana) que entran por sitios distintos y que se unen para formar la llamada Corriente del Golfo o de la Florida (Biomar, 1986c). Su movimiento está regulado hacia el Oeste. En la región del Archipiélago que es afectada por la corriente del Caribe, las corrientes marinas se dirigen hacia la costa nicaraguense; a la altura de San Andrés y Providencia, las aguas se dividen por la refracción contra la Plataforma Continental Nicaraguense y la costa adyacente dando origen a una vertiente sur hacia Costa Rica y Panamá y a una vertiente Norte hacia Honduras. Durante el verano, debido a los vientos provenientes del Este, la Corriente del Caribe tiende a asociarse a la parte norte de la Zona de convergencia inter-tropical, alejándose del Archipiélago, a finales y principios de año hay un desplazamiento hacia el Sur, haciéndose sin embargo menos notoria su acción sobre el archipiélago debido a la influencia de los vientos provenientes del Norte (Godoy y Escobar, 1984). Es así que la dirección predominante de las corrientes por fuera de la barrera arrecifal del costado nor-oriental de la Isla es hacia el SO.

El litoral nor-oriental de la isla, dada su condición de área protegida, no presenta corrientes litorales con velocidades importantes. Las mayores velocidades corresponden a las cercanías del arrecife (10 m/min). Mientras que en las áreas abrigadas tienen velocidades menores (hasta de 4 y 5 m/min) para las mismas condiciones del viento.

3.2. Estaciones de Muestreo.

Para cumplir con los objetivos del estudio y siguiendo las recomendaciones de los manuales de CARIPOL (1980) y UNESCO (1976, 1984), se establecieron 13 estaciones para muestreo de aguas, para el análisis de hidrocarburos aromáticos disueltos y dispersos (HDD); 10 estaciones para el muestreo

de sedimentos superficiales, para el análisis de hidrocarburos alifáticos y aromáticos, y una estación para el muestreo de peces, para el análisis de hidrocarburos alifáticos y aromáticos en tejido muscular. La ubicación del área de estudio y las estaciones de muestreo se presenta en la Figura 2.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Periodicidad de Muestreos.

Aguas

Se realizaron en marzo, junio y octubre/92, 3 muestreos de aguas para análisis de hidrocarburos disueltos y dispersos en las 13 estaciones preestablecidas (Figura 2).

Sedimentos

Se realizaron en marzo, junio y octubre/92, 3 muestreos de sedimentos en las 10 estaciones preestablecidas del área de estudio, efectuándose al mismo tiempo que el correspondiente muestreo de aguas.

Peces

Se realizó 1 muestreo de peces en marzo/92. Se colectó un espécimen de pargo rojo.

4.2. Metodología Usada.

Aguas

Para el estudio de hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD) en aguas, se llevó a cabo siguiendo las recomendaciones del Manual de CARIPOL (CARIPOL, 1980) y los Manuales y Guías No. 7 y 13 de la UNESCO (UNESCO, 1976 Y 1984). Cuyo principio se fundamenta en la toma de la muestra a 1 metro de profundidad, extracciones

sucesivas con n-hexano y posterior análisis por fluorometría.

Sedimentos

Para el estudio de hidrocarburos aromáticos y alifáticos en sedimentos, se siguieron las recomendaciones de los Manuales y Guías No. 11 de la UNESCO (UNESCO, 1982), con las optimizaciones y modificaciones realizadas durante el "Curso CARIPOL sobre Análisis de Hidrocarburos en Sedimentos y Organismos", celebrado en la Estación Puerto Morelos (UNAM) México en noviembre de 1986 y bajo la supervisión y dirección de los Doctores Juan Albajés, del Departamento de Química Ambiental (SCIC) de Barcelona; Jorge E. Corredor, del Departamento de Ciencias Marinas de la Universidad de Puerto Rico, Joan Grimalt, del Departamento de Química Ambiental de Barcelona y Alfonso Vásquez Botello de la Universidad Nacional Autónoma de México.

El método incluye la digestión alcalina del homogenizado de la muestra seca, el fraccionamiento del extracto en columna de alúmina activada y el análisis de las fracciones de aromáticos y alifáticos por fluorometría y cromatografía de gases respectivamente.

Peces

Para el estudio de hidrocarburos aromáticos y alifáticos en peces, se siguieron las recomendaciones de los trabajos del Instituto de Química Bio-orgánica (C.S.I.C.) de Barcelona, España (Albajés, 1982), con las optimizaciones realizadas durante el "Curso CARIPOL de Puerto Morelos (México)", para organismos.

El método incluye la digestión alcalina del homogenizado de la muestra seca, el fraccionamiento del extracto concentrado en columna de alúmina/gel de sílice y el análisis de las

fracciones por fluorometría de los hidrocarburos aromáticos, y por cromatografía de los gases alifáticos.

4.3. Muestreo y Preservación de Muestras.

Aguas

Para el muestreo de aguas se usaron botellas de vidrio de 4 litros (previamente lavadas con agua-detergente-agua destilada-acetona y n-hexano), las cuales se colocan en el dispositivo recomendado por CARIPOL. El dispositivo conjunto se lanza a cierta distancia de la lancha o del sitio donde están los operadores, de tal manera que se sumerge hasta 1 metro de profundidad. Cuando la botella esté completamente llena, se saca y se tapa rápidamente, transportándola hasta el sitio donde se lleva a cabo la extracción, la cual se hace inmediatamente después de tomada la muestra, como se indica a continuación.

Se trasvasa una porción de agua a un vaso de precipitados (~80 ml) y posteriormente se realizan dos sucesivas extracciones con 50 ml de n-hexano cada una. Las dos extracciones de n-hexano se reúnen, se agrega sulfato de sodio anhidro y se transportan al laboratorio para su análisis.

Sedimentos

Las muestras para el estudio de hidrocarburos en sedimentos se obtuvieron mediante el uso de un Cono Berthois, el cual es lanzado a cierta distancia y por arrastre se colecta muestra de sedimento superficial o reciente.

Posteriormente se deja escurrir un poco y se guarda en un frasco de vidrio o envuelto en papel aluminio y almacenado en bolsas suficientemente limpias, para ser transportados en condiciones refrigeradas y congelados en tierra a -40°C hasta el análisis de laboratorio, el cual se realizó aproximadamente 15

días después.

Peces

Las muestras para el estudio de hidrocarburos en peces, se colectó con anzuelo (se compró a un pescador). Inmediatamente después se lavaron con agua desionizada (extraída con n-hexano) y se empacaron en papel aluminio. Posteriormente se transportaron refrigeradas hasta el laboratorio, donde se congelaron a -40°C hasta el análisis, el cual se efectuó 10 días después.

4.4. Análisis de Muestras.

Aguas

El extracto de n-hexano proveniente de las dos extracciones sucesivas, se concentra mediante el uso de un Rotaevaporador hasta aproximadamente 2 ml. Posteriormente se trasvasa a un balón, y se afora a 5 ml. Simultáneamente se procesa un blanco de reactivos, con el fin de corregir las lecturas de las muestras.

Los extractos y blancos aforados a 5 ml se leen en un espectrofluorómetro Shimadzu, modelo RF-510, usando una longitud de onda de excitación de 310 nm y una longitud de onda de emisión de 360 nm. Se usó como referencia una curva de calibración de Criseno desde 0.1. hasta 5 $\mu\text{g/ml}$, la cual se leyó en las mismas condiciones de las muestras.

Sedimentos

Se colocan 200 gr de la muestra húmeda en un matraz de 500 ml y se seca en una estufa a 50°C durante 48 - 72 horas. Una vez seca la muestra, se muele en un mortero y se mantiene en un desecador (con desecante) hasta la extracción.

Se pesa una submuestra de aproximadamente 15 - 30 gr. del sedimento seco y homogenizado y se

coloca en un matraz de fondo redondo de 250 ml; se añade 100 ml de metanol, 3 gr de KOH y cuerpos de ebullición. A una muestra del lote, tomada al azar, se le agregan 200 μl de un patrón de C28 de 200 $\mu\text{g/ml}$. La mezcla se lleva a reflujo durante 1 hora y 30 minutos, contados a partir del momento en que se inicia la ebullición. En cada lote de muestras a analizar, se incluye un blanco de reactivos el cual se somete al mismo procedimiento que las muestras.

Se deja enfriar a temperatura ambiente y se trasvasa la fase alcohólica a un embudo de decantación de 250 ml con llave de teflón, teniendo cuidado de no arrastrar sedimento (es necesario centrifugar si el sedimento es muy fino). Luego al extracto alcohólico se le realizan dos extracciones sucesivas con 25 ml de n-hexano cada una, agitando durante 2 minutos y combinando las dos fracciones en un erlenmeyer de 125 ml. El extracto se concentra en Rotaevaporador hasta 2 ml y se transfiere a un vial, en donde se sigue concentrando hasta 0.5 ml.

Posteriormente, el extracto se pasa por una columna empacada con alúmina activada (1.15gr) y se eluye sucesivamente con 2 fracciones de n-hexano de 4 ml c/u, 1 fracción de 4 ml de hexano-diclorometano (7:3) y una última elución con 4 ml de diclorometano.

Se colectan las fracciones 1 y 2, que contienen los n-alcanos en un solo vial, se concentran y se analizan por cromatografía de gases.

Se colectan las fracciones 3 y 4, que contienen los aromáticos en un solo vial, se concentran y se analizan por espectrofluorometría, de la misma forma que los extractos de aguas.

Para el análisis por cromatografía de gases de las fracciones de n-alcanos, se usó un equipo SHIMADSU, modelo GC-7A, equipado con Detector de Ionización de LLama y 2 columnas empacadas, de acero inoxidable de 6 pies de

longitud por 1/8 de pulgada de diámetro y fase estacionaria SE-30 al 3%.

Las condiciones de operación del cromatógrafo de gases fueron las siguientes:

Detector :	Ionización de llama (FID)
Columnas:	Empacadas 6 pies x 1/8 fase SE-30 3%
Gas de Arrastre:	Nitrógeno al 99.5% pureza, 60 ml/min.
Gases para Detector:	Aire: 0.5 Hidrógeno: 0.7
Temperatura Inyector:	300°C
Temperatura Detector:	300°C
Programa de Temperatura (Columna):	Temp. Inicial 80°C Tiempo Inicial 1 min. Rampa: 8°C /min. Temp. Final 300°C Tiempo Final 16 min.
Atenuación	8 o 16 x 10'

Los picos de los n-alcanos resueltos se identificaron y cuantificaron mediante el uso de un Standar externo de C22 usado para tal fin. Los n-alcanos no resueltos (HNR) se cuantificaron usando un planímetro (equipo usado para cuantificar áreas bajo curvas).

Peces

Se homogeniza una muestra compuesta de aproximadamente 50 gramos de tejido del pez en un vaso metálico de licuadora. Se pasa el homogenizado a un matraz o vaso de precipitado y se seca en una estufa a 50°C durante 24 - 48 horas.

Se pesan dos submuestras de 5-15 gr en peso seco y se colocan en sendos frascos de 20 ml con tapa rosca recubierta con teflón (o tapa esmerilada). Se les agrega 15 ml de solución de NaOH 6 N, y a una de las submuestras se le adiciona 200 ul de un patrón de C28 de 200 µg/ml. Los frascos se cierran, se agitan durante 2 minutos y se mantienen a 30°C por 18 horas. Por cada lote de muestras, es necesario preparar un blanco de reactivos sometido al procedimiento descrito para las muestras.

Posteriormente, cada muestra se extrae 5 veces con 10 ml de eter etílico y se reciben los extractos en un erlenmeyer de 100 ml, se llevan a sequedad en baño maría a 60°C, se redisuelven en hexano, se trasvasan a viales de 5 ml y se concentran a 1 ml.

Luego el extracto se pasa por una columna empacada con alúmina/gel de sílice (8 gr de cada una) desactivadas al 5% y se eluye sucesivamente con 20 ml de hexano, 20 ml de hexano - diclorometano (9:1) y 40 ml de hexano - diclorometano (8:2).

La fracción 1, que contiene los hidrocarburos saturados (alifáticos), se lleva a sequedad, se redisuelve en hexano y se analiza por cromatografía de gases, tal como se describe para sedimentos en el numeral anterior.

Las fracciones 2 y 3 que contienen los hidrocarburos aromáticos se llevan a sequedad, se redisuelven en hexano y se analizan por fluorometría, tal como se describe para sedimentos en el numeral anterior.

5. RESULTADOS Y DISCUSION

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos de HDD en aguas, correspondientes al 1er, 2do y 3er muestros realizados en marzo, junio y octubre/

Tabla 1. Concentración de hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD) en aguas adyacentes a la Isla de San Andrés Colombia (Ug/l). Marzo-Junio y Octubre/92.

ESTACION	No. DATOS	INTERVALO(Ug/l)	PROMEDIO(Ug/l)
1	8	1.97 - 14.81	4.53
2	3	0.1 - 0.93	0.52
3	3	12.88 - 27.25	20.06
4	3	1.01 - 3.71	2.36
5	3	5.09 - 25.25	15.17
6	3	0.51 - 2.32	1.41
7	9	1.08 - 17.88	10.49
8	3	8.20 - 13.75	10.97
9	2	1.25 - 5.25	3.25
10	2	0.77 - 2.30	1.53
11	6	0.78 - 29.03	10.13
12	2	2.02 - 18.30	10.16
13	2	4.12 - 25.93	15.03

Tabla 2. Concentración de hidrocarburos alifáticos y aromáticos (HAA) en sedimentos marinos recientes de áreas adyacentes a la Isla de San Andrés Colombia (Ug/g). Primer muestreo-marzo/92.

No. ESTACION	AROMATICOS	ALIF. RESUELTOS	ALIF. NO RESUELTOS, HNR	HC. TOTALES
1	0.87	1.91	0	2.78
2	0.53	3.06	0	3.59
3	1.07	4.24	0	5.31
4	0.75	4.91	0	5.66
5	0.81	47.94	69.68	118.43
7	3.24	11.68	0	14.92
8	2.40	3.18	0	5.58
9	0.61	4.84	0	5.45
11	5.03	18.68	0	23.71
13	2.32	3.23	0	5.55

Los resultados están expresados en base seca.

Tabla 3. Concentración de hidrocarburos alifáticos y aromáticos en sedimentos marinos recientes de áreas adyacentes a la Isla de San Andrés Colombia (Ug/g). Segundo muestreo-junio/92.

U. ESTACION	AROMATICOS	ALIF. RESUELTOS	ALIF. NO RESUELTOS, UCM	HC. TOTALES
1	0.72	0.32	2.00	3.04
2	0.30	0.96	0	1.26
3	0.65	25.23	13.86	39.74
4	1.16	7.99	6.30	15.45
5	16.81	240.65	1150.29	1407.75
6	0.73	6.07	1.59	8.41
7	1.41	23.12	7.61	32.14
8	0.44	2.73	N.D.	3.17
11	1.86	248.5	140.16	390.52
PEZ PARGO ROJO	0.45	0.46	N.D.	0.91

Tabla 4. Concentración de hidrocarburos alifáticos y aromáticos en sedimentos marinos recientes de áreas adyacentes a la Isla de San Andrés Colombia (Ug/g). Tercer muestreo-octubre/92.

No. ESTACION	HIDRO.. ARO.	ALIF. RESUELTOS	ALIF. RESUELTOS, UCM	HC. TOTALES
1	4.92	0.72	N.D.	5.64
2	1.36	0.89	N.D.	2.25
3	4.52	25.32	9.73	39.57
4	1.48	18.42	N.D.	19.90
5	20.42	537.78	695.9	1254.1
6	2.55	15.25	2.73	20.53
7	4.71	31.90	15.33	51.94
8	0.88	19.26	N.D.	20.14
11	2.55	6.93	N.D.	9.18

Los resultados están expresados en base seca.

Tabla 5. Concentración promedio de hidrocarburos alifáticos y aromáticos (HAA) en sedimentos recientes de la Isla de San Andrés, Caribe colombiano entre marzo-octubre/92. Datos sobre base seca.

No. ESTACION	No. DATOS	RANGO (Ug/g)	PROMEDIO (Ug/g)	S
1	3	2.78 - 5.64	3.82	1.58
2	3	1.26 - 3.59	2.37	1.17
3	3	5.31 - 39.74	28.21	19.82
4	3	5.66 - 19.90	13.67	7.28
5	3	118.43 - 1407.75	926.76	704.2
6	2	8.41 - 20.53	14.47	8.57
7	3	14.92 - 51.94	33.0	18.52
8	3	3.17 - 20.14	9.63	9.18
9	1	5.45	5.45	—
11	3	9.18 - 390.52	141.13	216.1
13	1	5.55	5.55	—

92. Mientras que los datos de hidrocarburos alifáticos y aromáticos en sedimentos se muestran en las tablas No. 2, 3 y 4 correspondientes al 1er. 2do y 3er muestreos respectivamente. De la misma forma los promedios de hidrocarburos en sedimentos en la tabla 5.

5.1. Hidrocarburos Disueltos y Dispersos en Aguas (HDD).

En general, los promedios de HDD alrededor de la Isla, (Figura 3), varían entre 0.5-20 Ug/l, obteniéndose los mayores promedios en las estaciones 3, 5, 7 y 8, las cuales se encuentran situadas en la Bahía San Andrés y sus alrededores. Esta zona se caracteriza por que en ella está situada la Termoeléctrica que abastece de energía a la Isla de San Andrés, y la cual utiliza ACPM como combustible.

Asimismo, está situado el Muelle Intendencial (cerca a la estación No. 5), a donde atracan y zarpan diariamente, numerosos buques de cabotaje de hasta 1000 toneladas. También se sitúan algunas

marinas que expenden combustibles y lubricantes, y varios muelles para embarcaciones menores, por ser zona hotelera. Por estas razones, las concentraciones de HDD son relativamente altas en esta zona, principalmente cerca a la costa.

En el extremo sur de la Isla (Estaciones 9 y 10), las concentraciones de HDD son relativamente bajas, con valores promedio que van desde 1.53 a 3.25 Ug/l. Pues además de que no existe movimiento de embarcaciones, es una zona profunda que favorece la turbulencia y eliminación de residuos petrolíferos. Así mismo, las corrientes cercanas a la costa tienen sentido NE al SOE, por tanto, los posibles residuos son sacados hacia mar abierto.

Por el lado Oeste de la Isla, las concentraciones de HDD varían entre 10-15 Ug/l, encontrándose los valores más altos en la estación del noroeste (No. 13). En este extremo, no existen actividades generadoras de residuos petrolíferos, de tal manera, que muy probablemente se trata de una o varias fuentes de origen regional, como por ejemplo, los residuos petrolíferos que transporta la "Corriente

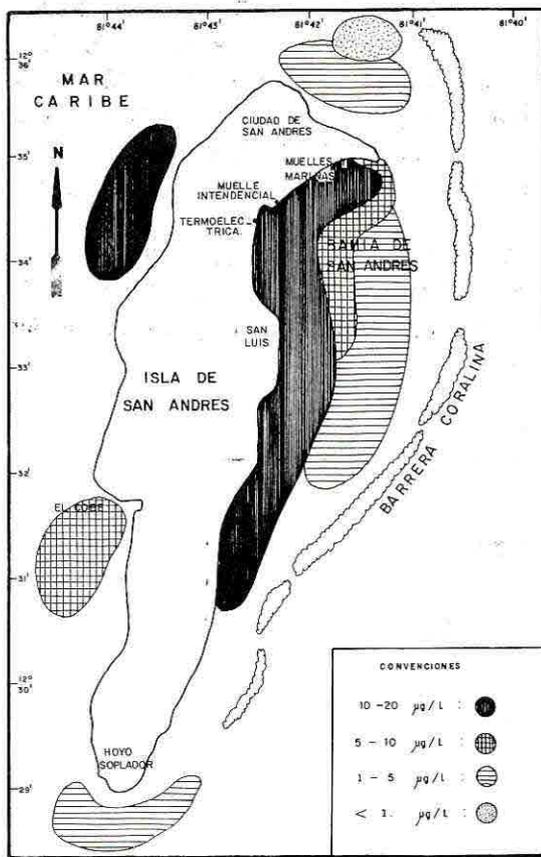


Figura 3. Distribución de hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD) en aguas adyacentes de la Isla de San Andrés Caribe colombiano. Proyecto CEPPOL/CIOH/92.

del Caribe", procedentes tal vez de Venezuela, Trinidad o las otras islas del Caribe Oriental. También de los residuos de Tanqueros que circulan cerca a la Isla de San Andrés, procedentes ya sea de Venezuela o del Golfo de México hacia el Canal de Panamá.

Por las razones anteriores, si se considera un máximo de 10 Ug/l, como la norma establecida por UNESCO (1976) para aguas no contaminadas, entonces la mayor parte de las aguas adyacentes a la Isla de San Andrés sobrepasan en promedio esta norma, y por tanto estarían clasificadas como aguas contaminadas por hidrocarburos derivados del petróleo.

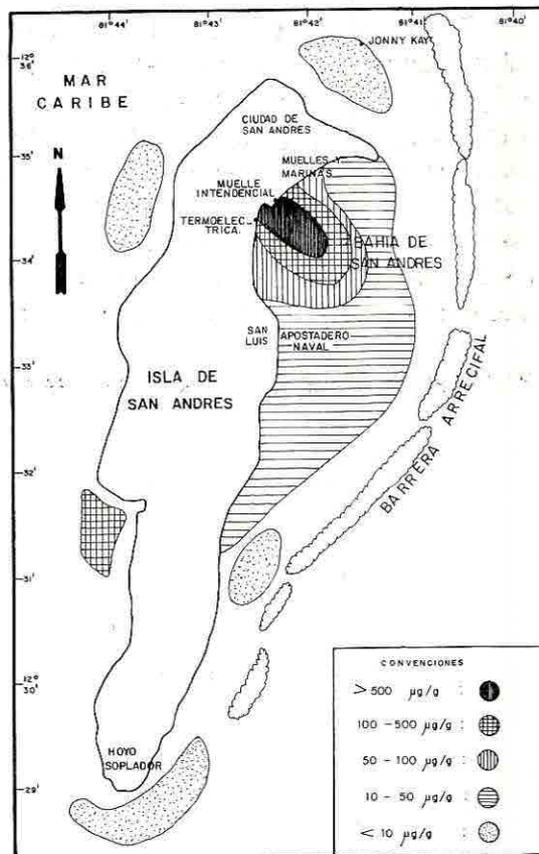


Figura 4. Distribución promedio de hidrocarburos derivados del petróleo en sedimentos recientes de la Isla de San Andrés Caribe colombiano. Proyecto CEPPOL/CIOH/92.

5.2. Hidrocarburos Alifáticos y Aromáticos en Sedimentos Recientes.

Los resultados obtenidos para hidrocarburos alifáticos y aromáticos en sedimentos recientes del área de estudio, se reportan en las tablas 2 a 5, para los 3 muestreos realizados en marzo, junio y octubre/92. Asimismo los promedios respectivos.

En general, el promedio de concentración de hidrocarburos totales en sedimentos recientes cercanos a la Isla, (Figura 4), varía entre 2.4 a 926.7 Ug/g (Tabla 5). Encontrándose el máximo en la estación No. 5, muy cerca a la Termolétrica San Andrés y al Muelle Intendencial, con un valor de

1407.7 Ug/g de hidrocarburos totales. Otros valores altos se encontraron en las estaciones No. 3, 4 y 7, localizadas en la Bahía de San Andrés, alrededor de la No. 5. Esta zona se encuentra bastante confinada por la barrera de arrecifes de Coral y por tanto posee poca dinámica, de tal manera que la eliminación y descomposición de residuos se hace muy lenta, favoreciéndose los procesos de bioacumulación en los sedimentos.

Para el caso de la Estación No. 5, donde se presentan

las más altas concentraciones de hidrocarburos totales durante todo el año, predominan principalmente los hidrocarburos alifáticos no resueltos (Figura 5 y 7), lo cual evidencia su procedencia de aportes petrogénicos producto de actividades marítimas y portuarias, usos del petróleo y sus derivados, y actividades industriales secundarias (termoeléctrica), ligadas a las actividades petroleras (Farrington y Quinn, 1973), tal como sucede en dicha bahía, de la Isla de San Andrés.

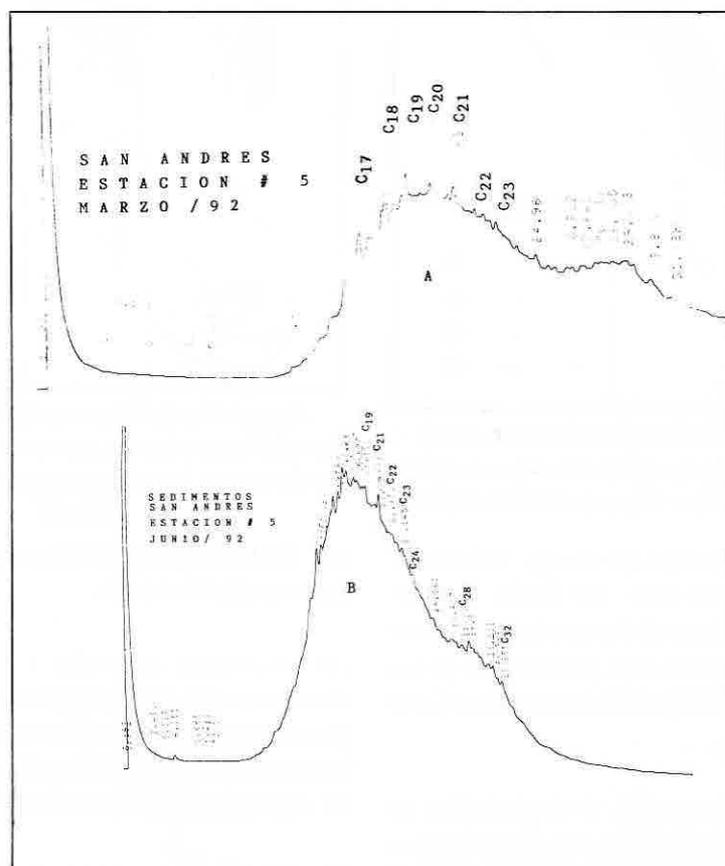


Figura 5. Cromatogramas obtenidos para sedimentos marinos recientes del área de San Andrés. Estación No. 5 (A) muestreo junio/92. Equipo: Shimadzu GC-7A. Columna 6 pies. Fase estacionaria: SE-30 3%. Gas de arrastre: N₂ 60 ml/min.

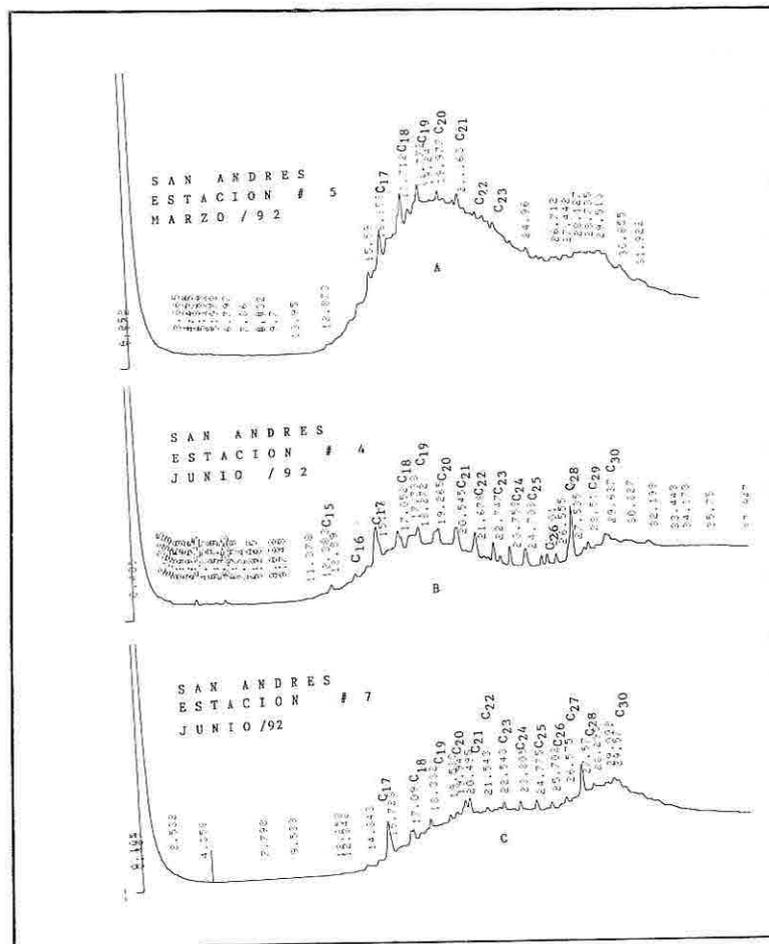


Figura 6. Cromatogramas obtenidos para sedimentos marinos recientes del área de San Andrés. (A) Estación No. 5. (B) Estación No. 4. (C) Estación No. 7. Equipo: Shimadzu GC-7A. Columna de 6 pies. Fase estacionaria: SE-30 3%. Gas de arrastre: N_2 60 ml/min.

Los cromatogramas para la muestra de sedimentos de la Estación No. 5 (Figuras 5 y 7), presenta unos pocos picos correspondientes a hidrocarburos alifáticos resueltos (n-parafinas) que van desde C17 hasta C21, dispuestos sobre una gran envolvente (HNR), la cual está compuesta de una mezcla compleja de hidrocarburos biogénicos con los de tipo petrogénico, con predominio de estos últimos, son características típicas de zonas influenciadas por aportes petrolíferas (Albaigés, 1983). Así mismo, la no presencia de una serie homóloga completa y la forma de la gran envolvente con 2 máximos, aproximadamente en C20 y C31,

evidencian que se trata de residuos petrolíferos envejecidos (o interperizados).

Los cromatogramas para otras muestras de sedimentos (Figuras 5, 6 y 7), como las Estaciones No. 4 y 7, muestran una serie homóloga de picos muy pequeños que van desde C17 hasta C30, y dispuestos sobre una envolvente (HNR) más pequeña que la anterior. Esto permite evidenciar que se trata aún de hidrocarburos de origen petrogénico en su mayoría, mezclados tal vez con alguna fracción de hidrocarburos de origen biogénico, estos últimos debidos a la presencia de

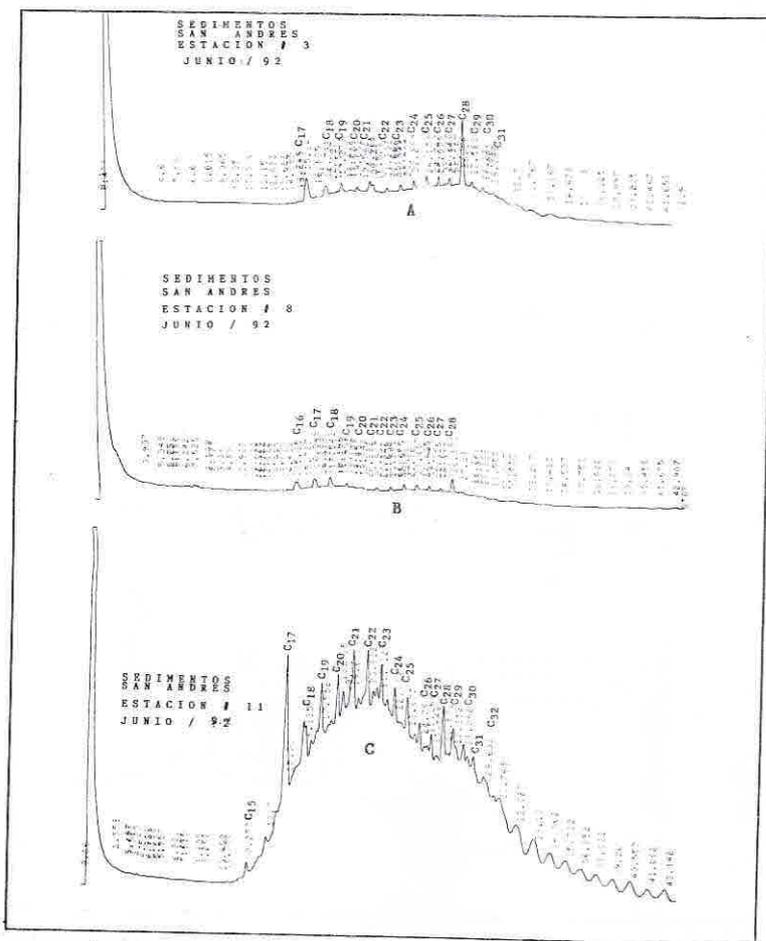


Figura 7. Cromatogramas obtenidos para sedimentos marinos recientes del área de San Andrés. (A) Estación No. 11. Equipo: Shimadzu GC-7A. Columna 6 pies. Fase estacionaria SE-30 3%. Gas de arrastre: N_2 60 ml/min.

organismos asociados a los sedimentos o al aporte de material orgánico y/o detritus de plantas terrestres (Cooper y Bray, 1983; Albajés, 1974-1983; Botello, 1987).

La estación No. 11, situada en el costado OESTE de la Isla, presenta una concentración promedio de hidrocarburos totales en los sedimentos de 141.7 Ug/g , la cual es una de las más altas, comparada con las demás (tablas 5). Tal como se analizó para el caso de HDD en aguas, este lado de la Isla carece de actividades locales que generen contaminación por residuos petrolíferos, como si sucede con el

lado ESTE de la misma. Por tanto, se puede evidenciar una vez más que existen algunos aportes externos de residuos petrolíferos que están afectando las zonas adyacentes de la Isla, principalmente la zona Oeste. Estos residuos provienen posiblemente de las actividades petroleras de Venezuela, Trinidad u otras islas del Caribe Oriental, los cuales como se mencionó antes, pueden ser transportados por la "Corriente del Caribe"; de la misma forma, los residuos que son botados por tanqueros y otros buques que cubren las rutas hacia el Canal de Panamá, procedentes del Golfo de México o de la zona

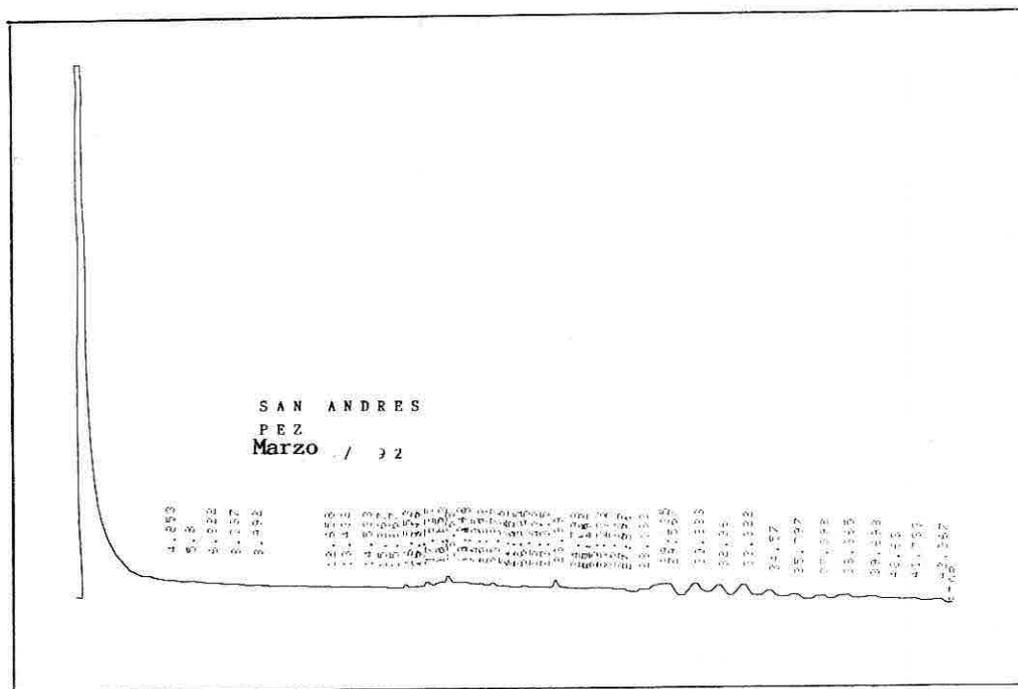


Figura 8. Cromatograma obtenido para extracto de pez (Pargo Rojo), del área de San Andrés. Equipo: Shimadzu GC-7A. Columna 6 pies. Fase estacionaria: SE-30 3%. Gas de arrastre: N_2 60 ml/min.

Oriental del Caribe.

El cromatograma de la estación No. 11 (figura 6), presenta una serie homóloga de N-parafinas desde C15 hasta C32, con picos bien definidos y una gran envolvente, típico de aportes antropogénicos. Sin embargo, por la forma del cromatograma y los picos bien resueltos, se trata de residuos de crudos no envejecidos. Posiblemente proveniente de la "Corriente del Caribe" o de buques tanques que circulan cerca a la Isla.

Analizando globalmente los resultados obtenidos en toda la isla, se observa que la zona más afectada por los residuos petrolíferos, es la bahía de San Andrés; como consecuencia de las actividades de la Termoeléctrica, el muelle intendencial, de los muelles y marinas, y el tráfico marítimo. En términos generales, la zona de la bahía de San Andrés, pre-

senta su promedio entre las más altas concentraciones de hidrocarburos derivados del petróleo en sedimentos del Caribe colombiano, pues sólo son superados por la bahía de Cartagena en todo el litoral, la cual presenta concentraciones entre 60 y 1.200 $\mu\text{g/g}$ (Garay, 1986).

5.3. Hidrocarburos Alifáticos y Aromáticos en Peces

No se detectó la presencia de hidrocarburos de origen petrogénico en una muestra de tejido de peces (pargo rojo), colectada en aguas adyacentes a la Isla de San Andrés. El cromatograma para esta muestra se observa en la figura 8. No se pudo colectar en la isla ningún bivalvo, ya que no existen en ella especie alguna, como ostras, etc., que pudieran haber servido como especies indica-

doras de contaminación.

6. CONCLUSIONES

En general, los valores promedio de HDD en aguas se presentan en forma heterogénea y sin alguna tendencia lógica a través de todo el período de estudio. Los promedios de los niveles de concentración observados están en casi todas las estaciones cercanas a la costa, y principalmente las estaciones de la bahía de San Andrés, por encima de 10 Ug/l, que es la norma establecida por UNESCO (1976), como máximo para aguas superficiales no contaminadas.

El área más afectada de la Isla de San Andrés debido a la presencia de HDD en aguas adyacentes, es la zona de bahía de San Andrés, debido al confinamiento de la misma y a las actividades generadoras de residuos petrolíferos, como la Termoeléctrica, el Terminal Marítimo, los muelles y marinas, y el tráfico de embarcaciones de cabotaje y de turismo, a través de la misma.

Para el caso de los sedimentos recientes, las más altas concentraciones (118-1407 Ug/g) se presentan en la bahía de San Andrés, frente a la Termoeléctrica y el Terminal Marítimo y en otras zonas adyacentes. En esta área, tal como se mencionó antes, los procesos de incorporación y bioacumulación de hidrocarburos petrogénicos en los sedimentos se ven favorecidos, debido al confinamiento de la zona y a la poca circulación de corrientes existente. Esto confirma la problemática local de esta zona y su denominación de "área crítica", ya que recibe aportes petrogénicos en forma crónica.

A través del estudio, se pudo visualizar dos tipos de fuentes que aportan hidrocarburos petrogénicos a la Isla de San Andrés: La problemática local, debida principalmente a las actividades marítimas y portuarias, termoeléctrica y marinas, que han

afectado principalmente a la bahía de San Andrés y zonas adyacentes, donde los niveles de HDD en aguas y en sedimentos están llegando a niveles preocupantes. De otra parte, existen otras fuentes, consideradas como problemática regional, y es la debida al tráfico de buques tanqueros y comerciales cerca a la Isla, como también a los residuos petrolíferos provenientes de países como Venezuela y las Islas del Caribe Oriental, residuos que son transportados por la "Corriente del Caribe", hasta San Andrés, afectando principalmente la Costa Norte y Oeste de la misma.

En un análisis más global, los niveles de concentración de hidrocarburos obtenidos, a pesar de que son bajos, comparados con otras áreas del mundo (Golfo de México, bahía de New York, bahía de Cartagena, etc.), nos brindan una clara visión de cómo las actividades de tráfico marítimo y portuario, industriales (termoeléctricas), así como la movilización y usos del petróleo y sus derivados, contribuyen de una manera considerable al aumento gradual de las concentraciones de hidrocarburos fósiles en los ecosistemas costeros de la Isla de San Andrés, Caribe colombiano; siendo la zona de la bahía de San Andrés y el costado Oeste de la Isla, las que presentan algún impacto notorio en sus aguas debido a la presencia de HDD, así como hidrocarburos aromáticos y alifáticos en sedimentos.

7. RECOMENDACIONES

A DIMAR Y GOBERNACION DE SAN ANDRES

Se está observando, que uno de los principales problemas por los que atraviesa la Isla de San Andrés, en materia de contaminación ambiental, por el deterioro de la calidad de las aguas marinas adyacentes, se debe al vertimiento de residuos petrolíferos provenientes de la termoeléctrica, del terminal marítimo y los buques que arriban y zarpan, así como las marinas y embarcaciones turísticas.

Por esta razón, se hace necesario que la Dirección General Marítima (DIMAR), a través de la Capitanía de Puerto de San Andrés y la Gobernación, tomen las medidas preventivas y correctivas pertinentes, a fin de disminuir estos vertimientos y minimizar los efectos sobre los ecosistemas costeros de la Isla.

ADIMAR Y LA COI/IOCARIBE/CEPPOL

Continuar financiando las actividades de monitoreo de hidrocarburos petrogénicos en San Andrés por los menos durante 2 años más, a fin de confirmar la información obtenida hasta el momento. Así mismo, iniciar estas actividades en la isla de Providencia y áreas oceánicas del Caribe colombiano.

BIBLIOGRAFIA

- ALBAIJES, J. et al., 1982. Identificación y cuantificación de hidrocarburos en muestras biológicas. Separata IV Congreso Nacional de Química Sanitaria. Barcelona España p: 957-964.
- ATWOOD D.K., et al., 1987. Results of the CARIPOL Petroleum Pollution Monitoring Project in the Wider Caribbean. Marine Pollution Bulletin, Vol. 18, No. 10 pp. 540-548, 1987.
- BAYONA, J.M., et al., 1983. Aportes de Hidrocarburos Alóctonos y Autóctonos a la Plataforma Continental Mediterránea. Proyecto de Investigación Cooperativa Hispanoamericana. ED. J. Castellvi. Cádiz. pp. 333-343.
- BOTELLO, A.V. 1987. Programa de Vigilancia de los Hidrocarburos Fósiles en Sedimentos del Golfo de México y Caribe Mexicano: 1978-1984. Caribbean Journal of Science. Vol 23, No. 1: 29-39 Mayaguez. P.R.
- CARIPOL/IOCARIBE. 1980. Manual de CARIPOL para la Vigilancia de la Contaminación por Petróleo. IOCARIBE. Publicado por NOAA, Miami, Fl. 33149 USA.
- CELIS, L. et al., 1987. Actividades del Proyecto CARIPOL en las Zonas Costeras de México: Breas y Alquitranes en Playas. Carib. J. Sci. 23(1): 19-28 (1987). Mayaguez, Puerto Rico.
- CORTES, J.M. et al., 1987. Actividades del proyecto CARIPOL en las Zonas Costeras de México: Breas y Alquitranes en Playas. Carib. J. Sci. 23(1): 19-28 (1987). Mayaguez, Puerto Rico.
- CUBERES, M.R.; Albaijés, J., 1975. Control de la Contaminación Marina por Hidrocarburos y su aplicación al Litoral Mediterráneo Español. Primer Congreso Iberoamericano del Medio Ambiente. Barcelona
- FAO. 1977. Report and studies No. 6. Impact of oil The Marine environment. Rome, 250 p.
- GARAY, J.A. 1986. Concentración y composición de Hidrocarburos derivados del Petróleo en Aguas, Sedimentos y Peces de la Bahía de Cartagena. Bol. Cient. CIOH No. 6 : 41-62 Cartagena, Colombia.
- GARAY, J.A. 1987. Vigilancia de la Contaminación por Petróleo en el Caribe colombiano (Punta Canoas hasta Barbacoas, Cartagena, Colombia). Carib. J. Sci. 23 (1) : 51-63 (1987) mayaguez, Puerto Rico.