

Concepto Técnico Tipo "D"

CONCEPTO TÉCNICO SOBRE DERRAME DE HIDROCARBUROS PROVENIENTES DEL ESCAPE EN LA BOYA TLU1 EN EL GOLFO DE MORROSQUILLO

Solicitado por:

Corporación Autónoma Regional de Sucre-
CARSUCRE



Santa Marta, Abril 29 de 2015

CONCEPTO TÉCNICO SOBRE DERRAME DE HIDROCARBUROS PROVENIENTES
DEL ESCAPE EN LA BOYA TLU1 EN EL GOLFO DE MORROSQUILLO.
CPT-CAM-006-15



CUERPO DIRECTIVO

Director
Francisco A. Arias Isaza

Subdirector
Coordinación Científica
Jesús Antonio Garay Tinoco

Coordinador
Programa Biodiversidad y Ecosistemas
Marinos (BEM)
David Alonso Carvajal

Coordinador
Programa Valoración y Aprovechamiento
de Recursos Marinos y Costeros (VAR)
Mario Rueda Hernández

Coordinadora
Programa Calidad Ambiental Marina (CAM)
Luisa Fernanda Espinosa

Coordinadora
Coordinación de Investigación e
Información para Gestión Marina y
Costera (GEZ)
Paula Cristina Sierra Correa

Coordinadora
Programa de Geociencias Marinas y
Costeras (GEO)
Constanza Ricaurte

Coordinador
Coordinación de Servicios Científicos (CSC)
Julián Mauricio Betancourt

Subdirectora Administrativa (SRA)
Sandra Rincón Cabal

Preparado por:

Subdirección de Coordinación de
Investigaciones –SCI

Programa CAM

Yadi Moreno
Karen Ibarra
Yoselin Nieto

Apoyo LABCAM

Halbin Serrano
Johan Muñoz

Apoyo técnico:

Luisa F. Espinosa
Jesús A. Garay Tinoco

Imagen portada: Boya TLU1, Golfo de Morrosquillo. Tomada por:
Yoselin Nieto.

INVEMAR
Calle 25 No. 2-55, Playa Salguero
Santa Marta – Colombia
Tel: (57) (5) 4328600, Fax: (57) (5) 4328682
www.invemar.org.co

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN/ANTECEDENTES.....	1
2. OBJETIVO	2
3. METODOLOGÍA.....	3
3.1. Fase de Campo	3
3.2. Fase de Laboratorio.....	6
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	7
4.1. Calidad de Aguas	7
4.2. Calidad de Sedimentos	8
4.3. Evaluación cualitativa de hidrocarburos.....	8
5. CONCLUSIONES.....	10
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	12

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Recolección de muestras de agua en a) playas de Coveñas y b) Ciénaga de La Caimanera por parte de los investigadores de INVEMAR, el 25 de marzo de 2015. Fotos: Yoselin Nieto (Investigador INVEMAR).....	1
Figura 1-2. Muestreo realizado el 26 de marzo de 2015 en lancha de CARSUCRE para recolección de muestras de agua para análisis de hidrocarburos. Fotos: Yoselin Nieto (Investigador INVEMAR).	2
Figura 3-1. Estaciones seleccionadas para la recolección de muestras en zona del Golfo de Morrosquillo y la Ciénaga de La Caimanera, los días 25 y 26 de marzo de 2015.....	3
Figura 3-2. Medición de parámetros fisicoquímicos in situ en muestras de agua superficial recolectadas el 25 de marzo de 2015. Foto: Yoselin Nieto (Investigador INVEMAR).	5
Figura 3-3. Medición de la transparencia en la estación Punto 4 1/2 Iridiscencia-Caimanera.....	6
Figura 4-1. Cromatograma obtenido con el estándar de referencia para alcanos del C-10 al C-25.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4-2. Cromatogramas superpuestos para las estaciones donde se tomaron muestras de sedimentos. Punto 5 la marta (cromatograma negro); Punto 6 playa la caimanera (cromatograma rosa); Punto 7 punta piedra (cromatograma azul); Punto 8 boca la caimanera (cromatograma café).	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4-3 Cromatogramas superpuestos para muestras de agua colectadas el 25 de marzo. Punto 5 –la Marta (cromatograma negro); Punto 6- playa la caimanera (cromatograma rosa); Punto 7 – punta piedra (cromatograma azul); Punto 8 – boca caimanera (cromatograma café).....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4-4. Cromatogramas superpuestos de las muestras de agua colectadas el 26 de marzo. Punto 1- TLU1 (cromatograma negro); Punto 2- ½ TLU1 e iridiscencia (cromatograma rosa); Punto 3 – iridiscencia (cromatograma azul); Punto 4 – ½ TLU1 iridiscencia – caimanera (cromatograma café).	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4-5. Comparación de los cromatogramas correspondientes al estándar de referencia para alcanos (color rosa) y Punto 3-iridiscencia (color negro).....	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 .Coordenadas de las estaciones monitoreadas en el Golfo de Morrosquillo el 25 y 26 de marzo de 2015, para evaluar la posible presencia de hidrocarburos por escape en la Boya TLU1.....	4
Tabla 3-2. Variables determinadas in situ y métodos utilizados.....	5
Tabla 3-3. Variables y métodos utilizados para el análisis de las muestras de aguas y sedimentos colectadas en el Golfo de Morrosquillo durante la inspección realizada el 25 y 26 de marzo de 2015.....	6
Tabla 4-1. Resultados de las variables analizadas en las muestras de agua recolectadas los días 25 y 26 de marzo de 2015.....	7
Tabla 4-2. Resultados del análisis de HAT en las muestras de sedimentos.....	8

1. INTRODUCCIÓN / ANTECEDENTES

La Corporación Autónoma Regional de Sucre- CARSUCRE, informó al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR sobre un escape de crudo ocurrido el día 19 de marzo del presente año, en la mono boya de almacenamiento y cargue de hidrocarburos para buques petroleros TLU1, ubicada en el golfo de Morrosquillo y operada por la empresa ECOPETROL. Por este motivo la Corporación solicitó apoyo al INVEMAR para realizar una inspección y tomar muestras de agua y sedimento para evaluar la posible afectación de la calidad del agua y determinar la presencia de hidrocarburos en las playas y en los sedimentos de la ciénaga de La Caimanera. Atendiendo a esta solicitud el día martes 24 de marzo del 2015, el Grupo de Respuesta a las Emergencias Ambientales Marinas y Costeras- GAMA del INVEMAR fue activado y se desplazaron dos investigadores para realizar el muestreo.

Al llegar a la zona funcionarios de CARSUCRE describieron verbalmente la situación y con la ayuda de mapas de la zona, se determinó la ubicación de la última iridiscencia y se coordinó la logística para el muestreo.

El día 25 de marzo, se tomaron muestras de agua y sedimento en las playas donde se consideró pudo ser arrastrado el crudo, y en la ciénaga La Caimanera donde previamente se había instalado un muro de contención para evitar el ingreso de material contaminante (Figura 1-1).



Figura 1-1. Recolección de muestras de agua en a) playas de Coveñas y b) Ciénaga de La Caimanera por parte de los investigadores de INVEMAR, el 25 de marzo de 2015. Fotos: Yoselin Nieto (Investigador INVEMAR).

El día 26 de marzo en lancha proporcionada por CARSUCRE se realizó el monitoreo de aguas marinas en dirección a la TLU 1, siguiendo el posible recorrido de la mancha, teniendo en cuenta la última iridiscencia y en busca de residuos de hidrocarburo producto del derrame (Figura 1-2.); no fue posible realizar recolección de sedimentos porque las profundidades en esta zona eran superiores a 20 m y no se contaba con equipo adecuado para su recolección.



Figura 1-2. Muestreo realizado el 26 de marzo de 2015 en lancha de CARSUCRE para recolección de muestras de agua para análisis de hidrocarburos. Fotos: Yoselin Nieto (Investigador INVEMAR).

En cada una de las estaciones, se midieron las variables fisicoquímicas in situ, se recolectaron aguas y en las estaciones costeras se recolectó sedimentos para establecer la presencia de hidrocarburos.

2. OBJETIVO

Determinar el efecto del derrame de hidrocarburos en la Boya TLU1 sobre la calidad del agua del golfo de Morrosquillo y la presencia de hidrocarburos en las playas y en los sedimentos de la ciénaga de la Caimanera.

3. METODOLOGÍA

3.1. Fase de Campo

El diseño de muestreo fue realizado con el apoyo de CARSUCRE, se definieron ocho puntos de muestreo, cuatro marinos partiendo del punto donde se produjo el derrame en la TLU1 (Punto 1) y siguiendo en línea recta hacia la playa tomando como referencia la señal de iridiscencia, el Punto 2 se ubicó en la mitad de la distancia entre la boya TLU 1 y la última iridiscencia (Punto 3), el Punto 4 se tomó entre la iridiscencia y la ciénaga la Caimanera; y cuatro puntos costeros (Figura 3-1 y Tabla 3-1).

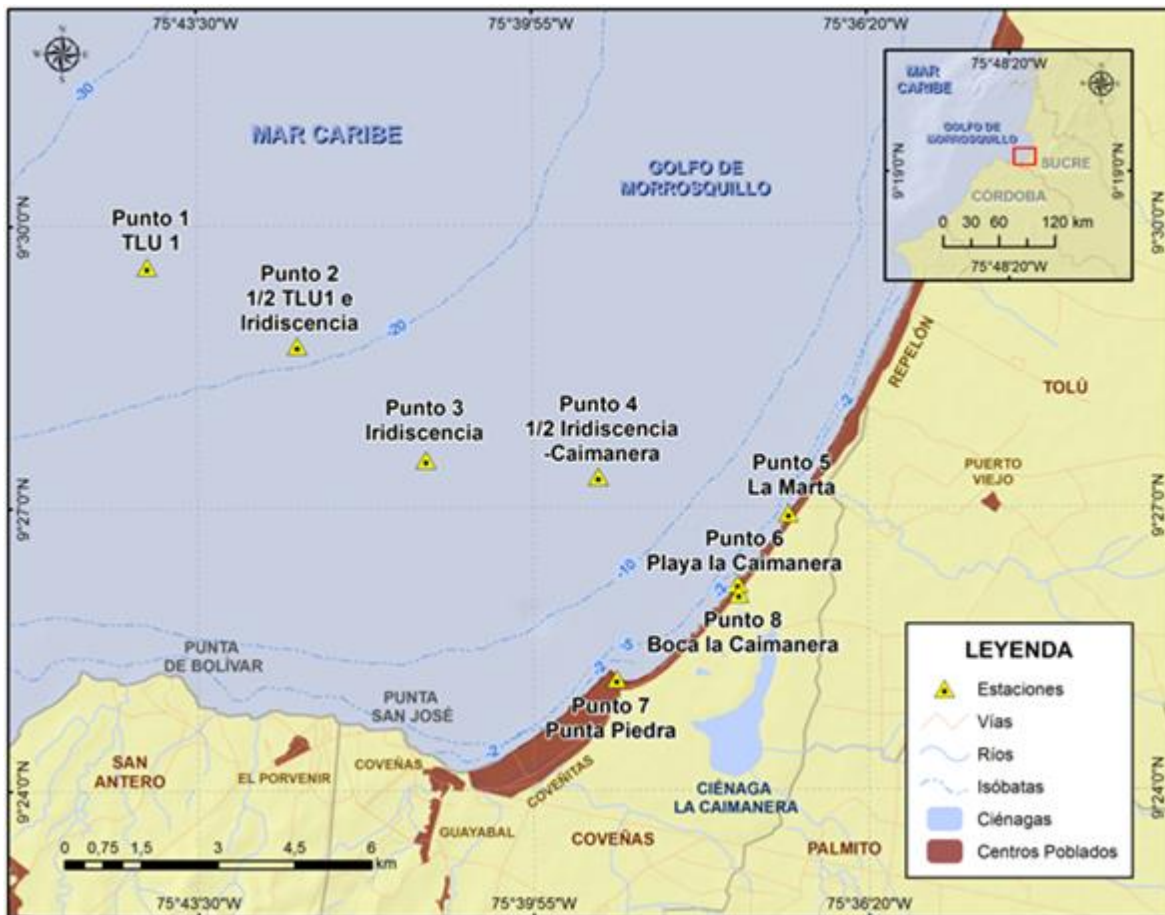


Figura 3-1. Estaciones seleccionadas para la recolección de muestras en zona del Golfo de Morrosquillo y la Ciénaga de La Caimanera, los días 25 y 26 de marzo de 2015.

Tabla 3-1 .Coordenadas de las estaciones monitoreadas en el Golfo de Morrosquillo el 25 y 26 de marzo de 2015, para evaluar la posible presencia de hidrocarburos por escape en la Boya TLU1.

No	Zona	Nombre de la estación	Coordenadas		Muestras recolectadas	
			Longitud N	Latitud W	Aguas	Sedimentos
1	Marina	Punto 1 TLU1	9°29´33.9"	75°44´1.7"	X	
2		Punto 2 ½ TLU1 e iridiscencia	9°28´43.4"	75°42´25.7"	X	
3		Punto 3 Iridiscencia	9°27´30.5"	75°41´3.2"	X	
4		Punto 4 ½ iridiscencia-Caimanera	9°27.1´19.6"	75°39´12.7"	X	
5	Costera	Punto 5 la Marta	9°26´55.8"	75°37´10.9"	X	X
6		Punto 6 Playa la caimanera	9°26´11"	75°37´43.6"	X	X
7		Punto 7 punta piedra	9°25´10.4"	75°39´1.5"	X	X
8		Punto 8 Boca la caimanera	9°26´4.5"	75°37´43.02"	X	X

La recolección de muestras inició el 25 de marzo, desde el Punto 5 hasta el Punto 8. Este muestreo se hizo por tierra y se abarcaron las playas a donde pudieron haber llegado trazas de hidrocarburo y la Ciénaga de La Caimanera. El 26 de marzo se muestrearon las estaciones 1 a la 4 en lancha de la Corporación.

En cada estación de muestreo se determinaron las variables fisicoquímicas *in situ* (Figura 3-2 y Tabla 3-2), se tomaron muestras de agua aproximadamente a 25 cm de profundidad para garantizar la medición de los compuestos solubilizados en la columna de agua y adicionalmente, en los Puntos 1, 2, 3 y 4 se midió la transparencia de la columna de agua (Figura 3-3), siguiendo la metodología descrita por [Garay, et al. 2003](#). Para el análisis de turbidez, las muestras fueron almacenadas en recipientes de plástico previamente lavados e identificados, las muestras destinadas al análisis de hidrocarburos, se almacenaron en botellas de vidrio color ámbar, previamente tratadas y rotuladas con fecha, número de identificación y modo de preservación.

Posterior a la recolección de las muestras de agua, se tomaron muestras de sedimento superficial utilizando una draga de tipo Van Veen. Cada muestra fue dispuesta dentro de papel aluminio previamente tratado para análisis de hidrocarburos aromáticos totales.



Figura 3-2. Medición de parámetros fisicoquímicos in situ en muestras de agua superficial recolectadas el 25 de marzo de 2015. Foto: Yoselin Nieto (Investigador INVEMAR).

Tabla 3-2. Variables determinadas in situ y métodos utilizados.

Variable	Métodos
Temperatura (°C)	Medición electrométrica con electrodo de sonda portátil (Standard Methods N° 4500-H; APHA et al., 2012).
pH	Medición potenciométrica con sonda portátil (Standard Methods N° 4500-H, APHA et al., 2012).
Salinidad	Medición electrométrica acoplada a sonda portátil (Standard Methods 2520-B, APHA et al., 2012).
Oxígeno disuelto (mg/L)	Medición en campo con electrodo de membrana WTW-OXI 330 (Standard Methods N° 4500-O G; APHA et al., 2012).



Figura 3-3. Medición de la transparencia en la estación Punto 4 1/2 Iridiscencia-Caimanera.

3.2. Fase de Laboratorio

Los métodos utilizados para el análisis de turbidez e hidrocarburos aromáticos totales en aguas y sedimentos realizados en el Laboratorio de Calidad Ambiental Marina del INVEMAR, se encuentran referenciados en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3. Variables y métodos utilizados para el análisis de las muestras de aguas y sedimentos colectadas en el Golfo de Morrosquillo durante la inspección realizada el 25 y 26 de marzo de 2015.

Matriz	Variable	Método
Agua	Turbidez	Medición Nefelométrica con turbidímetro HACH. (Standard Methods 2130-B, APHA, et al., 2012)
	Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT)	Extracción líquido – líquido con hexano-diclorometano y determinación Fluorométrica (UNESCO, 1984 ; Garay et al., 2003).
Sedimentos	Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT)	Extracción soxhlet con diclorometano-acetona y cuantificación fluorométrica (UNEP/IOC/IAEA, 1992)

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Calidad de Aguas

Las mediciones *in situ* realizadas los días 25 y 26 de marzo de 2015 se presentan en la Tabla 4-1. Tabla 4-1, adicionalmente, se incluyen los valores permitidos por la legislación colombiana y los datos históricos de la REDCAM en época seca en estaciones ubicadas en el Golfo de Morrosquillo (INVEMAR 2015).

Tabla 4-1. Resultados de las variables analizadas en las muestras de agua recolectadas los días 25 y 26 de marzo de 2015.

Fecha de muestro	Estación	Transparencia (m)	Turbidez (NTU)	Temperatura (°C)	Salinidad	pH	OD (mg/L)	HAT (µg/L)
25-03-2015	Punto 5	-	2,14	30,0	33,2	8,17	8,44	0,96
	Punto 6	-	2,18	30,1	33,2	8,04	7,44	0,32
	Punto 7	-	12,90	30,8	33,2	8,16	7,58	1,24
	Punto 8	-	4,42	31,7	33,2	8,21	7,85	0,26
26-03-2015	Punto 1	>9,0	0,50	28,2	34,2	8,14	8,67	0,71
	Punto 2	>9,0	0,10	28,2	34,1	8,14	9,30	1,71
	Punto 3	>9,0	0,50	28,3	33,3	8,15	10,35	3,71
	Punto 4	>9,0	1,43	28,8	33,6	8,14	9,56	0,53
Valores permitidos			ND ³	ND ³	ND ³	6,5-8,5 ¹	>4 ¹	10,0 ²
Valores históricos TLU1 (INVEMAR, 2015)			8,5-12	0,08-2,79	23,3-30,6	25,9-35,6	7,74-8,33	4,5-7,73
Valores históricos Punta Piedra (INVEMAR, 2015)				1,14-4,95	30,3-33,6	25,3-37,1	6,97-8,52	3,4-10,3
Valores históricos La Caimanera (INVEMAR, 2015)				0,58-8,14	28,5-34,35	0,5-36,1	6,42-8,42	1,3-8,15

¹Decreto 1594 de 1984. (Minsalud, 1984)

²Valor de referencia para aguas no contaminadas (UNESCO, 1984)

³ND = No Determinado.

El análisis de las variables fisicoquímicas medidas *in situ*, mostró que el derrame de hidrocarburos no afectó las variables temperatura, salinidad, pH, ni oxígeno disuelto, ya que los valores se encontraron dentro de los registros históricos de la REDCAM (INVEMAR, 2015). En el caso del pH y la concentración de oxígeno disuelto que cuentan con criterios dentro de la legislación Nacional (Decreto 1594 de 1984, MinSalud, 1984), se encontró que los valores medidos están dentro de los rangos normales para aguas destinadas a preservación de fauna y flora. De igual manera, los datos de transparencia y turbidez se encontraron dentro de los valores típicos de la zona, por lo cual no se evidencia la afectación de estos parámetros debido al incidente, con excepción del valor obtenido en la caimanera de 12,9 NTU.

Los análisis de hidrocarburos aromáticos totales (HAT) en aguas de las 8 estaciones, mostraron que la mayor concentración se registró en el punto 3 (máxima iridiscencia). Entre las playas que fueron inspeccionadas durante el primer día de muestreo, se registró la mayor

concentración de HAT en el punto 7 (Punta Piedra), no obstante estas concentraciones son bajas respecto al valor de referencia para aguas contaminadas ([UNESCO 1984](#)), por lo tanto el agua no se puede considerar como contaminada por HAT.

Al relacionar las variables turbidez y contenido de HAT, se puede observar que no hay una relación directa entre las mismas, ya que en el punto 3 donde se registró la mayor concentración de hidrocarburos la turbidez fue baja (Tabla 4-1).

4.2. Calidad de Sedimentos

Los resultados de las mediciones de HAT en sedimentos se muestran en la Tabla 4-2. Como se puede observar las mayores concentraciones de estos contaminantes se encuentran en los puntos 7 (Punta Piedra) y 8 (Boca de la Caimanera), sin que estos valores superaran el valor de referencia propuesto por la NOAA (1990), por encima del cual se considera que el sedimento está contaminado. Cabe destacar que estas concentraciones no pueden ser atribuidas exclusivamente al derrame ocurrido el 19 de marzo, ya que en el golfo de Morrosquillo ha habido otros incidentes de derrame de hidrocarburos.

Tabla 4-2. Resultados del análisis de HAT en las muestras de sedimentos.

Nombre Estación	HAT (µg/g)	Valores de referencia ³ (µg/g)
Punto 5	0,13	3,90
Punto 6	0,68	
Punto 7	1,83	
Punto 8	1,15	

³ Valor de referencia para sedimentos no contaminados por hidrocarburos ([NOAA 1990](#))

4.3. Evaluación cualitativa de hidrocarburos

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. La valoración de determinados hidrocarburos a través de los perfiles cromatográficos, es una herramienta de gran utilidad en el momento de inferir su origen y hacer una estimación aproximada del tiempo de presencia en el medio evaluado ([Douglas et al., 1996](#); [Stout et al., 2001](#)). En el presente estudio, se utilizó la estrategia de comparación de perfiles cromatográficos de la fracción alifática con un patrón conocido de N-alcanos (C-10 a C-25), esto permite realizar una aproximación del grado de intemperismo o degradación de los compuestos dependiendo de la longitud de la cadena de los hidrocarburos presentes ([Stout et al., 2001](#)). No obstante, es importante tener en cuenta que los parámetros

diagnósticos se han definido para zonas templadas y se han detectado algunas diferencias al compararlos con datos de zonas tropicales ([Wilcke et al., 2000](#); [Wang et al., 2001](#)), atribuido a la diferencia de temperatura y precipitación que determina procesos de intemperismo diferenciales que afectan la huella molecular, debido a la transformación de ciertos compuestos ([Whitaker et al., 1999](#))

La evaluación cualitativa de los perfiles cromatográficos presentó las siguientes características:

- La escasa presencia de picos de hidrocarburos alifáticos de bajo peso molecular, hace suponer bajas concentraciones de estos compuestos en el residuo, intemperismo o que el residuo presente haya sufrido degradación severa, tanto en las muestras de agua como en los sedimentos colectados. (Figura 4-1).

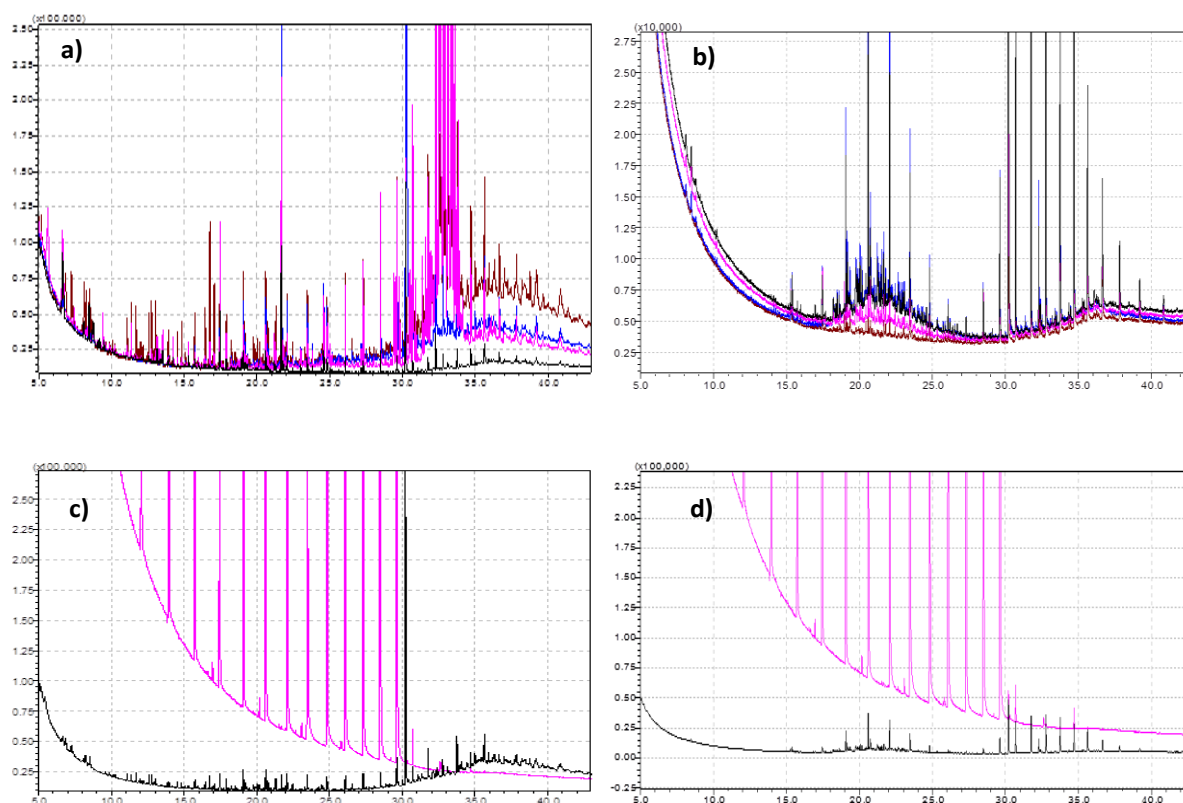


Figura 4-1. Superposición de cromatogramas de la fracción alifática. a) Superposición para las muestras de sedimentos; Punto 5 (cromatograma negro), Punto 6 (cromatograma fucsia), Punto 7 (cromatograma azul), Punto 8 (cromatograma café). b) Superposición para las muestras de agua; Punto 5 (cromatograma negro), Punto 6 (cromatograma fucsia), Punto 7 (cromatograma azul), Punto 8 (cromatograma café). c) Superposición de la fracción alifática del patrón de referencia (cromatograma color fucsia) con la fracción alifática del sedimento del Punto 8 (cromatograma color negro). d) Superposición de la fracción alifática del patrón de referencia (cromatograma color fucsia) con la fracción alifática de la muestra de agua del Punto 3

(cromatograma color negro).

- La ausencia de grandes jorobas en los cromatogramas (Figura 4-1), conformadas por los hidrocarburos no resueltos (UCM por sus siglas en inglés, unresolved complex mixture), y que son características de los crudos, pero no de combustibles ([Botello, 2005](#)), permite inferir que los residuos presentes posiblemente corresponden a combustibles, y por tanto, son de origen diferente a los relacionados con los incidentes objeto del estudio, lo cual indica que en el Golfo de Morrosquillo la presencia de hidrocarburos no está necesariamente relacionada solo con las operaciones de cargue, sino también de otras actividades como las de cabotaje, embarcaciones de turismo, entre otros, las cuales pueden generar vertimientos en la zona costera.

5. CONCLUSIONES

- Los parámetros evaluados para determinar la calidad del agua, oxígeno disuelto, salinidad, pH, transparencia y turbidez, se encontraron dentro de los límites permisibles establecidos por la legislación nacional para preservación de flora y fauna y dentro de los valores históricos registrados en el Golfo de Morrosquillo por el monitoreo nacional de la calidad de las aguas marinas y costeras, REDCAM. Por lo anterior, se establece que las condiciones fisicoquímicas del agua no evidencian afectación relacionada con el derrame de crudo en la TLU1.
- Los análisis de hidrocarburos aromáticos totales en aguas y sedimentos evidencian presencia de estos compuestos en concentraciones inferiores a los valores de referencia internacionales para aguas y sedimentos contaminados. Por lo que la evaluación de la fracción alifática de las muestras de sedimento no permite atribuir su presencia al suceso ocurrido en la TLU1 el 19 de marzo.

6. RECOMENDACIONES

- Como se ha mencionado en anteriores eventos, es necesario realizar un monitoreo ambiental con una frecuencia superior al que en la actualidad vienen desarrollando CARSUCRE e INVEMAR. Si bien el sistema de la REDCAM del INVEMAR y otras instituciones ha estado monitoreando regularmente la región desde hace varios años, la red tiene un alcance del nivel nacional. Hasta el momento, el monitoreo en el golfo de

Morrosquillo se ha financiado con aportes del INVEMAR, CARSUCRE y CVS, pero teniendo en cuenta el incremento de la actividad de exportación de hidrocarburos este monitoreo debería ser financiado por parte de las empresas responsables de las actividades que ocasionan riesgos ambientales, por lo cual se sugiere sea reglamentado dentro de las obligaciones de su licenciamiento ambiental.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) y WEF (Water Environment Federation). 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater, 22 edición. Washington. 1463 p.
- Botello, A.V., J. Rendón von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández, 2005. Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.
- Douglas, G. S., A. E. Bence, R. C. Prince, S. J. McMillen, and E. L. Butler. 1996. Environmental stability of selected petroleum hydrocarbon source and weathering ratios. Environ. Sci. Technol. 30: 2332-2339.
- Garay, J., G. Ramírez, J. Betancourt., B. Marín, B. Cadavid, L. Panizzo, L. Ilesmes, J. E. Sánchez S. H. Lozano y A. Franco, 2003. Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos y Contaminantes Marinos: Aguas, Sedimentos y Organismos. INVEMAR: Santa Marta, 177p. (Serie Documentos generales; No. 13).
- INVEMAR. 2015. Sistema de Información Ambiental Marina de Colombia – SIAM. Base de datos de la Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM. <http://www.invemar.org.co/siam/redcam>. 21/04/2015.
- Minsalud (Ministerio de Salud). 1984. Decreto No. 1594 del 26 de junio. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto – Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. 61 p.
- NOAA, 1990. A Special NOAA 20th Anniversary Report. Coastal Environmental Quality in the United States. Chemical contamination in Sediment and Tissues. Coastal and Estuarine Assessment Branch. Ocean Assessment Division. National Oceanic and Atmospheric Administration. Washington. 22 p.
- Stout, A. S., A. D. Uhler, and K. J. McCarthy. 2001. A Strategy and methodology for defensibly correlating spilled oil to source candidates. Environ. Forensics 2: 87-98.
- UNESCO, 1984. Manuales y guías No. 13 de la COI. Manual para la vigilancia del aceite y de los hidrocarburos del petróleo disueltos/dispersos en el agua de mar y en las playas. 87 p.
- UNEP/IAEA/IOC. 1992. Reference methods and materials: A programme of comprehensive

support for regional and global marine pollution assessments. 75p.

Wang, Z., M. Fingas, E. H. Owens, L. Sigouin, and C. E. Brown. 2001. Long term fate and persistence of the spilled Metula oil in marine salt marsh environment: degradation of petroleum biomarkers. J. Chromatogr. A. 926: 275-290.

Whitakker ,M., S. Pollard, and G. Ridsen. 1999. The fate of heavy oil wastes in soil microcosms. II: A performance assessment of source correlation indices. Sci. Total Environ. 226: 23-34

Wilcke, W., W. Amelung, Ch. Martius, M. V. B. García, and W. Zech. 2000. Biological sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the Amazonian rain forest. J. Plant Nutr. Soil Sci. 163: 27-30.