

DGI - SCI-CAM 02035



Santa Marta DTCH, 10 9 OCT 2015

Doctor

ORLANDO E. CABRERA MOLINARES

Director General

Corporación Autónoma Regional Del Magdalena - CORPAMAG

Av. Del Libertador No. 32 - 201 Barrio Tayrona, Santa Marta D.C.T.H.

Santa Marta, Magdalena.

Teléfono: 4211680 - 4213089

ASUNTO: Entrega de *Concepto técnico (CPT-CAM-017-15) sobre hundimiento de la embarcación "Orca V" en la Marina Internacional de Santa Marta, Magdalena.*

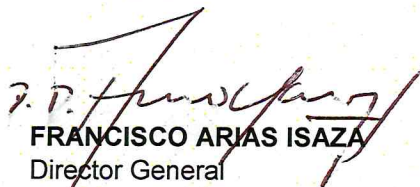
Cordial saludo,

Por medio del presente oficio hacemos llegar el Concepto técnico sobre hundimiento de la embarcación "Orca V" en la Marina Internacional de Santa Marta, ocurrido el 4 de septiembre de 2015 (CPT-CAM-017-15).

En este informe se describen las metodologías y lugares donde se realizaron toma de muestras como también los resultados realizados in situ, de variables físicasquímicas que aportaron para los resultados obtenidos.

Cualquier aclaración o adición, no dude en comunicarse con el Subdirector Jesús Garay Tinoco al correo electrónico jesus.garay@invemar.org.co.

Cordialmente,


FRANCISCO ARIAS ISAZA
Director General

Sede Principal: Calle 25 No. 2-55 Playa Salguero, Rodadero, Santa Marta D.T.C.H. Colombia
(+57) (+5) 432 86 00 Fax: (+57) (+5) 432 86 94 Cel: 314 592 8079 NIT: 800250062-0
www.invemar.org.co  Invemar  @invemarcolombia

20 Años
en el **SINA**



CPT-CAM-017-15

Concepto Técnico Tipo "D"

**CONCEPTO TÉCNICO SOBRE HUNDIMIENTO DE LA
EMBARCACIÓN "ORCA V" EN LA MARINA
INTERNACIONAL DE SANTA MARTA, MAGDALENA.**

Solicitado por:

**Corporación Autónoma Regional del
Magdalena - CORPAMAG.**



Santa Marta, octubre 09 de 2015



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
Programa de Geociencias Marinas
y Costeras (GEO)
Constanza Ricaurte

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

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

Programa BEM

Apoyo cartográfico LABSIS

Apoyo técnico LABCAM

Imagen portada: Atención a emergencia ambiental en la
Marina Internacional de Santa Marta. Tomadas por: Cesar
García y Natalia Rincón.

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. Análisis de Laboratorio	5
3.3. Análisis de la información.....	6
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	6
4.1. Flora y fauna acuática asociada.	6
4.2. Calidad de aguas y sedimentos.	10
5. CONCLUSIONES.....	16
6. RECOMENDACIÓN	16
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Hundimiento de la embarcación “Orca V” el 4 de septiembre de 2015. A. Procedimiento de reflote del yate. B. Iridiscencia presente en aguas dentro de la Marina Internacional de Santa Marta. C. Barrera de contención del hidrocarburo. D. Material vegetal adsorbente.	2
Figura 2. Estaciones de muestreo de calidad de aguas y sedimentos en la Bahía de Santa Marta.	4
Figura 3. Toma de muestras de agua y sedimentos, y medición de parámetros fisicoquímicos “in situ” en los puntos de muestreo de la Marina Internacional de Santa Marta el 04 de septiembre de 2015.	5
Figura 4. Macroalgas bentónicas asociadas a fondos lodosos del área afectada por el hundimiento del yate Orca V. A. Tapete de macroalgas de la especie <i>Canistrocarpus cervicornis</i> y de los géneros <i>Dictyota</i> , y <i>Enteromorpha</i> . B. Fragmento de <i>Canistrocarpus cervicornis</i> . C y D. Parches de algas de la especie <i>Caulerpa sertularioides</i> y del género <i>Enteromorpha</i> sp., observadas los días 04 y 11 de septiembre de 2015.	7
Figura 5. Peces asociados a las estructuras rocosas que bordean la Marina Internacional de Santa Marta. A y B. Grupos de peces de las especies <i>Lutjanus apodus</i> , <i>Haemulon album</i> y <i>Caranx latus</i> . C. Damiselas, <i>Stegastes adustus</i> . D y E. Peces loro, <i>Scarus iseri</i> y <i>Scarus taeniopterus</i> . F. Pez mariposa <i>Chaetodon ocellatus</i> y grupo de peces de la especie <i>Haemulon flavolineatum</i>	8
Figura 7. Fauna bentónica asociada a las rocas que bordean la Marina Internacional de Santa Marta y a los pilotes. A. Organismos incrustantes (fouling) asociado a los pilotes de la marina. B. briozoo <i>Zoobotryon verticillatum</i> creciendo sobre los pilotes. C. Colonias de <i>Colpophyllia natans</i> sobre rocas que bordean el área de la marina.	9
Figura 8. Distribución espacial de los hidrocarburos disueltos y dispersos - HDD (ug/L), en muestras de aguas de superficie recolectadas en la Marina Internacional de Santa Marta y puntos aledaños el 04 de septiembre de 2015.	14
Figura 9. Distribución espacial de los hidrocarburos aromáticos Totales HAT (ug/g), en muestras de sedimentos recolectadas en la marina internacional de Santa Marta y puntos aledaños luego del hundimiento del yate “Orca V” el 4 de septiembre de 2015. A. muestras tomadas el día 04-09-15. B. muestras tomadas el día 11-09-15.	15

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo y muestras recolectadas en la Bahía de Santa Marta tras la emergencia ambiental por el hundimiento de la embarcación “Orca V” el 04 de septiembre de 2015.....	3
Tabla 2. Métodos de análisis para variables fisicoquímicas medidas in situ en las estaciones de muestreo de calidad de aguas y sedimentos en la Bahía de Santa Marta.	4
Tabla 3. Metodologías utilizadas en el Laboratorio de Calidad Ambiental Marina (LABCAM) para el análisis en las matrices agua y sedimento.	5
Tabla 4. Especies de peces observados en las estructuras rocosas y bajo los puentes de la Marina Internacional de Santa Marta, alrededor del área afectada por el hundimiento del yate “Orca V” en día 4 de septiembre de 2015.	9
Tabla 5. Variables fisicoquímicas in situ medidas en el agua de superficie y de fondo en los puntos de muestreo de la Marina Internacional de Santa Marta los días 04 (durante el hundimiento del yate) y 11 (siete días después del hundimiento del yate) de septiembre de 2015. Profundidad (prof), Temperatura (Temp), Oxígeno disuelto (OD).	11
Tabla 6. Variables medidas en aguas superficiales de las estaciones de muestreo de la Marina Internacional de Santa Marta los días 04 y 11 de septiembre de 2015. Fosfatos (PO_4^{3-}), Turbidez (TURB).	12
Tabla 7. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD) en muestras de aguas e hidrocarburos aromáticos totales (HAT) en sedimento, recolectadas tras el hundimiento del yate “Orca V” en la Marina Internacional de Santa Marta el 4 de septiembre de 2015.....	13

1. INTRODUCCIÓN/ANTECEDENTES

El día 04 de septiembre de 2015, por medio de comunicación electrónica, la Corporación Autónoma Regional del Magdalena–CORPAMAG solicitó al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR apoyo técnico y acompañamiento durante la inspección a realizarse en la Marina Internacional de Santa Marta y alrededores, donde se produjo el derrame de combustible diésel ocasionado por el hundimiento parcial de la embarcación “Orca V”, estacionada en el puerto número 35 de la línea C. En respuesta a la solicitud, el INVEMAR activó el Grupo de Atención a Emergencias Ambientales Marinas - GAMA y el mismo día de la comunicación la coordinadora del programa Calidad Ambiental Marina CAM y los investigadores delegados para atender la emergencia realizaron una reunión pre-operativa, en donde a partir de la información suministrada vía telefónica por la corporación, se planificó la actividad a desarrollar en la zona, enfocada hacia la realización de un reconocimiento visual por parte de un equipo de buzos y a la toma de muestras de agua y sedimentos, con el fin de evaluar la afectación inmediata sobre la calidad del recurso hídrico y la biota asociada al área.

Con ayuda de mapas de la zona se definieron cuatro estaciones de muestreo dentro de la Marina y se incluyeron tres puntos estratégicos de la REDCAM que permitirían evaluar posibles cambios en las condiciones del agua. En cada una de las estaciones se midieron las variables fisicoquímicas *in situ*, se recolectaron muestras de sedimento, agua de superficie y fondo, y se realizó su geoposicionamiento y registro fotográfico.

El día 04 de septiembre de 2015 se realizó la salida, con el fin de hacer un reconocimiento inicial del área afectada por el siniestro, así como del impacto que pudo haber sobre la fauna y flora marina presente en la zona de estacionamiento de las embarcaciones. Durante el recorrido, se observó que el yate “Orca V” estaba hundido parcialmente, sin embargo, la respuesta rápida por parte del equipo de trabajo de reflote evitó la afectación sobre el fondo marino por arrastre de la embarcación o fragmentos de la misma (Figura 1A). También se observaron manchas iridiscentes del compuesto derramado en aguas dentro de la marina (Figura 1B), barreras de contención para evitar la expansión (Figura 1C) y material vegetal adsorbente específico para derrame de hidrocarburos (Figura 1D). Según información suministrada por personal de la Marina y fuentes periodísticas la embarcación contenía cerca de 60 galones de combustible diésel ([Solano, 2015](#)).

Una semana después del incidente, el día 11 de septiembre se llevó a cabo otra visita, con el fin de evaluar las condiciones posteriores al derrame de combustible de la embarcación durante su hundimiento.

En el presente concepto técnico, se muestran los resultados de las actividades de inspección, de las mediciones *in situ* y de los análisis de laboratorio de las muestras de agua y sedimentos recolectadas en los puntos de muestreo.



Figura 1. Hundimiento de la embarcación “Orca V” el 4 de septiembre de 2015. A. Procedimiento de reflote del yate. B. Iridiscencia presente en aguas dentro de la Marina Internacional de Santa Marta. C. Barrera de contención del hidrocarburo. D. Material vegetal adsorbente.

2. OBJETIVO

Evaluar la afectación sobre el recurso hídrico y la biota asociada al área de embarque en la Marina Internacional de Santa Marta por el derrame de combustible debido al hundimiento de la embarcación “Orca V”, ocurrido el 4 de septiembre de 2015.

3. METODOLOGÍA

3.1. Fase de Campo

3.1.1. Flora y fauna acuática asociada.

La evaluación de los posibles efectos sobre la biota acuática fue realizada por dos investigadores del INVEMAR, quienes mediante observaciones directas examinaron el área dentro de la Marina, haciendo buceo a pulmón debido a que la profundidad en la zona no superó los 3,5 m. Se hicieron observaciones de los tipos de fondo y se identificaron *in situ* las especies más relevantes de la biota (con énfasis en algas, fauna íctica y bentónica).

Cabe destacar que en el momento de la primera salida, el 4 de septiembre, se estaban realizando las operaciones de reflote y no fue posible que el equipo de buceo llevara a cabo una revisión exhaustiva bajo el yate. Durante la segunda visita, el 11 de septiembre, se realizaron observaciones en áreas colindantes con el puesto donde se había presentado el evento para poder determinar los posibles efectos sobre la fauna y flora.

3.1.2. Calidad de aguas y sedimentos.

El esquema de inspección se diseñó previo a las salidas con la información suministrada por CORPAMAG, definiéndose siete puntos de muestreo distribuidos estratégicamente, cuatro puntos dentro de la Marina (Puntos 1, 2, 3 y 4) y tres por fuera (Puntos 5, 6 y 7), en áreas de influencia de la Marina, las cuales hacen parte de la red de estaciones de la REDCAM, Puente de la calle 22, Playa municipal y Boya 2 (Tabla 1 y Figura 2).

Tabla 1. Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo y muestras recolectadas en la Bahía de Santa Marta tras la emergencia ambiental por el hundimiento de la embarcación “Orca V” el 04 de septiembre de 2015.

Nombre de Estación	Coordenadas		Muestras Recolectadas	
	Latitud N	Longitud W	Aguas	Sedimentos
Punto 1	11° 14' 26.5"	74° 12' 25.56"	X	X
Punto 2	11° 14' 26.6"	74° 13' 0.29"	X	X
Punto 3 (lugar del hundimiento)	11° 14' 30.0"	74° 13' 01.9"	X	X
Punto 4	11° 14' 29.7"	74° 13' 08.9"	X	X
Punto 5	11° 14' 39.1"	74° 12' 55.9"	X	X
Punto 6	11° 14' 36.3"	74° 13' 12.4"	X	X
Punto 7	11° 14' 23.4"	74° 13' 03.8"	X	X



Figura 2. Estaciones de muestreo de calidad de aguas y sedimentos en la Bahía de Santa Marta.

En cada estación se determinó la profundidad con un profundímetro digital, y se midieron variables *in situ* en el agua superficial (Tabla 2).

Tabla 2. Métodos de análisis para variables fisicoquímicas medidas *in situ* en las estaciones de muestreo de calidad de aguas y sedimentos en la Bahía de Santa Marta.

Variable	Método de análisis
Temperatura	Medición electrométrica con termocupla acoplada a sonda portátil (Standard Methods N° 4500-H; APHA et al., 2012).
Oxígeno disuelto (OD)	Medición en campo con electrodo de membrana (Standard Methods N° 4500-O G, 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 (Standard Methods 2520-B, APHA et al., 2012).

Adicionalmente se tomaron muestras de agua superficial a 25 cm de profundidad para el análisis de hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD), ortofosfatos (PO_4^{3-}) y turbidez; además, se recolectaron muestras de agua de fondo con una botella tipo

Niskin y de sedimentos con una draga tipo Van Veen, para determinar hidrocarburos aromáticos totales (HAT). Las muestras fueron almacenadas en recipientes adecuados para cada tipo de análisis, los cuales fueron previamente tratados y rotulados con fecha, número de identificación y modo de preservación, y se transportaron al Laboratorio de Calidad Ambiental Marina (LABCAM) del INVEMAR siguiendo las recomendaciones del Manual de técnicas analíticas ([Garay et al., 2003](#)).



Figura 3. Toma de muestras de agua y sedimentos, y medición de parámetros fisicoquímicos “in situ” en los puntos de muestreo de la Marina Internacional de Santa Marta el 04 de septiembre de 2015.

3.2. Análisis de Laboratorio

Las muestras de agua y sedimentos fueron procesadas en el Laboratorio de Calidad Ambiental Marina – LABCAM del INVEMAR, siguiendo los estándares internacionales y requisitos legales de monitoreo de este tipo de matrices (Tabla 3).

Tabla 3. Metodologías utilizadas en el Laboratorio de Calidad Ambiental Marina (LABCAM) para el análisis en las matrices agua y sedimento.

Matriz	Variable	Método
Agua	Hidrocarburos Disueltos y Dispersos (HDD)	Extracción líquido-líquido con diclorometano cuantificación fluorométrica (UNESCO/COI, 1984 ; Garay et al., 2003)
	Turbidez	Medición Nefelométrica con turbidímetro HACH. (Standard Methods 2130-B, APHA, et al., 2012)
	Ortofosfatos (PO_4^{3-})	Método colorimétrico del ácido ascórbico. (Strickland y Parsons, 1976)
Sedimentos	Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT)	Extracción soxhlet con diclorometano:acetona y cuantificación fluorométrica (UNEP/IOC/IAEA, 1992 ; Garay et al., 2003).

3.3. Análisis de la información

La evaluación de los organismos asociados al área afectada se realizó *in situ* y se complementó con base en la foto identificación y la búsqueda de información secundaria.

Los resultados de calidad del agua se analizaron a partir de los criterios para la preservación de flora y fauna establecidos en el decreto 1594 de 1984 ([MinSalud, 1984](#)) para aquellas variables que tienen límites permisibles, tales como oxígeno disuelto (>4,0 mg/L) y pH (6,5 – 8,5) para aguas cálidas marinas y costeras, y las demás variables con valores de referencia internacionales y literatura científica relacionada. Adicionalmente, los resultados se compararon con los datos históricos de las épocas lluviosas para los años 2002 a 2014 de las estaciones: puente de la calle 22, playa municipal y boya 2 (cercanas a la zona del incidente), que se vienen monitoreando semestralmente en la “Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM” y cuya información es custodiada en la base de datos de la misma ([INVEMAR, 2015](#)).

Los resultados en sedimentos fueron comparados con los valores de referencias propuestos por la National Oceanic and Atmospheric Administration de Estados Unidos ([NOAA, 1990](#)), ya que en Colombia no existe normatividad vigente que reglamente y establezca límites para evaluar su calidad. Las concentraciones de hidrocarburos aromáticos totales (HAT) tienen como valor máximo propuesto 3,9 µg/g para sedimentos no contaminados.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Flora y fauna acuática asociada.

4.1.1. Flora

Las actividades de observación permitieron determinar que el fondo alrededor del sitio del hundimiento de la embarcación se compone principalmente de sedimento formado por fango arenoso, cubierto por una densa capa de macroalgas bentónicas de los géneros *Dictyota*, *Enteromorpha* y *Canistrocarpus* (*Canistrocarpus cervicornis* (Figura 4A y B) a una profundidad de 2,6 – 3 m. También se identificaron parches de macroalgas de la especie *Caulerpa sertularioides* y del género *Enteromorpha* sp (Figura 4C y D).

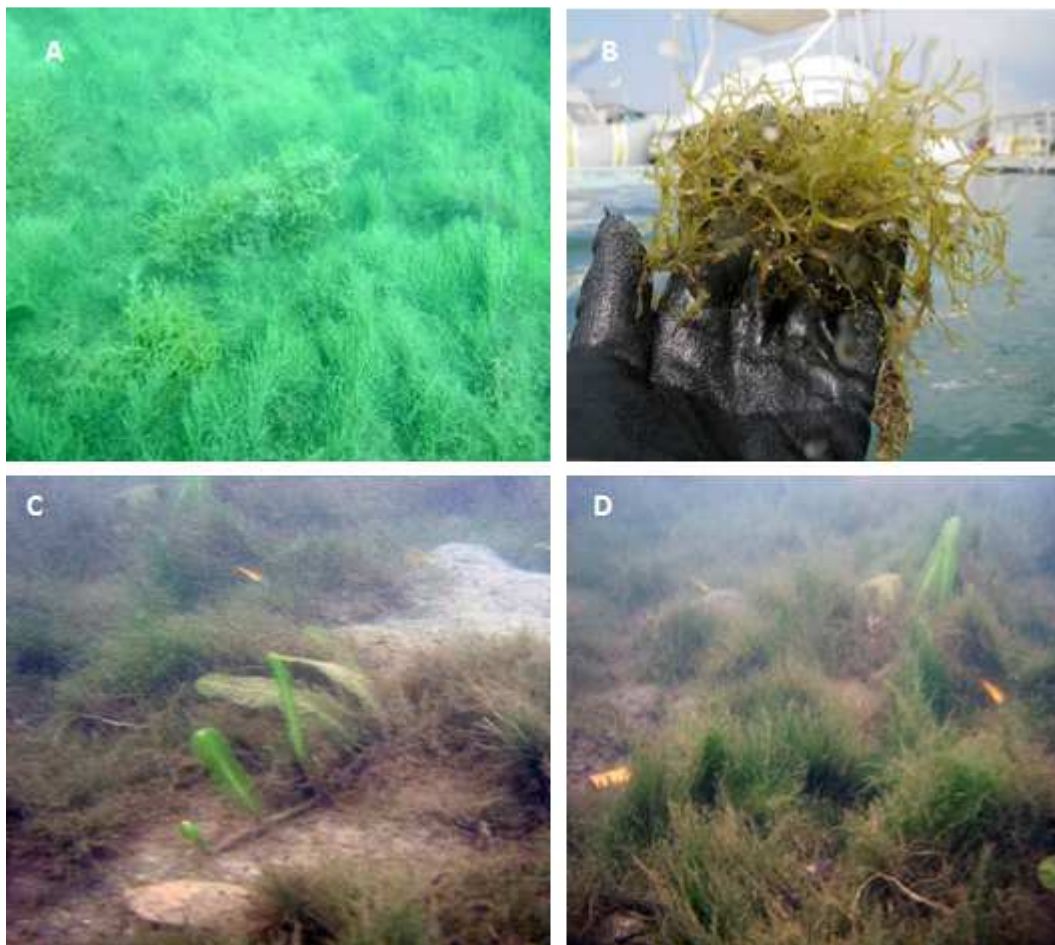


Figura 4. Macroalgas bentónicas asociadas a fondos lodosos del área afectada por el hundimiento del yate Orca V. A. Tapete de macroalgas de la especie *Canistrocarpus cervicornis* y de los géneros *Dictyota*, y *Enteromorpha*. B. Fragmento de *Canistrocarpus cervicornis*. C y D. Parches de algas de la especie *Caulerpa sertularioides* y del género *Enteromorpha* sp., observadas los días 04 y 11 de septiembre de 2015.

4.1.2. Fauna

Durante las observaciones realizadas alrededor de la embarcación, se registró la fauna íctica presente al interior de la Marina (Figura 5). Se observaron en total once especies de peces en su mayoría en estadio juvenil e intermedio, que principalmente se agrupaban en las zonas rocosas que delimitan la Marina y bajo los puentes de unión de los puertos de atraque (

Tabla 4).

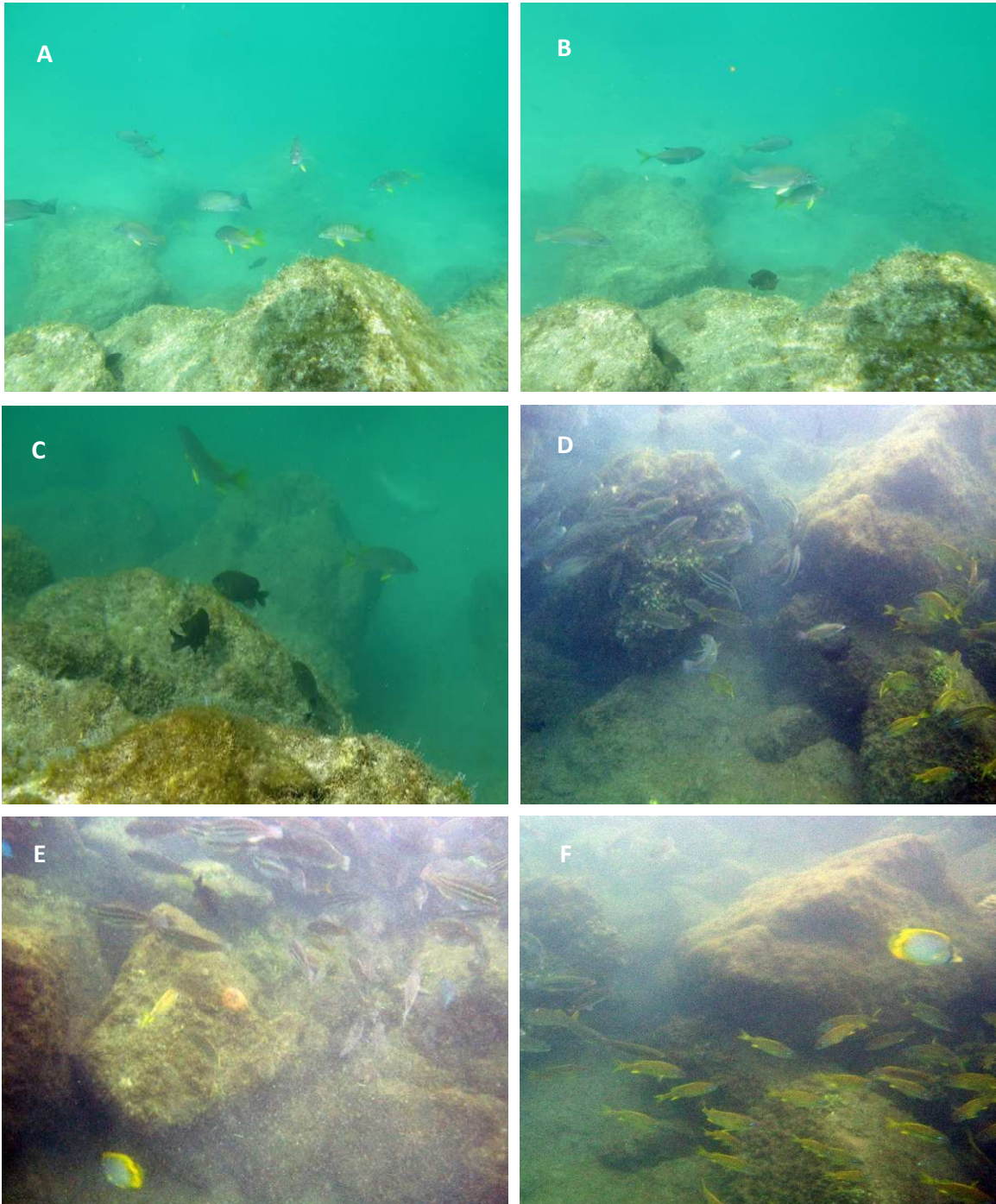


Figura 5. Peces asociados a las estructuras rocosas que bordean la Marina Internacional de Santa Marta. A y B. Grupos de peces de las especies *Lutjanus apodus*, *Haemulon album* y *Caranx latus*. C. *Damiselas*, *Stegastes adustus*. D y E. Peces loro, *Scarus iseri* y *Scarus taeniopterus*. F. Pez mariposa *Chaetodon ocellatus* y grupo de peces de la especie *Haemulon flavolineatum*.

Tabla 4. Especies de peces observados en las estructuras rocosas y bajo los puentes de la Marina Internacional de Santa Marta, alrededor del área afectada por el hundimiento del yate “Orca V” en día 4 de septiembre de 2015.

Familia	Especie
Carangidae	<i>Caranx latus</i>
Chaetodontidae	<i>Chaetodon ocellatus</i>
Gerreidae	<i>Eucinostomus gula</i>
Haemulidae	<i>Haemulon álbum</i>
	<i>Anisotremus virginicus</i>
Holocentridae	<i>Holocentrus adscensionis</i>
Lutjanidae	<i>Lutjanus apodus</i>
Pomacentridae	<i>Stegastes adustus</i>
	<i>Scarus taeniopterus</i>
Scaridae	<i>Scarus iseri</i>
Sphyraenidae	<i>Sphyraena barracuda</i>

En los pilotes que soportan los puentes, se observó gran variedad de organismos incrustantes (fouling) y epibiontes como balanos, moluscos bivalvos y briozoos de la especie *Zoobotryon verticillatum* (Figura 6A y B). Así mismo, en las estructuras rocosas que bordean la Marina por la parte sur, se observó una especie de coral escleractinio, (*Colpophyllia natans*, Figura 6C).



Figura 6. Fauna bentónica asociada a las rocas que bordean la Marina Internacional de Santa Marta y a los pilotes. A. Organismos incrustantes (fouling) asociado a los pilotes de la marina. B. briozoo *Zoobotryon verticillatum* creciendo sobre los pilotes. C. Colonias de *Colpophyllia natans* sobre rocas que bordean el área de la marina.

Las observaciones realizadas al fondo marino, mostraron que la estructura construida para delimitar las zonas de atraque en la Marina Internacional de Santa Marta, se ha convertido en un área de establecimiento de algas y especies bentónicas sésiles como esponjas y corales, entre otros; además la estructura sirve como refugio para alevines y peces en estadio juvenil, crustáceos o moluscos que llegan a la zona en busca de alimento y refugio. Durante las dos visitas realizadas no se evidenció afectación inmediata o aguda sobre la biota asociada. Una semana después del incidente no se había presentado blanqueamiento o daño en las colonias coralinas, ni muerte de organismos por asfixia o envenenamiento. Cabe destacar que el comportamiento del contaminante en los organismos acuáticos depende de las especies presente y de la concentración de la sustancia expuesta ([Benedet et al., 2004](#)).

4.2. Calidad de aguas y sedimentos.

4.2.1. Variables Fisicoquímicas

Los resultados de las variables fisicoquímicas medidas *in situ* los días 04 y 11 de septiembre de 2015 en agua superficial y del fondo en los puntos de muestreo, se presentan en la Tabla 5. Debido a la poca profundidad (de 0,6 a 3,2 m) del área de muestreo, el agua superficial y de fondo durante las dos visitas realizadas presentó condiciones similares de temperatura. En la primera visita durante el hundimiento del yate, la temperatura del agua superficial en promedio fue de $29,30 \pm 0,12$ °C, y la del fondo de $29,43 \pm 0,23$ °C. Una semana después del hundimiento, debido a la hora del día en las que se realizaron las mediciones, la temperatura del agua superficial estuvo en los $27,43 \pm 0,39$ °C y la del fondo en $27,27 \pm 0,85$ °C. Únicamente en el Punto 1 durante la primera visita, se registró la mayor temperatura en el agua superficial (30,8 °C), con respecto a los otros puntos de muestreo (Tabla 5). Este valor se relaciona con la hora de la medición, cerca del medio día, momento en el cual se presenta mayor radiación solar, que calienta el agua de la superficie, más aún en este sector que se encuentra al interior de la Marina, en donde la profundidad era de 0,6 m y había mayor mancha de combustible contenida por barreras que obstruían el flujo superficial del agua. En cuanto a los valores de temperatura registrados en los puntos ubicados al exterior de la Marina (Puntos 5, 6 y 7), la temperatura del agua estuvo dentro de los rangos históricos de las estaciones de la REDCAM ([INVEMAR, 2015](#)).

Los valores de salinidad del agua superficial y del fondo registrados en los puntos de muestreo oscilaron entre 36,9 y 42,6 durante el hundimiento del yate y entre 28,1 y 36,3 posterior al evento, por el aporte de las precipitaciones presentadas en días anteriores. La salinidad fue ligeramente mayor en las aguas del fondo ($37,12 \pm 1,75$) en comparación con las aguas superficiales ($36,05 \pm 2,70$), destacándose las del interior de la Marina por tener las salinidades más altas, debido la poca circulación del agua. El pH del agua superficial fluctuó entre 7,92 y 8,18, y el del agua del fondo entre 8,05 y 8,16, sin mayores variaciones entre muestreos, y se encontraron dentro del rango permisible para la preservación de fauna y flora en aguas marinas y estuarinas según el Decreto 1594 de 1984 (6,5-8,5; [MinSalud, 1984](#)).

Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) en todos los puntos de muestreo, se encontraron entre 6,31 y 6,98 mg/L durante el hundimiento del yate, valores considerados adecuados para preservación de fauna flora, ya que están por encima del criterio de calidad establecido por el Decreto 1594 de 1984 ($>4,0$ mg/L; [MinSalud, 1984](#)). Siete días después del hundimiento y derrame del combustible, en la mayoría de los puntos de muestreo el nivel de OD permaneció por encima de 4,0 mg/L, a excepción del Punto 1 (3,63 mg/L; Tabla 5), posiblemente por la hora del día en la que se hizo la medición (08:49 am), momento en el cual se presentó cielo nublado con ligeras precipitaciones (0,20 mm; [CIOH, 2015](#)) y poca radiación solar.

Tabla 5. Variables fisicoquímicas in situ medidas en el agua de superficie y de fondo en los puntos de muestreo de la Marina Internacional de Santa Marta los días 04 (durante el hundimiento del yate) y 11 (siete días después del hundimiento del yate) de septiembre de 2015. Profundidad (prof), Temperatura (Temp), Oxígeno disuelto (OD).

Fecha de muestro	Estación	Hora	Prof (m)	Temp (°C)		Salinidad		pH		OD (mg/L)	
				Superficie	Fondo	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo	Superficie	Fondo
04/09/2015	Punto 1	13:40	0,6	30,8	-	-	-	8,06	-	6,68	-
	Punto 2	14:00	3,2	29,4	29,3	40,6	42,6	8,08	8,12	6,63	6,56
	Punto 3	14:35	3,2	29,1	29,3	37,7	37,3	8,14	8,06	6,81	5,96
	Punto 4	15:03	2,8	29,4	29,7	37,4	37,3	8,14	8,15	6,44	6,74
	Punto 5	16:00	2,8	29,5	29,7	37,2	37,3	8,16	8,16	6,98	7,12
	Punto 6	16:15	2,4	29,2	29,2	36,9	36,9	8,14	8,14	6,31	6,24
	Punto 7	16:35	2,4	29,2	29,4	37,2	37,1	8,15	8,15	6,70	6,83
11/09/2015	Punto 1	08:49	0,9	27,5	-	34,6	-	7,92	-	3,63	-
	Punto 2	09:06	2,9	27,5	26,9	35,8	36,4	8,11	8,09	5,20	4,90
	Punto 3	09:21	2,9	27,2	26,8	35,7	36,5	8,18	8,08	4,89	4,35
	Punto 4	09:48	3,2	27,2	27,0	35,2	36,6	8,08	8,08	4,82	4,74
	Punto 5	10:35	3,2	27,2	27,7	28,1	35,4	8,12	8,05	4,60	4,22
	Punto 6	11:06	3,8	27,5	27,7	36,3	36,0	8,14	8,14	5,77	5,66
	Punto 7	11:17	3,8	27,9	27,5	36,0	36,0	8,11	8,10	5,34	5,89
*Valores de referencia agua marina y estuarina				ND		ND		6,5 – 8,5		>4,0	
**Playa Municipal (Punto 5)				27,9 – 30,6		28,1 – 36,5		8,03 – 8,46		2,8 – 8,28	
**Puente de la calle 22 (punto 6)				27,8 – 30,6		31,6 – 36,4		8,08 – 8,48		2,9 – 8,18	
**Boya 2 (punto 7)				27,9 – 30,0		27,3 – 36,1		7,41 – 8,37		3,0 – 8,21	

*Decreto 1594 de 1984 ([Minsalud, 1984](#)).

**Rangos históricos (2002 – 2014) estaciones REDCAM Magdalena ([INVEMAR, 2015](#)).

- No medido.

ND = No Determinado.

Para evaluar la posible descarga de aguas de sentina provenientes de la embarcación, se realizaron mediciones de ortofosfatos (PO_4^{3-}) como indicadores de residuos de detergentes (Tabla 6). Los valores de esta variable dentro y fuera de la Marina determinados en las dos salidas de campo, se encontraron dentro de los rangos registrados históricamente por la REDCAM para el área, y su presencia en el medio se ha atribuido al constante tráfico marítimo, a la congestión y rebose del sistema de alcantarillado de la ciudad que durante las temporadas lluviosas hace que las aguas servidas lleguen por escorrentía a la bahía de Santa Marta ([Vivas-Aguas et al., 2014](#)); por tanto, se descarta que el 04 de septiembre, además del derrame de combustible, se haya presentado fuga de aguas de sentina de la embarcación “Orca V”.

Por otro lado, la turbidez por presencia de materiales suspendidos coloidales y/o particulados, no solo interfiere con los usos recreativos y el aspecto estético del agua, además es un factor ambiental importante ya que la actividad fotosintética depende en gran medida de la penetración de la luz ([Hitchcock et al., 2004](#)). Las mediciones de las muestras recolectadas el día del incidente presentaron valores de turbidez que estuvieron dentro del rango histórico de la REDCAM ([INVEMAR, 2015](#)); sin embargo, el punto 1 presentó un valor atípicamente alto para el área de evaluación, debido a la presencia de una capa oleosa de combustible derramado, que por acción de los vientos la concentra en la zona de estudio; a pesar de lo anterior, y del valor un poco alto de la temperatura, la disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua no se vio afectado (Tabla 6). Cabe resaltar que al ser el diésel un combustible liviano, los procesos

naturales de meteorización y evaporación, así como las actividades de recolección del compuesto vertido, permitieron la eliminación de la película iridiscente, y para la segunda visita realizada una semana después del incidente, la turbidez determinada en todas las estaciones se encontró dentro de los rangos reportados por la REDCAM para el área (Tabla 6).

Tabla 6. Variables medidas en aguas superficiales de las estaciones de muestreo de la Marina Internacional de Santa Marta los días 04 y 11 de septiembre de 2015. Fosfatos (PO_4^{3-}), Turbidez (TURB).

Estación	PO ₄ ³⁻ (ug/L)		TURB (NTU)	
	04/09/15	11/09/15	04/09/15	11/09/15
Punto 1	29,8	46,5	18,10	3,18
Punto 2	3,8	19,3	< LD	< LD
Punto 3 (lugar del hundimiento)	6,0	18,7	1,61	< LD
Punto 4	4,4	16,5	< LD	31,2
Punto 5	4,1	146,7	< LD	< LD
Punto 6	< LD	< LD	< LD	< LD
Punto 7	2,7	8,1	< LD	3,06
Valores permitidos	ND		ND	
**Playa municipal (Punto 5)	< LD -172,6		< LD-3,00	
**Puente de la calla 22 (punto 6)	< LD-30,6		1,19-2,35	
**Boya 2 (punto 7)	<LD-26,9		<LD-5,65	

ND = No Determinado.

<LD = Menor al límite de detección

**Rangos históricos (2002 – 2014) estaciones REDCAM Magdalena ([INVEMAR, 2015](#)).

4.2.2. Contenido de hidrocarburos aromáticos totales en aguas (HDD) y sedimentos (HAT).

Tras el derrame en el mar de derivados de hidrocarburos, el volumen varía en las primeras 24 horas, debido a la evaporación de las fracciones más ligeras, tiempo durante el cual se puede perder hasta el 40% del volumen inicial, dependiendo de la composición. Otra parte, muy pequeña, se disuelve en la columna de agua (hidrocarburos dispersos disueltos - HDD); esta fracción es biodisponible y potencialmente tóxica, sin embargo los efectos nocivos sobre la biota marina solo pueden evaluarse después de un tiempo prolongado, que puede ser de meses a años, analizando especialmente los sedimentos de las áreas afectadas o en algunos casos los organismos marinos expuestos ([Wang et al., 2001](#)). Además, el hidrocarburo puede adherirse a otros materiales en suspensión, o formar partículas de densidad superior a la del agua, los cuales se hunden y sedimentan, pudiendo o no afectar a organismos del bentos como cangrejos, ostras, mejillones y almejas (Kim et al., 2013).

En las muestras de agua superficial recolectadas horas después del incidente dentro de la Marina (puntos 1 a 4), se determinaron HDD que superaron el valor propuesto por la UNESCO para aguas libres de contaminación por estos residuos (10,0 µg/L; [UNESCO, 1984](#)), especialmente en el lugar del hundimiento, punto 3 (23 veces el valor de

referencia), y el punto 1 (115 veces el valor de referencia) (Tabla 7). Esto puede explicarse por la acción de los vientos que concentran dichos residuos en el área, creando una capa oleosa densa y generando la distribución espacial del contaminante (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Así mismo, las concentraciones determinadas fuera de la marina (puntos 5 a 7), no superaron la referencia y se encontraron dentro de los rangos determinados por la REDCAM en el área, demostrando que las actividades de contención evitaron el desplazamiento del combustible derramado a las zonas aledañas.

Tabla 7. Concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD) en muestras de aguas e hidrocarburos aromáticos totales (HAT) en sedimento, recolectadas tras el hundimiento del yate “Orca V” en la Marina Internacional de Santa Marta el 4 de septiembre de 2015.

Fecha de muestro	Estación	Prof (m)	HDD SUPERFICIE (ug/L)	HDD FONDO (ug/L)	HAT SEDIMENTOS (ug/g)
04-09-2015	Punto 1	0,8	1146,84	-	1,10
	Punto 2	3,1	12,70	1,43	4,99
	Punto 3 (lugar del hundimiento)	3,0	230,67	0,95	29,01
	Punto 4	3,1	8,13	0,44	10,22
	Punto 5	2,7	0,92	1,76	0,12
	Punto 6	9,1	3,32	0,81	0,13
	Punto 7	2,0	0,42	0,95	0,23
11-09-2015	Punto 1	0,8	1,44	-	2,47
	Punto 2	3,1	0,58	0,72	7,00
	Punto 3 (lugar del hundimiento)	3,0	0,76	4,95	51,20
	Punto 4	3,1	1,02	0,67	7,46
	Punto 5	2,7	6,90	0,77	0,19
	Punto 6	9,1	0,34	0,48	0,19
	Punto 7	2,0	0,38	0,63	0,19
Valores permitidos			$\leq 10^2$	$\leq 10^2$	$\leq 3,9^1$
Playa municipal (Punto 5)			0,56 – 1,02	-	ND ³
Puente de la calle 22 (punto 6)			1,77	-	ND ³
Boya 2 (punto 7)			< LD – 0,91	-	ND ³

¹Valor de referencia para aguas no contaminadas ([UNESCO, 1984](#))

²Valor de referencia para sedimentos no contaminados ([NOAA, 1990](#))

³ND = No Determinado.

<LD = Menor al límite de detección

**Rangos históricos (2002 – 2014) estaciones REDCAM Magdalena ([INVEMAR, 2015](#)).

- = No medido

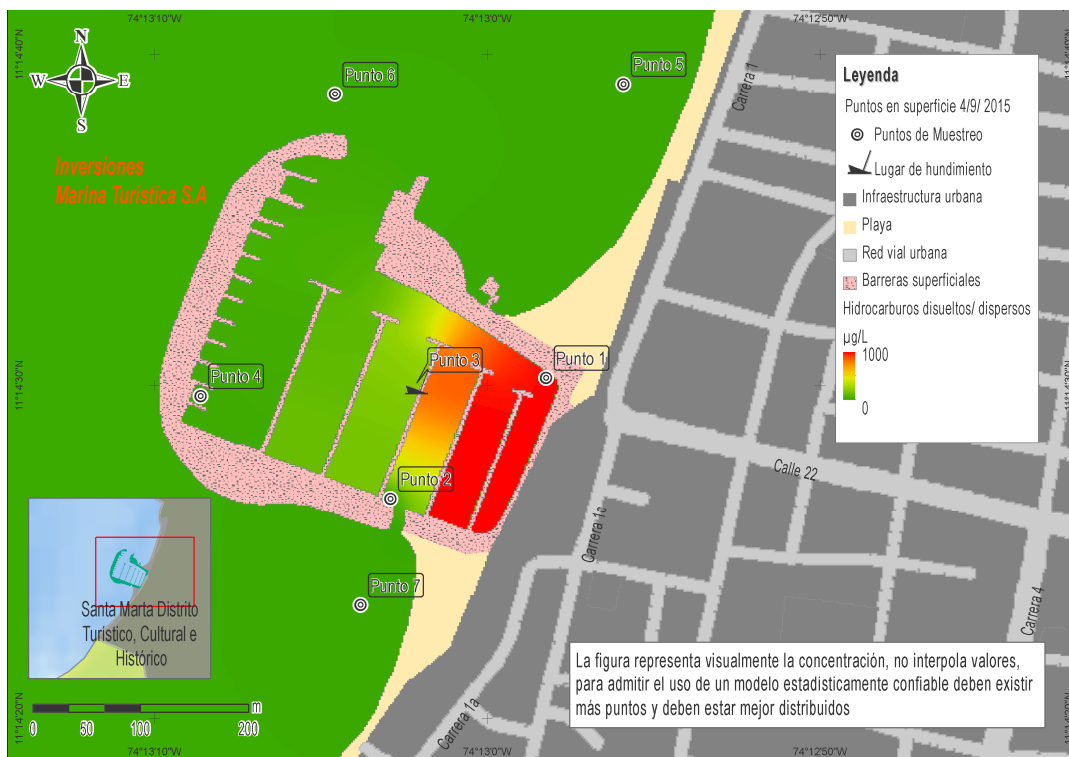


Figura 7. Distribución espacial de los hidrocarburos disueltos y dispersos - HDD ($\mu\text{g/L}$), en muestras de aguas de superficie recolectadas en la Marina Internacional de Santa Marta y puntos aledaños el 04 de septiembre de 2015.

Por otro lado, en las muestras de fondo los valores de HDD fueron inferiores a $10,0 \mu\text{g/L}$, lo que permite inferir que para el momento de la visita no se había presentado dispersión del compuesto en la columna de agua. Así mismo, las concentraciones determinadas en las muestras de superficie y fondo, recolectadas durante la segunda visita, el 11 de septiembre, no superaron el valor de referencia de la UNESCO (Tabla 7).

En cuanto a los sedimentos recolectados durante las dos visitas, las concentraciones de HAT dentro de la Marina superaron el valor de referencia ($3,9 \mu\text{g/g}$), definido como "concentración alta" para sedimentos por el Program National Status and Trends (NS&T) de la National Oceanic and Atmospheric Administration ([NOAA, 1990](#)), (Tabla 7). En la Figura 8 se observa el comportamiento espacial del contaminante en el área con una distribución radial que parte del punto del hundimiento (punto 3).



Figura 8. Distribución espacial de los hidrocarburos aromáticos Totales HAT (ug/g), en muestras de sedimentos recolectadas en la marina internacional de Santa Marta y puntos aledaños luego del hundimiento del yate “Orca V” el 4 de septiembre de 2015. A. Muestras tomadas el día 04-09-15. B. Muestras tomadas el día 11-09-15.

Al no existir estudios previos para la zona, donde se evalúe la presencia de HAT en los sedimentos, no es posible asegurar que las concentraciones determinadas correspondan únicamente a la afectación causada por el incidente del 04 de septiembre, puesto que además de este, han ocurrido en el pasado otros vertimientos crónicos que no es posible diferenciar, derivado de actividades como el tráfico marítimo y las actividades que se desarrollan en el lugar aumentan las posibilidades de la presencia de este tipo de residuos (Tabla 7 y Figura 8).

5. CONCLUSIONES

- El derrame de combustible diésel debido al hundimiento del yate Orca V en la Marina Internacional de Santa Marta, no afectó la calidad fisicoquímica del agua en términos de las concentraciones de las variables pH y oxígeno disuelto, ya que se cumple con la legislación nacional para la preservación de la flora y fauna acuática; así mismo, con los valores de salinidad y temperatura registrados, los cuales se encuentran dentro de los rangos históricamente registrados por la REDCAM en el área.
- No se encontró evidencia visible de afectación inmediata sobre los organismos que habitan en la zona marina de la Marina de Santa Marta, a causa del hundimiento de la embarcación o debido al derrame del combustible. Sin embargo, como los efectos son crónicos, es decir a mediano y largo plazo, se debe hacer seguimiento para determinarlos.
- Se detectó la presencia de hidrocarburos aromáticos totales (HAT), tanto en aguas como en sedimentos, en algunas estaciones muestreadas, dentro de la zona de influencia de la Marina Internacional de Santa Marta, con valores que superan, en algunos casos, tanto los datos históricos de la REDCAM para la zona, como las referencias internacionales sobre niveles de contaminación para estos sustratos. Sin embargo, no es posible diferenciar si son producto del presente incidente o derrames anteriores, a consecuencia de otras actividades como el tráfico marítimo de embarcaciones, actividades del puerto o vertimientos de fuentes terrestres.

6. RECOMENDACIÓN

Nuevamente, tal como se expresó en el informe realizado por INVEMAR en mayo del presente año, se destaca la necesidad de implementar un sistema de monitoreo específico en aguas de la Marina, con el fin de evaluar los cambios en las condiciones ambientales y determinar la tasa de recuperación del ecosistema frente a este tipo de eventos. Se hace énfasis en la importancia de evaluar la presencia de los hidrocarburos en sedimentos y organismos para incrementar el conocimiento sobre la calidad del medio y el estado de la contaminación en el área.

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 ed. United States of America. 1406 p.
- Baumard, P., H. Budzinski, Q. Mchin, P. Garrigues, H. Dizer and P. Hansen. 1999. Polycyclic aromatic hydrocarbons in recent sediment and mussel (*Mitilus edulis*) from the Western Baltic Sea: Occurrence, bioavailability and seasonal variations. *Mar. Environ. Res.* 47: 17-47 p.
- Benedet L, Finkl CW, Campbell T, Klein A. 2004. Predicting the effect of beach nourishment and cross-shore sediment variation on beach morphodynamic assessment. *Coast. Eng.* 51: 839–861 p.
- CIOH – Centro de Investigaciones Oceanográficas e hidrográficas del Caribe. 2015. Observaciones meteorológicas, Santa Marta. <http://www.cioh.org.co/meteorologia/ObCosteras1.php?obc=smt>. 29/09/2015.
- Garay, J., G. Ramírez, J. M. Betancourt, B. Marín, B. Cadavid, L. Panizzo, L. Lesmes, J.E. Sanchez, S.H. Lozano y A. Franco. 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos: Aguas, sedimentos y organismos. INVEMAR, Santa Marta. 148 p.
- Hitchcock, D.R. y Bell, S., 2004. Physical impacts of marine aggregate dredging on seabed resources in coastal deposits. *Journal of Coastal Research*, vol.20–1, 101-114 p.
- INVEMAR. 2015. Concepto técnico sobre mancha desconocida detectada en aguas de la Marina Internacional de Santa Marta. Santa Marta. 16 p.
- 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. INVEMAR-CORPAMAG. <http://www.invemar.org.co/siam/redcam>. 18/09/2015.
- Kim, M., S. Hong, J. Wona, U. Yim, J-H. Jung, S. Ha, J. Geon Ana, C. Joo, E. Kim, G. Myung Han, S. Baek, H-W. Choi, W. Shim. 2013. Petroleum hydrocarbon contaminations in the intertidal seawater after the Hebei Spirit oil spill e Effect of tidal cycle on the TPH concentrations and the chromatographic characterization of seawater extracts. *Water Research*, 47: 758 – 768 p.
- 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, Bogotá. 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 Assesment Branch. Ocean Assesment Division. National Oceanic and Atmospheric Administration. Washington. 22 p.

- Solano-Rubio J. 2015. Yate con 801 Galones de Diésel se hundió en el Muelle de Santa Marta. Diario Hoy del Magdalena. En: <http://www.hoydiariodelmagdalena.com.co/noticias/ciudad3534.html>. Fecha de consulta: 08/09/15.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons 1976. A Practical Hand Book of Sea Water Analysis, 2 edición.
- UNEP/IAEA/IOC, 1992. Reference methods and materials: A programme of comprehensive support for regional and global marine pollution assessments. 75 p.
- 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.
- Vivas-Aguas, L.J., K. Ibarra., J. Sánchez, M. Martinez, Y. Nieto, Y. Moreno, I. Cuadrado, P. Obando, O. Garces, D. Sánchez, M. Villarraga y O. Sierra. 2015. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las Aguas Marinas y Costeras del Caribe y Pacífico colombianos. Serie de Publicaciones Periódicos del Invemar N° 4 (2015). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. (REDCAM). Informe Técnico 2014. INVEMAR. Santa Marta. 320 p.
- 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 p.