

Seguimiento a las Repuestas Bióticas y Abióticas de un Ecosistema de Manglar Afectado por un Derrame de Petróleo

Mónica María Zambrano Ortiz¹
Sandra Liliana de la Esperanza Franco Serrano²

¹Área de Protección del Medio Marino, Centro Control Contaminación del Pacífico - CCCP

²Área Técnica, Centro Control Contaminación del Pacífico - CCCP

Vía El Morro, Capitanía de Puerto, San Andrés de Tumaco, Nariño, Colombia

Tél: +57 (2) 727 26 37, Fax: +57 (2) 727 11 80, AA. 187

e-mail: cccp.webmaster@dimarnet.mil.co

e-mail: monyazambrano@yahoo.com

e-mail: sfranco@dimarnet.mil.co

Zambrano, M. y S. Franco. 2005. Seguimiento a las Respuestas Bióticas y Abióticas de un Ecosistema de Manglar Afectado por un Derrame de Petróleo. Boletín Científico CCCP, (12): 37-48.

Recibido en marzo de 2005; aceptado en septiembre de 2005

RESUMEN

Durante un período de seis meses se realizaron monitoreos de las condiciones bióticas y abióticas en un área afectada por el ingreso de hidrocarburos, mediante un seguimiento al proceso de recuperación del ecosistema. Los niveles de hidrocarburos aromáticos totales en los sedimentos alcanzaron los 988.31 $\mu\text{g/g}$ durante los primeros monitoreos y descendieron hasta 4.27 $\mu\text{g/g}$ al finalizar el estudio. En organismos bivalvos la situación fue similar, presentando a trece días del incidente niveles de 47.65 $\mu\text{g/g}$, los cuales descendieron a 0.037 $\mu\text{g/g}$ luego de seis meses. Para las aguas, las concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos fluctuaron con ascenso y descenso en los niveles registrados entre 150 y 0.61 $\mu\text{g/L}$. A nivel biológico la mayor alteración se reflejó en la comunidad bentónica, drásticamente afectada, aunque su recuperación fue significativa y puede decirse que el ecosistema en general presentó una respuesta positiva, que resaltó especialmente en las zonas expuestas a una mayor influencia mareal.

PALABRAS CLAVE: Derrame de petróleo, hidrocarburos aromáticos, ecosistema de manglar, bivalvos, monitoreos, comunidad bentónica, influencia mareal.

ABSTRACT

During a period of six months monitoring of biotic and abiotic conditions was conducted in an area affected by the spill of hydrocarbons. A follow up on the process of recuperation of the ecosystem was also conducted. The levels of aromatic hydrocarbons reached 988.31 $\mu\text{g/g}$ during the first samplings and descended to 4.27 $\mu\text{g/g}$ at the end of the study. In organisms bivalves the situation was similar after 13 days of the incident levels of 47.65 $\mu\text{g/g}$ were found but descended to 0.037 $\mu\text{g/g}$ after six months. The concentrations of dissolved and dispersed hydrocarbons fluctuated at levels registered between 150 and 0.61 $\mu\text{g/L}$. At the biological level the major alteration was seen in the benthic community which was drastically affected, even when its recuperation has been significant and it can be said that the ecosystem in general presented a positive response that was accentuated specially in the zones exposed to main tidal influence.

KEY WORDS: Oil spill, aromatic hydrocarbons, mangrove ecosystem, bivalves, monitoring, benthic community, tidal influence.

INTRODUCCIÓN

Los derrames de hidrocarburos, sin importar la razón por la cual sucedan, siempre generan impactos negativos al ambiente, al igual que al sector económico que deriva su sustento de actividades relacionadas con la explotación de recursos naturales dependientes del entorno afectado.

Este tipo de eventos perturban los ecosistemas, generan alteraciones físicas, químicas y biológicas, asociadas con efectos de tipo tóxico (agudo y/o crónico) y de impregnación; ello los convierte en un potencial tensor (tanto espacial como temporal), cuya intensidad depende de diversas variables, tales como: volumen y tipo de contaminante, ecosistema afectado y condiciones ambientales, etcétera.

El ingreso de hidrocarburos al medio marino se estima en unos 37 millones de galones anuales en todo el mundo, mientras que los vertidos por operaciones superan los 137 millones de galones. Éstos últimos generan mayor impacto y proceden de diversas fuentes: mezclas oleosas en aguas de lastre, principalmente de petroleros; mezclas oleosas resultantes de limpieza de las bodegas, vertidas directamente al mar, procedentes de cargueros, y mezclas oleosas de Fuel, procedentes de la sala de máquinas y las sentinas desde todo tipo de buques (Delilah y Khudhair, 2002. En: Cantano, 2004).

Tumaco es el primer puerto petrolero del Pacífico colombiano y en él se encuentra ubicado el terminal del Oleoducto Trasandino, lo cual implica cierto nivel de riesgo ante situaciones de emergencia relacionadas con derrames de hidrocarburos. A la fecha se han registrado varios eventos de tipo accidental e inducido.

El presente trabajo describe la dinámica de recuperación observada en un ecosistema de manglar, tras el ingreso de, aproximadamente, 50 barriles de crudo, mediante información obtenida a partir de pruebas fisicoquímicas y biológicas, que permitieron cuantificar algunos parámetros guía para evaluar el proceso de recuperación del sistema.

ÁREA DE ESTUDIO

El terminal No. 5 de Ecopetrol, sitio donde finaliza el Oleoducto Trasandino, se encuentra

ubicado en la parte continental del casco urbano de San Andrés de Tumaco. Este terminal posee un área de almacenamiento, un tanque de almacenamiento provisional y unos drenajes conectados a este último, con el fin de recuperar el crudo derramado. Toda esta infraestructura colinda con el estero El Pajal (Figura 1), cuya vegetación se caracteriza por una presencia dominante de mangle rojo (*Rhizophora mangle*), con algunas zonas puntuales de presencia de mangle negro (*Avicennia germinans*). El presente estudio se llevó a cabo en puntos de muestreo ubicados a lo largo del estero El Pajal, entre las coordenadas $01^{\circ} 47' 43.42''$ N $78^{\circ} 47' 15.42''$ O y $01^{\circ} 47' 41.69''$ N $78^{\circ} 47' 04.97''$ O.



Figura 1. Área afectada por el derrame, estero El Pajal.

El estero fue afectado por un vertido de 50 barriles de crudo, de los cuales se recuperó, aproximadamente, un 90 %, por lo que se estima que la cantidad total vertida fue de 5 barriles.

METODOLOGÍA

A lo largo del estero se establecieron cuatro estaciones con el fin de evaluar el estado del ecosistema tras el vertido, mediante seguimientos a los parámetros bióticos y abióticos. Todos los monitoreos se realizaron durante el período de marea baja.

La distribución de las estaciones, cuyas coordenadas se relacionan en la Tabla I, se realizó de la siguiente manera: las estaciones 1 y 2 se ubicaron próximas al punto de vertido del crudo al estero; las estaciones 3 y 4 fueron ubicadas a la

salida del mismo (Figura 2). Todas las estaciones fueron monitoreadas semanalmente, a partir del 28 de marzo de 2004, durante un mes, y posteriormente se realizaron monitoreos a dos y seis meses de ocurrido el incidente, hasta completar un total de ocho muestreos.

Tabla I. Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo

Estación	Longitud N	Latitud O
1	01° 47' 43.42"	78° 47' 15.42"
2	01° 47' 43.36"	78° 47' 11.38"
3	01° 47' 41.69"	78° 47' 04.97"
4	01° 47' 37.76"	78° 47' 03.24"



Figura 2. Ubicación de las cuatro estaciones de muestreo en el área de estudio (círculos rojos).

Para conocer el estado del ecosistema se recolectaron muestras de aguas y sedimentos. Los análisis realizados a las muestras de agua fueron: nutrientes (amonio, nitritos y fosfatos), oxígeno disuelto, clorofila-*a*, pH, salinidad e hidrocarburos aromáticos totales, HAT's. La metodología empleada para realizar los análisis de nutrientes y clorofila-*a* se basó en técnicas espectrofotométricas, establecidas por el Centro Control Contaminación del Pacífico, CCCP, basadas en Parsons *et al.* (1992). Para el análisis de hidrocarburos dispersos y disueltos, HDD's, se utilizaron técnicas espectrofluorom tricas, siguiendo la metodología descrita en el Manual de Procedimientos Técnicos del CCCP, que consiste en dos extracciones sucesivas con hexano, basada en Caripol (1980).

Las muestras de sedimentos se almacenaron en papel aluminio pretratado con hexano. El análisis de HAT's se realizó utilizando el procedimiento establecido por el Laboratorio de Química del CCCP, basado en Caripol (1980) y que consiste en: digestión alcalina; extracciones sucesivas líquido-líquido con hexano; purificación del extracto, a través de sílice, y su posterior cuantificación por espectrofluorometría.

Para determinar la concentración de HAT's contenida en los organismos se siguió la metodología descrita en el Informe del Curso Regional de Técnicas Analíticas para la Determinación de Hidrocarburos de Petróleo en Organismos y Sedimentos Marinos en el Pacífico Sudeste (Bruhn *et al.*, 1987).

Adicionalmente, se tomaron muestras de agua para evaluar el estado de la comunidad fitoplanctónica y sedimentos para determinar la presencia de organismos bentónicos, siguiendo las metodologías descritas en el Manual de Procedimientos Técnicos de Biología del CCCP, basadas en Haefner (2001).

RESULTADOS

Durante un primer recorrido por la zona afectada se observaron pocos organismos (crustáceos) muertos y otros impregnados total o parcialmente de crudo (Figura 3). También se evidenciaron agrupaciones de peces de la familia *Ariidae* con evidente dificultad para tomar oxígeno en el agua, ya que trataban de obtenerlo a través de la superficie.



Figura 3. Crustáceo cubierto totalmente por crudo, encontrado en la zona afectada por el derrame.

El componente vegetal, representado casi en su totalidad por *Rhizophora mangle* (especie dominante) al igual que *Avicennia germinans*, se vio afectado en troncos y raíces (aéreas y neumatóforos). Durante el muestreo inicial y reconocimiento del área, la epifauna asociada a este sustrato fue escasa, sólo se observaron algunos cangrejos (*Goniopsis cruentata*), de forma aislada, y gasterópodos (*Littorina zebra*).

En el agua se observó iridiscencia, a lo largo de todo el estero, al igual que sobre los sedimentos.

En la superficie de los sedimentos se apreciaron residuos de petróleo.

Oxígeno disuelto

Los niveles de oxígeno disuelto, OD, durante el primer monitoreo fueron críticos para las estaciones 1 y 2, con concentraciones equivalentes a 0.20 mg/L y 0.26 mg/L, respectivamente (Figura 4). Descendieron aún más en el cuarto monitoreo con niveles no detectables, ND, y de 0.17 mg/L. Durante el sexto mes se registró un incremento equivalente a 1.7 mg/L para la estación 1 y valores superiores a 2 mg/L en las estaciones restantes.

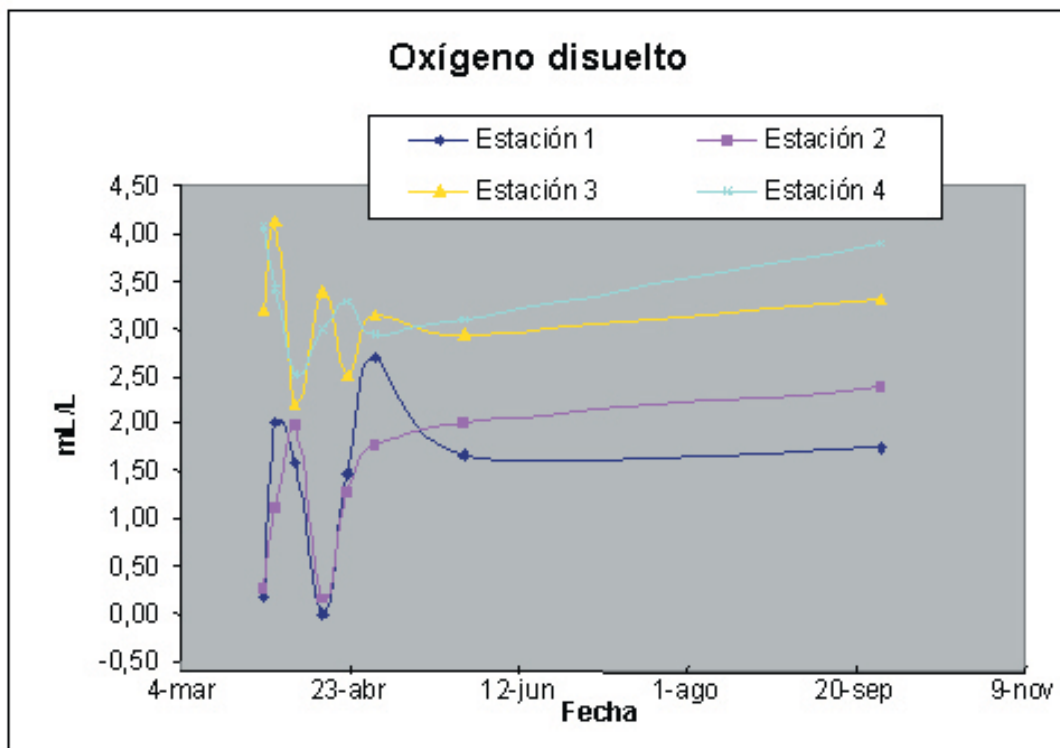


Figura 4. Comportamiento del oxígeno disuelto acuerdo monitoreos en el área de estudio.

Nutrientes

Los niveles de nutrientes obtenidos durante los meses de muestreo (Figura 5) se encontraron casi en su totalidad dentro de los rangos establecidos en la legislación colombiana (Decreto 1594 de 1984), donde se consideran niveles apropiados para aguas marinas y estuarinas a saber: nitratos de 0 hasta $30\mu\text{M}$; nitritos de 0 hasta $2\mu\text{M}$; amonio de 0 hasta $25\mu\text{M}$, y fosfatos de 0 hasta $0.65\mu\text{M}$.

Los valores de fosfatos superaron el nivel establecido en la norma, casi durante todo el estudio, en las estaciones 1 y 2, con una tendencia a la disminución con el transcurrir del tiempo; en tanto que para las estaciones 3 y 4 permanecieron más o menos constantes.

Asimismo, para el último muestreo se encontraron las concentraciones más elevadas de amonio y nitratos, mientras que las de nitritos disminuyeron.

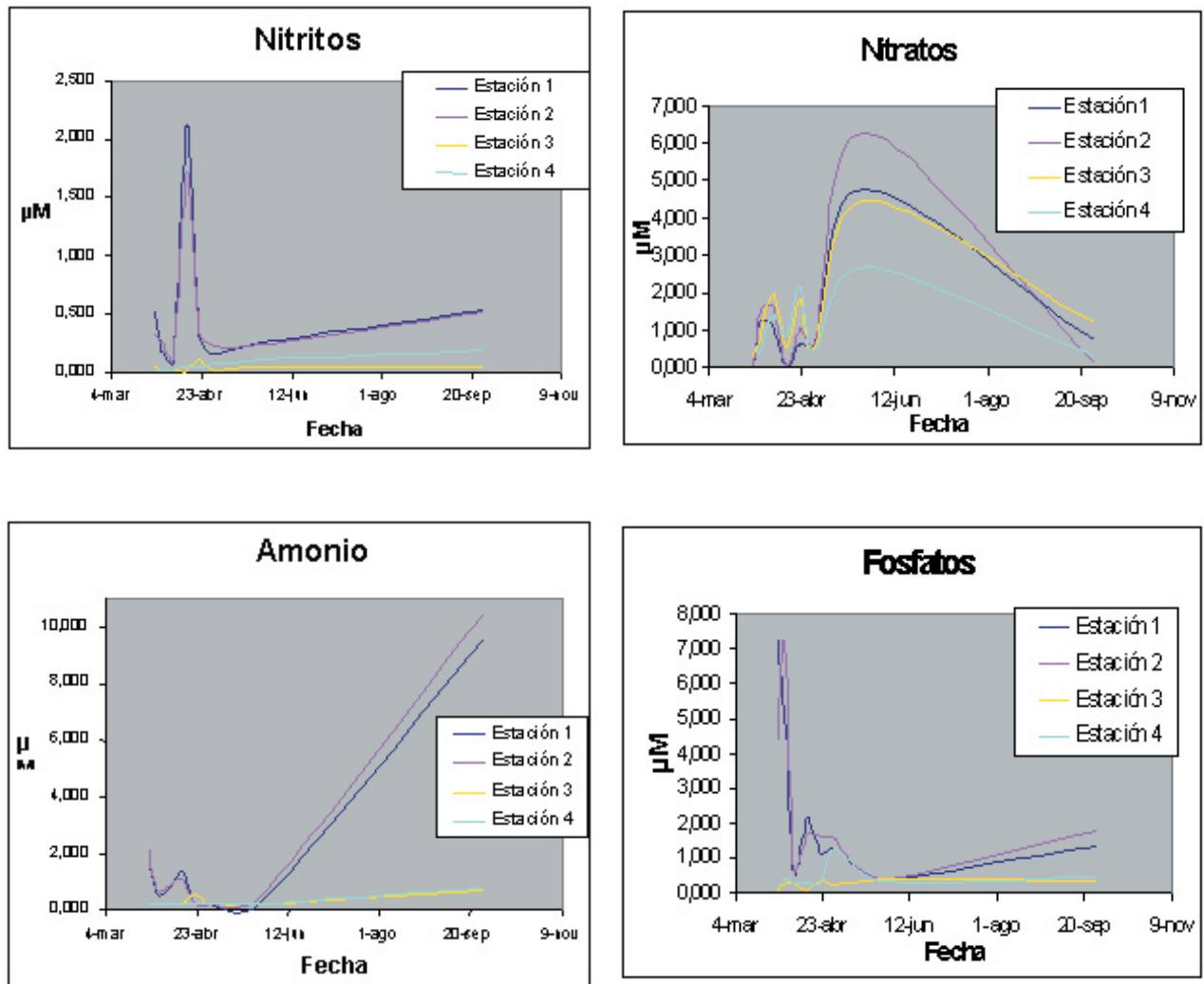


Figura 5. Comportamiento de los nutrientes durante el tiempo de estudio.

Hidrocarburos aromáticos

Los sedimentos presentaron durante los primeros meses de estudio niveles muy elevados de

HAT's (Tabla II) y se observó un decrecimiento de estos compuestos durante el muestreo realizado a seis meses del incidente (Figura 6).

Tabla II. Concentraciones de HAT's ($\mu\text{g/g}$) en las cuatro estaciones, durante el muestreo seis meses después del derrame de crudo.

Fecha	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
28-mar	766.54	512.30	61.85	0.08
15-abr	718.85	988.31	5.38	7.85
22-abr	586.12	570.07	52.17	6.15
30-abr	692.39	271.38	5.74	11.99
27-may	437.56	938.49	9.83	33.28
27-sep	67.75	63.99	4.27	4.98

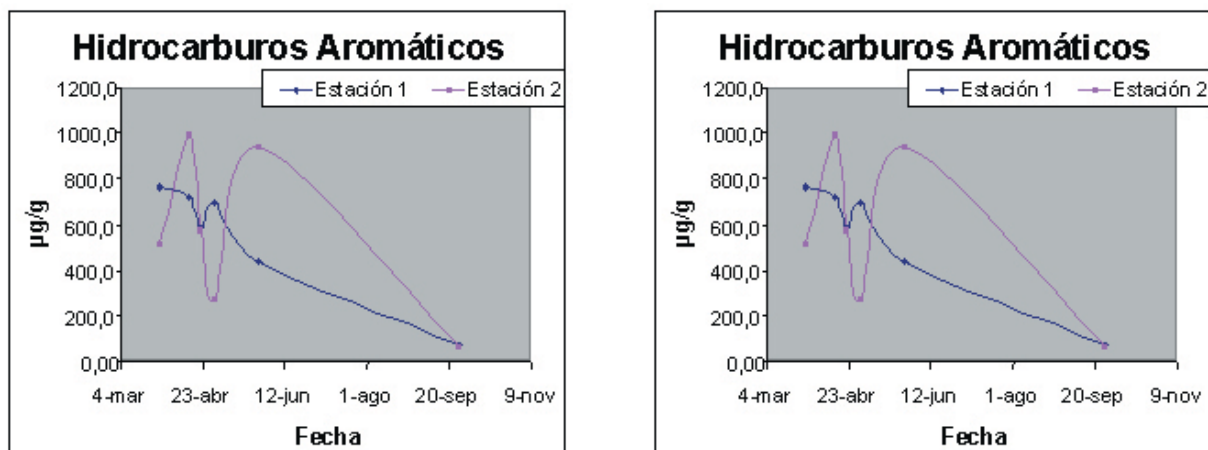


Figura 6. Comportamiento de HAT's durante el monitoreo en el área de estudio.

Respecto a las concentraciones de HDD's fueron altas en todas las estaciones, sobrepasando los 10 µg/L. La estación 3 mantuvo niveles bajos respecto a las demás (Tabla III).

Tabla III. Concentraciones de HDD's (µg/L) en las cuatro estaciones, durante el muestreo seis meses después del derrame de crudo.

Fecha	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
28-Mar	nd	nd	2.97	20.60
1-Abr	58.89	25.46	4.67	23.27
7-Abr	84.62	77.27	0.99	0.62
15-Abr	22.37	25.97	0.70	8.64
22-Abr	11.23	1.63	0.61	1.45
30-Abr	3.69	16.84	7.00	23.24
27-May	150.00	2.74	1.58	4.06
27-Sep	48.11	53.38	44.92	1.08

* nd = No detectado (las muestras presentaron interferencia por los elevados niveles de HDD's)

Las concentraciones de HDD's no presentaron una tendencia clara de disminución, sus niveles fluctuaron durante todo el estudio como se observa en la Figura 7.



Figura 7. Comportamiento de HDD's durante el monitoreo en el área de estudio.

En cuanto a los niveles de HAT's encontrados para moluscos bivalvos (*Anadara tuberculosa*), a 13 días de ocurrido el derrame, alcanzaron una concentración de 47.65 $\mu\text{g/g}$; pero a seis meses del incidente estos niveles descendieron abruptamente, hasta una concentración de 0.037 $\mu\text{g/g}$ en ejemplares de la misma especie colectados alrededor de la estación 1.

Plancton

Se identificaron 30 géneros de diatomeas, siendo éste el grupo más representativo; dinoflagelados y copépodos fueron observados en menor proporción, por lo que el análisis de la información se centr  en el primer grupo. Los géneros característicos durante los muestreos realizados durante los dos primeros meses fueron *Navicula*, *Nitzschia*, *Chaetoceros* y *Rhizosolenia*. Los dos primeros se encontraron en mayor número en las estaciones 1 y 2; para todos los monitoreos se

observo en número mayor de *Chaetoceros* en las estaciones 3 y 4.

Luego de seis meses se presentaron cambios en cuanto a la dominancia de grupos, pues *Nitzschia* y *Melosira* pasaron a ser los más representativos en las estaciones 1 y 2; mientras que en la 3 y 4 *Rhizosolenia* se presentó como dominante, seguida de *Chaetoceros* y *Navicula* en proporciones idénticas.

La abundancia fitoplanctónica fue mayor durante los muestreos 2, 5 y 7 (Figura 8). La diversidad presentada en el fitoplancton alcanzó los valores más altos durante el segundo muestreo en las estaciones 1 y 4 (2.14 y 1.78 células/ml, respectivamente); los mínimos en la estación 2 durante la cuarta semana y luego de dos meses de iniciado el monitoreo fueron 0.92 y 0.96 células/ml, respectivamente.

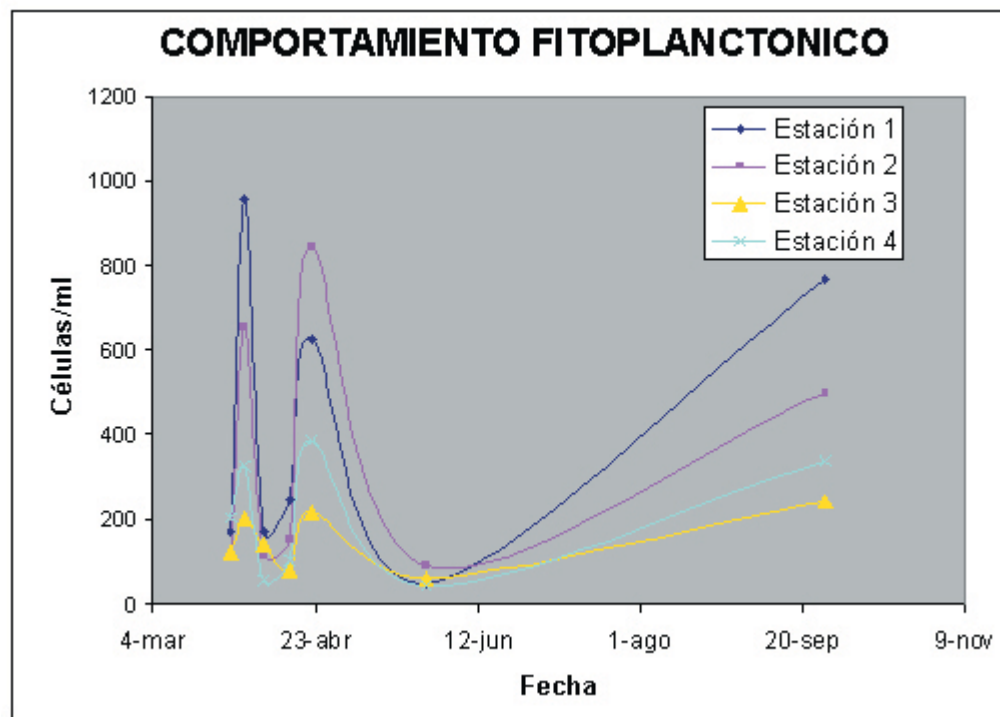


Figura 8. Comportamiento de la comunidad fitoplanctónica durante los muestreos en el área de estudio.

Fauna asociada a raíces aéreas de mangle

A una semana de ocurrido el derrame se colectó una muestra de algas asociadas a las raíces de *R. mangle* en la estación 3, ya que en las estaciones restantes el crudo generó la pérdida total

de las mismas. En la muestra, los isópodos fueron el grupo dominante, con una abundancia de 4.11 organismos/cm²; seguidos por pequeños bivalvos 0.77 organismos/cm², anfípodos y organismos sin identificar con 0.33 organismos/cm².

Durante los primeros meses se encontraron bivalvos de forma aislada sobre el sustrato de la estación 1 (*Anadara similis* y *Anadara tuberculosa*), algunos se trasladaron al laboratorio, se les proporcionó un sustrato adecuado (procedente de la estación de referencia) y se observó en los mismos el proceso de enterramiento usual para estas especies endobentónicas.

Después de seis meses se colectaron algas en las estaciones 1 y 2, y se observó una gran cantidad de pequeños bivalvos.

El comportamiento presentado por los organismos bentónicos durante todo el estudio se

aprecia en la Figura 9, en la cual se evidencia la pérdida total de organismos asociados a este sustrato, durante la segunda semana de ocurrido el derrame. Luego de dos meses de monitoreo, se registró la presencia de moluscos bivalvos de la especie *Protothaca asperrima* en la estación 3.

Durante el primer monitoreo se tomó una muestra en una estación de referencia ubicada en el CCCP, para contrastar los resultados. En la Tabla IV se relacionan los grupos de organismos bentónicos encontrados e identificados a lo largo del estudio.

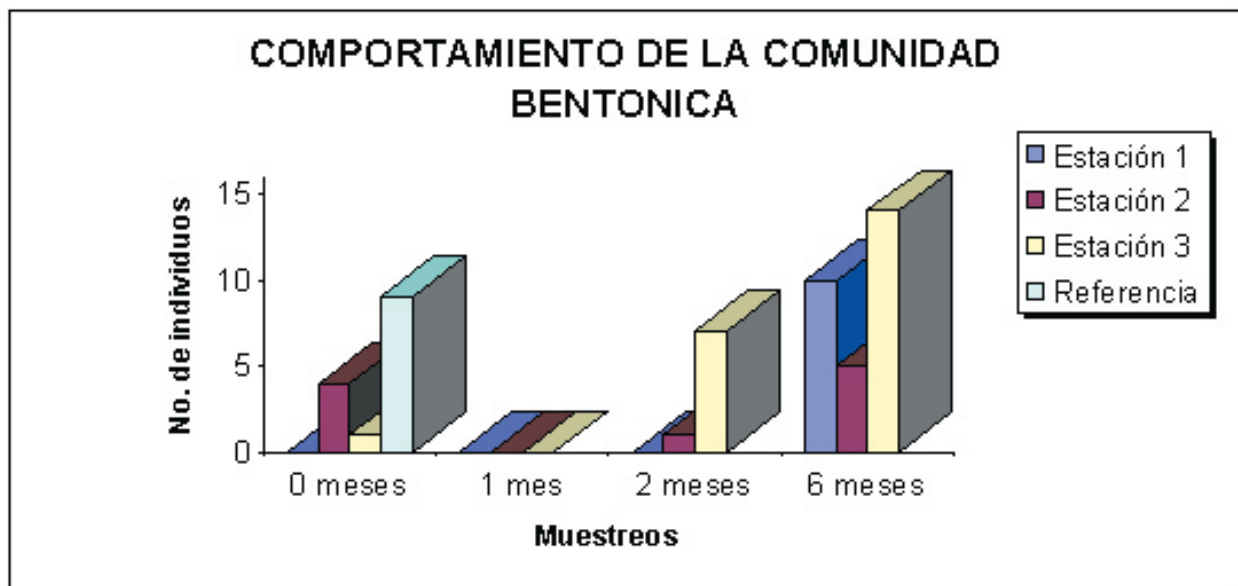


Figura 9. Variación en la abundancia de especies de la comunidad bentónica durante el primer semestre de monitoreo.

DISCUSIÓN

Las concentraciones de OD registradas durante el primer monitoreo para las estaciones 1 y 2 (0.29 y 0.38 mg/L, respectivamente) fueron tan bajas que pueden considerarse anóxicas, en relación con los procesos de degradación que produce el ingreso de compuestos orgánicos en exceso, a lo que se suma el hecho de que los esteros, por carecer de fuerte oleaje, no presentan intercambios significativos de gases en la interfase agua-atmósfera. Ello se agudiza debido a la película

formada por el crudo sobre la superficie del agua y a que la estación 1, en especial, durante el período mareal más bajo, presentó un cierto estancamiento de agua.

Los elevados niveles de nutrientes en las estaciones próximas al punto de descarga del petróleo fueron generados por el uso de detergentes (su composición incluye fosfatos) como agentes dispersantes. Este incremento en niveles de fosfatos representó un aporte importante para el fitoplancton, a este aumento en la abundancia de hidrocarburos al medio.

Tabla IV. Especies bentónicas observadas durante los meses de monitoreo.

Grupo	Familia	Especie	Estación																	
			Muestreo			2 Meses			6 Meses											
			Inicial																	
			B*	1	2	3	1	2	3	1	2	3								
	<i>Capitellidae</i>	<i>Capitella sp.</i>																		1
	<i>Nereidae</i>	<i>Pseudonereis sp.</i>																		1
		<i>Ceratonereis sp.</i>	1																	
Poliquetos	<i>Lumbrineridae</i>																			1
	<i>Hesionidae</i>																			1
	<i>Sin Identificar</i>		3	3	1			1	2	8	4									
Bivalvos	<i>Veneridae</i>	<i>Prototharca asperrima</i>																		3
	<i>Semelidae</i>	<i>Semele sp.</i>																		1
	<i>Solecurtidae</i>	<i>Tagelus sp.</i>																		1
		<i>Tivela sp.</i>																		1
	<i>Sin identificar</i>		2																	2
Gasterópodos		<i>Acanthina sp.</i>																		1
	<i>Sin identificar</i>		3																	1
Crustáceos	<i>Grapsidae</i>				1*															1

En el muestreo realizado luego de un mes no se encontraron organismos en ninguna de las estaciones
 B = Blanco * = Zoea de cangrejo

El petróleo tiene efectos tóxicos directos sobre los organismos marinos. En altas concentraciones ocurre una rápida mortalidad. Sin embargo, también se presentan efectos subletales como reducción en el crecimiento de plantas marinas, cambios fisiológicos en moluscos, reducción en procesos de reproducción y cambios en la comunidad (Farmer, 1997 y Clark, 2002). En cuanto a las respuestas generadas sobre las comunidades planctónicas tras el ingreso de hidrocarburos del petróleo, éstas pueden llegar a ser favorables siempre y cuando los niveles de estos compuesto sean bastante bajos (menos de 50 ng/g), pues se presenta un incremento en la fotosíntesis por un posible efecto nutritivo, el cual no es muy claro (Clark, 2002).

En las muestras de sedimentos obtenidas durante el período de monitoreo en la zona se

encontr  muy poca variación durante los primeros meses, pues la abundancia de organismos fue mínima y a un mes de muestreos la ausencia de los mismos fue total para las tres estaciones. Sin embargo, transcurridos dos meses del derrame se advierte la presencia de organismos, en especial en la estación más externa del estero (estación 3); pasados seis meses el incremento en fauna bentónica es notorio, lo cual se asocia con una recuperación en la calidad de los sedimentos, ya por limpieza de los mismos debida a la acción mareal o bien por la penetración hacia capas inferiores.

Es claro que la disminución del bentos, en general, se debe a la toxicidad producida por los altos niveles de hidrocarburos en el sedimento, al punto de observar de forma aislada, durante algunos monitoreos, individuos tanto de la especie *Anadara tuberculosa* como de *A. similis*, sobre el sedimento

alrededor de la estación 1. Dicho comportamiento se asocia a excesivos niveles de HAT's en el sustrato y es totalmente inusual, pues estos organismos se encuentran enterrados entre 0 y 25 cm de profundidad en las zonas inundadas periódicamente por las mareas (Prahl, 1989; Prahl *et al.*, 1990), estrechamente relacionados con las raíces de *R. mangle*. Estos organismos fueron colectados y ubicados en acuarios con sedimento procedente de un estero libre de contaminación, semejando cambios mareales y ratificando que el comportamiento bajo condiciones adecuadas era el habitual para ambas especies, y totalmente adverso al registrado en la zona impactada.

Los niveles de HAT's encontrados en organismos (*Anadara tuberculosa*) alcanzaron una concentración de 47.65 $\mu\text{g/g}$, siendo esta concentración superior a la de 35.00 $\mu\text{g/g}$ que resulta tóxica para la mayoría de las especies (Long y Morgan, 1990). Sin embargo, a seis meses del derrame los niveles de HAT's descendieron a 0.037 $\mu\text{g/g}$, siendo este el comportamiento presentado por bivalvos estudiados en vertidos como el del *Aegean Sea* en las costas de A Coruña y otros accidentes de similares características, donde se evidenció una rápida acumulación de hidrocarburos aromáticos policíclicos en los mejillones, organismos filtradores que viven suspendidos en la columna de agua. Esta acumulación es reversible, en el sentido de que estos compuestos son excretados cuando la contaminación en éste medio desciende o desaparece (CSIC, 2003).

Ello se relacionó no sólo con el período de tiempo transcurrido o con unas tallas menores en los organismos hallados, los cuales presentaron un menor contenido lipídico, sino también con los procesos de depuración que realizan estos organismos aún en presencia de niveles elevados de hidrocarburos disponibles en el medio (Zambrano, 1996).

Durante los primeros monitoreos a la zona los niveles de HAT's en sedimentos alcanzaron valores de 988.31 $\mu\text{g/g}$ (la NOAA 1990, considera valores altos aquellos que sobrepasen los 3.9 $\mu\text{g/g}$). Sin embargo, la recuperación presentada luego de seis meses del incidente mostró mayor eficiencia en cuanto a disminución en los HAT's para la zona externa del estero, debido al efecto de marea y corrientes. En la estación 1 se observa la sedimentación de los hidrocarburos a unos 8 cm de la superficie (Figura 10), por lo cual se percibe una

aparente recuperación de la zona debido a la ausencia de estos compuestos en la superficie. Dicha situación se asocia con una menor dinámica en este sector y un escaso recambio en las aguas, que no permiten que los hidrocarburos sean removidos y evacuados de una manera eficiente como en las estaciones 3 y 4.



Figura 10. Sedimentación de hidrocarburos en la estación 1.

En la estación 2 la abundancia de organismos bentónicos fue baja. Esta localidad no sólo registró los niveles más altos de HAT's, sino que también se caracterizó por presentar una alta densidad de raíces que hacen que el sustrato sea más compacto, lo que lo convierte en un ambiente poco propicio para el asentamiento de especies endobentónicas asociadas a sustratos blandos.

CONCLUSIONES

Las alteraciones generadas sobre ecosistemas impactados por el ingreso de hidrocarburos varían de acuerdo con una serie de factores y por tanto nunca son idénticas; siendo la amplitud mareal y la periodicidad de la marea responsables del mejoramiento en la calidad del agua del estero. Sin embargo, la oscilación presentada por los HDD's y los HAT's indica la existencia de un aporte intermitente de hidrocarburos hacia este cuerpo de agua.

Los valores de OD encontrados para las diversas estaciones mostraron, al igual que los nutrientes, una fuerte dependencia de la marea, siendo atribuidas las alteraciones registradas a la

presencia de hidrocarburos en la superficie del agua y al aporte de detergentes como dispersantes.

La variación de la abundancia fitoplanctónica se puede atribuir al comportamiento de los nutrientes (en especial el fosfato), sin dejar a un lado la importancia que ejerce sobre este componente el ciclo mareal. Ambos factores mostraron una gran influencia sobre el comportamiento del fitoplancton con respecto a los niveles de HDD's.

La fauna presente en algas asociadas a raíces de mangle fue escasa (con sólo cuatro grupos de organismos) en la estación 3 y ausente en las estaciones restantes, ya que este sustrato fue totalmente afectado por el contacto directo con el crudo; lo cual generó el deterioro de la cobertura algal presente en las raíces de los árboles del estero. La recuperación fue lenta, razón por la cual se requiere de períodos de tiempo mayores para definir el comportamiento progresivo de esta comunidad.

La recuperación del ecosistema dos meses después de ocurrido el derrame fue bastante evidente, pues los cambios generados por el ciclo mareal al ingresar y retirar grandes volúmenes de agua fueron, indiscutiblemente, el factor que más aportó a la limpieza del crudo adherido a la vegetación y los sedimentos, con excepción de la estación 1, en la que este factor ejerció una mínima acción y por ello se observó un notorio proceso de sedimentación de los hidrocarburos a pocos centímetros de la superficie. Esto se relacionó directamente con la rápida recuperación en aguas de flujo rápido, la cual se presentó luego de pocas semanas o meses, contrario a lo que ocurre con aguas estancadas o cuerpos de agua que presentan poco recambio, siendo mucho más susceptibles a daños a largo plazo (Abel, 1996).

El efecto nocivo de los hidrocarburos sobre los organismos bentónicos (baja abundancia durante el primer muestreo) se vio, claramente, reflejado luego de un mes de ocurrido el incidente; la ausencia de organismos de la infauna fue total, lo que se relacionó directamente con los efectos de toxicidad aguda, contacto físico y sofocación debido a la presencia de estos compuestos en el medio. Todo lo anterior se presenta reiteradamente durante este tipo de eventos, tal y como ocurrió en los estuarios de la costa británica afectados por el Amoco Cadiz (1978) o con la barcaza Florida en la bahía de Buzzard (1969), incidentes en los cuales se presentó

un daño inmediato a la fauna tras el contacto y posterior incorporación de estos compuestos en sedimentos (Clark, 2002).

El incremento en cuanto a la abundancia de organismos bentónicos se acentuó tras el proceso de sedimentación de los compuestos a mayores profundidades, lo que permitió, a la vez, una recuperación de los primeros centímetros del sustrato y la recolonización por parte de los organismos endobentónicos.

LITERATURA CITADA

Abel, P. 1996. Water Pollution Biology. Taylor & Francis Ltd. Second edition 1998. London. Pp. 231 - 234.

Bruhn, C., V. Duke, O. Lecaros, A. Marrugo y S. Sonnerholzner. 1987. Informe del Curso Regional CPPS/PNUMA/COI. Técnicas Analíticas para la Determinación de Hidrocarburos del Petróleo en Organismos y Sedimentos Marinos en el Pacífico Sudeste. 23 pp.

Caripol. 1980. Manual para la Vigilancia de la Contaminación por Petróleo, IOCARIBE/CARIPOL. Pp. 12 - 22.

Clark, R. 2002. Marine Pollution. Oxford University Press. Fifth edition. Great Britain. Pp. 81 - 85

CSIC. 2003. Impacto de un vertido de petróleo sobre los organismos marinos. Algunas lecciones del vertido del *Aegean Sea*. Informe técnico (15). [en-línea] URL: <http://csicprestige.iim.csic.es/informes/info15.pdf> [Consulta: 03 de febrero de 2005]

Decreto Ley 1594 de 1984. Por el cual se Reglamentan los Usos del Agua y Disposición de los Vertimientos Líquidos. Presidencia de la República de Colombia.

Delilah H. y A. Khudhairy, 2002. Marine oil pollution Technologies and Methodologies for detection and early warning, European Commission. En: Catano A. 2004. El Convenio Marpol 73/78: Un Estudio Detallado. [en-línea] URL: <http://www.derechomaritimo.info/pagina/marpol.htm> [Consulta: 17 de marzo de 2005]

Farmer, A. 1997. Managing Environmental Pollution. Routledge. London. Pp. 166 - 167.

Haefner, P. 2001. Exploring Marine Biology. Laboratory and field exercises. Oxford University press. 253 pp.

Long, E. y G. Morgan. 1990. The Potential for Biological Effects of Sediment Sorbed Contaminants Tested in the National Status and Trends Program. NOAA technical Memorandum NOS OMA 52. NOAA Office of Oceanography and Marine Assessment, Ocean Assessments Division, Seattle, WA 173 pp. & Appendices. En: A Special NOAA 20th Anniversary Report, Coastal Environmental Quality in the United States., 11 pp.

NOAA. 1990. A Special 20th Anniversary Report, Coastal Environmental Quality in the United States. Chemical Contamination in sediment and Tissues. 6 pp.

Parsons, T. *et al.* 1992. A manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press. Oxford, New York, Seoul, Tokyo.

Prahl, H. 1989. Manglares de Colombia. Villegas Editores. Bogotá, Colombia.

Prahl, H., J. Cantera y R. Contreras. 1990. Manglares y Hombres del Pacífico Colombiano. FEN - COLCIENCIAS.

Zambrano, M. 1996. Pruebas de Bioacumulación y Toxicidad Aguda de Hidrocarburos Aromáticos del Petróleo en Moluscos Bivalvos (*Anadara tuberculosa* y *Striostrea prismatica*). Santiago de Cali. Trabajo de grado (Biología Marina). Departamento de Biología Marina, Facultad de Ciencias, Universidad del Valle.