

Hidrocarburos de petróleo, disueltos y dispersos, en cuatro ambientes costeros de Costa Rica

Jenaro Acuña-González^{1,2,3}, José A. Vargas-Zamora¹, Eddy Gómez-Ramírez¹ & Jairo García-Céspedes¹

- 1 Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología, CIMAR, Universidad de Costa Rica, 2060 San José, Costa Rica. Fax: (506) 207-3280.
- 2 Centro de Investigación en Contaminación Ambiental, CICA, Universidad de Costa Rica, 2060 San José, Costa Rica. Fax: (506) 207-4479.
- 3 Escuela de Química, Universidad de Costa Rica, 2060 San José, Costa Rica; jacuna@cariari.ucr.ac.cr

Recibido 22-I-2004. Corregido 05-VII-2004. Aceptado 04-VIII-2004.

Abstract: Four coastal ecosystems with contrasting characteristics were sampled in Costa Rica (2000 – 2002). Oil pollution status, expressed as the fraction of dissolved/dispersed petroleum hydrocarbons related to chrysene equivalents, was determined by the molecular fluorescence analytical technique. A total of 130 water samples were taken, from the Caribbean (Moín Bay), and from the Pacific (Bahía Culebra, Gulf of Nicoya and Dulce Gulf). On one occasion, seven samples along the Puntarenas estuary were also analysed. In Moín the mean and standard deviation were $0.10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1} \pm 0.18 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, ranging from non detectable (nd) to $0.65 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. For the Pacific ecosystems the total range was from nd to $0.37 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. In Bahía Culebra no fluorescence signals were obtained. In the Gulf of Nicoya the mean and standard deviation were $0.04 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1} \pm 0.09 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, from nd to $0.33 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Values in Dulce Gulf were $0.05 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1} \pm 0.11 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, from nd to $0.37 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Along the Puntarenas estuary the range was 0.17 to $5.91 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, with a mean of $1.21 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ and a standard deviation of $\pm 2.10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. The four coastal ecosystems had concentrations below the $10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ limit for polluted oceanic areas. The Puntarenas estuary reflects the influence of anthropogenic activities from and around the City of Puntarenas. These levels are considered low for inshore waters.

Key words: Oil pollution, Caribbean Sea, Pacific Ocean, Gulf of Nicoya, Moín Bay, Costa Rica.

La contaminación por petróleo en la zona costera y en las playas de Costa Rica se origina en fuentes externas, caracterizadas por las descargas accidentales o intencionales que ocurren en las rutas de navegación marina y en el sistema de corrientes oceánicas superficiales en sus dos mares. A través del Gran Caribe, los buques-tanque movilizan alrededor de 5 millones de barriles de petróleo cada día (Botello *et al.* 1996), y en el Pacífico costarricense, a pesar de que el tránsito de estos buques es menor, la navegación en el Canal de Panamá hace vulnerable a sus costas; afortunadamente, aún no han acontecido catástrofes que provoquen una

gran contaminación en las playas de Costa Rica, tal y como ha sucedido en muchas otras partes del mundo (Guzmán *et al.* 1991, Botello *et al.* 1996, Al-Lihaibi & Ghazi 1997, Clark 2001). Las fuentes internas de esta contaminación incluyen el uso, el transporte y la descarga de estos materiales, tanto en la región costera como en resto del territorio costarricense. Así, el puerto de mayor movimiento del país, Puerto Limón, está localizado en la costa Caribe, al igual que la única refinera de petróleo y su terminal petrolera, que tiene una capacidad de almacenamiento de 72 000 m³ y puede refinar 25 000 barriles diarios. El país

importa todo el petróleo y sus derivados que consume, en barcos de hasta 60 000 toneladas de peso (Recope 2004). Una flotilla de embarcaciones cuya prioridad es el transporte de turistas en los canales del Parque Nacional Tortuguero y el emplazamiento de una planta termoeléctrica cercana a la refinería, constituyen potenciales fuentes puntuales de contaminación en esta zona. En la costa Pacífica existen puertos importantes, en el Golfo de Nicoya y en el Golfo Dulce, y además la industria turística se ha expandido con la construcción de hoteles y marinas para embarcaciones de lujo y de pesca. Al contrario de lo que ocurre en su litoral Caribe, la flota pesquera costarricense es muy numerosa a lo largo del litoral pacífico. Es común a ambas costas la inexistencia de terminales de acopio de derivados de petróleo agotados. Un oleoducto de tubería de 150 mm de diámetro y con una capacidad de flujo de $100 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, se origina en la refinería de petróleo (Moín) y llega hasta las costas del Pacífico (Barranca), en un recorrido de más de 250 km (Recope 2004). En ocasiones han sucedido pequeños accidentes en esta ruta, registrados en la prensa nacional, que han causado el derrame de combustibles en la región montañosa, caracterizada por la presencia de muchos ríos que finalmente desaguarán en el mar. Las descargas, deliberadas o no, de derivados de petróleo que ocurren en las vías acuáticas de las ciudades y pueblos de Costa Rica, no han sido cuantificadas aún, y con el aumento de la flota automovilística que se ha producido desde finales del siglo XX, asociado con la falta de plantas de tratamiento de aguas servidas, es de esperar que los ríos lleven a ambas zonas costeras cantidades significativas de estas sustancias contaminantes.

La evidencia más obvia de que ha ocurrido alguna contaminación por petróleo en las zonas entre mareas, son las breas y alquitranes que permanecen adheridos a las rocas o quedan dispersos sobre la arena, los parches de tono café oscuro y las estelas resplandecientes en la superficie del agua (Keller *et al.* 1993). Para verificar analíticamente la presencia de hidrocarburos de petróleo, disueltos y dispersos en el

agua (HPDD), uno de los métodos químicos de análisis más empleados es el que hace uso de la fluorescencia molecular; de esta manera, se detecta en forma global una fracción de hidrocarburos aromáticos polinucleares, sin precisar su composición química u origen (IOC-UNESCO 1984, Burns 1993). Esto no es un inconveniente, porque en realidad no interesa identificar y cuantificar cada uno de los centenares de compuestos en la muestra, sino que es más importante conocer si está o no presente ese grupo particular de hidrocarburos, que tiene la propiedad de fluorescer y de ser indicativo de que ha ocurrido este tipo de contaminación. Además, los componentes más tóxicos del petróleo son precisamente estos aromáticos polinucleares, que incluyen al fenantreno y al dibenzotiofeno (Burns 1993, Lee & Page 1997). Una gran ventaja de esta metodología reside en el hecho de que los límites de detección son muy bajos, por lo que es posible medir concentraciones en el orden de partes por mil millones. Dado que la composición química de los petróleos crudos varía según su lugar de origen, conviene emplear como referencia patrones de un compuesto de conocida actividad fluorescente, como lo es el criseno, para así hacer factible la comparación de resultados a nivel internacional. Cuando en su lugar se utilizan disoluciones de petróleo crudo de campos petroleros cercanos a la región afectada (Zanardi *et al.* 1999), los resultados son valiosos para un programa de monitoreo particular, pero son difíciles de correlacionar con aquellos en los que se hayan usado patrones químicos diferentes, tales como disoluciones de petróleos de otras localidades. Se considera que en el océano las concentraciones de HPDD superiores a $10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ referidas a equivalentes de criseno, son típicas de aguas definitivamente contaminadas por petróleo, mientras que $5.0 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ se estima es una magnitud baja para aguas costeras y hasta $1.0 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ corresponde a aguas marinas sin una contaminación por petróleo significativa (Levy *et al.* 1980, Kornilios *et al.* 1998, Zanardi *et al.* 1999).

En este artículo se describe una evaluación del estado de la contaminación por

petróleo (analizada en función de la fracción fluorescente de los HPDD referida al criseno), en cuatro ecosistemas costeros con alta prioridad de desarrollo en Costa Rica, y que fue llevada a cabo entre los años 2000 y 2002 (Fig. 1). Los sitios estudiados fueron una plataforma coralina en el mar Caribe (Limón - Moín), y en el océano Pacífico una zona de afloramiento (Bahía Culebra, en el Golfo de Papagayo), dos estuarios (Golfo de Nicoya y Golfo Dulce); además, se llevó a cabo un muestreo puntual en siete sitios a lo largo del Estero de Puntarenas en el año 2002. El Estero de Puntarenas tiene como límites una larga barrera arenosa (unos 7.5 km), en donde se ha asentado la ciudad de Puntarenas y un borde continental caracterizado por la presencia de un manglar, que se ha desarrollado entre una red de canales que discurren en un suelo fangoso típico. Además de recibir los vertidos directos e indirectos de aguas servidas (urbanas e industriales), de la Ciudad de Puntarenas, aloja varios muelles pequeños y es el refugio de una gran cantidad de embarcaciones comerciales y privadas (Fig. 1).

MATERIALES Y MÉTODOS

La ubicación de los sitios de muestreo se señala en la Fig. 1; las fechas y los lugares en donde se obtuvieron las muestras se indican en el Cuadro 1. Se analizaron 130 muestras, de las cuales 42 correspondieron al Caribe, 12 a la Bahía Culebra, 51 al Golfo de Nicoya, 18 al

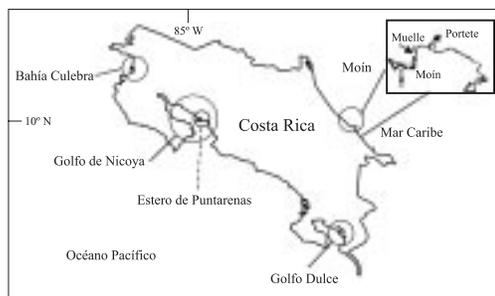


Fig. 1. Localización de los ecosistemas costeros de Costa Rica, en donde se investigó la presencia y concentración de hidrocarburos de petróleo, disueltos y dispersos en la columna de agua, entre los años 2000 y 2002.

Golfo Dulce y en una ocasión se tomaron 7 muestras a lo largo del Estero de Puntarenas. Las muestras de agua de mar fueron obtenidas en varios lugares de cada ecosistema (tres a seis sitios) y todas a 1 m de profundidad, en botellas limpias, de vidrio ámbar de 4 L. Los HPDD se extrajeron en la base de operaciones, con dos alícuotas de 50 mL de hexano calidad ultravioleta (U.V.), de acuerdo con el método de la IOC-UNESCO (1984). Los extractos combinados se transportaron al laboratorio en frascos de tapa esmerilada, a temperatura ambiente, protegidos de la luz y desecados con sulfato de sodio anhidro, horneado y lavado con hexano calidad U.V.; se conservaron en frío y protegidos de la luz hasta que fueron concentrados aproximadamente a 1 mL en un rotavapor marca Büchi; se trasvasaron a balones aforados de 10.0 mL y se ajustaron por peso con hexano calidad U.V. Se analizaron por espectrofluorimetría molecular (equipo Shimadzu modelo RF 15), empleando como referencia patrones de criseno disuelto en hexano calidad U.V., y midiendo la señal de fluorescencia a longitudes de onda de excitación de 310 nm y de emisión a 360 nm. La concentración de los HPDD se calculó para la muestra original, expresada como equivalentes de masa de criseno por volumen de muestra, en $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. En cada análisis se verificó la pureza del disolvente y se analizaron blancos de campo y de laboratorio. Para cada curva de calibración preparada, se determinó el límite de detección de acuerdo con el método descrito en Meier & Zünd (1993).

RESULTADOS

En el Cuadro 2 se indican los parámetros estadísticos de las concentraciones de HPDD, correspondientes a este estudio realizado en la zona costera de Costa Rica, entre los años 2000 y 2002. Esas concentraciones tienen como base la fluorescencia de disoluciones patrón de criseno en hexano. El promedio de los límites de detección (Meier & Zünd 1993), obtenidos para la totalidad de las curvas de

CUADRO 1

Sitios seleccionados dentro de los ecosistemas costeros de Costa Rica en los años 2000 – 2002, para la determinación de hidrocarburos de petróleo, disueltos y dispersos. Se incluye el código de cada estación donde se tomaron las muestras

Ecosistema	Fechas de muestreo (día/mes)			Código de los sitios	Descripción
	Año 2000	Año 2001	Año 2002		
Mar Caribe	27/01,15/02	07/02,	17/01,	MCA	Frente al muelle Moín
	16/03,25/03	30/03, 09/05	07/03, 04/07	MCB	Bahía Moín, contiguo a la boya de navegación roja
	7/08, 05/10, 27/10			MCC	Bahía Moín, contiguo a la boya de navegación verde
Golfo de Nicoya	22/03, 12/04	05/04,	02/03,	PMA	Punta Morales, entre las Islas Cortezas
	27/07, 02/09	27/09,	21/03, 03/05	PMB	Frente a la Isla Caballo
		01/10, 21/06	13/06, 19/07	PMC	Frente a la Punta Puntarenas
Golfo Dulce	10/05,	27/11	07/02,	GDA	Frente a la isla dentro de bahía Golfito
	24/11, 22/10		03/05,29/11	GDB	Frente a playa Cacao
				GDC	Salida del canal de navegación al Golfo Dulce
				GDD	Frente al Cementerio de Golfito
				GDF	Muelle Nacional
				GDG	Faro a la entrada a Golfito desde Golfo Dulce
Bahía Culebra	28/06, 18/10	24/05	22/05	BCA	Frente a Playa Panamá
				BCB	Frente a Playa Nacascolo
				BCC	Frente al Hotel Smeralda
				BCD	Frente a Playa Iguanita
				BCH	Frente al Hotel Papagayo
				BCM	Entrada a la bahía, frente al islote Cabeza de Mono
Estero de Puntarenas			14/11	EP-1	Río Aranjuez
				EP-2	La Angostura
				EP-3	Estero Pitahaya Nueva
				EP-4	Estero Pitahaya Vieja
				EP-5	Frente al Parque
				EP-6	Muelle del Ferry
				EP-7	Boca del Estero

calibración que se elaboraron fue $0.07 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. En la región de Moín, las concentraciones de HPDD estuvieron dentro del ámbito de no detectables por el método analítico (nd) y $0.65 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. De las 18 muestras obtenidas en el año 2000, únicamente cuatro resultaron con concentraciones nd. En el año 2001, del total de muestras procesadas ($n = 13$), una contenía $0.08 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ de HPDD y en el resto las concentraciones fueron nd. La situación en el año 2002 fue similar al año anterior: de las 11 muestras procesadas, 10 resultaron con concentraciones nd y en una fue $0.12 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. En las costas del Pacífico de Costa Rica (sin

incluir al Estero de Puntarenas), las concentraciones de HPDD oscilaron entre valores nd y $0.37 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. En la Bahía Culebra no se detectó la señal correspondiente para los HPDD en ninguna de las muestras de todo el estudio. En el Golfo de Nicoya, durante el año 2000, el ámbito de concentraciones estuvo entre valores nd y $0.33 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ($n = 17$); el promedio fue $0.10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ y su desviación estándar $\pm 0.11 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; solo el 23.5% de las muestras no presentó señal de fluorescencia (nd). En el año 2001 todas las muestras medidas ($n = 16$), resultaron con concentraciones nd y en el año 2002, de las 18 muestras tomadas, solo en dos

CUADRO 2

Concentración de hidrocarburos de petróleo disueltos y dispersos en la columna de agua, expresada como equivalentes de criseno en hexano ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), en varios ecosistemas costeros de Costa Rica.

*nd significa concentración no detectable por el método analítico de fluorescencia;

***(n)* es el número de muestras analizadas

Ecosistema, año	Ámbito ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Cantidad de nd ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Promedio ** <i>(n)</i>	Desviación estándar ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)
Caribe, total de 2000-2002	*nd – 0.65	26	0.10 (42)	0.18
Moín, 2000	nd – 0.65	4	0.22 (18)	0.22
Moín, 2001	nd – 0.08	12	0.08 (13)	
Moín, 2002	nd – 0.12	10	0.12 (11)	
Pacífico, total de 2000-2002	nd – 0.37	88	0.02 (88)	0.06
Bahía Culebra, total de 2000-2002	nd	12	-	-
Golfo de Nicoya, total de 2000-2002	nd – 0.33	36	0.04 (51)	0.09
Golfo de Nicoya, 2000	nd – 0.33	4	0.10 (17)	0.11
Golfo de Nicoya, 2001	nd	16	nd (16)	-
Golfo de Nicoya, 2002	nd – 0.26	16	0.02 (18)	0.06
Estero de Puntarenas	0.17 – 5.91	0	1.21 (7)	2.10
Golfo Dulce, total de 2000-2002	nd – 0.37	14	0.05 (18)	0.11
Golfo Dulce, 2000	nd – 0.37	7	0.07 (9)	0.14
Golfo Dulce, 2001	nd	3	nd (3)	-
Golfo Dulce, 2002	nd – 0.17	4	0.05 (6)	0.08

se detectaron HPDD, con concentraciones de $0.09 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ y $0.26 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. En el Golfo Dulce el muestreo se restringió a la Bahía de Golfito, y de las nueve muestras analizadas en el año 2000 solo dos presentaron concentraciones de HPDD de $0.24 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ y $0.37 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente. En el año 2001, todas las muestras medidas resultaron con concentraciones nd y en el año 2002, de las seis muestras tomadas, solo dos presentaron concentraciones de $0.12 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ y $0.17 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente. En el estero de Puntarenas, el ámbito de HPDD para los siete sitios muestreados en el año 2002 fue de 0.17 a $5.91 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (Fig. 3). En la estación del Estero Pitahaya Nueva se obtuvo el valor más alto: $5.91 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; en la siguiente estación fue $0.19 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ y desde ahí hasta la desembocadura la concentración de HPDD se fue incrementando gradualmente. En los extremos del estero, las concentraciones fueron $0.30 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ en el río Aranjuez y $1.21 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ en la desembocadura.

DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación demostraron que las concentraciones de HPDD obtenidas, no rebasaron el límite de los $10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ referido a equivalentes de criseno, valor aceptado para áreas oceánicas contaminadas. En general, estas se mantuvieron inferiores a $1.00 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, y en un alto porcentaje no fueron detectadas por el método de análisis fluorométrico (nd), lo cual fue indicativo de que durante las fechas en que se llevó a cabo el muestreo, no se detectó una situación de contaminación por petróleo en ninguno de los ecosistemas costeros estudiados (Fig. 2), con la excepción del muestreo efectuado el 11 de noviembre del 2002 en el Estero de Puntarenas, cuando se obtuvo un valor máximo de $5.91 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

En la región del Caribe, en Moín, las concentraciones de HPDD obtenidas para el muestreo del año 2000, fueron, relativamente, las

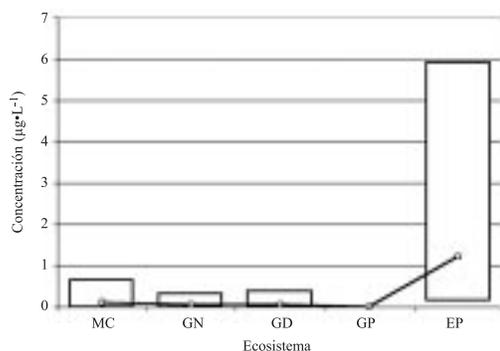


Fig. 2. Distribución de hidrocarburos disueltos o dispersos en agua de mar, fracción fluorescente, en cuatro ecosistemas costeros de Costa Rica durante los años 2000 - 2002. Resultados expresados en concentraciones equivalentes de criseno, en $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Simbología: MC: Moín, Mar Caribe, GN: Golfo de Nicoya, GD: Golfo Dulce, GP: Bahía Culebra, Golfo de Papagayo, y EP: Estero de Puntarenas. \circ = Promedio.

más altas de todas las muestras analizadas en el periodo que abarcó este estudio en los cuatro ecosistemas (Cuadro 2). Las muestras de agua de mar se recolectaron en una zona adyacente a la refinadora de petróleo y a un muelle de gran actividad portuaria (Fig. 1). A su vez, el patrón de concentraciones decrecientes o ausentes (62% de nd), obtenido en los muestreos efectuados de 2000 a 2002, fue concomitante con el hecho de que durante esos años la refinadora estuvo en operaciones de mantenimiento y no procesó petróleo crudo, aunque sí se importaron fracciones destiladas en buques-tanque de mediano tonelaje (Recope 2004). Durante ese periodo, en la prensa nacional fueron difundidos algunos informes sobre derrames pequeños de derivados de petróleo en el muelle de Moín, pero no concordaron con las fechas de muestreo de esta investigación. Al comparar estos resultados con los estudios llevados a cabo en el periodo de 1980-1985 por Mata *et al.* (1987), cuyo ámbito de las concentraciones promedio anual de HPDD fue de 2.3 a 2.8 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, se deduce que coincidió esa disminución en la presencia de HPDD con el receso en la importación de petróleo crudo. La desembocadura del río Moín es el lugar donde

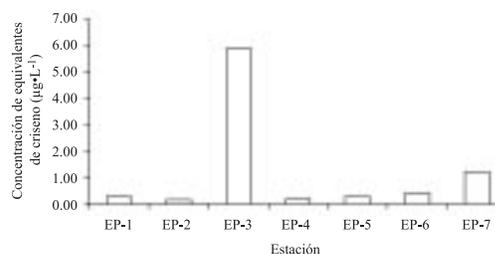


Fig. 3. Distribución de la concentración de hidrocarburos de petróleo disueltos o dispersos en agua, fracción fluorescente, ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), a lo largo del estero de Puntarenas, Costa Rica en noviembre del 2002. Simbología: EP-1: Río Aranjuez, EP-2: La Angostura, EP-3 Estero Pitahaya Nueva, EP-4: Estero Pitahaya Vieja, EP-5: Frente al Parque, EP-6: Muelle del *ferry* y EP-7: Boca del estero.

convergen tres fuentes principales de contaminación por hidrocarburos del Caribe costarricense y en el año 1981 el valor máximo de HPDD fue 4.5 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (Mata *et al.* 1987), mientras que en este estudio fue 0.65 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, lo cual refuerza la observación anterior. Además, los promedios obtenidos por Acuña (1993), en los análisis efectuados en los años 1988 y 1989 en la región de Portete, contiguo al muelle de Moín (Fig. 1), fueron 0.29 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1} \pm 0.11 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (n = 14), y 0.33 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1} \pm 0.23 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (n = 16), respectivamente, también superiores a los promedios obtenidos en el periodo de 2000 a 2002 (Cuadro 2).

La contaminación por hidrocarburos de petróleo en la costa pacífica de Costa Rica, no ha sido estudiada tan exhaustivamente como en la costa Caribe. Una investigación llevada a cabo en la Isla del Caño, frente a la península de Osa (Acuña & Murillo 1987), señala que la concentración más alta de HPDD que se determinó fue 1.42 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Más al norte, en la Bahía Culebra, una región que en la actualidad está experimentando un crecimiento turístico, debido a su belleza escénica, a las mejoras en las vías de acceso terrestre y a otras infraestructuras, durante el presente trabajo no fueron detectados los HPDD. Sin embargo, se observó que las actividades de cabotaje eran más intensas en Playas del Coco, una comunidad al sur de esta bahía, por lo que no es de extrañar que durante el periodo en que se llevó a cabo este

estudio no se encontraron HPDD en esa bahía. De esta manera, Bahía Culebra se constituye en un lugar de referencia para el presente y el futuro, como un sitio prístino en lo que se refiere a la contaminación por petróleo. El Golfo de Nicoya es uno de los estuarios más productivos del mundo (Córdoba-Muñoz 1998) y está sometido a un gran esfuerzo pesquero. En su margen este se han construido tres muelles importantes internacionalmente: el de Caldera, el de Puntarenas y el de Punta Morales. Para este estudio se extrajeron muestras en un área muy amplia del Golfo: Punta Morales (entre las islas Cortezas), frente a la Isla Caballo y frente a la punta de Puntarenas. Los resultados obtenidos para este golfo reflejan posiblemente el ámbito de concentraciones típicas o de fondo, y además coinciden con el ámbito encontrado por Kornilios *et al.* (1998) de 0.09 a 0.32 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ en el mar de Creta, empleando la misma metodología, y que es característico para las aguas del Mar Mediterráneo.

Dentro de un enfoque espacial, las concentraciones de HPDD más altas se presentaron en la zona de Moín, seguidas por las del Golfo de Nicoya y las de la bahía de Golfito, donde se encontraron ocasionalmente algunas concentraciones bajas. En la Bahía Culebra fue la primera vez que se hizo el estudio de la contaminación por petróleo y se comprobó que en el momento del muestreo no se detectaron hidrocarburos aromáticos fluorescentes disueltos y dispersos en la columna de agua (Fig. 2). Los resultados de la campaña en el Estero de Puntarenas evidenciaron una situación de contaminación moderada y una distribución irregular de los HPDD, debido a la naturaleza estuarina de este cuerpo de agua costera y a la diversidad de sus fuentes puntuales y no puntuales de vertidos contaminantes. La presencia de una gran cantidad de embarcaciones, algunas de ellas ancladas desde hace muchos años, es un factor que contribuye a incrementar la presencia de hidrocarburos de petróleo en el estero.

AGRADECIMIENTOS

A Eleazar Ruiz, Davis Morera, a los estudiantes del curso SP-1438 del año 2002. Este trabajo fue posible debido al financiamiento de la Universidad de Costa Rica (Escuela de Química y Escuela de Biología), por medio del proyecto del CIMAR 808-A0-506: Contaminación Costera en Costa Rica (CoCosRi), y a la Fundación Costa Rica - Estados Unidos de América (CR-USA) para la cooperación.

RESUMEN

Entre los años 2000 a 2002 se recolectaron y se analizaron 130 muestras de agua de mar en las costas de Costa Rica, para determinarles la concentración de hidrocarburos de petróleo disueltos y dispersos (HPDD), referida a equivalentes de criseno en hexano, y expresada como $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Se utilizó la técnica analítica de fluorescencia molecular. 42 muestras correspondieron al Caribe (Moín) y 81 al Pacífico (Bahía Culebra, Golfo de Nicoya, Golfo Dulce y en una ocasión se tomaron muestras a lo largo del Estero de Puntarenas). En la zona costera de Moín el promedio de la concentración de HPDD fue 0.10 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, con una desviación estándar de $\pm 0.18 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, en un ámbito desde concentraciones no detectables por el método, (nd), hasta 0.65 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. En el Pacífico las concentraciones para todo el período del estudio, estuvieron entre nd y 0.37 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. En la Bahía Culebra no se detectaron HPDD en ninguna de las muestras ($n = 12$); en el Golfo de Nicoya el promedio y la desviación estándar fueron 0.04 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1} \pm 0.09 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ($n = 51$), en un ámbito desde nd hasta 0.33 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. En el Golfo Dulce el promedio y la desviación estándar fueron 0.05 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1} \pm 0.11 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ($n = 18$), en el ámbito desde nd a 0.37 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Durante las fechas en que se llevó a cabo el muestreo, no se encontró una situación de contaminación por petróleo en los ecosistemas costeros estudiados, puesto que las concentraciones de HPDD no rebasaron el límite de 10 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ referido a equivalentes de criseno, considerado típico de áreas oceánicas contaminadas. En Bahía Culebra fue la primera vez que se hizo el estudio de la contaminación por petróleo y se comprobó que en las fechas de muestreo la zona estuvo libre de esta contaminación. El promedio y la desviación estándar en el Estero de Puntarenas fueron 1.21 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1} \pm 2.10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ($n = 7$), en un ámbito de 0.17 a 5.91 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Estos resultados evidenciaron una situación de contaminación moderada y la naturaleza estuarina de este cuerpo de agua costera, que distribuye irregularmente los HPDD descargados en ella.

REFERENCIAS

- Acuña, J.A. 1993. Contaminación por petróleo en la costa Caribe de Costa Rica. *In: El manejo de ambientes y recursos costeros de América Latina y el Caribe*. Publicación del Departamento de Asuntos Científicos y Tecnológicos de la Organización de los Estados Americanos. Volumen 2:153-161. Washington D.C. Octubre 1993.
- Acuña, J.A. & M.M. Murillo. 1987. Contaminación por hidrocarburos de petróleo en la Isla del Caño. *Ing. Cienc. Quím.* 11(4):95-98.
- Al-Lihaibi, S.S. & S. J. Ghazi. 1997. Hydrocarbon distributions in sediments of the open area of the Arabian Gulf following the 1991 Gulf War oil spill. *Mar. Pollut. Bull.* 34(11):941-948.
- Botello, A.V., G. Ponce-Vélez, A. Toledo, G. Díaz-González & S. Villanueva. 1996. Ecología, recursos costeros y contaminación en el Golfo de México, p 25-44. *In Botello, A.V., J.L. Rojas-Galaviz, J.A. Benitez, D. Zárate-Lomelí (Eds). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX Serie científica 5. 667 pp.
- Burns, K.A. 1993. Hydrocarbon Chemistry. *In Keller, B.D., and J.B.C. Jackson, eds. 1993. Long-term assessment of the oil spill at Bahía Las Minas, Panama, synthesis report, Volume II: technical report. OCS Study MMS 93-0048. U.S. Department of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of México OCS Region, New Orleans, La. 1017 pp.*
- Clark, R.B. 2001. *Marine Pollution*. Fifth edition. Oxford University Press. p. 64 – 97.
- Córdoba-Muñoz, R. 1998. Primary productivity in the water column of Estero Morales, a mangrove system in the Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 46 (Supl. 6): 257-262.
- Guzmán, H.M., J.B.C. Jackson & E. Weil. 1991. Short-term ecological consequences of a major oil spill on Panamanian subtidal reef corals. *Coral Reefs* 10: 1-12.
- IOC-UNESCO. 1984. Manual for monitoring oil and dissolved / dispersed petroleum hydrocarbons in marine waters and on beaches, Intergovernmental Oceanographic Commission. Manuals and Guides No. 13. UNESCO, Paris. 35 p.
- Keller, B.D., J.B.C. Jackson, J.D. Cubit, S.D. Garrity & H.M. Guzmán. 1 Introduction. *In Keller, B.D., and J.B.C. Jackson, eds. 1993. Long-term assessment of the oil spill at Bahía Las Minas, Panama, synthesis report, volume II: technical report. OCS Study MMS 93-0048. U.S. Department of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of México OCS Region, New Orleans, La. 1 017 pp.*
- Kornilios, S., P.G. Drakopoulos & C. Dounas. 1998. Pelagic tar, dissolved/dispersed petroleum hydrocarbons and plastic distribution in the Cretan Sea, Greece. *Mar. Pollut. Bull.*, 36(12): 989-993.
- Lee, R.F. & D.S. Page. 1997. Petroleum hydrocarbons and their effects in subtidal regions after major oil spills. *Mar. Pollut. Bull.* 34(11): 928-940.
- Levy, E.M, M. Ehrhardt, D. Kohnke, E. Sotchenko, T. Suzoku & A. Tokuhiro. 1981. Global Oil Pollution. Results of MAPMOPP, the IGOS Pilot Project on Marine Pollution (Petroleum) Monitoring IOC, 39 pp.
- Mata, A., J.A. Acuña, M.M. Murillo y J. Cortés. 1987. La contaminación por petróleo en el Caribe de Costa Rica: 1981-1985. *Caribb. J. Sci.* 23: 41-49.
- Meier, P.C. & R.E. Zünd. (1993). *Statistical methods in Analytical Chemistry*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Refinadora Costarricense de Petróleo (Recope). 2004. Página web: www.recope.go.cr
- Zanardi, E., M. Caruso-Bícego & R.R. Weber. 1999. Dissolved/dispersed petroleum aromatic hydrocarbons in the São Sebastião Channel, São Paulo, Brazil. *Mar. Pollut. Bull.* 38(5): 410-413.