

CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DE BAHÍA MÁLAGA, PACÍFICO COLOMBIANO

Quality of Superficial Waters in Bahía Málaga Colombian Pacific

JULIÁN MAURICIO BETANCOURT PORTELA¹, Cand. M.Sc.;
JOSÉ GREGORIO SÁNCHEZ DÍAZGRANADOS¹, Especialista Ciencias
Ambientales; LUZ MARINA MEJÍA-LADINO¹, M.Sc. Ciencias Biológicas;
JAIME RICARDO CANTERA KINTZ², Ph. D. Oceanología

¹ Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de
Andrés"-Invemar. Santa Marta y Cali, Colombia. AA. 1016.

jbetancourt@invemar.org.co, jsanchez@invemar.org.co,
mardeluz@invemar.org.co

² Universidad del Valle-Univalle. Cali, Colombia.

jaime.cantera@correounivalle.edu.co

Correspondencia: José Gregorio Sánchez Díaz Granados. Invemar, Sede
Pacífico, Parque Científico Agronatura km 18, vía Cali-Palmira, Valle de la
Cauca, Colombia. AA. 6713 Casillero 36. Teléfono: 57 2 445 01 12.

Presentado 19 de agosto de 2010, aceptado 2 de junio de 2011, correcciones 1 de julio de 2011.

RESUMEN

El trabajo consistió en un plan de monitoreo que contó con una red de diez estaciones distribuidas en bahía Málaga y fue realizado por muestreos trimestrales entre el 2005 y 2006. En esos muestreos se evaluó la calidad de las aguas superficiales mediante la medición de variables fisicoquímicas, microbiológicas, nutrientes y tóxicos orgánicos. La cercanía a la bahía de Buenaventura y la influencia de algunos esteros como Luisico, Valencia, Los Monos y La Sierpe favorece el aporte de materiales biogénicos (N, P, Si) que sostienen la productividad primaria de bahía Málaga en la que aún no se evidencian riesgos ambientales por procesos de eutrofización. Los resultados muestran un buen estado de la calidad de sus aguas y aportan elementos útiles para las autoridades locales, regionales y nacionales en procesos de conservación y planes de manejo de la bahía como área marina protegida.

Palabras clave: estuario, calidad de agua, nutrientes, coliformes, hidrocarburos, organoclorados.

ABSTRACT

A monitory plan in ten stations distributed in bahía Málaga between 2005 and 2006 was done to evaluate superficial water quality using physico-chemical, microbiological, nutrients and toxic organic variables. The streams and rivers in this zone (Luisico, Valencia, Los Monos y La Sierpe) bring biogenic materials (N, P, Si) that sustains primary productivity in the bay. This bay does not show any eutrophication process. The results

constitute useful arguments for the local, regional and national authorities in the process of conservation and plans of managing of the bay as marine protected area.

Key words: Estuary, water quality, nutrients, coliforms, hydrocarbons and organochlorines.

INTRODUCCIÓN

Bahía Málaga es un estuario tectónico con gran diversidad biológica, el cual está localizado en la región central del Pacífico colombiano ($30^{\circ} 43' N$ y $77^{\circ} 20' W$) y está adyacente al delta del río San Juan (Cortés, 1997). Posee una amplia zona de manglares, los cuales, además de ser altamente productivos, también brindan protección y son grandes consumidores de los nutrientes arrastrados por la cuenca hidrográfica, con lo cual se disminuye el problema de eutrofización de la columna de agua (Rodríguez y Espejel, 2001).

En Colombia la contaminación marina proviene principalmente de ríos, emisarios y descargas directas de aguas residuales provenientes de residencias, fábricas, minas y actividades agroindustriales, portuarias y turísticas (IDEAM, 1998; PNUMA, 2000; Invemar, 2005). Esas fuentes proporcionan la mayor cantidad de materiales biogénicos (N, P, Si) para los ecosistemas marino-costeros, sosteniendo a gran escala la productividad primaria. En las últimas décadas, las perturbaciones antrópicas resultado de la agricultura, efluentes domésticos e industriales y otras actividades desarrolladas en la zona costera han incrementado los aportes de nutrientes a esos ambientes, obteniendo como resultado la eutrofización de los cuerpos de aguas de las áreas costeras (Smith y Hichcock, 1994; Regnier y Steefel, 1999).

La mayor parte de los contaminantes introducidos al mar provienen de fuentes terrestres, producto de actividades que se desarrollan cerca de la costa, entre las cuales se destacan los vertimientos líquidos y sólidos de asentamientos humanos, desechos de la industria pesquera y maderera, vertimientos de residuos oleosos de la actividad marítima y portuaria, y dragados portuarios, además, de aportes de ríos y escurrimientos difusos provenientes de las actividades humanas en las cuencas altas, como los residuos provenientes de las actividades mineras y agrícolas, aportando contaminantes: microorganismos, grasas y aceites, materia orgánica y nutrientes que afectan las propiedades fisicoquímicas del agua tales como la conductividad, pH, demanda de oxígeno, dureza; incrementan sulfuros, amoníaco, nitratos y algunas sustancias ácidas por efecto del vertimiento, de origen agrícola, industrial o residencial, ocasionando deterioro en el ambiente (CCPS, 1983; Espinosa, 2010).

En el presente estudio se analiza la variabilidad espacio-temporal de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, nutrientes y tóxicos orgánicos en las aguas superficiales de bahía Málaga y sus interrelaciones entre 2005 y 2006.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en bahía Málaga, ubicada en el Pacífico colombiano, (Fig. 1), la cual es un estuario tectónico con variabilidad fisicoquímica: la temperatura del agua superficial oscila entre $26,6^{\circ} C$ y $29,7^{\circ} C$; y la salinidad, entre 1,3 y 30, como consecuencia de los aportes de agua dulce que recibe por quebradas de caudal relativa-

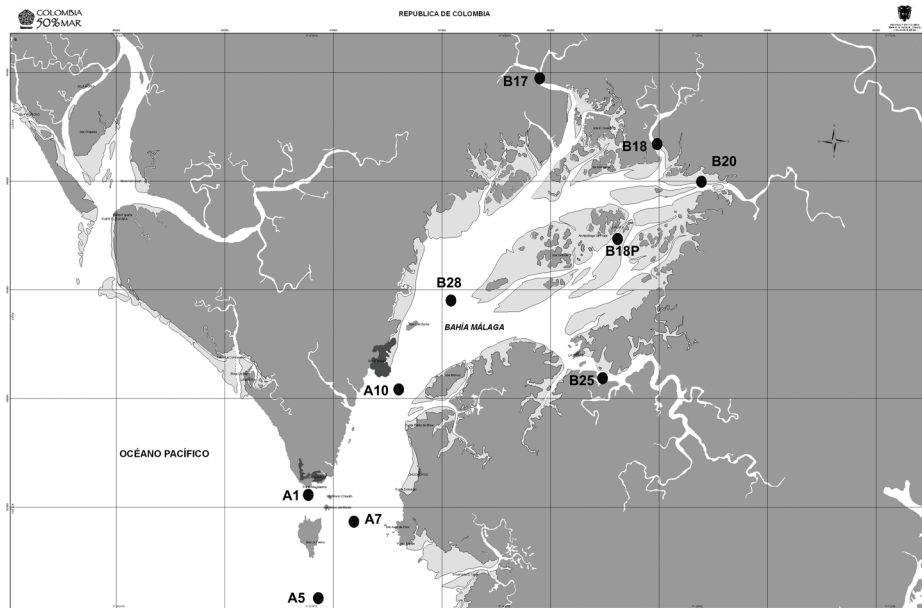


Figura 1. Estaciones de muestreo de calidad de aguas en bahía Málaga (Tomado de Invemar *et al.*, 2006).

mente bajo (La Sierpe y Los Agujeros). La humedad relativa de la región es aproximadamente de 90 % y las precipitaciones son abundantes y oscilan entre los 5.000-7.000 mm al año (Cantera, 1991; IDEAM, 2011).

Se midieron las variaciones estacionales de diferentes parámetros de las aguas superficiales en la bahía (Tabla 1), para ello se realizaron tres muestreos: dos en 2005, en los meses de mayo (monitoreo 1) y septiembre (monitoreo 2); y uno en 2006, en el mes de mayo (monitoreo 3). Se escogieron diez estaciones, nueve estaban ubicadas al interior de la bahía adyacentes a las desembocaduras de los ríos y a los asentamientos humanos, y se estableció una estación de referencia en dirección perpendicular a la línea de costa en el océano abierto (Invemar *et al.*, 2006). El código presentado para cada estación corresponde a un número referenciado dentro de la red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras -RED CAM-, la cual es de acceso libre a través de <http://siam.invemar.org.co/siam/redcam/index.htm>.

Los análisis fueron realizados en la Unidad de Laboratorios, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras -Invemar- que se encuentra acreditada bajo la norma ISO 17025: 2005 para laboratorios de ensayo y calibración. Se siguió la metodología contemplada en el Standard Methods (APHA, 2005) y en el manual de técnicas del laboratorio del Invemar (Garay *et al.*, 2003), las cuales se presentan resumidas en la tabla 2.

RESULTADOS

FISICOQUÍMICOS

Se presenta un resumen estadístico de los valores registrados a partir de la medición de variables fisicoquímicas en las estaciones del monitoreo, así como, los criterios de evaluación para aguas marinas y estuarinas (Tabla. 3).

178 Artículo - Calidad de las aguas superficiales de bahía Málaga, Pacífico colombiano. Betancourt, et ál.

Código	Estación (Invemar et al., 2006)	Nombre	Latitud	Longitud
B17	VAL	Entrada al estero quebrada La Estancia y Valencia	4°06'14"	77°16'38"
B18	LUI	Entrada al estero quebrada Luisico	4°03'47"	77°12'52"
A1	BJL	Entre Juanchaco y Ladrilleros	3°55'56"	77°22'21"
B20		Frente a Estero Jijacal - El Morro	4°03'27"	77°12'24"
B18P	ARP	Frente a La Plata	4°02'08"	77°13'58"
A10	AGU	Frente a la Base Naval	3°58'30"	77°19'30"
B28	LNG	Los Negros	3°59'38"	77°17'54"
A7	IPM	Mitad de la entrada a la bocana	3°55'20"	77°20'16"
B25	SIE	Nuevo asentamiento de La Plata	3°58'52"	77°15'02"
A5		Perpendicular al punto medio de la bahía (Estación de referencia)	3°51'10"	77°22'07"

Tabla 1. Estaciones de muestreo de calidad de aguas en bahía Málaga (Modificado de Invemar et al., 2006).

Determinaciones	Técnica analítica utilizada
Temperatura	Medición electrométrica con termocupla acoplada a sonda portátil WTW pH-315
Conductividad	Medición electrométrica acoplado a sonda WTW-LF320. <i>Standard Methods</i> 2510 (APHA, 2005)
Salinidad	Medición electrométrica de la conductividad con electrodo acoplado a sonda WTW-LF320. <i>Standard Methods</i> 2520 (APHA, 2005)
Oxígeno disuelto (OD)	Medición en campo con electrodo de membrana WTW-OXI 330. <i>Standard Methods</i> n.º 4500-O G (APHA, 2005)
pH	Medición electrométrica con sonda portátil WTW pH-315. <i>Standard Methods</i> n.º 4500-H ⁺ (APHA, 2005)
Sólidos suspendidos totales (SST)	Método gravimétrico, secado 103-105 °C. <i>Standard Methods</i> n.º 2540-D (APHA, 2005)
Nitritos (NO ₂ ⁻)	Método colorimétrico de la sulfanilamida. <i>Standard Methods</i> n.º 4500-NO ₂ B (APHA, 2005)
Nitratos (NO ₃ ⁻)	Método colorimétrico, reducción con cadmio. <i>Standard Methods</i> n.º 4500-NO ₃ E (APHA, 2005)
Nitrógeno Amoniacal como NH ₄ ⁺	Técnica del azul de indofenol. <i>Standard Methods</i> n.º 4500-NH ₄ F (APHA, 2005)
Fosfatos (PO ₄ ³⁻)	Colorimetría con ácido ascórbico. <i>Standard Methods</i> n.º 4500-P F (APHA, 2005)
Silicatos (SiO ₃ ⁻)	Método de Koroleff (Garay et al., 2003)
Hidrocarburosaromáticos totales (HDD)	Extracción líquido-líquido con hexano y determinación fluorométrica (UNESCO, 1984; Garay et al., 2003)
Plaguicidas organoclorados	Método UNESCO-extracción líquido-líquido, cromatografía de gases ECD
Coliformes totales y termo-tolerantes	Fermentación en tubos múltiples. <i>Standard Methods</i> 9221

Tabla 2. Metodologías de laboratorio usadas para la determinación de los diferentes parámetros en aguas.

	Temp. (°C)	Sal.	OD (mg/L)	pH	SST (mg/L)
* Criterio			>4	6,5-8,5	
Bahía Málaga					
Ámbito	27,2 - 30,4	2,1 - 27,7	5,1 - 7,5	6,7 - 8,4	4,6 - 46,0
Promedio±Desv. Est.	28,6 ±0,8	19,7± 6,3	6,6 ±0,6	7,8±0,5	22,8±12,5
Primer monitoreo (mayo 2005)	28,8 ±0,9	18,2± 5,1	6,2 ±0,6	7,7±0,5	29,3±10,7
Segundo monitoreo (septiembre 2005)	28,5 ±0,8	16,3±7,6	6,9 ±0,4	7,9±0,6	30,6±6,4
Tercer monitoreo (mayo 2006)	28,4 ±0,5	24,5± 3,2	6,5 ±0,4	8,1±0,2	8,5±2,5

Tabla 3. Rango de variación de las variables fisicoquímicas medidas en Bahía Málaga: Temperatura. (Temp.); Salinidad (Sal.); Oxígeno Disuelto (OD); Sólidos Suspendidos Totales (SST). *Criterio de calidad admisible para aguas marinas y estuarinas (Ministerio de Agricultura, 1984).

La temperatura superficial del mar en bahía Málaga registrada en mayo 2006 fluctuó entre 27,2 °C - 30,4 °C; y en septiembre 2006, entre 27,2 °C - 29,8 °C (Tabla. 3). Los valores más bajos de temperatura corresponden a las estaciones ubicadas en la parte nor-oriental de bahía Málaga, cerca de los esteros Luisico-LUI (B18), La Estancia-Valencia-VAL (B17) y Jijacal-El Morro (B20); y los valores altos, a las estaciones más externas de la bahía, siendo ese comportamiento característico de aguas estuarinas y zonas de mezclas de aguas dulces y de mar en regiones tropicales (Dublin-Green, 1992; Akpa y Offem, 1993; Martínez *et al.*, 2001).

De acuerdo con las mediciones realizadas, la salinidad osciló entre 2,1 y 27,7 correspondiendo los valores más bajos a las estaciones ubicadas en la zona nororiental de bahía Málaga, cerca de los esteros Luisico, La Estancia-Valencia y Jijacal-El Morro (Tabla 3); y los valores altos, a las estaciones más externas de la bahía, similar a lo encontrado con la temperatura (Fig. 2). El análisis de varianza mostró que el tercer monitoreo (mayo 2006) difiere significativamente de los dos primeros ($p=0,0012$), cuyos valores de salinidad fluctuaron entre 20,6 y 27,7. correlacionándose, en parte, al aumento de temperatura presentado en ese mes.

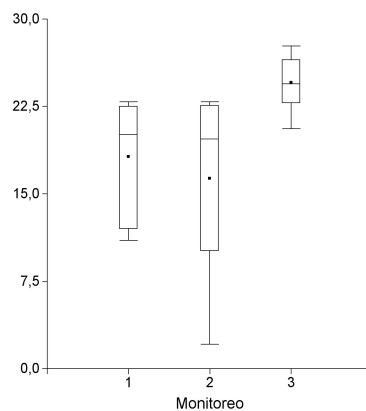


Figura 2. Valores promedio de las salinidades encontradas en el presente estudio en bahía Málaga entre los monitoreos (representaciones gráficas BOX-PLOT) (1: mayo/2005, 2: septiembre/2005 y 3: mayo 2006).

Asimismo, se presentan los valores obtenidos de oxígeno disuelto los cuales oscilan entre 5,0 y 7,5 mg/L (Tabla 3). Las concentraciones más bajas se localizaron en el sector nororiental de la bahía (B17, B18 y B20) con valores entre 5,0 - 6,9 mg/L, lo cual es normal en ecosistemas estuarinos.

Los valores de pH encontrados oscilaron entre 6,8 y 8,4 (Tabla 3), similar a lo encontrado en la ensenada de Tumaco, donde sus valores fueron entre 6,62 y 8,64 (Casanova y Betancourt, 1997) lo cual es normal para un ecosistema estuarino. El análisis de varianza mostró que no existen diferencias significativas entre los monitoreos ($p=0,1534$).

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales en la bahía fueron bajas (<46 mg/L) y sus aguas son claras (Tabla 3). El análisis de varianza mostró que el primer monitoreo (mayo 2005) difiere significativamente de los dos últimos ($p=0,001$) con valores altos que fluctúan entre 15,3 - 46,0 mg/L pese a que se presentaron pocas precipitaciones.

NUTRIENTES

Las concentraciones de nitritos oscilaron entre 1,47-48,91 $\mu\text{g/L}$ (Tabla 4) y el análisis estadístico mostró que no existen diferencias significativas entre los monitoreos ($p=0,0801$; Fig. 3A). Los nitratos variaron entre <0,86-334,51 $\mu\text{g/L}$ (Tabla 4) y mostraron que el tercer monitoreo (mayo 2006) difiere significativamente de los otros dos ($p=0,025$; Fig. 3B). El amonio osciló entre 2,57-127,54 $\mu\text{g/L}$ (Tabla 4) y se registraron diferencias significativas en el segundo monitoreo (septiembre 2005; $p=0,0454$; Fig. 3C). En general, se observó que las concentraciones más bajas de nutrientes (nitritos, nitratos y amonio) se presentaron en el tercer monitoreo (mayo 2006; Fig. 3).

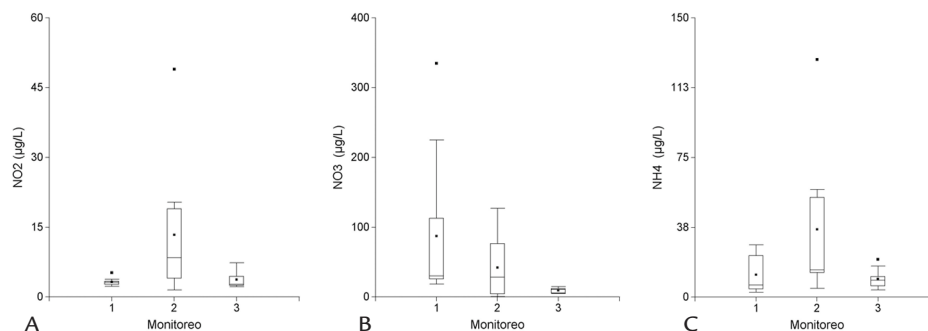


Figura 3. Valores promedio de las concentraciones de nutrientes encontradas en el presente estudio en bahía Málaga entre los monitoreos (representaciones gráficas BOX-PLOT): A. Nitritos, B. Nitratos y C. Amonio (1: mayo/2005, 2: septiembre/2005 y 3: mayo 2006).

A nivel espacial, las concentraciones de esos nutrientes fueron más altas en las estaciones ubicadas en la zona oriental de bahía Málaga, cerca a los esteros La Estancia-Valencia, Luisico, y en la zona occidental-media de la bahía, cerca a La Sierpe por el arrastre de nutrientes al interior de la bahía debido a la influencia de las precipitaciones que ocasionan el lavado de los suelos por la acción de las quebradas.

En cuanto a las concentraciones de fosfatos, se encontró que sus valores oscilaron entre <0,65-177,6 $\mu\text{g/L}$ (Tabla 4) y las concentraciones más altas se registraron en las esta-

ciones marinas (Fig. 4A). Estadísticamente no se hallaron diferencias de las concentraciones de fosfatos entre monitoreos.

Finalmente, los valores más altos de silicatos fueron mayores en el extremo oriental de bahía Málaga por las escorrentías continentales de los esteros con valores que oscilan entre 404,64-1484,86 $\mu\text{g/L}$ (Tabla 4). Estadísticamente no se hallaron diferencias entre las concentraciones medidas de los silicatos entre los monitoreos ($p > 0,05$; Fig. 4B).

Nutrientes	NO ₂ -	NO ₃ -	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	SiO ₃ -	Relación N:P inorgánico
Unidades	$\mu\text{g/L}$					
* Criterio	55	60	70	45		
Bahía Málaga						
Ámbito	1,5 - 48,9	0,43 - 334,5	2,6 - 127,5	0,65 - 177,6	404,6 - 1484,9	
Promedio \pm Desv. Est.	6,7 \pm 9,3	46,0 \pm 72,7	19,4 \pm 25,1	12,5 \pm 33,0	723,2 \pm 282,0	12,9:1
Primer monitoreo (mayo 2005)	3,2 \pm 0,8	87,0 \pm 108,2	12,0 \pm 10,1	3,4 \pm 2,0	883,4 \pm 384,8	
Segundo monitoreo (septiembre 2005)	13,3 \pm 14,3	41,8 \pm 43,6	36,3 \pm 37,8	4,6 \pm 5,3	653,7 \pm 192,4	
Tercer monitoreo (mayo 2006)	3,7 \pm 1,9	9,3 \pm 3,8	9,8 \pm 5,2	29,5 \pm 54,8	632,4 \pm 167,8	
**Bahía de Buenaventura						
Ámbito	0,01- 48,6	0,6 - 4494		0,65 - 167		
Promedio \pm Desv. Est.	9,5 \pm 8,6	477,3 \pm 640,7			58,2 \pm 23,5	18,5:1
n.º datos	96	106		93		

Tabla 4. Rango de variación de las concentraciones de nitritos (NO₂-), Nitratos (NO₃-), amonio (NH₄⁺), fosfatos (PO₄³⁻) y silicatos (SiO₃-) en aguas superficiales de bahía Málaga y Buenaventura. nd: no detectado. *Criterio de calidad admisible para aguas marinas y estuarinas (MED, 1999). **Base de datos RED CAM.

MICROORGANISMOS

Las concentraciones de coliformes totales -CTT- en bahía Málaga oscilaron entre 2-900 NMP CTT/100 mL y las de coliformes termotolerantes -CTE- entre 2-300 NMP CTE/100 mL (Tabla 5). Las mayores concentraciones de coliformes totales y termotolerantes se registraron en el extremo nor-oriental de la bahía por los aportes que realizan los esteros La Estancia-Valencia, Luisico, Jijacal-El Morro y la población de La Plata, así como, los aportes de La Sierpe y la población de Nuevo Asentamiento de La Plata en la zona occidental-media de la bahía. Los valores encontrados en septiembre de 2005 (segundo monitoreo) difieren significativamente de los otros muestreos para las concentraciones de coliformes totales ($p=0,0033$) y coliformes termotolerantes ($p=0,009$; Fig. 5).

TÓXICOS ORGÁNICOS (HIDROCARBUROS Y ORGANOCOLORADOS)

Las concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos encontrados en bahía Málaga oscilaron entre 0,05-1,12 $\mu\text{g/L}$ (Tabla 6). Estadísticamente se hallaron dife-

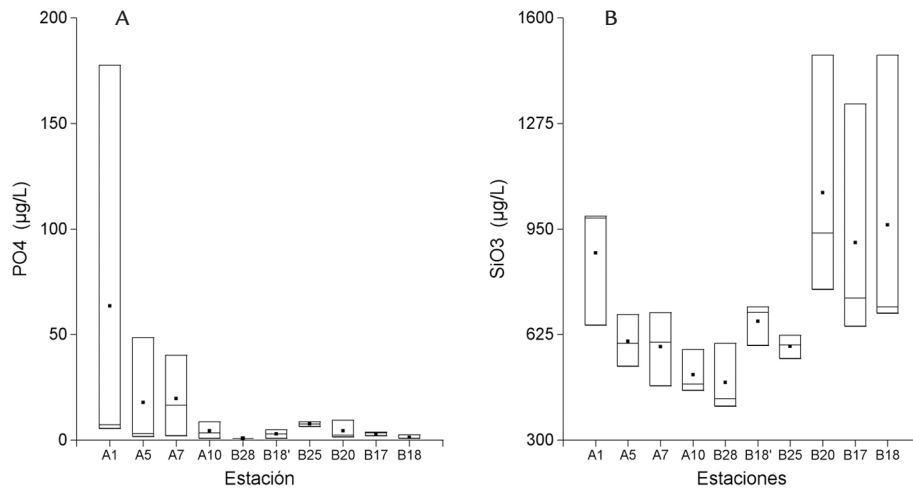


Figura 4. Valores promedio de las concentraciones de nutrientes encontradas en el presente estudio en bahía Málaga entre las estaciones (representaciones gráficas BOX-PLOT): A. Fosfatos y B. Silicatos (1: mayo/2005, 2: septiembre/2005 y 3: mayo 2006).

Coliformes	CTT	CTE
Unidades	(NMP/100 mL)	
*Criterio (Art. 42)-Contacto primario	1000	200
*Criterio (Art. 43)-Contacto secundario	5000	
Bahía Málaga		
Ámbito	<2 - 900	<2 - 300
Promedio±Desv. Est.	84,2 ±189,1	34,9± 71,6
Primer monitoreo (mayo 2005)	52,0 ±157,4	9,8± 24,7
Segundo monitoreo (septiembre 2005)	174,1 ±275,1	83,9± 107,9
Tercer monitoreo (mayo 2006)	26,9 ±29,2	11,7± 16,1
** Bahía de Buenaventura		
Ámbito	4 - 7,3 x 10 ⁷	<2 - 2,4 x 10 ⁶
Promedio±Desv. Est.	3,7 x 10 ⁵ ±4,5 x 10 ⁵	2,5 x 10 ⁴ ±1,6 x 10 ⁵

Tabla 5. Rango de variación de los niveles de coliformes totales (CTT) y coliformes termotolerantes (CTE) en aguas superficiales de bahía Málaga vs. bahía de Buenaventura. nd: no detectado. *Criterio de calidad admisible para la destinación del recurso hídrico en Colombia (Ministerio de Agricultura, 1984). **Base de datos RED CAM.

rencias significativas entre los monitoreos ($p=0,0001$) registrándose las concentraciones más altas en septiembre de 2005 ($x= 0,6 \mu\text{g/L}$; Fig. 6A).

Las concentraciones de plaguicidas organoclorados en las aguas de bahía Málaga estuvieron entre no detectables y $3,5 \text{ ng/L}$, siendo la estación A5, la cual se encuentra ubicada en la parte oceánica, la que presenta la mayor concentración de este contaminante (Tabla 6). El análisis estadístico registró diferencias significativas entre los monitoreos, porque en el tercer monitoreo (mayo 2006) se presentaron valores altos (Fig. 6B).

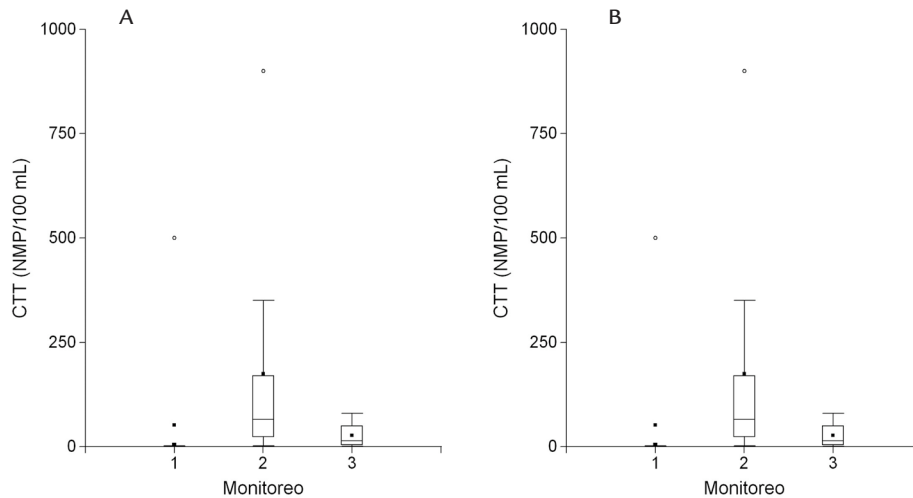


Figura 5. Valores promedio de las concentraciones de coliformes encontradas en el presente estudio en bahía Málaga entre los monitoreos: A. Totales y B. Termotolerantes (1: mayo/2005, 2: septiembre/2005 y 3: mayo 2006).

Estación	HDD (µg/L)	∑DDT's (ng/L)	∑OCT
Bahía Málaga			
Ámbito	0,05-1,12	nd - 0,80	nd - 3,50
Promedio±Desv. Est.	0,32±0,26	0,28±0,28	0,69±0,80
Primer monitoreo (mayo 2005)	0,23±0,18	0,24±0,18	0,32±0,25
Segundo monitoreo (septiembre 2005)	0,60±0,20	0,32±0,37	0,41±0,38
Tercer monitoreo (mayo 2006)	0,13±0,06	0,23±0,12	1,31±1,07

Tabla 6. Rango de variación de las concentraciones de tóxicos orgánicos encontrados en Bahía Málaga. Hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD), suma de compuestos isómeros del DDT (∑DDT's) y otros. nd: no detectado. ∑DDT's = Concentración total de DDT y sus isómeros. ∑Otros = Compuestos como endosulfan, mirex, clordano, etc. ∑OCT = Concentración total de residuos de organoclorados.

DISCUSIÓN

Los afluentes de agua dulce hacia el interior de bahía Málaga se reducen a dos ríos principalmente, La Sierpe y Los Agujeros, los demás tributarios son esteros ciegos productos de escorrentías, por lo tanto, los gradientes fisicoquímicas difieren en este estuario tectónico. Además, la poca intensidad de oleaje en el interior de la bahía disminuye el efecto en las aguas superficiales de algunos procesos oceanográficos.

Asimismo, a nivel regional y de acuerdo a los valores dados por el Estudio Regional del Fenómeno El Niño -ERFEN- se registró para: 1. mayo de 2005 (monitoreo 1) un descenso de la temperatura superficial del mar con anomalías de -0,6 °C y el inicio de la época de transición entre el período de lluvias intensas y lluvias leves en el Pacífico colombiano, condición considerada de carácter normal (INOCAR, 2011); 2. septiembre de 2005 (monitoreo 2), un régimen de precipitaciones deficitario principalmente en la región

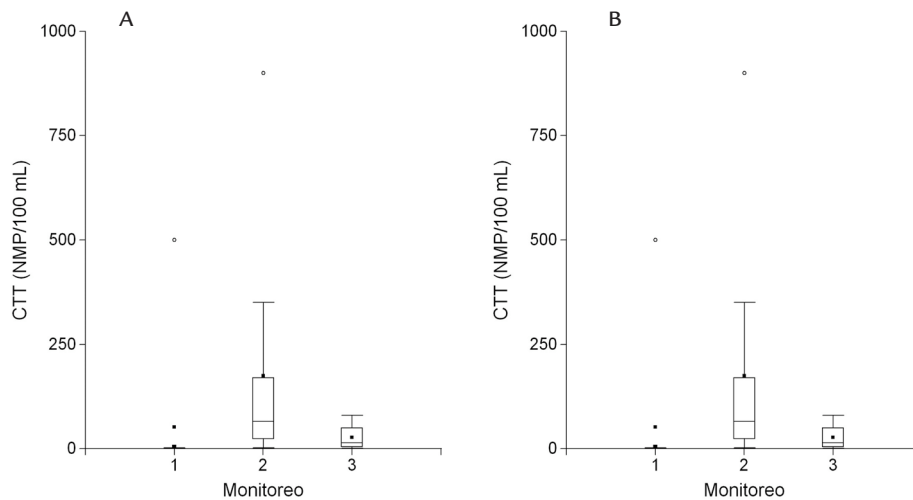


Figura 6. Valores promedio de las concentraciones de los tóxicos orgánicos encontrados en el presente estudio en bahía Málaga entre los monitoreos: A. Hidrocarburos y B. Organoclorados (1: mayo/2005, 2: septiembre/2005 y 3: mayo 2006).

litoral, la temperatura superficial del mar continua con tendencia hacia el descenso, y pese a que en el margen oriental del Pacífico frente a la costa de Suramérica se dio una recuperación hacia los valores normales, en los primeros días del mes se observó la tendencia hacia un nuevo enfriamiento y al finalizar la anomalía negativa era de $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, y luego, a finales del mes la zona de convergencia intertropical (ZCIT) se presentó como una banda delgada y discontinua con actividad moderada sobre las costas norte y centro de Colombia (INOCAR, 2011); y 3. mayo de 2006 (monitoreo 3), la temperatura del mar en el sector oriental del Pacífico ecuatorial se incrementó, decreciendo rápidamente las anomalías negativas, alcanzando a finales del mes tan solo $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$; asimismo, el desplazamiento normal hacia el norte de la ZCIT durante mayo permitió la acción del anticiclón del Pacífico sur ocasionando estabilidad y ausencia de precipitaciones en la región litoral sur (INOCAR, 2011).

FISICOQUÍMICOS

Debido a los cambios en los patrones de circulación de corrientes en las áreas costeras de la cuenca del Pacífico colombiano -CPC- se presentaron dos máximos y dos mínimos de temperatura: los máximos se observaron en junio y diciembre, y los mínimos, de febrero a marzo y de septiembre a octubre (Malikov y Camacho, 1998), lo cual también fue registrado en bahía Málaga durante el 2005 y 2006. El promedio de temperatura en aguas superficiales medidas en el segundo monitoreo (septiembre 2006) presentan valores cercanos a los registros de la CPC ($26,5\text{ }^{\circ}\text{C}$), momento en el que se encuentra en un proceso de enfriamiento a medida que finaliza el año, lo cual también se ajusta a los registros dados para el Pacífico oriental por el ERFEN (CCCP, 2002; INOCAR, 2011). Asimismo, en el 2005 se presentó una masa de agua grande y fría que entró a la CPC desde la costa de Perú (NOAA, 2006) respondiendo a variaciones anuales que ocurren en el Pacífico y que se reflejan en los valores medidos en la bahía. De acuerdo con las

mediciones realizadas en las aguas superficiales de la bahía, los valores de temperatura son similares a los reportados por Cantera, 1991, para este estuario (26,6 °C - 29,7 °C) y por Casanova y Betancourt, 1997, para la ensenada de Tumaco (29 °C - 30 °C).

En cuanto a la salinidad, en las zonas estuarinas esa variable puede presentar fluctuaciones fuertes de acuerdo al lugar y nivel de marea, la cual puede oscilar desde cero en las cabeceras de los estuarios o en marea baja hasta valores de 30 o más, en las zonas externas. Los valores encontrados en bahía Málaga entre el 2005 y el 2006 (2,1 y 27,7) son similares a los reportados por Cantera, 1991, para esa zona (1,3 y 30). Se puede inferir que los valores de salinidad en mayo de 2006 difieren de los otros monitoreos, con una salinidad promedio más alta, debido a la disminución de la escorrentía, al incremento de la temperatura de las aguas superficiales en la región (INOCAR, 2011) y al descenso en la precipitación (245 mm) ocasionado por las anomalías climatológicas presentadas en ese mes (Universidad de Chile, 2006; INOCAR, 2011).

Al igual que la salinidad, valores bajos de pH se registraron en la zona nororiental de bahía Málaga, cerca de los esteros La Estancia-Valencia, Luisico y Jicagal-El Morro, debido a los cambios en la fuerza iónica provocados por la floculación de sustancias disueltas en la zona de mezcla de agua dulce y marina o por la descomposición de la materia orgánica proveniente de los manglares (Senior y Godoy, 1990). El estudio mostró que el pH aumenta a medida que incrementa la salinidad (correlación entre las dos variables: $r=0,9$; $p<0,05$) debido exclusivamente al incremento de las concentraciones de sales básicas disueltas del agua de mar y su efecto buffer que mantienen el pH alto. Lo anterior confirma que las concentraciones de pH encontradas en bahía Málaga no presentan ningún riesgo para la vida marina y se encuentran dentro del ámbito (6,5-8,5) establecido por el decreto 1594/1984 para aguas marinas estuarinas (Minsalud, 1984).

Respecto al oxígeno disuelto, las menores concentraciones halladas en el sector nororiental de la bahía son explicadas por el alto consumo por parte de los organismos heterotróficos durante el proceso de oxidación de materia orgánica dada por la presencia de bosques de manglar densos. Esos valores fueron similares a los reportados en la ensenada de Tumaco con valores entre 3,99-7,57 mg/L (Casanova y Betancourt, 1997) en condiciones ambientales similares. Se concluye entonces, que la concentración de oxígeno disuelto en todas las estaciones monitoreadas fue superior a 4,0 mg/L y que, de acuerdo a los lineamientos del decreto 1594/1984, el sistema presenta un estado favorable y una calidad del agua óptima según el uso establecido.

Los valores de sólidos suspendidos en bahía Málaga fueron bajos (4,6-46,0 mg/L), comparados con los de la bahía de Buenaventura donde las concentraciones han alcanzado valores de hasta 850 mg/L, a pesar de que están en la misma zona biográfica, la diferencia entre las dos radica en el estado de conservación del suelo en las cuencas de los tributarios. Por otro lado, en mayo del 2005 la precipitación fue alta ($x=31,97$ mm/día) en comparación con los otros monitoreos, por ende, se observó un aumento significativo en ese mes de los sólidos suspendidos totales, principalmente en las estaciones marinas, evidenciando la influencia del río San Juan por el aporte de sedimentos.

NUTRIENTES

En cuanto a los nutrientes se refiere, se encontró que bahía Málaga está influenciada por aguas de la bahía de Buenaventura debido a los efectos de marea y corrientes que

arrastran nitritos, nitratos y amonio provenientes de las diversas actividades antrópicas. Las concentraciones más bajas de esos nutrientes presentadas en mayo de 2006 se explican por la disminución en las precipitaciones, contrario a lo presentado en septiembre de 2005, donde las precipitaciones lavaron los suelos en la zona interna de la bahía aumentando la concentración de nutrientes. Otro factor influyente en la zona interna de la bahía, es la remineralización de nitrógeno por procesos fisicoquímicos en los momentos de mezcla de aguas dulces y marinas debido a la influencia de las sales del mar, porque el nitrógeno se libera como amonio y luego es oxidado a nitrato, induciendo al proceso de mineralización de materia orgánica depositada en el sedimento lo cual incide a la liberación de nutrientes que pasan a la columna de agua generando un gradiente en sentido vertical (Flint *et al.*, 1986; Paerl, 2006). El proceso de remineralización anteriormente descrito ha sido registrado en la bahía de Chesapeake en EE.UU. (Magnien *et al.*, 1992) y en el río Neckar en Alemania (Song y Muller, 1994).

Muchos estudios demuestran que nitrógeno y fósforo son de importancia básica para la vida acuática, pues el conocimiento de su concentración permite explicar la distribución de los organismos y sus ciclos anuales (Margalef, 1982). El nitrógeno gaseoso en los océanos es aproximadamente 30 veces más abundante que la suma de sus formas inorgánicas (amonio, nitrito, nitrato). Por otro lado, las altas concentraciones de nitrógeno y fósforo en el agua de mar limitan la velocidad de degradación de contaminantes como hidrocarburos después de ocurrido un derrame, y en el ambiente marino se ha demostrado que el nitrógeno y el fósforo son factores limitantes para la producción fotosintética de carbono orgánico, pero un exceso de ellos puede desencadenar sobreproducción de organismos fitoplanctónicos (Flint *et al.*, 1986; Paerl, 2006).

Las concentraciones de nutrientes decrecen con valores altos de salinidad en la bahía de Jiaozhou al norte de China (Liu *et al.*, 2005), lo cual también fue observado en bahía Málaga para todos los nutrientes, a excepción de los fosfatos; puesto que las concentraciones altas se hallaron en la zona externa de la bahía, lo cual puede obedecer a los aportes de los efluentes domésticos de las poblaciones de Juanchaco y Ladrilleros, y la influencia de las aguas del río San Juan, el cual aporta residuos de detergentes y materia orgánica al medio marino provenientes de las aguas residuales de las poblaciones rivereñas. En cambio, los valores altos de nitritos, nitratos, amonio y silicatos encontrados en la zona nor-oriental de la bahía son originados por las escorrentías continentales de los esteros La Estancia-Valencia y Luisico y por las actividades humanas, similar a lo reportado por (Liu *et al.*, 2005) en la parte interna de la bahía Jiaozhou en China.

Los niveles de nitritos, nitratos, amonio y silicatos registrados se encuentran en el rango de variabilidad normal para aguas estuarinas e incluso son inferiores a las concentraciones promedio de la bahía de Buenaventura (Tabla 4). Los valores de amonio y fosfatos son bajos y no se evidencian riesgos por procesos de eutrofización ni impacto alguno por influencia humana. Además, los valores de nutrientes mostraron una correlación directa con los niveles bajos de sólidos suspendidos totales, lo cual hace que el recurso sea favorable para su uso, ya sea para la conservación de fauna y flora o para actividades de contacto primario.

MICROORGANISMOS

En algunas zonas del Pacífico colombiano se presentan problemas de contaminación

en los ambientes marinos por microorganismos de origen fecal, principalmente por descargas de aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento procedentes de zonas urbanas adyacentes, lo cual es un riesgo de salud pública, tanto para quienes se bañan, como para quienes consumen especies hidrobiológicas que allí se desarrollan (Invemar, 2005). Frente a esa problemática, la legislación colombiana a través del decreto 1594 de 1984 establece los niveles permisibles de coliformes totales y termo-tolerantes para el uso de recurso hídrico en actividades de contacto primario (natación) y secundario (deportes náuticos y pesca).

En bahía Málaga, las concentraciones de coliformes totales no superaron 900 NMP CTT/100 mL, valor inferior al establecido en el decreto 1594/84, el cual es de 5.000 NMP CTT/100 mL, mostrando que las aguas de la bahía son aptas para actividades de contacto secundario. Asimismo, el incremento en coliformes en septiembre de 2005 se explica por aumento en las precipitaciones en ese mes (FEN, 1993; IDEAM, 1998) y escorrentías continentales (WHO, 1999 y Figeras *et al.*, 2000), especialmente las provenientes del río San Juan que traen consigo aguas servidas y desechos orgánicos que producen un aumento en la densidad de bacterias.

Las concentraciones de coliformes para la preservación de fauna y flora se compararon con legislaciones internacionales de México y Perú las cuales presentan como límites para esta agua de 10.000 y 20.000 NMP CTT/100 mL respectivamente, encontrando que todas las estaciones están dentro de los estándares de calidad aceptables al presentar valores por debajo de estas normas (Salas y Bartram, 2004; Salas, 1984). Al interior de la bahía se pueden realizar actividades de contacto primario y secundario (natación, buceo y deportes náuticos) por no sobrepasar los límites para CTT según la legislación colombiana. Las concentraciones de coliformes registradas son características para esos sistemas porque ese grupo microbiano tiene la capacidad de sobrevivir en diversos ambientes, entre los cuales se registran las aguas marinas (Chandran y Hatha, 2003).

TÓXICOS ORGÁNICOS

Las principales fuentes de hidrocarburos en el medio marino son los procesos geoquímicos, la biosíntesis natural y los aportes antrópicos, a saber: 1. aportes por procesos geoquímicos corresponden principalmente a infiltraciones en tierras costeras y submarinas (Washburn *et al.*, 2005); y 2. aportes por biosíntesis natural, principalmente de hidrocarburos del tipo alcanos con predominancia de cadenas con números impares de carbonos (Duursman y Dawson, 1983; Chouksey *et al.*, 2004; Wang y Fingas, 2003) es realizado especialmente por organismos fotótrofos (fitoplancton, bacterias y plantas superiores) a través de los procesos de fotosíntesis, quimiosíntesis y la descomposición de la materia orgánica (Proskuriakov y Drabkin, 1984; Wang y Fingas, 2003).

Las concentraciones de hidrocarburos disueltos y dispersos (HDD) encontrados en bahía Málaga son inferiores al valor de referencia de 10 µg/L establecido para aguas no contaminadas por hidrocarburos (Atwood *et al.*, 1987; Unesco, 1984) y su presencia se debe al manejo inadecuado de algunos derivados de petróleo: aceites y gasolina usados en las embarcaciones (Tejada *et al.*, 2003).

Los valores históricos de las concentraciones promedio de hidrocarburos disueltos y dispersos determinados por otros investigadores en bahía Málaga (Tejada *et al.*, 2003) y los encontrados en el presente estudio nos permiten inferir que la introducción de

residuos oleosos han sido bajos a lo largo del tiempo: los valores medidos entre 1989 y 1991 en tres localidades de bahía Málaga (A. Juanchaco, B. Juan de Dios y C. Base Naval) son similares a los encontrados en este estudio (2005 y 2006), a saber: En Juanchaco las concentraciones registradas han estado en el orden de 0,23, 0,31, 0,19 y 0,24 \pm 0,18 $\mu\text{g/L}$ en los años 1989, 1990, 1991 y 2005-2006 respectivamente, en Juan de Dios han sido de 0,36, 0,21, 0,13 y 0,27 \pm 0,19 $\mu\text{g/L}$; y en la Base Naval de 0,32, 0,10, 0,32 y 0,32 \pm 0,31 $\mu\text{g/L}$ en igual periodo de tiempo.

En cuanto a los plaguicidas organoclorados se refiere, en Colombia algunos insecticidas como fueron prohibidos: dicloro difenil tricloroetano (DDT), hexacloruro de benceno (BHC) y el lindano desde 1978, endrin desde 1985 y aldrin, hepatacloro, dieldrin y clordano desde 1988, y el último en prohibirse fue endosulfan (2001); sin embargo, algunos estudios realizados demuestran aún el uso de endosulfan, aldrin y mirex en los cultivos de palma africana, y DDT en la erradicación del mosquito trasmisor de malaria en varias poblaciones del Pacífico colombiano después de su restricción (Páez y Granada, 1993). En bahía Málaga, aunque se detectaron algunos valores de organoclorados, las concentraciones halladas son inferiores al valor adoptado como referencia (30 ng/L) para aguas contaminadas (Marín, 2002). Lo anterior sugiere que la presencia de residuos organoclorados en las aguas de bahía Málaga se debe posiblemente a los efectos de las corrientes que provienen de la bahía de Buenaventura como consecuencia de los aportes que realizan los ríos que allí desembocan y que reciben escorrentías de zonas agrícolas y las fumigaciones realizadas para el control de la malaria en años anteriores (Marín *et al.*, 2004). En bahía Málaga, 75% de las muestras con residuos de organoclorados contienen residuos de DDT y sus isómeros; asimismo, 43% de las muestras presentaron aldrin, con lo cual se ratifica lo anterior.

En la actualidad aunque no se están usando esos plaguicidas, los suelos pueden estar drenando sustancias que se encuentran en el terreno por su persistencia o grado de fijación al mismo y que fueron hace tiempo aplicadas para control de vectores y plagas, tal como lo han demostrado en investigaciones realizadas en bahía de Bengala en India (Rajendran *et al.*, 2005). Por lo tanto, en bahía Málaga sería importante establecer programas de monitoreo en los cuales se usen técnicas apropiadas y se incluyan biomarcadores (bivalvos o peces), los cuales son usados para determinar el impacto de esos químicos sobre la vida marina, tal como lo expone Klumpp *et al.*, 2002, para las aguas costeras de Xiamen en China; allí las diferencias entre los niveles de DDT fueron explicados por la falta de agua de recambio a través del pequeño canal, el cual está influenciado por la actividad agrícola e industrial que rodea esa bahía, y por ende, las poblaciones de bivalvos (mejillones y ostras) efectivamente extraen agentes contaminantes de la columna de agua, a través de la filtración de partículas, los cuales se concentran en sus tejidos (Klumpp *et al.*, 2002).

En conclusión, las aguas de bahía Málaga presentan condiciones favorables para apoyar vida marina y contribuir a la preservación de la fauna y flora allí presente, excelentes condiciones de oxigenación y niveles de nutrientes que garantizan un desarrollo natural del fitoplancton y no propician florecimientos algales. Los indicadores microbiológicos suponen un estado del recurso apto para la vida acuática y no representa riesgo para las personas que lo utilizan en actividades recreativas o que obtienen su alimento de él. Finalmente, los contenidos de sustancias tóxicas en sus aguas se encuentran por debajo

de los valores de referencia considerados de riesgo, pero la presencia de ellos (especialmente hidrocarburos), deja entrever que es necesario un mayor control para que ésta situación no aumente en el futuro. Por lo anterior, y de acuerdo a lo expuesto por Liu *et al.*, 2005, se sugiere medir las descargas domésticas de los canales de bahía Málaga para calcular la influencia de las actividades humanas y el incremento de la población con el fin de conservar las excelentes condiciones de calidad de aguas de la bahía y que se mantengan estables bajo la protección de las entidades encargadas de velar por los recursos naturales, a nivel local y nacional.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al apoyo logístico y financiero del proyecto “Bases científicas y valoración de la biodiversidad marina y costera de bahía Málaga (Valle del Cauca) como uno de los instrumentos necesarios para que sea considerada un Área Protegida-BIOMÁLAGA” (n.º 210509-16821), realizado por Invemar, Univalle e Inciva; y cofinanciado por Colciencias. A Germán Parra por el apoyo logístico y administrativo a lo largo del proyecto BIOMÁLAGA.

BIBLIOGRAFÍA

- AKPA E, OFFEN J. Seasonal in water quality of the Cross River, Nigeria. *Rev Hydrob Trop.* 1993;(26):95-103.
- ATWOOD F, BURTON J, CORREDOR G, HARVEY A, MATA-JIMÉNEZ A, VASQUEZ-BOTELLO A, *et al.* Petroleum pollution in the Caribbean. *Oceanus.* 1987;30(4):25-32.
- APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Edition 21. APHA / AWWA / WPCF. Parte 4. 2005
- CANTERA J. Etude structurale des mangroves et des peuplements littoraux des deux baies du pacifique colombien (Málaga el Buenaventura). Rapport avec les conditions du milieu et les perturbations anthropiques [tesis de doctorado]. Marseille France : Université d' Aix-Marseille II; 1991.
- CASANOVA R, BETANCOURT J. Caracterización y evaluación de la calidad del agua de la ensenada de Tumaco. San Andrés de Tumaco. Colombia. *Boletín Científico CCCP.* 1997;(6):45-55.
- CCCP. Compilación oceanográfica de la cuenca pacífica colombiana. DIMAR-CCCP; 2002.
- CCPS. Comisión Permanente del Pacífico Sur. Fuentes de contaminación en el Pacífico. Protocolo para la protección del Pacífico sudeste contra la contaminación de fuentes terrestres [en línea]. 1983. [citado 14 may 2004]; 1(1). [5 pantallas]. Disponible en URL: http://www.cpps_int.org/espe/contaminacionprovenientedefuentesterrestres.html.
- Petroleum hydrocarbon residues in the marine environment of Bassein-Mumbai. *Mar Pollut Bull.* 2004;(49):637-647.
- CORTES L. Estudio y evaluación de Metales Traza (Cd, Cu, Cr, Hg y Pb) en aguas y sedimentos marinos superficiales de la costa pacífica colombiana [tesis de maestría]. Santiago de Cali: Facultad de Ciencias, Universidad del Valle; 1997.

DUBLIN-GREEN C. Seasonal and spatial variations in some physico-chemical parameter of Bonny River (Nigery Delta). *Acta Hydrobiology*. 1992;(34):3-17.

DUURSMAN E, DAWSON R. Marine organic chemistry evolution, composition, interactions and chemistry of organic matter in seawater. 2 ed. Amsterdam, Elsevier; 1983.

ESPINOSA L. Informe nacional sobre el estado del ambiente marino en los países del Pacífico sudeste. Caso Colombia. INVEMAR, CPPS. Santa Marta; 2010.

FONDO PARA LA PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE-FEN. Colombia Pacífico. Tomo I. [en línea] 1993 [citado 23 Mar 2010]; 1(1): [2 pantallas]. Disponible en URL: <http://www.lablaa.org/blaavirtual/indicecpacifico2.htm>.

FIGERAS M, BORREGO J, PIKE E, ROBERTSON W, ASHBOLT N. Sanitary inspection and microbiological water quality. monitoring bathings waters: A practical guide to the design and implementation of assessments and monitoring programs. Editorial WHO; 2000.

FLINT R, POWELL G, KALKE R. Ecological effects from the balance between new and recycled nitrogen in Texas coastal waters. *Estuaries*. 1986;(9):284-294.

GARAY J, RAMÍREZ G, BETANCOURT J, MARIN B, CADAVID B, PANIZZO L, *et al*. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos: aguas, sedimentos y organismos. Invemar. Santa Marta, Colombia, Editorial Precolombia; 2003.

IDEAM. El medio ambiente en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Ministerio del Medio Ambiente, República de Colombia, Santa Fe de Bogotá [en línea] 1998 [citado 20 Sep 2006]; 1(1): [3 pantallas]. Disponible en: URL: <http://www.ideam.gov.co/web/historia/menú.html>

IDEAM. Datos hidrometeorológicos y ambientales. Pronósticos promedios anuales. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Ministerio del Medio Ambiente, República de Colombia, Santa Fe de Bogotá [en línea] 2011 [citado 1 Jun 2011]; 1(1): [4 pantallas]. Disponible en: URL: <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/index.jsf>.

INOCAR. Boletín EREFN [en línea] 2011 [citado 1 Jun 2011]; 1(1): [1 pantallas]. Disponible en: URL: <http://www.inocar.mil.ec/links.php?C=1&S=4&idC=1>

INVEMAR. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. Diagnóstico nacional y regional. Santa Marta; 2005.

INVEMAR, UNIVALLE, INCIVA. Bases científicas y valoración de la biodiversidad marina y costera de bahía Málaga (Valle del Cauca) como un insumo para su declaratoria como Área Marina Protegida-BIOMÁLAGA", Cali; 2006.

KLUMPPA D, HUASHENGB H, HUMPHREYA C, XINHONGB W, CODIA S. Toxic contaminants and their biological effects in coastal waters of Xiamen, China. I. Organic pollutants in mussel and fish tissues. *Mar Pollut Bull*. 2002;(44):752-760.

LIU S, ZHANG J, CHEN H, ZHANG G. Factors influencing nutrient dynamics in the eutrophic Jiaozhou Bay, North China. *Prog Oceanogr*. 2005;(66):66-85.

MAGNIEN R, SUMMERS R, SELLNER K. External nutrient sources, internal nutrient pools and phytoplankton production in Chesapeake Bay. *Estuaries*. 1992;(15):497-516.

MALIKOV I, CAMACHO G. Método de aproximación para determinar cambios entreanuales aplicado a parámetros de temperatura y salinidad del Pacífico colombiano. Tumaco. Boletín Científico CCCP. 1998;(7):30-41.

MARGALEF, R. Ecología. Barcelona, Ed. Omega, S.A.; 1982.

MARÍN, B. Descripción de la escala conceptual indicativa del grado de contaminación. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de la calidad de las aguas marinas y costeras. Santa Marta; 2002.

MARÍN B, VIVAS J, TRONCOSO W, ACOSTA J, VÉLEZ A, BETANCOURT J, *et al.* Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. Diagnóstico nacional y regional. Invemar; 2004.

MARTÍNEZ G, ALVARADO J, SENIOR W. Estudio fisicoquímico de las aguas superficiales de la cuenca baja del río Manzanares. Caracas. Venezuela. Interciencia. 2001;26(8):342-351.

MARINE ENVIRONMENT DIVISION - MED. Water Quality Management Bureau, Pollution Control Department. Marine Water Quality Criteria For The Asian Region [en línea] 1999 [citado 15 Jun 2006]: 1(1): [10 pantallas]. Disponible en: URL: <http://www.aseansec.org/14541.htm>.

MINISTERIO DE SALUD. Decreto No. 1594: Título I - Ley 9 de 1979; Capítulo II - Título VI -Parte III- Libro II; Título III - Parte III -Libro I- Decreto Ley 2811/1974. República de Colombia. Bogotá; 1984;IV. p. 9-14.

NOAA. Optimum interpolation sea surface temperature analysis [en línea] 2006 [citado 15 May 2006]; 1(1): [8 pantallas]. Disponible en: URL: http://www.emc.ncep.noaa.gov/cmb/sst_analysis/images/archive/monthly.sst

PAERL H. Assessing and managing nutrient-enhanced eutrophication in estuarine and coastal waters: Interactive effects of human and climatic perturbations. Ecol Eng. 2006;(26):40-54.

PÁEZ M, GRANADA A. Evaluación cualitativa de la contaminación por el uso de plaguicidas en la región comprendida entre el río Mira y el río Caunapí en la Bahía de Tumaco. Rev Cien Univ Valle. 1993;95-107.

PNUMA. Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente. GEO América Latina y el Caribe. Perspectivas del medio ambiente [en línea] 2000 [citado 15 May 2006]; 1(1): [12 pantallas]. Disponible en: URL: <http://www.cep.unep.org/issues/biodiversity.html>.

PROSKURIAKOV V, DRABKIN E. Química del petróleo y del gas. 2 ed. Moscú, URSS: Editorial Mir; 1984.

RAJENDRAN R, IMAGAWA T, TAO H, RAMESH R. Distribution of PCB, HCH and DDT and their ecotoxicological implications in Bay of Bengal, India. Environ Int. 2005;(31):503-512.

REGNIER, P., C. STEEFEL. A high estimate of the inorganic nitrogen flux from the Scheldt estuary to the coastal North sea during a nitrogen-limited algal bloom spring 1995. Geochim Cosmochim. 1999;(63):1359-1374.

RODRÍGUEZ O, ESPEJEL Y. Las aguas residuales municipales como fuentes terrestres de contaminación de la zona marino-costera en la región de América Latina y el Caribe. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) [en línea] 2001 [citado 18 May 2006]; 1(1): [4 pantallas]. Disponible en: URL: <http://www.jornada.unam.mx/2003/05/26/eco-b.html>.

SALAS H. 1984. Historia y aplicación de normas microbiológicas de calidad de agua en el medio marino. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). [citado 12 Oct 2009]; 1(1): [27 pantallas]. Disponible en: URL: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsaca/e/fulltext/historia/historia.pdf>

SALAS H, BARTRAM J. Historia y aplicación de normas microbiológicas de calidad del agua en el medio marino [en línea] 2004 [citado 12 Oct 2009]; 1(1): [7 pantallas]. Disponible en: URL: <http://www.cepis.org.pe/bvsaca/e/fulltext/historia/historia.pdf>.

SENIOR W, GODOY G. Estudio fisicoquímico del río Manzanares. Cunamá - Venezuela. Bol Inst Ocean Univ Oriente 1990;26(8):343-350.

SMITH S, HICHCOCK G. Nutrients enrichments y fitoplankton growth in de surface water of the Louisiana bight. Estuaries. 1994;(17):740-753.

SONG Y, MULLER G. Biogeochemical of nutrients and trace metals in anoxic freshwater sediments of the Neckar River, Germany. Mar Freshwater Res. 1994;(46):237-243.

TEJADA C, CASTRO L, NAVARRETE A, CARDONA T, OTERO L, AFANADOR F, *et al.*, Panorama de la contaminación marina del Pacífico colombiano. Centro Control Contaminación del Pacífico. San Andrés de Tumaco: Editorial DIMAR; 2003.

UNESCO. Manuales y guías n.º 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; 1984.

UNIVERSIDAD DE CHILE. Septiembre 2005 [en línea] 2005 [citado 3 Jun 2011]; 1(1): [1 pantalla]. Disponible en: URL: http://met.dgf.uchile.cl/clima/HTML/BOL_ANT/SEPTIEMBRE05/septiembre05.htm

WANG Z, FINGAS M. Development of oil hydrocarbon fingerprinting and identification techniques. Mar Pollut Bull. 2003;47:423-452.

WASHBURN L, CLARK L, KYRIAKIDIS P. The spatial scales, distribution and intensity of natural marine hydrocarbon seeps near Coal Oil Point, California. Mar Petrol Geol. 2005.22(4):569-578.

WORLD HEALTH ORGANIZATION-WHO. Health based monitoring of recreational waters: the feasibility of a new approach (The "Annapolis Protocol"). Protection of the human environment water, sanitation and health series. World Health Organization, Geneva; 1999.