

Evaluación de la calidad de agua en la Bahía de Cartagena durante la temporada seca de 2013

Water quality assesment in the Cartagena Bay during the dry season of 2013

Fecha de recepción: 2013-08-15 / Fecha de aceptación: 2013-10-03

Guillermo Salcedo Heredia¹, Diana María Quintana Saavedra², Karen Lopez² y Gustavo Tous Herazo²

¹Universidad de San Buenaventura. Programa de Bacteriología. Correo electrónico: g.salcedo9013@gmail.com

²Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH), Laboratorio de Microbiología. Barrio El Bosque, Isla de Manzanillo, Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla", Cartagena, Colombia. Tel: +57(5) 669 44 65. Correo electrónico: diana.quintana@dimar.mil.co², klopez@dimar.mil.co³, gtous@dimar.mil.co⁴.

Salcedo Heredia, G., Quintana Saavedra, D.M., López, K. y Tous, G. 2013. Evaluación de la calidad de agua en la Bahía de Cartagena durante la temporada seca de 2013. Bol. Cient. CIOH (31): 143-158.

RESUMEN

La Bahía de Cartagena está influenciada por las descargas del Canal del Dique y las descargas de aguas residuales domésticas de la ciudad de Cartagena, las cuales sobrepasan un volumen de 120000 m³/día. La presente trabajo busca evaluar el estado de la calidad del agua de la Bahía de Cartagena en relación con la concentración de algunos indicadores de calidad de agua (coliformes totales, *Escherichia coli* y *Enterococcus sp.*). Se tomaron muestras de agua a tres profundidades, a lo largo de catorce estaciones durante la primera semana de marzo, que fueron procesadas mediante la técnica de filtración por membrana. Los resultados se compararon con los límites estipulados por la Comunidad Económica Europea (CEE), la Agencia de Protección del Medio Ambiente del Reino Unido (EPA) y la Organización Marítima Internacional (OMI). Los resultados mostraron que para coliformes totales se superaron los límites permitidos por la CEE en trece estaciones, por lo menos en un nivel de la columna de agua. Para *E. coli*, diez estaciones estuvieron por encima de los límites permisibles de EPA y once sobrepasaron los límites según CEE, por lo menos en un nivel de la columna de agua. Los *Enterococcus sp.* sobrepasaron los límites en estaciones de el Bosque y Sociedad Portuaria, tanto en superficie como en el medio de la columna de agua, mientras que en el fondo, se observó que ocho estaciones estuvieron por encima de los límites estipulados por la CEE, EPA y OMI. En el análisis de las variables fisicoquímicas se relacionó (pH, temperatura, y nutrientes) con la supervivencia de microorganismos de origen fecal en la Bahía.

PALABRAS CLAVES: microorganismo indicador, calidad del agua, aguas residuales, nutrientes.

ABSTRACT

Cartagena Bay is influenced by discharges from Dique Channel and domestic wastewater discharges from the city of Cartagena, which together reach a volume of 120,000 m³/day. This paper aimed to assess the current status of water quality of the Bay in relation to the concentration of some water quality indicators (total coliforms, *Escherichia coli* and *Enterococcus sp.*). Water samples were taken within three layers of the column (size, middle and bottom) over 14 stations during the first week of March, and were processed by membrane filtration technique. The results were compared with the limits set by the European Economic Community (EEC), the Environmental Protection Agency of the United Kingdom (EPA) and the International Maritime Organization (IMO). The results showed that total coliforms exceeded the limits allowed by the EEC in 13 stations at least one of the water column levels established. In the case of *E. coli*, 10 stations exceeded the permissible limits EPA and 11 exceeded the limits according to the CEE at least at one level of the water column. The *Enterococcus sp.* exceeded limits Bosque stations and Sociedad Portuaria, both surface and in the middle of the water column in physicochemical analysis were associated variables (pH, temperature and nutrients) to the survival of microorganisms in the bay faecal.

Key words: microorganism indicators, water quality, waste waters, nutrients.

INTRODUCCIÓN

En la Bahía de Cartagena confluyen distintas fuentes de agua contaminada provenientes de la ciudad (cerca de 1000000 de habitantes aproximadamente) y de actividades marítimas (aguas de lastre de sentinas) [1]. Las aguas residuales domésticas de la ciudad de Cartagena, son eliminadas en dos puntos principales y alcanzan un volumen de 120 000 m³/día; el 60 % de este volumen es descargado en la Ciénaga de La Virgen, mientras que el restante 40 % es descargado en el sector de la Isla de Manzanillo, éste último vierte a una distancia de 800 m de la isla a una profundidad de 22 m, aunque se tiene establecida una reubicación de este punto en el sector de Punta Canoas, al norte del departamento de Bolívar.

La Bahía también está influenciada por las descargas del Canal del Dique [2] que transporta 10 millones de metros cúbicos de sedimentos al año, de los cuales 24 % llegan a la Bahía de Cartagena [1]. El porcentaje restante se drena hacia diferentes puntos de salida del Canal: Caño Lequerica (5 %), caño Matunilla (21 %), caño Correa (14 %), entre otros. Por otra parte, en las actividades marítimas se ha reportado que los buques de tráfico internacional deben evitar tomar agua de lastre en Cartagena, dado que este puerto representa un riesgo sanitario para el transporte de agua de lastre a otros puertos con microorganismos patógenos [2].

El Canal del Dique influye además sobre la hidrodinámica de la Bahía de Cartagena [3] con corrientes de agua dulce; esta influencia está determinada principalmente por el régimen climático regional. Los regímenes de caudales de aportes continentales disminuyen en época seca y aumentan en época de lluvia, mientras que el régimen de viento cambia, incrementándose en época seca y disminuyendo en época húmeda. Como resultado de estos cambios climáticos se favorece la influencia del Mar Caribe dentro de la Bahía para la época seca y la influencia del Canal del dique en época húmeda [4].

La problemática ambiental que generan las aguas residuales y los grandes volúmenes de aportes continentales, están relacionados principalmente con los ríos que influyen sobre la calidad sanitaria de los diferentes ecosistemas marinos costeros, poniendo en riesgo la pesca, las actividades recreativas y la calidad paisajista del ecosistema [5].

Los microorganismos indicadores de contaminación fecal deben cumplir con ciertos criterios y características [6] tales como encontrarse en presencia de heces fecales de animales o de humanos, ser incapaces para multiplicarse fuera del tracto intestinal, ser igual de resistentes a los microorganismos que van a indicar en condiciones adversas (salinidad, pH, presión, temperatura, luz, etc.), tener una fuerte asociación con microorganismos patógenos y ser de fácil aislamiento en el laboratorio [6, 7]. Estudios epidemiológicos han relacionado las altas concentraciones de coliformes totales y fecales en aguas recreacionales de primer y segundo contacto con enfermedades gastrointestinales [8].

Teniendo en cuenta que los coliformes totales, *Escherichia coli* y *Enterococcus* sp. han sido empleados como los principales indicadores para determinar la calidad de aguas marinas por su adaptabilidad y resistencia al medio marino, que a su vez permiten identificar si el cuerpo de agua ha sufrido contaminación fecal por aguas residuales [9, 10], se decidió tomarlos como referente para identificar el estado de la Bahía de Cartagena durante la época seca para el presente estudio.

ÁREA DE ESTUDIO

La Bahía de Cartagena (Figura 1) posee una superficie de 82 km² y se encuentra localizada en el departamento de Bolívar, entre la latitud 10°26' - 10°16' N y longitud 75°30' - 75°36'W, con un promedio de 16 m de profundidad [11]. El régimen climático regional comprende una época seca que va desde diciembre a marzo, y una húmeda que va de abril a noviembre, e incluso en algunas ocasiones hasta la segunda semana de diciembre [12].

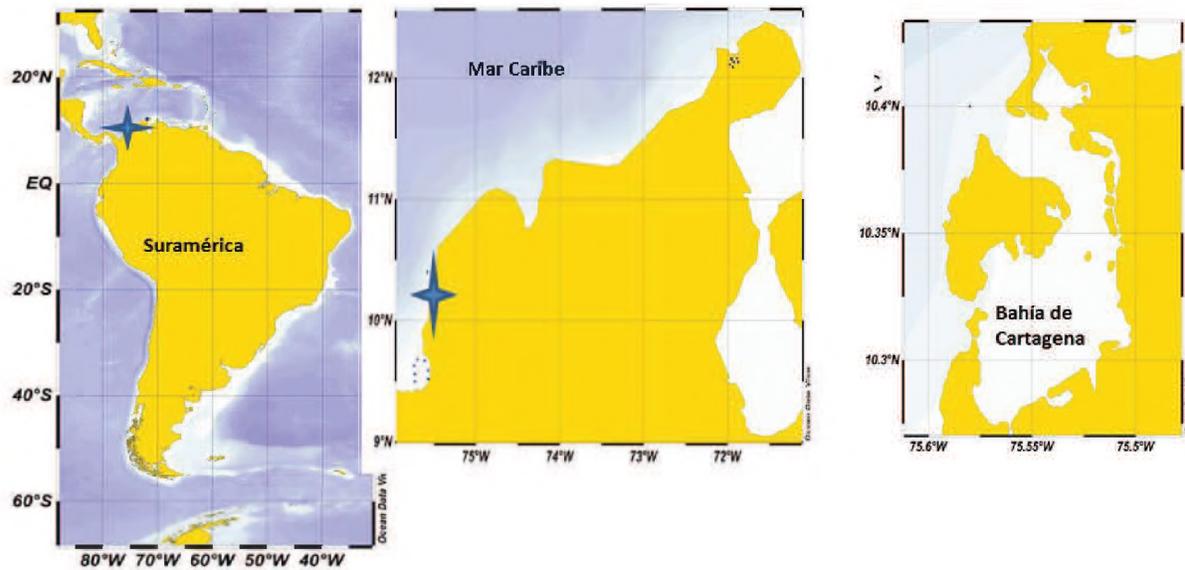


Figura 1 Bahía de Cartagena. Malla de muestreo. **1.** Escollera, **2.** Boya 19, **3.** Boya 27, **4.** Tierrabomba 1, **5.** Tierrabomba 2, **6.** Boya 11, **7.** Boya 10. **8.** Boya 12, **9.** Boya 28, **10.** Contecar, **11.** Boya 30, **12.** Emisario, **13.** Bosque, **14.** Sociedad Portuaria.

Esta investigación se realizó en época seca, específicamente en marzo, cuando la influencia de los vientos del norte permite la circulación de las aguas superficiales [1].

METODOLOGÍA

Se monitorearon catorce estaciones en la Bahía de Cartagena. El muestreo se realizó en cada punto a tres profundidades, superficie (1 m abajo), medio y fondo (1 m arriba). La toma de muestras se realizó a través de una botella de Niskin de 5 l, luego la muestra fue depositada en frascos Schott de 100 ml, previamente esterilizados para las variables microbiológicas, y en frascos plásticos de 1000 ml para la determinación de nutrientes. Las variables de temperatura fueron tomadas en campo. Las estaciones de muestreo se encuentran definidas en la figura 1.

Componente microbiológico

Las muestras colectadas fueron procesadas bajo los procedimientos establecidos en el Área de Microbiología del Laboratorio del CIOH, por la técnica de filtración por membrana [13] y el método de recuento en placa, técnica acreditada en el laboratorio de Microbiología del Ideam, bajo la Resolución 1923 del 4 de agosto del 2011. Se filtró al vacío 10 ml de cada una de las muestras, se completó a 100 ml con agua destilada estéril, posteriormente se inoculó el filtro de membrana de 0,45 μ m en agar Cromogénico (Chromocoult®) para la detección de coliformes totales y *E. coli*, y en agar selectivo para la detección de *Enterococcus faecalis*. Las muestras en agar se incubaron durante 24-48 horas a $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Se realizaron conteos en placa para determinar el número de unidades formadoras de colonias en los 10 ml de muestra original. Se registraron las colonias rojas (presuntivas de Coliformes totales), azules (*E. coli*) y otros Gram negativos (color crema o incoloro) en agar Chromocoult y rojas en Agar selectivo de *Enterococos*. Así mismo, se realizaron pruebas confirmatorias de *E. coli* empleando agar Bilis Rojo Violeta (VRB), e indol.

Componente fisicoquímico

Se realizó la determinación de variables fisicoquímicas (nitrito, nitrato, pH y temperatura) por medio de técnicas estipuladas por el manual de procedimientos técnicos del Área de Química del Laboratorio del CIOH: nitrito según, (4500-NH₃B, F. Ed 22), nitrato por el Método Colorimétrico con reducción de cadmio y cobre SM, 4550 y pH por la técnica electrométrica SM 4500 H B [13, 14].

Análisis de datos

Los datos primarios se organizaron en una matriz georreferenciada, indicando el valor obtenido en cada punto monitoreado y posteriormente graficados a través del programa Surfer 9, para identificar patro-

nes en cada una de las secciones de la columna. Los datos recolectados se estudiaron con un nivel de confianza del 95 % y fueron analizados estadísticamente a través de una prueba de T de Student, con el fin de que las conclusiones emitidas en este estudio sobre la calidad del agua de cada puerto, fuesen consistentes desde el punto de vista estadístico.

Teniendo en cuenta que actualmente no existe una normativa colombiana que establezca los límites en Unidad Formadora de Colonias (UFC) para microorganismos indicadores, puesto que la legislación actual en el decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud para el uso de aguas recreativas estipula que los resultados se deben expresar en Número Más Probable, se emplearon los criterios establecidos en la Tabla I, como límite permisible para agua marina recomendados por la Organización Mundial de la Salud [15], el cual menciona que los países miembros deben adoptar los patrones o directrices de la CEE, o de la OMS de la USEPA (previos a 1986) para la calidad bacteriológica de las aguas balnearias hasta que se disponga de información suficiente, basada en estudios epidemiológicos conducidos en el Caribe, para modificar los patrones vigentes.

Tabla I. Parámetros para Calidad de Agua Marina. **1.** Organización Marítima Internacional, **2.** Comunidad Económica Europea, **3.** Agencia de Protección Ambiental, **4.** Legislación Colombiana UFC: Unidades Formadoras de Colonia. N/A: No aplica

Parámetros	1. OMI (UFC/100ml)	2. CEE (UFC/100ml)	3. EPA UFC/100ml	4. Decreto 1594 de 984 (NMP/ml) contacto primario
Coliformes totales	N/A	500	N/A	1000
<i>Escherichia coli</i>	250	100	126	200
<i>Enterococcus</i>	100	100	35	N/A
<i>Vibrio cholerae</i> (01 y 0139)	0	0	0	N/A

RESULTADOS

Componente microbiológico

Los resultados obtenidos de las concentraciones de coliformes totales, *E. coli* y *Enterococcus* en las diferentes estaciones dentro de la Bahía de Cartagena en la temporada seca del 2013, y para cada una de las tres profundidades, se muestran en la Tabla II.

Coliformes totales

En la capa superficial hubo seis estaciones en que los coliformes totales en superficie se registraron por encima de los criterios para aguas recreativas establecidos por la CEE (Tabla I), específicamente en Escollera, Boya 27, Tierrabomba 2, Boya 30 (890 UFC/100 ml, Emisario y Bosque 750 UFC/100 ml (Tabla II).

En el nivel medio de la columna de agua hubo siete estaciones que sobrepasaron los límites exigidos por la CEE, los cuales fueron Boya 19, Tierrabomba 2, Boya 10, Boya 12, Contecar, Boya 30 y Sociedad Portuaria (Tabla II).

A nivel de fondo, las estaciones de Escollera, Boya 19, Boya 10, Boya 12, Boya 30, Bosque y Sociedad Portuaria estuvieron por encima de los límites permisibles impuestos por CEE, sin embargo, la Boya 28 estuvo en el límite con 500 UFC/100ml. La estación que presentó la concentración más alta fue la Boya 12 (Tabla II).

Escherichia coli

En la capa superficial las estaciones que presentaron mayor concentración fueron Tierrabomba 1, Emisario y Boya 11 (Tabla II). Según los límites establecidos para *E. coli* por la CEE (Tabla I); las estaciones de Escollera, Boya 27, Tierrabomba 1, Tierrabomba 2, Boya 11 y Boya 28 registraron valores superiores a los permitidos, mientras que para la normativa establecida por EPA, sólo cuatro estaciones (Tierrabomba 1, Tierrabomba 2, Boya 11 y Emisario) están por encima de los límites instaurados. De acuerdo con estándares OMI no existen estaciones por encima de los límites establecidos (tablas I y II, y figura 2).

En cuanto las concentraciones de *E. coli* en el nivel medio de la columna de agua, cinco estaciones sobrepasaron los límites establecidos por CEE, y estos fueron Boya 19, Tierrabomba 1, Tierrabomba 2, Boya 30 y Sociedad Portuaria; mientras que para EPA sólo tres estaciones expresaron concentraciones por encima de lo permitido, las cuales fueron Boya 19, Tierrabomba 1 y Sociedad Portuaria (Tabla II). No obstante, según los límites exigidos por OMI, ninguna estación mostró niveles de concentración mayor a los permitidos.

Siete estaciones sobrepasaron las normativas de CEE a nivel fondo de la columna: Escollera, Boya 27, Boya 10, Boya 28, Boya 30, Bosque y Sociedad Portuaria; mientras que para EPA las estaciones en que la concentración fue superior al límite permisible fueron las mismas que para CEE, excepto la estación de la Sociedad Portuaria. La estación que presentó mayor concentración fue Boya 12 (Tabla II y figura 2).

Enterococcus

Las estaciones que presentaron mayor concentración de *Enterococcus* en la Bahía de Cartagena durante la época seca fueron Bosque y Sociedad portuaria, y a su vez fueron las únicas estaciones que sobrepasaron los límites establecidos por CEE, OMI y EPA. En las demás estaciones las concentraciones fueron mínimas o nulas (Tabla II y figura 2).

En el nivel medio de la columna de agua, los niveles de concentración de *Enterococcus sp.* sobrepasaron los límites exigidos en una estación (Bosque con 180 UFC/100 ml) en cuanto a lo estipulado por CEE, la EPA y OMI, mientras que la Sociedad Portuaria presentó concentración 50 UFC/100 ml, excediendo de esta forma lo exigido por EPA. La estación que presentó mayor concentración de *Enterococcus* fue la del Bosque (Tabla II y figura 2).

A nivel de fondo siete estaciones estuvieron por encima de los límites permisibles por EPA y CEE, las cuales fueron Escollera, Boya 19, Boya 27, Boya 10, Boya 28, Boya 30 y Bosque; mientras que para OMI fueron las mismas más la estación de Sociedad Portuaria 80 UFC/100 ml.

Tabla II. Concentraciones de coliformes totales, *E. coli* y *Enterococcus* en la Bahía de Cartagena en la temporada seca de 2013.

Superficie			Medio			Fondo		
Estación	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	Estación	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	Estación	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l
Escollera	0,0015	0,608	Escollera	0,0007	0,0617	Escollera	0,0007	0,0706
Boya 19	0,0007	0,3458	Boya 19	0,0062	0,394	Boya 19	0,0007	0,5214
Boya 27	0,0031	0,2223	Boya 27	0,0081	0,223	Boya 27	0,0029	0,3534
Tierrabomba	0,0007	0,2988	Tierrabomba	0,0007	0,1267	Tierrabomba	0,0007	0,1364
Tierrabomba 2	0,0007	0,4284	Tierrabomba 2	0,0049	0,1979	Boya 11	0,0007	0,3057
Boya 11	0,0059	0,1738	Boya 11	0,004	0,229	Boya 10	0,0007	0,2329
Boya 10	0,0007	0,0644	Boya 10	0,0007	0,255	Boya 12	0,0007	0,2902
Boya 12	0,0049	0,147	Boya 12	0,0056	0,3311	Boya 28	0,0007	0,31
Boya 28	0,0007	0,2752	Boya 28	0,0057	0,4518	Boya 30	0,0007	0,2577
Contecar	0,0007	0,4845	Contecar	0,0008	0,5221	Contecar	0,0007	0,4293
Boya 30	0,003	0,2221	Boya 30	0,0049	0,368	Bosque	0,0016	0,538
Emisario	0,003	0,1409	Bosque	0,0127	0,509			
Bosque	0,0007	0,4836	Sociedad P	0,0032	0,2177	Sociedad P	0,007	0,2796
Sociedad P	0,0095	0,1397						

UFC/100 ml

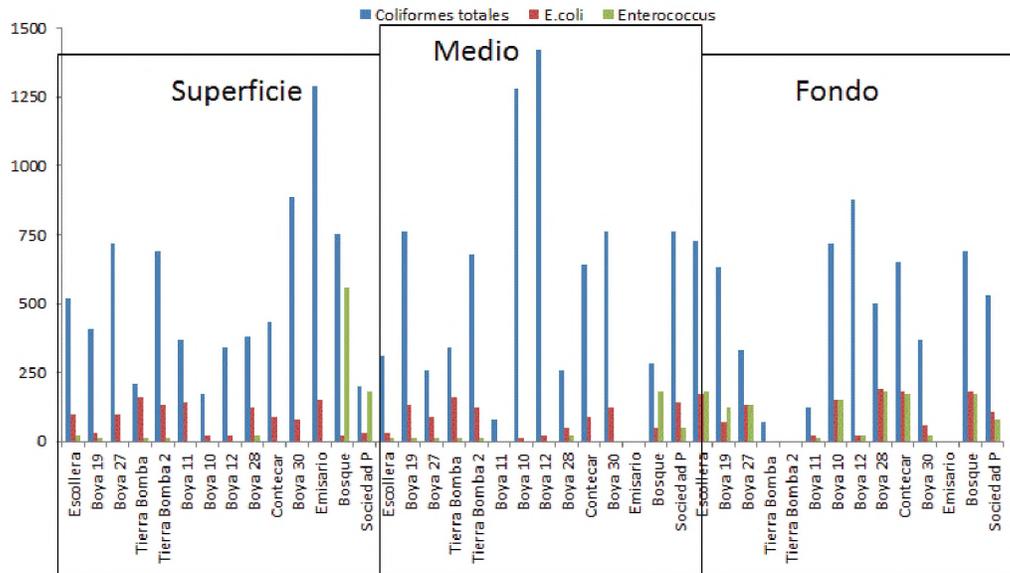


Figura 2. Comportamiento de coliformes totales, *E. coli* y *Enterococcus* en la Bahía de Cartagena para la época seca de 2013 en la capa superficial, media y fondo de la columna de agua.

Componentes fisicoquímicos

La concentración de nitritos en superficie osciló entre menor al límite detectable (0,0009), detectable y 0,0095 mg/l, con un promedio de 0,0025 mg/l. La estación que reportó mayor concentración fue Sociedad Portuaria y Boya 11; por el contrario, la que registro menor concentración fue la estación de Escollera (Tabla III).

Los valores de nitritos a nivel medio de la columna de agua oscilaron entre no detectables y 0,0127 mg/l, con un promedio de 0,004 mg/l. La estación que presentó mayor concentración fue el Bosque, mientras que la que presentó menor concentración fue Contecar.

Los valores de concentración de nitritos en el fondo oscilaron entre no detectables y 0,007 mg/l. Las tres estaciones estuvieron por encima de los límites detectables: Sociedad P, Boya 27 y Bosque (ordenados de mayor a menor concentración). Las estaciones Escollera, Boya 19, Tierrabomba, Boya 11, Boya 10, Boya 12, Boya 28, Boya 30 y Contecar registraron valores por debajo del límite detectable.

En cuanto a las concentraciones de nitrato en superficie, en todas las estaciones estuvieron sobre los límites detectables y la concentración osciló entre 0,608 y 0,0644 mg/l, con un promedio de 0,288 mg/l. La estación que presentó mayor concentración fue Escollera, mientras que la de menor concentración fue la Boya 10.

Los nitratos en la capa media oscilaron entre 0,538 y 0,0706 mg/l, con un promedio de 0,310 mg/l. La estación que presentó mayor concentración fue Bosque y la menor fue la estación Escollera. Se encontró que en todas las estaciones la concentración osciló entre 0,608 y 0,0644 mg/l, con un promedio de 0,288 mg/l.

Para la capa del fondo de la columna de agua, los nitratos oscilaron entre 0,538 y 0,0706 mg/l, con un promedio de 0,310 mg/l; la estación que presentó mayor concentración fue Bosque y la menor fue Escollera. De mayor a menor concentración las estaciones fueron Bosque, Boya 19, Contecar, Boya 27, Boya 28, Boya 11, Boya 30, Sociedad P, Boya 10, Tierrabomba y Escollera.

La temperatura en la Bahía de Cartagena en toda la columna de agua osciló entre 26 y 30°C. La estación que presentó un registro más bajo en temperatura fue Escollera, como se observa en la figura 3. No obstante, la estación más homogénea, con un registro de temperatura de 29°C fue Emisario, seguida por las estaciones de Contecar y Boya 19 para la capa superficial. En la Figura 3 se observó que la temperatura disminuye en la columna hasta 3°C.

El pH en la Bahía de Cartagena en general se mantuvo entre los valores establecidos como permisibles. La estación Escollera tuvo los niveles de pH más alcalinos en la columna de agua, tanto para superficie, media y fondo. La primera capa tuvo un promedio de 8,15 unidades, y sus estaciones oscilaron entre 8,7 y 7,7. Por otro lado la capa media tuvo un promedio de 8,1 unidades y el pH osciló entre 8,42 y 7,8. Para la capa del Fondo el promedio del pH fue 8,1 y sus valores estuvieron en rangos de 8,42 y 7,8 (figura 4).

Tabla III. Concentraciones de nutrientes en la Bahía de Cartagena en temporada seca del 2013.

Superficie			Medio			Fondo		
Estación	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	Estación	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	Estación	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l
Escollera	0,0015	0,608	Escollera	0,0007	0,0617	Escollera	0,0007	0,0706
Boya 19	0,0007	0,3458	Boya 19	0,0062	0,394	Boya 19	0,0007	0,5214
Boya 27	0,0031	0,2223	Boya 27	0,0081	0,223	Boya 27	0,0029	0,3534
Tierrabomba	0,0007	0,2988	Tierrabomba	0,0007	0,1267	Tierrabomba	0,0007	0,1364
Tierrabomba 2	0,0007	0,4284	Tierrabomba 2	0,0049	0,1979	Boya 11	0,0007	0,3057
Boya 11	0,0059	0,1738	Boya 11	0,004	0,229	Boya 10	0,0007	0,2329
Boya 10	0,0007	0,0644	Boya 10	0,0007	0,255	Boya 12	0,0007	0,2902
Boya 12	0,0049	0,147	Boya 12	0,0056	0,3311	Boya 28	0,0007	0,31
Boya 28	0,0007	0,2752	Boya 28	0,0057	0,4518	Boya 30	0,0007	0,2577
Contecar	0,0007	0,4845	Contecar	0,0008	0,5221	Contecar	0,0007	0,4293
Boya 30	0,003	0,2221	Boya 30	0,0049	0,368	Bosque	0,0016	0,538
Emisario	0,003	0,1409	Bosque	0,0127	0,509	Sociedad P	0,007	0,2796
Bosque	0,0007	0,4836	Sociedad P	0,0032	0,2177			
Sociedad P	0,0095	0,1397						

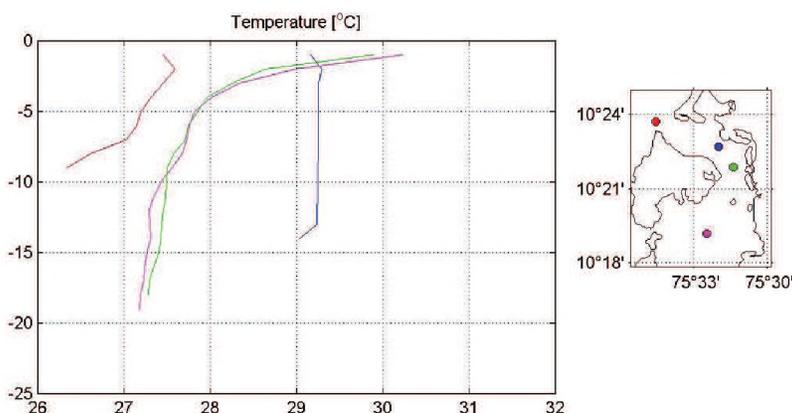


Figura 3. Temperatura en la Bahía de Cartagena, temporada seca. Los puntos indican las estaciones con mayor y menor temperatura. Rojo: Escollera, azul: Emisario submarino; verde, Contecar, rosado: Boya 19.

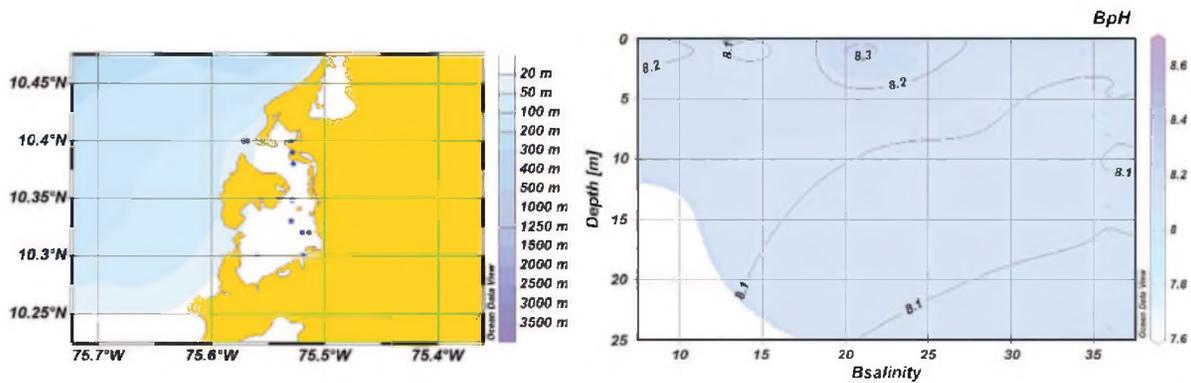


Figura 4. Comportamiento del pH y salidad época seca en la Bahía de Cartagena.

DISCUSIÓN

El CIOH informó que durante 1996 y 1998 la bahía interna de Cartagena sobrepasó los límites permitidos por la legislación [4]. Más adelante concluyeron que la concentración de coliformes aumentaba en época de lluvia, debido al lavado de las fuentes potenciales de contaminación, por lo cual recomendaban continuar con el monitoreo de las estaciones en la Bahía de Cartagena, puesto que en estaciones cerca al muelle de Contecar presentaron recuentos por encima de los límites permisibles [16, 17].

A través de la evaluación efectuada en este estudio para la temporada seca de 2013, en la cual se determinó la calidad del agua de la Bahía de Cartagena en relación con la distribución espacial de microorganismos indicadores de contaminación como coliformes totales, *Escherichia coli* y *Enterococcus*, se encontraron resultados similares a los encontrados por [10], puesto que varias estaciones sobrepasaron los límites permisibles. Las concentraciones más altas de coliformes totales en la columna de agua fueron para las estaciones de Emisario submarino (capa superficial) y Boya 12 (capa media); en cuanto a *E. Coli*, las estaciones que presentaron mayor concentración fueron Tierrabomba 1 (capa superficial) y Boya 28 (capa del fondo), mientras que para *Enterococcus sp.* fueron las estaciones Bosque (capa superficial), Sociedad Portuaria y Boya 28 ambas del fondo de la columna de agua.

Otros autores [10] concluyeron que las estaciones más contaminadas se ven in-

fluenciadas por las aguas residuales, las aguas del Canal del Dique, el alto tráfico marino y las descargas del emisario, entre otras.

Capa superficial de la columna de agua

En la capa superficial de la columna de agua se observó que varias estaciones estuvieron por encima de los límites estipulados por CEE, EPA y OMI, tanto para coliformes totales, *E. coli* y *Enterococcus sp.* Esto se debe a la influencia que tiene el Canal del Dique sobre la Bahía de Cartagena, puesto que arroja 10 millones de metros cúbicos de sedimentos al año [2] y al desagüe doméstico y sin tratamiento de 60525m³ diarios de residuos líquidos al interior de la bahía [4] (figura 5).

Por estas razones la estación del emisario submarino presenta en la capa superficial la más alta concentración de coliformes totales y unos niveles elevados de nitritos. La temperatura y el pH favorecieron la viabilidad de este grupo de microorganismos, permitiendo que las bacterias tengan procesos más lentos y puedan prolongar la supervivencia.

Las demás estaciones que estuvieron por encima de los límites establecidos por CEE, EPA y OMI, al nivel superficial, como es el caso de la Boya 30, pueden estar siendo impactadas por los vertimientos del emisario submarino (Figura 5), puesto que el flujo y la dispersión de los organismos se ven afectados por la hidrodinámica local o por vertimientos industriales como es el caso de la estación Bosque y Contecar, mientras que la Boya 27, Tierrabomba (1 y 2), Boya 11 y Escollera pueden estar siendo influenciadas por el Canal del Dique, vertimien-



Figura 5 .Salida de aguas residuales domésticas a través del emisario submarino (foto tomada durante monitoreo en marzo de 2013).

tos de aguas residuales clandestinos sin ningún tipo de tratamiento y tráfico marino.

Para la capa superficial de la columna de agua e incluso para la capa media, el grupo de *Enterococcus* estuvieron por encima de los límites establecidos en las estaciones Bosque y Sociedad Portuaria; mientras que las demás estaciones, como Emisario, en las que se esperaban altos recuentos presentaron conteos de UFC bajos o nulos. Esto puede ser posible debido a que en recientes estudios se ha comprobado que los *Enterococcus* son capaces de entrar en un estado viable pero no cultivable a raíz de las condiciones de estrés ambiental en donde pueden permanecer sin ser detectados por métodos de cultivo en medios selectivos [18]. Cuando estos microorganismos llegan al mar se enfrentan a condiciones ambientales a las que normalmente no se ven sometidos, por lo cual afrontan dos tipos de fenómenos, físicos (dispersión, dilución y sedimentación) y biológicos (adaptación y mortalidad) [10] (figura 6).

Capa media de la columna de agua

Las altas concentraciones de coliformes totales en las estaciones de Boya 10 y Boya 12 son una muestra del impacto que ocasiona el Canal del Dique sobre la Bahía de Cartagena, ya que éstas se encuentran al frente del sitio de descarga de las aguas continentales en donde se mezclan las aguas marinas con las continentales provenientes del Canal.

Estudios han reportado que los recuentos de los coliformes totales en los estuarios, son de mayor magnitud al final de agua dulce que en el extremo más alejado del estuario [19]. Las demás estaciones que sobrepasaron los límites para coliformes totales y para *E. coli*, como Sociedad Portuaria, Contecar, Bosque y Boya 30, están siendo influenciadas por el tráfico marino, las aguas residuales provenientes de desagües de la zona industrial y del emisario submarino [18]. En cuanto a las concentraciones de *Enterococcus*, solo dos estaciones se registraron por encima de los límites permisibles (Bosque y Sociedad Portuaria) y en estas mismas se reportaron niveles altos de nutrientes, que pudieron ser

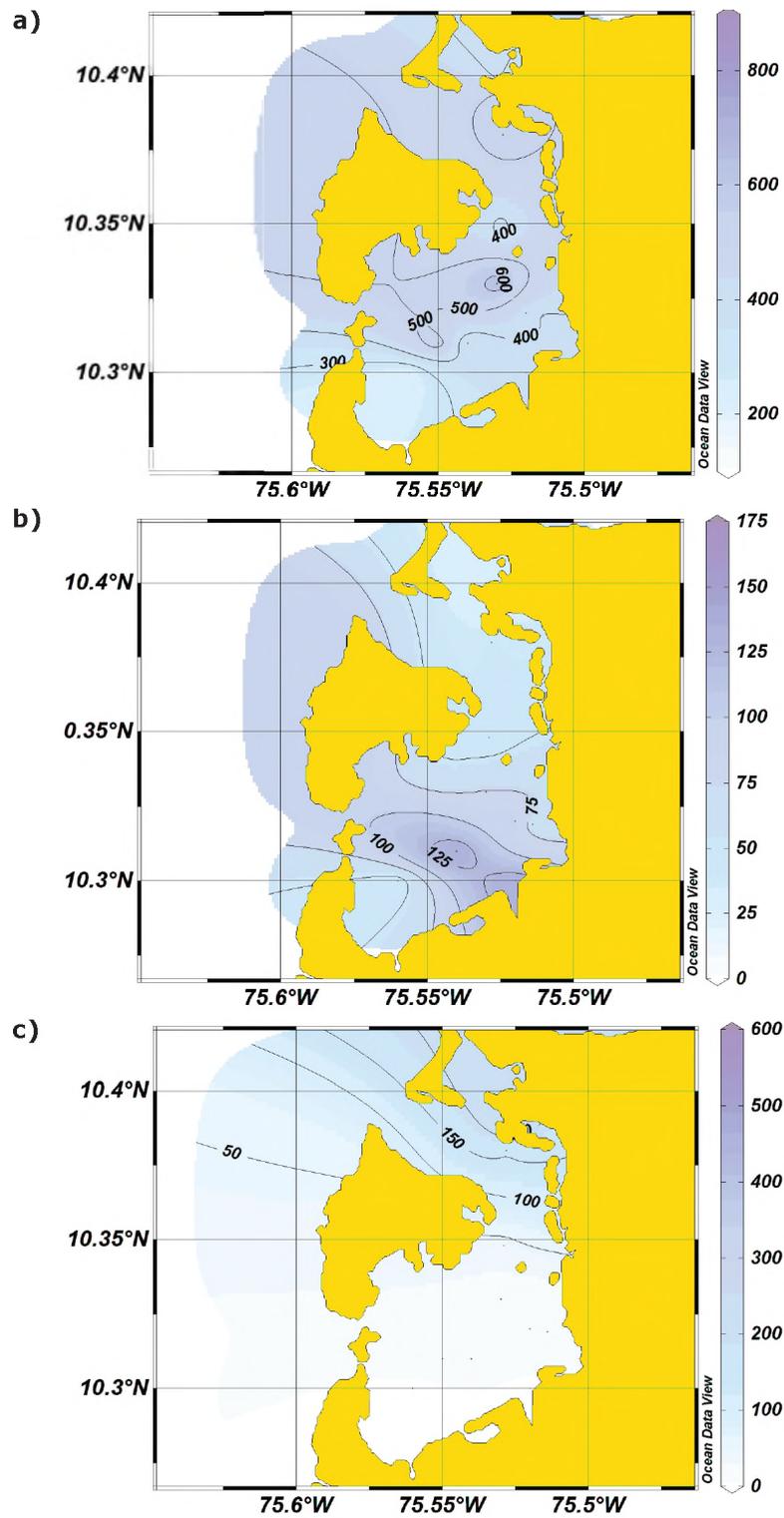


Figura 6. Concentración de microorganismos indicadores en la capa superficial de la columna de agua. **a)** Coliformes totales **b)** *E. coli* **c)** *Enterococcus* sp.

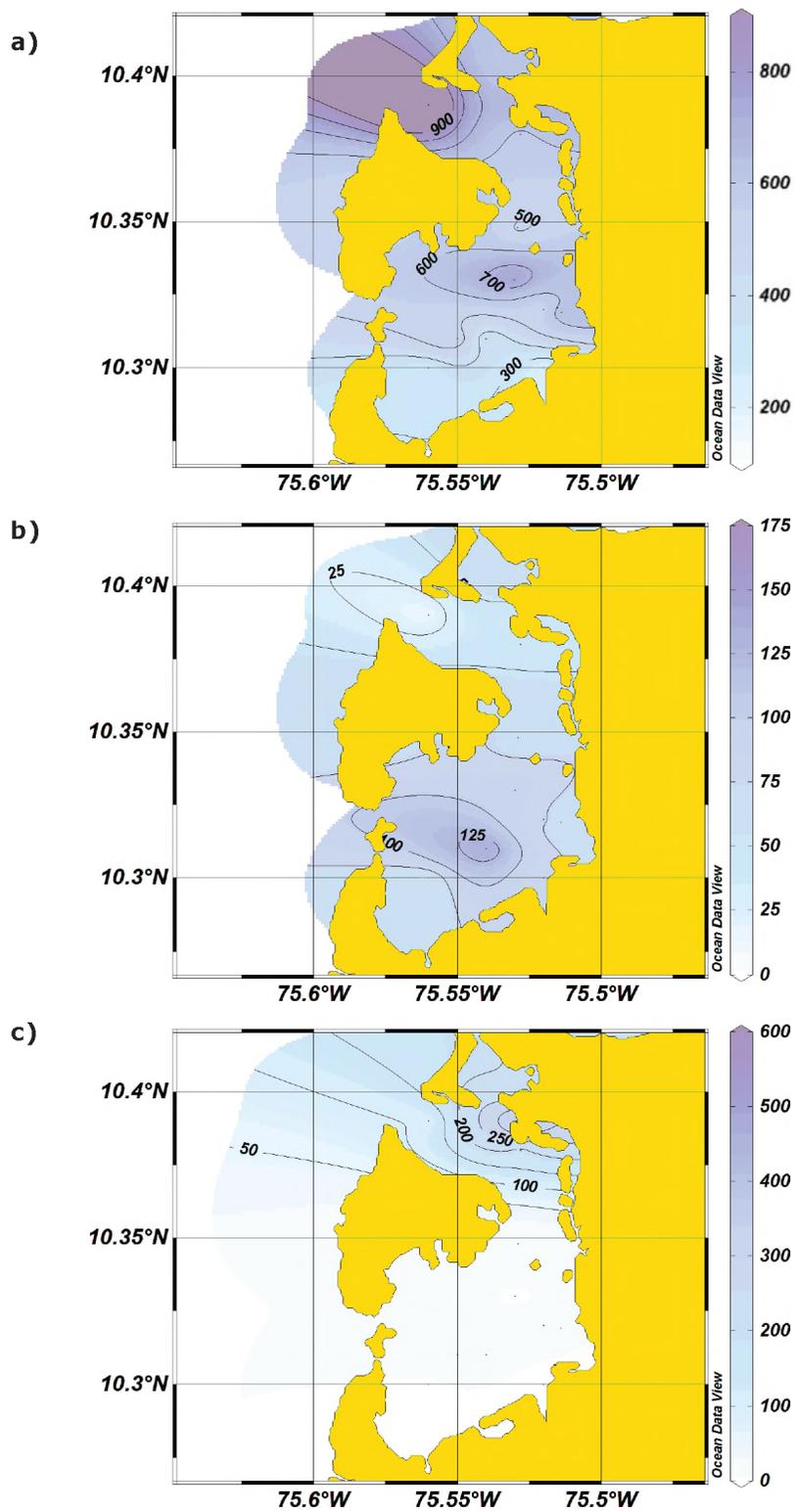


Figura 7. Concentración de microorganismos indicadores en la capa media de la columna de agua. **a)** Coliformes totales **b)** *E. coli* **c)** *Enterococcus sp.*

aprovechados para la supervivencia de este microorganismo (figura 7).

Capa del fondo de la columna de agua

Las estaciones que están al frente del Canal del Dique (Boya 10, Boya 12 y Boya 19) reciben toda la influencia de las aguas continentales, lo que explica las altas concentraciones de coliformes totales, *E. Coli* y *Enterococcus* a niveles por encima de los establecidos por CEE, EPA y OMI. En el caso de Escollera, aunque estudios han reportado que recibe la influencia del Mar Caribe, el tráfico marino, las aguas residuales provenientes de caños clandestinos de Tierrabomba y las condiciones hidrodinámicas de la bahía, juegan un papel importante en la distribución de los microorganismos.

Es importante señalar que los *Enterococcus* mostraron niveles altos de concentración en el fondo de la columna respecto a los demás niveles; esto puede ser posible porque a mayor profundidad menor influencia de la luz solar. Algunos autores afirman que la luz juega un papel importante en la determinación de este tipo de bacterias y que a su vez, es afectada por otros factores tales como la turbidez, el crecimiento de algas y los nutrientes [18] (figura 8).

En términos de distribución espacial en este estudio se evidenció, a través de los mapas de contaminación elaborados, que el comportamiento de los indicadores de contaminación fecal cambia respecto del estrato de la columna (Tabla III).

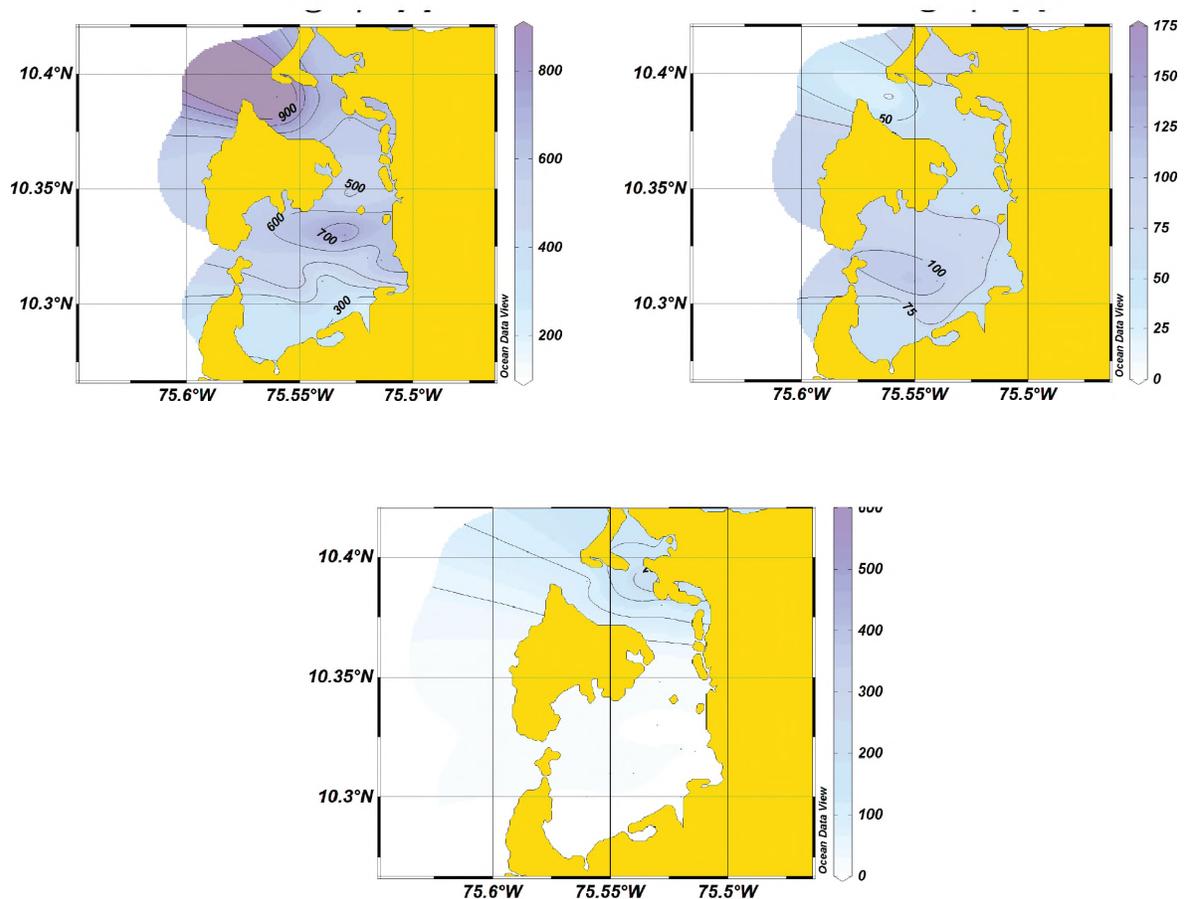


Figura 8. Concentración de microorganismos indicadores en la capa del fondo de la columna de agua.

Tabla III. Relación estrato de la columna de agua con fuente e indicador principal detectado.

Estrato de la columna de agua	Fuente principal asociada	Indicador
Superficie	✓ Emisario submarino	✓ Coliformes totales
	✓ Aporte de Caños de Aguas residuales	✓ <i>E. coli</i>
	✓ Alto tráfico marino	✓ <i>Enterococcus</i>
Medio	✓ Canal del Dique	✓ Coliformes totales
	✓ Emisario submarino	✓ <i>E. coli</i>
Fondo	✓ Canal del Dique	✓ Coliformes totales
	✓ Aporte de Caños clandestinos en Tierrabomba	✓ <i>E. coli</i>
		✓ <i>Enterococcus</i>

CONCLUSIÓN

Todas las estaciones monitoreadas en la Bahía de Cartagena durante la temporada seca del 2013 presentaron concentraciones de por lo menos un grupo indicador como Coliformes totales, *Escherichia coli* y *Enterococcus* por encima de los límites permisibles estipulados por CEE, EPA y OMI, en al menos un nivel de la columna de agua. Lo anterior indica que a pesar de la disminución del caudal del Canal del Dique en temporada seca, la Bahía de Cartagena no es apta para actividades recreativas de contacto secundario durante esta época del año. Se siguen encontrando aportes continentales que alteran la calidad del agua, así como aportes de desagües residuales provenientes del emisario.

La distribución vertical indica que a nivel de capa media se encuentran las concentraciones más altas para los microorganismos indicadores, presumiendo que en esta capa se encuentran mejores condiciones de adaptabilidad al medio, mayor concentración de sólidos y menor penetración de la luz.

BIBLIOGRAFÍA

[1] LEH. 2007. Particularidades de algunas ciénagas del Canal del Dique y posibles indicadores de su estado ecológico actual. Duarte J., Editor. Universidad Nacional de Colombia. UNC. Pp. 6-7.

[2] Cañón, M., Tous, G., López, K., López, R. y Orozco, F. 2007. Variación espaciotem-

poral de los componentes fisicoquímico, zooplanctónico y microbiológico en la Bahía de Cartagena. Bol. Cient. CIOH No. 25: 120-130.

[3] Alonso, D. P., Pineda, J., Olivero, H., González y N. Campos. 2000. Mercury levels in muscle of two fish species and sediments from the Cartagena Bay and the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia Environmental Pollution. (109) 157-163.

[4] Tuchkovenko, Y. y Rondón, S. 2002. Estudio del comportamiento de la contaminación de la bahía de Cartagena. Bol. Cient. CIOH No. 20: 56-67.

[5] Moscarella, García, F. y Palacio, C. 2010. Microbiological water quality of Santa Marta bay, Colombia. Dyna. 78(167) 132-141.

[6] Savichtchevaa, O. y Satoshi, O. 2006. Alternative indicators of fecal pollution: Relations with pathogens and conventional indicators, current methodologies for direct pathogen monitoring and future application perspectives. Water Research. Volume 40, Issue 13, Pp. 2463-2476.

[7] Vergaray, G., Carmen, R., Méndez, H., Morante, Y., Vidalina, I., Heredia, V. y Béjar, R. 2007. *Enterococcus* y *Escherichia coli* como indicadores de contaminación fecal en playas costeras de Lima. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG, Vol. 10, N° 20, 82-86.

- [8] Hamzah, A. y Hazwa, S. 2011. Microbiological Study in Coastal Water of Port Dickson, Malaysia. *Sains Malaysiana* 40(2) 93-99.
- [9] Toledo, H., Hernández, C., Rodríguez, C., Bittner, V., Ferreira, L. y Orellana, F. 2005. Estudio de la contaminación fecal mensual y estacional en la zona costera adyacente al emisario submarino en la bahía de Puerto Montt. *Gayana* 69(1): 104-112.
- [10] Cañón, M., Quintana-Saavedra, D.M., Tous, G. y Llamas, J. 2007. Presencia de organismos exógenos y patógenos en aguas de lastre de buques de tráfico internacional. Informe final. Fase V/V. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) (98) 54 pp.
- [11] Andrade, C., Thomas, F., Lonin, S., Parra, C., Menanteau, L., Cesaraccio, M., Kunesch, S., Andreau, A., Velasco, S., Piñeres, C. 2004. Aspectos morfodinámicos de la Bahía de Cartagena de Indias. *Bol. Cient. CIOH* No. 22 90-104.
- [12] Tous, G., Castro Mercado, I., Cañón, M., Quintana-Saavedra, D.M. 2007. Panorama de la contaminación del Caribe colombiano. Dirección General Marítima. Cartagena de Indias. Pp. 61-8.
- [13] Parsons, T.R., Maita, C.M. y Lalli, C.M. 1989. *Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. Primera Edición 1984, reimpresso 1985, 1989. Gran Bretaña. Pp. 22-25.
- [14] APHA-AWWA-WPCF. 2012. *Standard methods for analysis of water and wastewaters*. Edición 22. Editorial Díaz de Santos. Madrid, España. 1150 pp.
- [15] Salas, H.J. 2000. Historia y aplicación de normas microbiológicas de calidad de agua en el medio marino. *Water Science Technology*, Vol. 18, No. 11, 1986. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Organización Mundial de la Salud. Versión Actualizada.
- [16] Lonin, S. y Giraldo, L. 1996. Resultados preliminares del estudio de la dinámica del sistema de caños y lagunas de Cartagena. *Bol. Cient. CIOH* No. 17: 57-63.
- [17] Office of Research and Development Office of Water Regulations Microbiology and Toxicology. *Bacteriological Ambient Water Quality Criteria for Marine and Fresh Recreational Waters*. U.S. Environmental Protection Agency. January (1986) P. 8.
- [18] Hoong, K. y Giek Goh, G.S. 2013. Modeling the effect of light and salinity on viable but non-culturable (VBNC) *Enterococcus*. *Water Research*. 47: 3315-3328.
- [19] Restrepo I, Franco, D, Correa, I, Escobar, I, Otero, L, y Gutierrez J. 2013. Sedimentos Superficiales de la Bahía de Cartagena. Bahía de Cartagena (Colombia): distribución de sedimentos superficiales y ambientes sedimentarios. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 41(1): 99-112 pp.

