

Caracterización fisicoquímica de aguas y sedimentos en puerto de carga de la bahía de Cartagena, Colombia

Physicochemical characterization of water and sediments in loading port of the bay of Cartagena, Colombia

Recibido: 2020-06-25 / Aceptado: 2020-09-02

F. Sánchez-Catalán¹; Gisela Mayo-Mancebo²; J. P. Rivero-Hernández³; J. P. Mercado-Pérez⁴; B. Johnson-Restrepo⁵

CITAR COMO:

Sánchez-Catalán, F.; Mayo-Mancebo, G.; Rivero-Hernández, J. P.; Mercado-Pérez, J. P.; Johnson-Restrepo, B. (2020). Caracterización fisicoquímica de aguas y sedimentos en puerto de carga de la bahía de Cartagena, Colombia. *Bol. Cient. CIOH*, 39 (2): 41-50. ISSN impreso 0120-0542 e ISSN en línea 2215-9045. DOI 10.26640/22159045.2020.505

RESUMEN

La bahía de Cartagena es una de las más importantes de Colombia, tanto desde el punto de vista turístico como industrial; su explotación intensiva la ha convertido en una de las más contaminadas del país, reportándose presencia de contaminantes de diversa naturaleza. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue realizar una caracterización fisicoquímica de las aguas y sedimentos de un puerto de carga de esta Bahía. Se determinaron los siguientes parámetros: hidrocarburos disueltos y dispersos, mercurio total, sólidos suspendidos totales, pH, nutrientes (nitritos y fosfatos), salinidad, oxígeno disuelto, temperatura, turbidez y sólidos disueltos. Las muestras fueron tomadas en 9 puntos, en la superficie, a 10 m y en el fondo marino y fueron analizadas en el laboratorio del Centro de Investigaciones Oceanográficas e hidrográficas del Caribe y en la Universidad de Cartagena (CIOH). Los resultados mostraron presencia de hidrocarburos disueltos y dispersos detectando valores entre 4.51 µg/L y 18.04 µg/L en las aguas del mismo puerto de carga, mientras que en puntos de muestreo distantes al puerto no se encontró presencia de hidrocarburos. Los resultados de mercurio total oscilaron entre 109 µg/Kg y 288 µg/Kg peso seco, con un valor de mediana de 169 µg/Kg y una media de 183.33 ± 55.41 µg/Kg, los cuales estuvieron por encima de las normativas de Estados Unidos y Canadá. Sin embargo, parámetros como temperatura, salinidad y nutrientes estuvieron por debajo de lo normado en el decreto colombiano. Lo anterior confirma que la zona del puerto de carga estudiado en la bahía de Cartagena como un área muy contaminada, sugiriéndose realizar estudios de otros metales pesados como plomo, cromo, cadmio y de carbón total, debido a la contaminación que se ha observado por las malas prácticas de lavado de la plataforma por el personal del puerto.

PALABRAS CLAVES: contaminación, bahía, mercurio, hidrocarburos.

ABSTRACT

Cartagena bay is one of the most important bays in Colombia both from tourist and industrial point of view. Its intensive exploitation has made it one of the most polluted in the country, reporting the presence of different types of pollutants. Therefore, the aim of the present study was to carry out a physicochemical characterization of water and sediment at the loading port of Cartagena Bay. The physicochemical parameters were determined such as dissolved/dispersed hydrocarbons, total mercury (Hg) concentration, total suspended solids, pH, concentration of nutrients (nitrites and phosphates), salinity, dissolved oxygen, temperature, turbidity and total dissolved solids. The water samples were collected from the selected nine locations (P1-P9), on the surface, at 10 meters of depth, and on the seabed. All samples were analyzed at the Caribbean Oceanographic - CIOH and Hydrographic Research Center and the University of Cartagena. The results obtained in the physicochemical analysis revealed the presence of dissolved and dispersed hydrocarbons in the water samples of the loading port, values ranged between 4.51 and 18.04 µg/L, while no hydrocarbon presence was found in sampling points collected distant from the port. Results showed that total Hg concentration ranged between 109 and 288 µg/Kg dry weight, a median value of 169 µg/Kg and a mean of 183.33 ± 55.41 µg/Kg which were above the regulations of the United States and Canada. However, parameters such as temperature, salinity and nutrients were below those permissible by Colombian law. The conducted research revealed that the loading port studied in Cartagena bay as a highly polluted area. Studies of other heavy metals such as lead, chromium, cadmium and total carbon have also been suggested due to lacking of regular cleaning or bad practices washing of the platform by port staff.

KEYWORDS: Contamination, bay, mercury, hydrocarbons.

¹ Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) / Universidad de Cartagena, Grupo de Investigación Química y Medio Ambiente. Correo electrónico: fsanchezcatalan@gmail.com

² Universidad del Atlántico. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6076-6452>. Correo electrónico: robertolastra@uniatlantico.edu.co Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH). Correo electrónico: gmayo@dimar.mil.co

³ Universidad de Cartagena, Grupo de Investigación Química y Medio Ambiente.

⁴ Universidad de Cartagena, Grupo de Investigación Química y Medio Ambiente.

⁵ Universidad de Cartagena, Grupo de Investigación Química y Medio Ambiente.

INTRODUCCIÓN

Colombia es el único país de Suramérica que tiene costas sobre el mar Caribe y el océano Pacífico, por cuanto las zonas marinas y costeras ocupan cerca del 50 % del territorio nacional, dentro de los cuales encontramos ecosistemas de incalculable valor en términos naturales y económicos (Vivas-Aguas *et al.*, 2010). En el mar Caribe encontramos varias bahías, entre ellas una de las más importantes es la bahía de Cartagena, con aproximadamente 500 años de uso conocido desde la llegada de los españoles. El medio milenio de uso de la bahía de Cartagena se da gracias a su ubicación estratégica y a sus privilegiadas condiciones naturales, los españoles de la época colonial vieron allí el lugar perfecto para establecer su puerto principal, por donde transitó un gran flujo de mercancía entre Suramérica, el Caribe y el Viejo Continente. Actualmente, transita un flujo de carga aproximado de 40 millones de toneladas anuales, con una circulación de más de 3 000 buques que atracan en sus 50 puntos entre muelles y terminales marítimas (<https://www.puertocartagena.com/es/bahia-de-cartagena>).

La bahía de Cartagena es considerada un estuario, lo cual se conoce como cuerpos de agua semicerrados, con conexión libre y abierta hacia el mar, y en el cual la dilución del agua del mar y el agua fresca del río es medible. Estos ecosistemas tienen características del río y del mar; entre las características de río está el flujo de agua, transporte de sedimentos, inundaciones ocasionales y agua fresca en la superficie; las características típicas marinas son la marea, corrientes marinas, oleaje y agua salada (Carval y Gracia, 2019). Los nutrientes, especialmente el nitrógeno y fósforo son claves para la calidad del agua en los estuarios. Estos pueden contribuir a problemas tales como oxígeno disuelto bajo y eutrofización acelerada. Así mismo, el exceso de nutrientes puede provocar floraciones algales (Casanova-Rosero, Suárez-Vargas y Zambrano-Ortiz, 2015).

En aproximados 400 km de Cartagena de Indias se encuentra el sur de Bolívar y a unos kilómetros más el norte de Antioquia, la cual se considera como la zona de mayor explotación minera de oro del país. Esta explotación se realiza en su mayoría de manera informal, siendo la principal causa de contaminación por mercurio (Hg) en los sistemas acuáticos y bioacumulación en mineros y pescadores de la zona. En esta orden de ideas, puede percibirse que muchos

habitantes de esta zona a pesar de que no han tenido exposición directa con este tipo de sustancias, debido a que sus profesiones no corresponden a las mencionadas anteriormente, también presentan concentraciones de Hg en muestras tomadas de sus cabellos (Olivero, Mendonza y Mestre, 1995).

El problema de la contaminación de las aguas es muy complejo y se debe a la relación directa con la transmisión de enfermedades al hombre, como las ocasionadas por el mercurio dentro de las cuales encontramos el aumento en enfermedades cardiovasculares, los aumentos en la propagación del estrés oxidativo y los efectos tóxicos en el sistema nervioso central (Castoldi, Coccini y Manzo, 2003; Virtanen, Rissanen, Voutilainen y Tuomainen, 2007, p. 2). Razón por la cual se ha despertado la atención mundial, ya que las descargas de aguas residuales de origen industrial y doméstico con alto contenido de desechos orgánicos causan problemas serios de salud y modifican al ecosistema marino en los lugares adyacentes a las descargas (Trujillo-López y Guerrero-Padilla, 2015). Los estuarios presentan un frágil balance entre las necesidades de las ciudades costeras, las comunidades y la salud de los ecosistemas acuáticos. Las aguas costeras tienen diversos factores que afectan la calidad de los ecosistemas y la salud humana, entre los que se encuentran las inadecuadas prácticas de disposición final de aguas residuales domésticas, que introducen altos niveles de nutrientes y bacterias entéricas patógenas al sistema (Narváez, Gómez y Acosta, 2008).

El área específica de estudio fue escogida debido a que se presentó un caso particular donde se evidencia que el personal de un puerto de carga en la bahía de Cartagena arrojaba los residuos del cargue al mar (Fig. 1). (Montaño, 2020; España, 2019; W Radio, 2019).



Figura 1. Lavado de residuos de la plataforma en puerto de carga en la bahía de Cartagena. [Tomado de: Caracol Radio, 2020].

Estas malas prácticas pueden tener consecuencias como la introducción de diferentes tipos de contaminantes que afectan el ecosistema marino, por ejemplo, el embarque de sustancias como el coque, carbón, materias primas de uso industrial, etc., los cuales pueden contener impurezas a niveles trazas que suelen ser acumulables y/o bioacumulables en el medio marino. Otra manera de introducir contaminación al medio marino puede darse al realizar la recarga de combustible de los transportes marítimos, ya que existe el riesgo de contaminación mediante derrames, reflejándose en valores medibles de hidrocarburos.

Por lo mencionado anteriormente, el objetivo del presente trabajo fue realizar una caracterización fisicoquímica de las aguas y sedimentos cercanos a un puerto de carga de la bahía de Cartagena.

ÁREA DE ESTUDIO

La bahía de Cartagena se encuentra ubicada en la costa norte de Suramérica, en el suroeste, mar Caribe colombiano, departamento de Bolívar, entre las coordenadas 10° 26' a 10° 16' N y 75° 30' a 75° 36' O. La bahía posee una superficie de 82 km y una profundidad promedio de 16 m, consta de dos partes: la bahía externa e interna. La primera está conectada con el mar Caribe a través de dos bocas (Bocachica y Bocagrande), mientras que la segunda se ubica en la parte norte y no tiene intercomunicación directa con el mar (Cañón, Tous, López, López y Orozco, 2007).

En la bahía de Cartagena, específicamente en el sector industrial de Mamonal, se realizó el muestreo de nueve (9) puntos establecidos en un área donde se tomaron muestras en dos profundidades en la columna de agua y su respectivo sedimento, ubicados en las siguientes coordenadas y denotándose de la siguiente manera como (Tabla 1 y Fig. 2):

Tabla 1. Estaciones de muestreo, coordenadas y profundidades.

Estación	Latitud	Longitud	Profundidad
P1-S			1 m
P1-10	10° 20' 35.28" N	75° 30' 17.76" O	10 m
P1-F			Fondo-Sedimento
P2-S			1 m
P2-10	10° 20' 33.01" N	75° 30' 22.06" O	10 m
P2-F			Fondo-Sedimento
P3-S			1 m
P3-10	10° 20' 38.25" N	75° 30' 28.40" O	10 m
P3-F			Fondo-Sedimento
P4-S			1 m
P4-10	10° 20' 32.31" N	75° 30' 28.56" O	10 m
P4-F			
P5-S			1 m
P5-10	10° 20' 42.91" N	75° 30' 34.92" O	10 m
P5-F			
P6-S			
*P6-5	10° 20' 48.89" N	75° 30' 56.40" O	5 m
P6-F			

Estación	Latitud	Longitud	Profundidad
P7-S			
P7-10	10° 20' 25.46" N	75° 30' 54.76" O	10 m
P7-F			
P8-S			1 m
P8-10	10° 19' 31.63" N	75° 31' 4.39" O	10 m
P8-F			
P9-S			1 m
P9-10	10° 20' 26.38" N	75° 31' 4.68" O	10 m

*P6-5: punto tomado a 5 m de profundidad, debido a que la profundidad de la zona no superaba lo establecido (10 m).

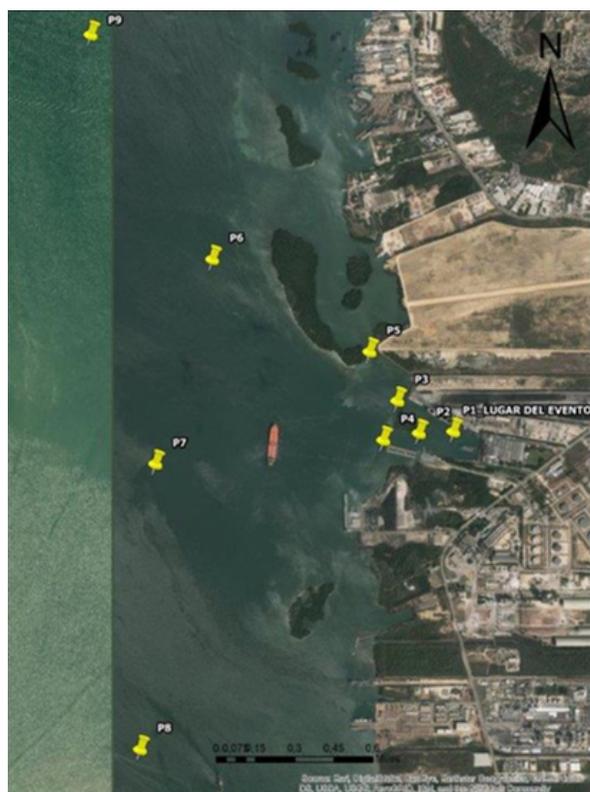


Figura 2. Mapa de identificación de puntos de muestreo.

Las muestras fueron tomadas en julio de 2019 por el equipo de trabajo del CIOH, según protocolo de muestreo establecido con ayuda de una botella Niskin (para recolección de las aguas marinas) y una draga (para recolectar el sedimento).

METODOLOGÍA

Análisis de parámetros fisicoquímicos

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio del CIOH y en las instalaciones del Grupo de Química y Medio Ambiente de la Universidad de Cartagena. Los análisis realizados se reportan en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis y métodos analíticos.

Matriz	Parámetros fisicoquímicos	Métodos analíticos
Agua	Nitritos	SM 4500-NO2-B Método colorimétrico. ED 22
	Ortofosfatos	SM 4500-P E Método de ácido ascórbico. ED 22
	Sólidos suspendidos totales	2540 D. Filtración y secado a 104°C ± 1°C A. ED 21
	pH	SM 4500-H+ B. Método electrométrico. ED 22
	Salinidad	2520 B. Electrical Conductivity Method. ED 22
	Turbidez	2130 B. Nephelometric Method. ED 23
	Hidrocarburos disueltos y dispersos	Determinación de hidrocarburos disueltos y dispersos en aguas por fluorometría. Caripol/Unesco 1980
	Sólidos disueltos	SM 2540C. Total Dissolved Solids. ED 23
Sedimento	Mercurio	SM 3112 B. ED 23

Tratamiento previo secado y tamizaje

Las muestras para el análisis de mercurio se secaron a una temperatura de 40 °C, en un horno a temperatura controlada durante 48 horas. La muestra fue tamizada empleando una malla N° 60, la cual eliminó la arena, dejando las fracciones más finas del sedimento. Esta es la fracción recomendada, debido a que en ella es donde se encuentran principalmente los metales pesados, además esta fracción se asemeja a la materia suspendida, siendo esta la vía más importante de transporte de sedimentos, por lo cual se realiza una comparación más acertada de los resultados. Se utilizó un tamiz plástico para evitar interferencias con metales (Espitia, 2014).

Análisis de mercurio total

Se pesó 1 g de sedimento, luego se adicionaron 5 ml de agua regia a muestras, patrones y blancos. Se sometieron a digestión durante un periodo de tiempo de dos horas, a una temperatura de 90 °C. Después de este tiempo se dejó reposar a temperatura ambiente y se adicionaron 15 ml de permanganato de potasio al 5 %, dejando reposar mínimo dos horas. Posteriormente, se adicionaron 6 ml de

solución de hidroxilamina al 12 %, se filtró la solución con papel filtro Whatman cualitativo. Se llevó la solución hasta volumen de 100 ml. Por último, se le adicionaron 5 ml de solución de cloruro estañoso al 10 %, al momento de hacer la lectura la cual se llevó a cabo en un Espectrom Absorción Atómica: iCE 3000 AA01183304 de vapor frío v1.30.

Preparación de la curva de calibración

Los estándares de la curva de calibración se prepararon a partir de una solución stock de mercurio de 1000 ppm, se realizó una dilución para preparar un estándar intermedio de 10 ppm a partir del cual se prepararon patrones de 1, 3, 5, 8 y 10 µg/L, los cuales fueron tratados de la misma manera que las muestras.

Tratamiento de los datos

Las discrepancias entre las concentraciones de mercurio en los diferentes puntos de muestreo se analizaron utilizando indicadores estadísticos como: la media, mediana, desviación estándar, coeficiente de variación, y el establecimiento del valor mínimo y máximo, e intervalo de confianza.

RESULTADO

En la Figura 3 se presentan los resultados de hidrocarburos disueltos y dispersos para las muestras de agua recolectadas.

De la Figura 3 se puede inferir que existe presencia de hidrocarburos en los puntos de muestreo de agua marina superficial cercanos a la zona de atracó de los barcos de cargue y descarga del puerto.

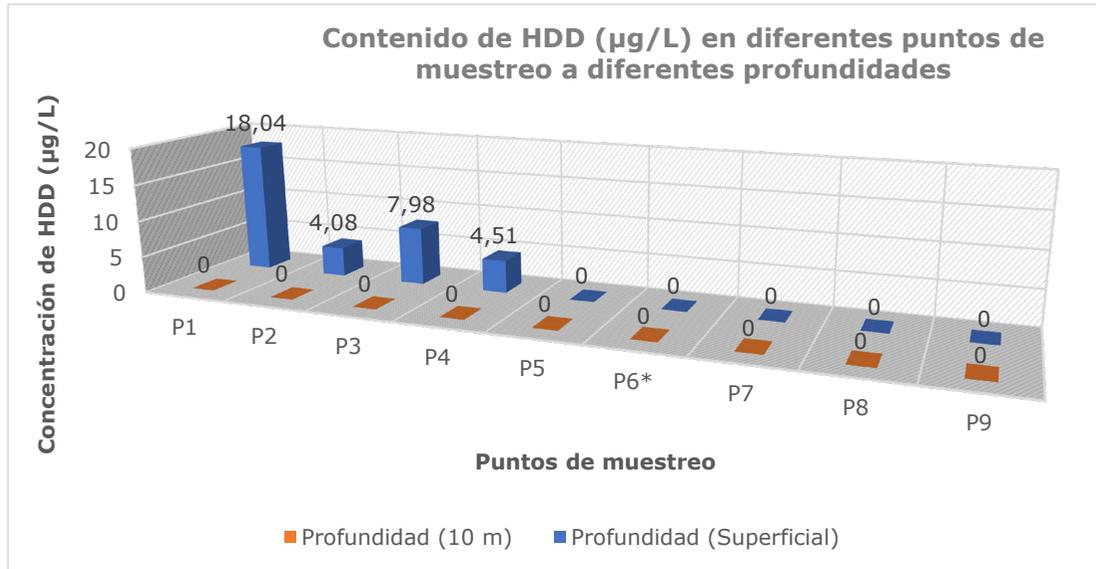


Figura 3. Contenido de hidrocarburos disueltos y dispersos en los puntos de muestreo a diferentes profundidades. (P6*: Punto tomado superficial y en 5 m).

A continuación, en la Figura 4, se presentan los resultados obtenidos de los sólidos suspendidos totales, obteniéndose que las muestras tomadas en el punto 1 presentan una mayor concentración.

En la Figura 5 se presentan los resultados obtenidos de la determinación de mercurio en los sedimentos de los nueve puntos muestreados en este trabajo.

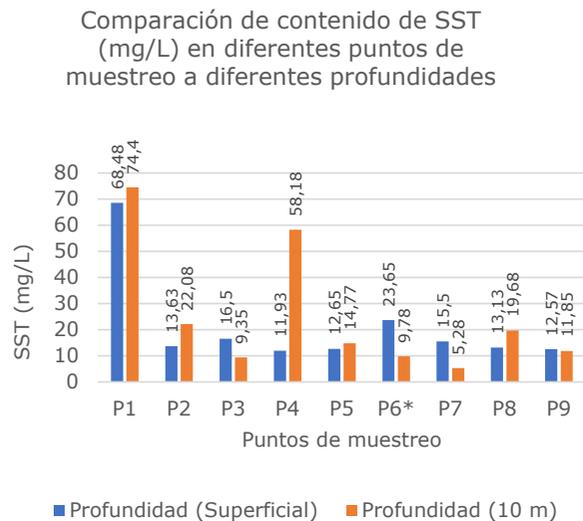


Figura 4. Concentración de SST (mg/l) en diferentes puntos de muestreo a diferentes profundidades. (P6*: Punto tomado superficial y en 5 m).

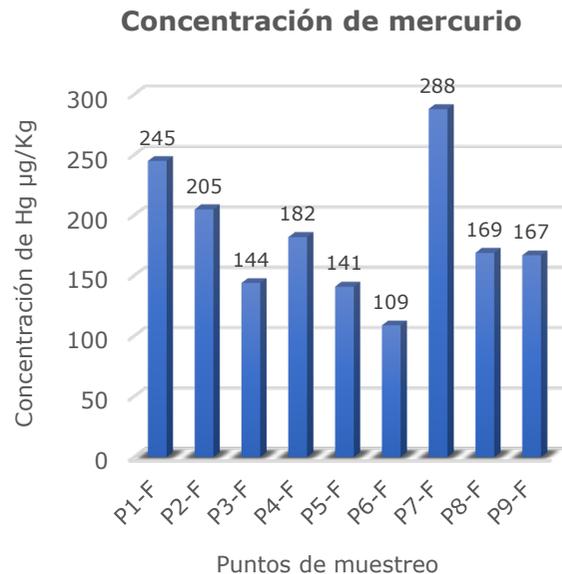


Figura 5. Concentración de mercurio (µg/Kg) vs. punto de muestreo.

A continuación se exponen en las tablas 3 y 4 los resultados de la evaluación de parámetros fisicoquímicos de las muestras de aguas tomadas a dos profundidades. Donde se muestran

los siguientes parámetros; pH, nutrientes (nitritos y fosfatos), salinidad, oxígeno disuelto, temperatura del agua, turbidez y sólidos disueltos.

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos evaluados en los puntos en aguas superficiales.

Punto (superficial)	pH (Unidad de pH)	Nitritos (mg N/L)	Fosfato (mg P/L)	Salinidad (UPS)	Oxígeno disuelto* (mg/L)	Temperatura del agua* (°C)	Turbidez (NTU)	SD (mg/L)
P1-S	8.353	0.0081	0.0155	18.9	8.47	33.7	12.47	46422
P2-S	8.459	0.0046	0.0108	19.8	8.76	33.2	13.25	14754
P3-S	8.503	0.0029	0.0056	18.9	9.92	33.2	14.94	23907
P4-S	8.448	0.0070	0.0124	18.4	8.83	33.3	10.84	22441
P5-S	8.518	0.0037	0.0103	19.1	11.11	33.3	13.93	23031
P6-S	8.470	0.0030	0.0249	22.9	8.83	32.1	13.65	26984
P7-S	8.554	0.0016	0.0476	20.5	8.87	32.2	14.04	25929
P8-S	8.514	0.0361	0.0135	19.7	8.57	32.2	14.55	13610
P9-S	8.581	0.0006	0.0141	23.0	10.82	32.1	11.62	29471

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos evaluados en los puntos de aguas a 10 metros de profundidad.

PUNTO (Profundidad en m)	pH (Unidad de pH)	Nitritos (mg N/L)	Fosfato (mg P/L)	Salinidad (UPS)	Oxígeno disuelto* (mg/L)	Temperatura del agua* (°C)	Turbidez (NTU)	SD (mg/L)
P1-10	8.082	0.0241	0.0213	34.1	3.68	29.3	1.62	45462
P2-10	8.079	0.0226	0.019	34.3	3.31	29.3	2.69	43116
P3-10	8.116	0.0243	0.0252	34.1	4.63	29.3	1.29	40947
P4-10	8.085	0.0262	0.0275	34.6	3.54	29	3.08	45412
P5-10	8.092	0.0239	0.0183	33.9	4.41	29.1	4.77	41369
P6-5	8.141	0.0128	0.0142	33.6	5.19	29.5	3.82	41563
P7-10	8.156	0.0069	0.0262	34.7	5.09	28.9	0.89	43813
P8-10	8.158	0.0073	0.0149	34.5	5.64	28.5	0.95	45935
P9-10	8.192	0.0053	0.0212	34.1	5.05	28.9	382	41899

DISCUSIÓN

En los últimos años se ha demostrado que las malas prácticas de trabajadores de los puertos de carga para la disposición de residuos generados por la carga y descarga de los transportes marítimos que atracan en ellos, así como, los accidentes ocurridos durante la navegación en el mar (derrames de petróleo o combustible) ocasionan contaminación de las aguas (W Radio, 2019; El Universal, 2018; El Tiempo, 2001). Como consecuencia de estos sucesos, se realizó un análisis de aguas superficiales de las zonas afectadas para la detección de concentraciones de hidrocarburos.

En el presente estudio se reporta presencia de hidrocarburos en cuatro puntos tomados en la superficie del agua, cercanos al puerto de carga (Fig. 1), mientras que en las muestras de agua tomadas a profundidad de 10 m de estos mismos puntos no se reporta presencia de hidrocarburos, esto es debido a que los hidrocarburos son menos densos que el agua, por lo tanto se van a encontrar en la superficie (Lovecchio, 2013; Corral, Vergara, Barragán, y Córdova, 2012). Los cinco puntos de muestreo restantes se localizan distantes al puerto de carga y en ellos no se encontró presencia de hidrocarburos, esto se debe a que los hidrocarburos se dispersan sobre la superficie de acuerdo con la dinámica de los vientos y las corrientes marinas prevalecientes en el área (Corral *et al.*, 2012).

Para el caso de las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) presentes en las muestras de agua que se muestran en la Figura 4, se observa que el punto 1 es el que presenta mayor concentración de SST, siendo este el más cercano a la plataforma de carga, lo cual corrobora la presencia de contaminantes no solubles en el medio marino, dentro de este tipo de contaminantes se encuentra el carbón, el coque, metales pesados, entre otros.

Se ha demostrado que los SST sirven como soporte y transporte de otros contaminantes, por ejemplo el mercurio (Martínez y Senior, 2001; Díaz *et al.*, 2001; Ramírez, 1991).

Los resultados de concentraciones de mercurio (Hg) en todas las muestras indican que los sedimentos en este puerto de carga de la bahía de Cartagena están contaminados con este metal pesado, al que se le han atribuido diferentes patologías neurológicas hasta el punto que pueden llegar a ser congénitas y además se

le atribuyen sintomatologías como: cefalea, falta de energía, irritabilidad, tristeza y alegría sin motivo, fácil sudoración y lagrimeo (Olivero *et al.*, 1995; Gracia, Marrugo y Alvis, 2010; Osoreo, Grández y Fernández, 2010). Los valores de Hg obtenidos en esta zona de carga tienen correspondencia con estudios como el de Cogua, Campos-Campos y Duque (2012), del cual se obtuvo un promedio de 180 µg/kg de Hg total en sedimentos colectados en cinco estaciones en la bahía de Cartagena. A pesar de que las concentraciones determinadas en este estudio se encuentran por debajo de otros estudios realizados en la bahía de Cartagena, donde la concentración de Hg se estableció en un rango de 94 µg/kg a 10293 µg/kg en sedimentos.

Otros estudios de determinación de mercurio en sedimentos realizados en la ciénaga de Ayapel y en la Ciénaga Grande de Santa Marta reportan los rangos de valores obtenidos de Hg total de 160 µg/Kg a 301 µg/Kg y de 20 µg/Kg a 109 µg/g, respectivamente (Marrugo, Lans y Benítez, 2007). Colombia no tiene una norma que regule las concentraciones de mercurio en sedimentos, pero se puede tomar como referencia para comparar las concentraciones de Hg obtenidas en este trabajo con la norma establecida por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) (0.15 mg/kg, es decir 150 µg/kg) y la Ecmdepq de Canadá (0.094 mg/kg, es decir 94 µg/kg), a partir de lo cual se puede decir que las concentraciones de mercurio presentes en los sedimentos analizados de la bahía de Cartagena están por encima de los límites máximos permisibles establecidos por la Ecmdepq y que seis de las nueve muestras de sedimentos están por encima de los límites máximos permitidos por la EPA.

Los parámetros fisicoquímicos analizados; temperatura, salinidad y nutrientes se encontraron parecidos a reportados en otras investigaciones, estando los valores determinados dentro del rango normal. Sin embargo, según lo establecido en el decreto colombiano 1594 de 1984 parámetros como pH y oxígeno disuelto están al límite superior (9.0 unidades de pH y 4 mg/l de OD) y algunos puntos por fuera del límite en aguas superficiales (Cogua *et al.*, 2012).

CONCLUSIÓN

La bahía de Cartagena, específicamente en la zona del puerto de carga muestreado, presenta concentraciones de mercurio considerables, ocasionando un aporte constante de este metal

al ecosistema marino, lo cual debe ser un llamado de atención a los organismos nacionales de medio ambiente y salud pública, teniendo en cuenta todos los problemas de salud que acarrea dicho metal. Por otro lado, la presencia de hidrocarburos en los puntos más cercanos de la plataforma de carga indica un bajo control a la emisión de contaminantes producidos por los buques que cargan y descargan en el puerto marítimo.

La recomendación propuesta es que se analicen otros tipos de contaminantes en la zona como carbón orgánico e inorgánico y otros metales como: plomo, níquel, cobre, cromo, arsénico y cadmio. Además de un seguimiento a los contaminantes ya encontrados (hidrocarburos y mercurio) para esclarecer si se trata de una contaminación creciente o residual.

LISTA DE REFERENCIAS

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2007). *Method 7473. Mercury in Solids and Solutions by Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry*. EPA.
- Cañón Páez, M. L.; Tous Herazo, G.; López, K.; López Osorio, R.; Orozco Quintero, F. J. (2007). *Variación espaciotemporal de los componentes fisicoquímico, zooplanctónico y microbiológico en la bahía de Cartagena*. *Bol. Cient. CIOH*, (25): 120-134.
- Caracol Radio (9 de julio de 2020). *Denuncia por presunto vertimiento de carbón en bahía de Cartagena*. [Archivo de video]. https://caracol.com.co/emisora/2019/07/10/cartagena/1562720058_400818.html
- Carval, J. P.; Gracia, C. A. (2019). Análisis de los efectos de la descarga del Canal del Dique sobre la estratificación salina de su desembocadura a la bahía de Cartagena. *Lámpsakos*, 1(21): 51-64.
- Casanova-Rosero, R.; Suárez-Vargas, N. P.; Zambrano-Ortiz, M. (2015). *Valoración de algunas variables fisicoquímicas indicadoras de la calidad del agua en las principales bahías de la costa Pacífica colombiana-2009*. *Bol. Cient. CIOH*, (33): 195-214.
- Castoldi, A. F.; Coccini, T.; Manzo, L. (2003). Neurotoxic and molecular effects of methylmercury in humans. *Reviews on environmental health*, 18(1): 19-32.
- Cogua, P.; Campos-Campos, N. H.; Duque, G. (2012). Concentración de mercurio total y metilmercurio en sedimento y seston de la bahía de Cartagena, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 41(2): 267-285.
- Corral, M.; Vergara, E. P.; Barragán, N. R.; Córdova, M. E. (2012). *Estudio de dispersión de hidrocarburos en medio marino*.
- Díaz, O.; Encina, F.; Chuecas, L.; Becerra, J.; Cabello, J.; Figueroa, A.; Muñoz, F. (2001). Influencia de variables estacionales, espaciales, biológicas y ambientales en la bioacumulación de mercurio total y metilmercurio en *Tagelus dombeii*. *Revista de biología marina y oceanografía*, 36(1): 15-29.
- El Tiempo. (28 de enero de 2001). Derrame de combustible en la bahía de Cartagena. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-620437>
- Environment Canada and Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (2007). *Criteria for the Assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention, Dredging and Remediation*. ECMDEPQ. 39 pp.
- España, L. (10 de julio de 2019). Dimar confirma vertimiento de carbón en la bahía de Cartagena. *RCN Radio*. <https://www.rcnradio.com/colombia/caribe/dimar-confirma-vertimiento-de-carbon-en-la-bahia-de-cartagena>.
- Espitia, N. (2014). Determinación de metales pesados en sedimentos superficiales en cuerpos de agua del canal del dique en las poblaciones de Gambote y Soplaviento (Bolívar). *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 17 (34).
- El Universal. (31 de mayo de 2018). Detectan mancha de crudo en la Bahía de Cartagena.

- El Universal*. <https://www.eluniversal.com.co/cartagena/detectan-mancha-de-crudo-en-la-bahia-de-cartagena-275141-EBEU390206>
- Gracia, L.; Marrugo, J. L.; Alvis, E. M. (2010). Contaminación por mercurio en humanos y peces en el municipio de Ayapel, Córdoba, Colombia, 2009. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 28(2): 118-124.
- Lovecchio, P. (2013). *Hidrocarburos*, 23 (134): 4 pp.
- Marrugo, J.; Lans, E.; Benítez, L. (2007). Hallazgo de mercurio en peces de la ciénaga de Ayapel, Córdoba, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 12(1): 878-886.
- Martínez, G.; Senior, W. (2001). Especiación de metales pesados (Cd, Zn, Cu y Cr) en el material en suspensión de la pluma del río Manzanares, Venezuela. *Interciencia*, 26(2): 53-61.
- Ministerio de Agricultura. (26 de junio de 1984). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto -Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. [Decreto 1594 de 1984]. DO: 36.700. https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_1594_de_1984.pdf
- Montaño; NBS. (11 de julio de 2019). Puerto en Cartagena niega que contaminó bahía con residuos de carbón. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/en-cartagena-el-puerto-si-contamino-con-residuos-de-carbon-dice-direccion-maritima-387010>
- Narváez, S.; Gómez, M.; Acosta, J. (2008). Coliformes termotolerantes en aguas de las poblaciones costeras y palafíticas de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 13 (3): 113-121.
- Olivero, J.; Mendonza, C.; Mestre, J. (1995). Mercurio en cabello de diferentes grupos ocupacionales en una zona de minería aurífera en el norte de Colombia. *Revista de Saúde Pública*, 29: 376-379.
- Osores, F.; Grández, J.; Fernández, J. (2010). Mercurio y salud en Madre de Dios, Perú. *Acta Médica Peruana*, 27(4): 310-314.
- Ramírez, A. J. (1991). Transporte fluvial de nutrientes y metales pesados al mar Caribe de Venezuela. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 7(1), 67-73.
- Trujillo-López; Guerrero-Padilla, A. (2015). Caracterización físico-química y bacteriológica del agua marina en la zona litoral costera de Huanchaco y Huanchaquito, Trujillo, Perú. *REBIOL* 2015; 35(1): 23-33, enero-junio.
- Virtanen, J. K.; Rissanen, T. H.; Voutilainen, S.; Tuomainen, T. P. (2007). Mercury as a risk factor for cardiovascular diseases. *The Journal of nutritional biochemistry*, 18(2): 75-85.
- Vivas-Aguas, L. J.; Tosic, M.; Narváez, S.; Cadavid, B.; Bautista, P.; Betancourt, J.; Parra, J.; Carvajalino, M.; Espinosa, L. (2010). Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombianos. Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia (Redcam). Invemar. *Informe técnico* 2011. Santa Marta, 229 pp.
- W Radio. (11 de julio de 2019). Investigan contaminación en bahía de Cartagena por malos procedimientos en Puerto Mamonal. *W Radio*, Redacción. <https://www.wradio.com.co/noticias/regionales/investigan-contaminacion-en-bahia-de-cartagena-por-malos-procedimientos-en-puerto-mamonal/20190711/nota/3925778.aspx>