

DIAGNÓSTICO DE LA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO DEBIDO A LA ACTIVIDAD MINERA DE ORO EN EL CANAL DEL DIQUE (DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR) Y LA COSTA CARIBE COLOMBIANA

El océano es fuente de recursos y servicios de gran valor para la humanidad. No solo provee medios de transporte y alimento, sino además servicios ecológicos, sustento económico y desarrollo cultural. Actualmente, más del 40% de la población mundial vive en zonas costeras, siendo el mar un generador de empleo y motor económico en muchas regiones [1] [2].

La extensión marítima colombiana corresponde al 47% del territorio, siendo el número de personas que subsiste de actividades económicas relacionadas con el mar igualmente grande. La continua demanda de recursos alimenticios, de transporte y ecológicos junto con el desarrollo de prácticas económicas no sostenibles conlleva a una degradación del ecosistema y ejercen presión sobre los servicios ambientales que el mar provee. Es el caso de la costa Caribe colombiana y las actividades antropogénicas que están degradando el recurso marino; la erosión de las costas, la disminución de la diversidad, el daño al producto pesquero y la contaminación de las fuentes hídricas son indicadores de la baja calidad y salud del océano.

La contaminación del océano se debe no solo a la contaminación directa en la fuente receptora como por ejemplo al arrojar residuos sólidos, derrame de sustancias y vertimiento de aguas domésticas o residuales producto del desarrollo industrial, sino que puede producirse igualmente por los sedimentos o agua contaminada que es llevada por los ríos provenientes de la porción continental y que desembocan en el mar [2] [3].

La minería de oro en su proceso de extracción que no solo degrada el suelo sino también las fuentes hídricas, en parte por la utilización de sustancias altamente tóxicas como el mercurio y cianuro. Se calcula que por cada kilogramo de oro producido, se descargan al ambiente 5 kilogramos de mercurio; una alta proporción de dicho mercurio llega al mar por escorrentía de fuentes hídricas superficiales. Se sabe que metales pesados como el mercurio, proveniente de estas actividades económicas, generalmente tienen efectos nocivos a corto o largo plazo en la salud humana y la calidad del ambiente debido a su toxicidad y su acumulación en grandes cantidades. Sus efectos principales se producen en el sistema nervioso y endocrino así como en la estructura genética del afectado [4] [5].

En la minería artesanal el mercurio es usado para separar y extraer el oro de las rocas en las que se encuentra depositado; éste se adhiere al oro para formar una

amalgama y así separarlo del material. Luego de formada la amalgama, ésta es calentada para llevar el mercurio a evaporación y así liberar el oro. La minería de oro artesanal y en pequeña escala es una de las mayores fuentes de liberación intencional de origen antropogénico en el mundo. Según PNUMA 2007, anualmente, esta actividad consume 806 toneladas y genera emisiones del orden de 150 toneladas. Las zonas de minería aurífera que no poseen técnicas de extracción sostenible son fuentes de altas concentraciones comprobadas de mercurio, siendo la causa de dispersión del mercurio en los sistemas hídricos, contribuyendo a la contaminación por metilmercurio cuando es metabolizado por los organismos en los sistemas acuáticos [9].

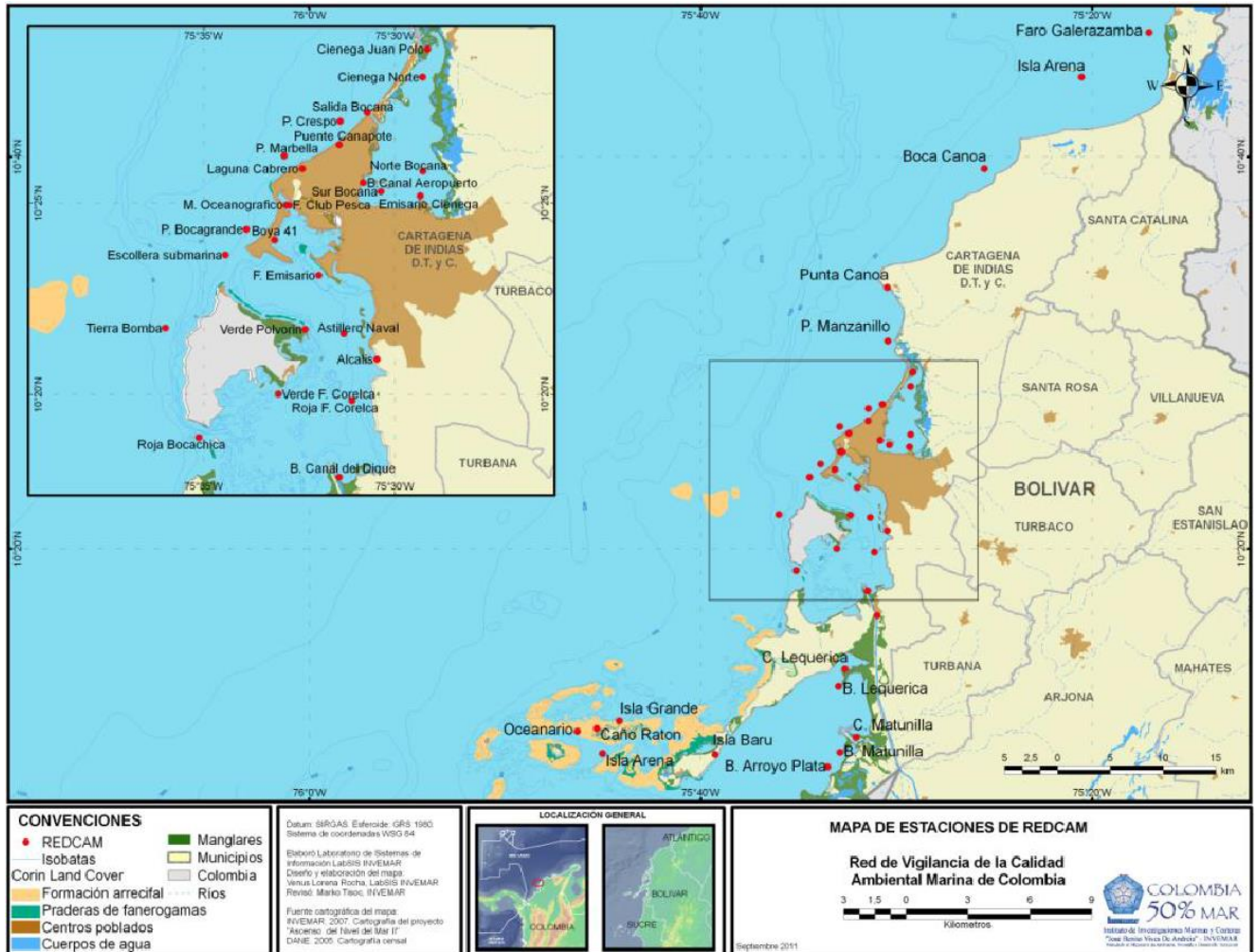
El metilmercurio es considerado como un compuesto químico mucho más tóxico que el mercurio elemental y sus sales inorgánicas; se genera a partir de la metilación del mercurio inorgánico por la acción de bacterias aerobias y anaerobias en los ecosistemas acuáticos; éste puede ser bioacumulado por organismos acuáticos y biomagnificado a través de la cadena alimenticia, afectando la flora silvestre y la fauna acuática. Alrededor del 90% de todo el metilmercurio presente en los alimentos es absorbido a través del sistema digestivo, tanto en el hombre como en los animales [6]. Así, uno de los problemas asociados a la contaminación por mercurio que afecta la vida humana es la bioacumulación, ya que el consumo de peces carnívoros que se encuentran en un nivel trófico superior, contaminados con este compuesto genera una exposición directa al metal [7] [6].

A nivel nacional, según el Mercury Watch, en 2010 Colombia liberó 75 toneladas de Mercurio al ambiente por actividades de minería de oro artesanal y de pequeña escala. Esta generación de contaminantes, así como aquellos producidos en las actividades industriales, impulsan la necesidad de determinar y valorar el estado de los ecosistemas marinos y acuáticos en Colombia.

Para el presente trabajo, y con el fin de realizar el control y la medición de parámetros e indicadores de contaminación hídrica, se empleó la información suministrada por la red de estaciones de muestreo de indicadores de calidad marina llamada REDCAM.

El departamento de Bolívar, localizado en la región Caribe, entre las coordenadas 07°00'03" y 10°48'37" de latitud norte y entre las coordenadas 73°45'15" y 75°42'18" de longitud oeste, posee algunas de estas estaciones de monitoreo, las cuales se encuentran ubicadas en la zona costera desde Galerazamba límite con el departamento del Atlántico hasta Barbacoas en el límite con Sucre, y cuyos puntos de muestreo están en la zona norte entre Galerazamba y Cartagena, la Ciénaga de la Virgen, la Bahía de Cartagena, la Bahía de Barbacoas y el archipiélago de las Islas del Rosario como lo muestra la figura 1. [8] [9].

Figura 1: Distribución de Estaciones de muestreo de la REDCAM, Caribe colombiano.



Fuente: REDCAM. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. 2012.

En el caso del departamento de Bolívar, la calidad de agua del mar Caribe se ve afectada por diversos factores entre ellos las descargas directas de fuentes domésticas e industriales y las descargas indirectas que son transportadas al mar a través de fuentes hídricas superficiales como por ejemplo el Canal del Dique, que desemboca en la bahía de Cartagena, y que drena una porción del caudal del río Magdalena, y los ríos San Jorge y Cauca (a través de la depresión Momposina) además de una intrincada red de brazos y caños.

Este sistema fluvial drena las aguas de aproximadamente 270.000 km² (correspondiente al 24% del área continental del país), llevando consigo las descargas de fuentes domésticas, industriales y agrícolas entre otras. De los ríos

pertencientes a la cuenca Caribe, el Magdalena es el que aporta el mayor caudal así como el que genera mayor impacto en las aguas marinas debido a su carga contaminante; le siguen el río Atrato y el Canal del Dique [9] [4] [3].

Entre las fuentes de contaminación de origen terrestre que aporta el departamento de Bolívar al mar Caribe se destacan los residuos sólidos, los vertimientos de aguas residuales municipales, hidrocarburos, residuos oleosos, aceites y grasas, el arrastre de sedimentos, los metales pesados y los desechos industriales, todos ellos generados en sus municipios costeros e infraestructuras como plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, emisarios submarinos, rellenos sanitarios, el sector industrial de Mamonal y la zona comercial de El Bosque, las actividades marítimas y portuarias, de refinería y manejo de hidrocarburos, y los aportes del canal del Dique. De todos ellos, los metales pesados constituyen uno de los problemas de contaminación de más difícil solución [9].

La explotación minera, es una de las actividades económicas que libera metales pesados como residuo al ambiente; los cuales en ocasiones pueden llegar a niveles significativos de contaminación, sobre todo cuando se trata de minería artesanal o de pequeña escala, las cuales no se realizan con prácticas sostenibles de modo que no se generen daños ambientales.

Según el PNUMA en el año 2011, el panorama de la contaminación hídrica en América Latina y el Caribe estaba dominado por las descargas municipales de origen doméstico e industrial, seguido de las mineras. Ambas constituían una mezcla de sustancias y compuestos que representaban entre el 90 y 95% de la contaminación que llegaba a las zonas costeras, del cual se estimaba que solo un pequeño porcentaje de las descargas recibían tratamiento [9].

Las prácticas de minera artesanal en el departamento de Bolívar y específicamente aquellas unidades de producción minera que no cuentan con las medidas ambientales adecuadas para evitar la contaminación de las fuentes hídricas y el suelo (planes adecuados de contingencia y recuperación), seguirán siendo una fuente terrestre de contaminación al recurso hídrico y marítimo, por lo que se hace necesario reducir el riesgo tomando medidas de política, integración y legalización de éstas unidades de producción mineras dentro del sector minero, e invirtiendo en la implementación de buenas técnicas de producción así como en investigación e implementación de tecnologías para reducir y controlar el problema de la contaminación por mercurio.

Directamente en la zona costera del departamento de Bolívar, se han realizado diversos estudios de contaminación por metales pesados producto de otras fuentes de contaminación como la actividad industrial. Los más relevantes se han llevado a

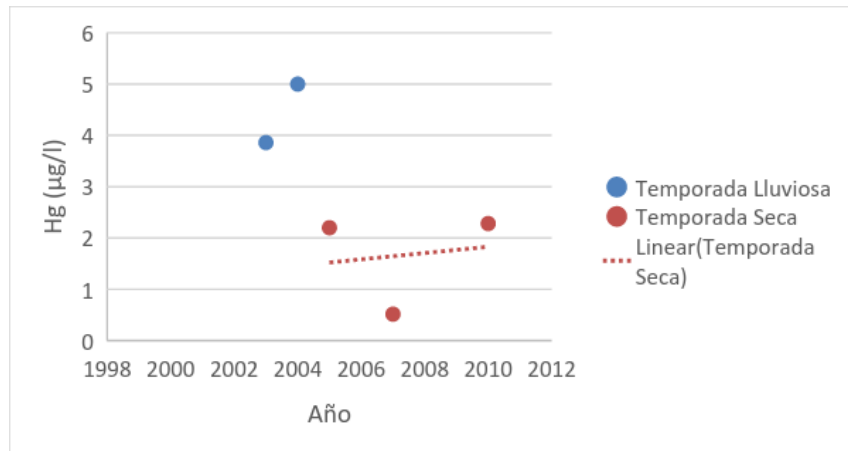
cabo en la Bahía de Cartagena, especialmente sobre contaminación con metilmercurio debido a la existencia en los años 90 de la fábrica de Cloro-Soda que vertía mercurio, la cual empleaba este metal como cátodo en la electrólisis para la producción de cloro. Esta compañía química operaba desde 1972. Diversas investigaciones fueron realizadas en la zona llegando a la conclusión de que la Bahía de Cartagena se encontraba contaminada por mercurio, el Comité de Producción Ambiental de la Bahía de Cartagena junto con otras entidades en 1976, solicitaron al Ministerio de Salud la comprobación de la contaminación por mercurio. En el mes de junio del mismo año, se confirmó la presencia de mercurio en ostras, langostinos, langostas y otros productos alimenticios de la clase de los mariscos extraídos de la Bahía de Cartagena con niveles de hasta 103 ppm (mg/l); posteriormente en el mes de agosto se reportó el valor de 1,04 mg/l de mercurio proveniente de una muestra tomada en los afluentes de la fábrica, dichos valores fueron superiores a los límites permisibles máximos de mercurio en aguas superficiales. 15 muestras adicionales fueron tomadas dando valores mayores al límite permisible en todas ellas [10] [7].

A partir de esta evidencia, se han llevado a cabo diversos proyectos enfocados en este tipo de contaminación en la Bahía de Cartagena. Tales estudios, han revelado la persistencia de la contaminación no solo con mercurio sino con otros metales pesados potencialmente tóxicos tanto en muestras de sedimentos como de aguas. Las investigaciones sobre metales pesados en esta zona crítica del Caribe colombiano han evidenciado también la presencia de éstos en sedimentos con niveles de mercurio de 7.67 µg/g, valor por encima de la norma permisible (0.5 µg/g). Para el 2004 aún persistían concentraciones de mercurio, generados hace 20 años por la fábrica de Cloro Soda [9] [4] [1].

Hasta el 2010, la red de estaciones de monitoreo REDCAM reportó mediciones de mercurio en muestras de agua a lo largo de la Bahía de Cartagena en microgramos por litro (µg/l) en las temporadas secas y lluviosas en el país (Gráfica 1), (Gráfica 2) y (Gráfica 3).

De acuerdo con la gráfica 1, el agua fluvial de la Bahía de Cartagena presentó concentraciones de mercurio inferiores a los 5,3 µg/l de mercurio, las cuales son cercanas a 4 µg/l en épocas lluviosas e inferiores a 2,5 µg/l en época seca. Ambos casos corresponden a eventos aislados, pero por la amplitud de los datos en las dos temporadas se puede concluir que el aporte de mercurio por aguas fluviales a la Bahía es mayor en temporada lluviosa que en temporada seca. Los datos no permiten predecir si con el aumento de los años la carga contaminante de mercurio también aumenta en la fuente fluvial [11].

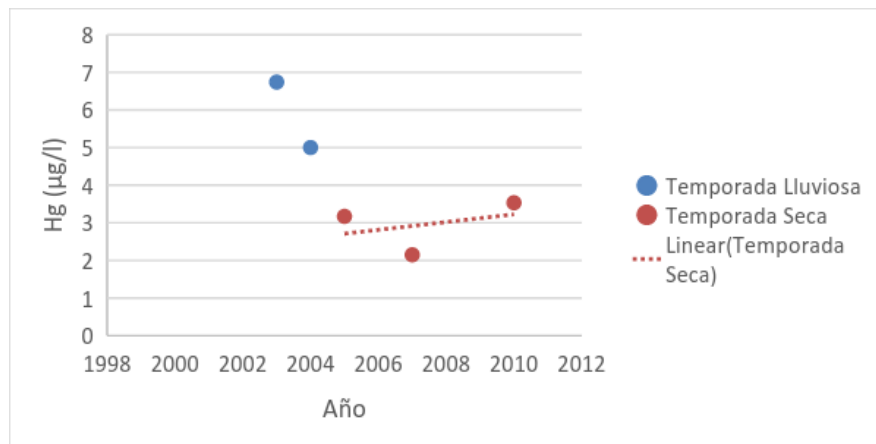
Gráfica 1. Niveles estadísticos de mercurio del agua fluvial en la Bahía de Cartagena.



Fuente: Elaboración propia, basada en datos obtenidos de REDCAM [11]

Para el caso del agua estuarina, esta presentó un mayor pico de concentración de mercurio que las muestras tomadas del sustrato de agua fluvial, ya que en el 2003 la concentración de mercurio en el agua fue cercana a 7 µg/l. Por su parte, el valor mínimo de concentración de mercurio es 2,15 µg/l en el 2007 para una temporada seca (Gráfica 2). Al igual que en el caso anterior, el mayor aporte de contaminante se realizó en temporada lluviosa; los datos no son representativos, por lo que no se puede establecer un comportamiento del contaminante o predecir su aumento o disminución, así como asociarlo a la actividad minera ilegal de oro en Colombia.

Gráfica 2: Niveles estadísticos de mercurio del agua estuarina en la Bahía de Cartagena.

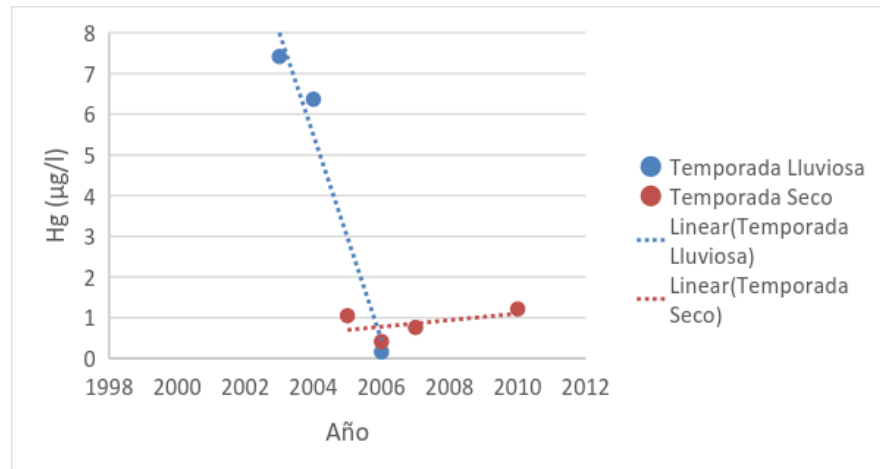


Fuente: Elaboración propia, basada en datos obtenidos de REDCAM [11]

Finalmente, los niveles de mercurio por litro de sustrato agua en la zona de agua marina presentaron los mayores valores reportados (gráfica 3). Los valores en temporada lluviosa fueron superiores a los obtenidos en la temporada húmeda,

siendo el máximo valor registrado en 2003 de 7,42 $\mu\text{g/l}$ de mercurio. A diferencia de los escenarios anteriores, en temporada seca, la concentración de mercurio fue inferior a 1,2 $\mu\text{g/l}$, dato reportado en 2010, esto probablemente debido al poco arrastre de sedimentos en esta época gracias a la disminución del volumen de agua de los ríos por las bajas precipitaciones.

Gráfica 3: Niveles estadísticos de mercurio del agua marina en la Bahía de Cartagena.



Fuente: Elaboración propia, basada en datos obtenidos de REDCAM [11]

De los tres escenarios analizados, las muestras tomadas de sustrato de agua estuarina, corresponden a las mayores concentraciones de mercurio en el agua, lo cual genera interrogantes sobre este suceso. Las descargas de mercurio a fuentes hídricas a pesar de estar reglamentadas, son generadas de forma ilegal por diferentes industrias, además de la producida por actividades de minería de oro. De esta manera, el escenario descrito en para las muestras de aguas estuarinas (gráfica 2) puede ser causa de actividades industriales ilegales. Este tema y su respectiva investigación se debería considerar para futuros estudios y proyectos de investigación.

Según la información dispuesta por el sistema de información de la REDCAM, existe presencia de trazas de mercurio en el agua fluvial, el agua estuarina y el agua marítima del Caribe colombiano. El aporte de mercurio al océano se hace en gran parte por los sistemas fluviales, donde se presenta en todos los casos una de las mayores concentraciones de mercurio por cada litro de agua de muestra tomada. Las mayores concentraciones se presentan en temporadas lluviosas debido, posiblemente, al arrastre de sedimentos como consecuencia del aumento en los caudales por precipitación; el volumen de agua aumenta, así como la porción de sedimentos transportados por los ríos, donde se acumula gran parte del mercurio que es liberado a las fuentes hídricas por actividades mineras de oro [6].

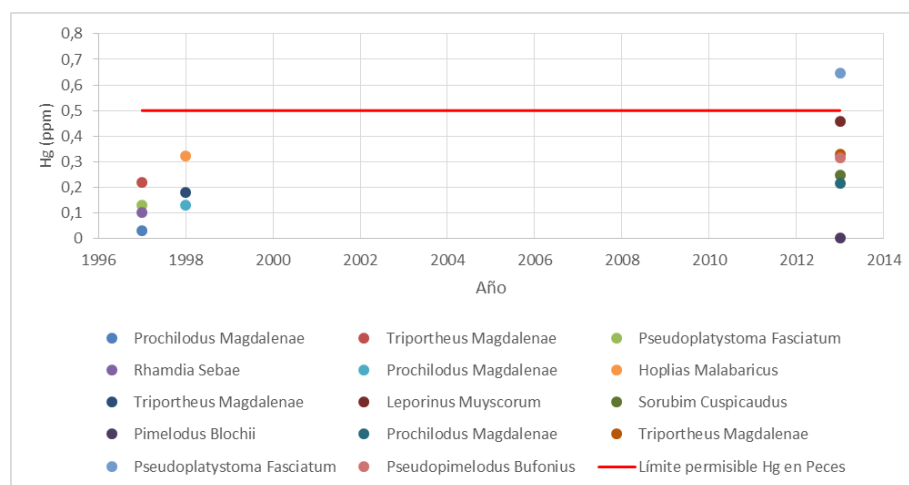
Los datos analizados poseen falencias en el periodo de toma de muestras, ya que éstas corresponden a dos temporadas climáticas diferentes y no poseen más de tres mediciones en los años; por tanto no es posible establecer una correlación en el comportamiento de los datos. Así mismo, no es posible predecir el fenómeno de la contaminación acuática por mercurio, ni se pueden establecer patrones de comportamiento relacionados con el aumento o la disminución de la minería ilegal de oro en el departamento de Bolívar o en Colombia.

Por otra parte, en 1996 la Universidad de Cartagena, realizó un estudio sobre la presencia y niveles de mercurio en tejido muscular de peces, en el canal del Dique (aproximadamente a 300 km de distancia de la zona minera del sur de Bolívar, el cual es fuente directa de aporte de contaminantes por arrastre de sustratos hacia el mar).

Entre junio de 1995 y febrero de 1996, se analizaron muestras de tejido muscular de cuatro tipos de peces (bocachico, arenca, barbudo y bagre pintado), las cuales fueron suministradas directamente por pescadores de tres localidades a lo largo del canal del Dique (Soplaviento, Gambote y María La Baja). Las concentraciones medias de este metal en músculo aumentaron en el siguiente orden: bocachico < barbudo < bagre < arenca. Las concentraciones medias de mercurio en todas las muestras oscilaron entre 0.074 y 0.219 µg Hg/g en peso húmedo [6].

En la gráfica 4, se representan los resultados de algunos estudios realizados en relación al contenido de mercurio en muestras de peces obtenidos en la cuenca del río Magdalena, específicamente en la subcuenca del canal del Dique en el departamento de Bolívar.

Gráfica 4: Contenido de mercurio en muestras de peces en el Canal del Dique.



Fuente: Elaboración propia basada a partir de Mancera & Álvarez [12], Lanceros [13] y Olivero y Jhonson [6].

Internacionalmente y en Colombia, se ha adoptado como el máximo valor permisible de mercurio en peces para consumo humano una concentración de 0,5 ppm ($\mu\text{g/g}$) de mercurio en músculo húmedo; esto con el fin de evitar daño a la salud humana por los problemas asociados con la intoxicación por mercurio.

Algunos otros estudios como los realizados por Leidy Lanceros en 2013, indican que existen peces con altos contenidos de mercurio en el músculo; tal es el caso del bocachico (*Prochilodus magdalenae*), cuyas muestras analizadas excedían la máxima concentración permitida para consumo humano, lo que implica un riesgo para la salud humana. Existen otros casos de especies de peces con altas concentraciones de mercurio en el músculo como el comelón (*Leporinus Muyscorum*), las cuales han ido aumentando con relación a las muestras tomadas al final del siglo pasado [13].

Entre las hipótesis que se han generado, gracias a las investigaciones realizadas, es que parte del mercurio de la Bahía de Cartagena es ser transportado tanto por deposición atmosférica seca como húmeda durante algunas épocas del año, ocasionando la incorporación del metal en el mar. Olivero y Jhonson en 2012, en su libro “El lado gris de la minería del oro: La contaminación con mercurio en el norte de Colombia”, afirman que aunque las concentraciones de mercurio detectadas en las muestras de arena recolectadas en el canal del Dique son altas (superiores a $0.219 \mu\text{g Hg/g}$ en peso húmedo), no alcanzan a ser lo suficientemente altos para sobrepasar los límites internacionales vigentes de $0.5 \mu\text{g Hg/g}$ en peces para consumo humano. No obstante, considerando que la arena posee un peso promedio de 94.5 g ($n=28$) y la concentración media de mercurio encontrada en esta especie en María la Baja fue de $0.150 \mu\text{g Hg/g}$, el consumo diario de tres arenas representarían una ingestión total de $297.7 \mu\text{g Hg/semana}$, valor muy cercano al límite provisional propuesto para consumo tolerable semanal de mercurio de $300 \mu\text{g}$, lo que representa un riesgo potencial de acumulación de mercurio en personas que consumen como mínimo tres arenas por día [6].

De esta manera, la contaminación de fuentes hídricas y el mar por metales pesados como el mercurio, producto de la actividad minera del oro, va en detrimento de la seguridad alimentaria. La existencia de peces contaminados no solo implica un riesgo para la salud de los consumidores directos, sino que reduce la disponibilidad de alimentos de calidad para aquellas poblaciones que subsisten de la pesca en río y mar.

Por lo anterior, es necesario ampliar el conocimiento de los niveles actuales de mercurio en la costa Atlántica para determinar acciones que disminuyan el riesgo de afectación los habitantes locales así como el daño a los servicios económicos y ambientales que brinda el océano. Por este motivo se recomienda a las autoridades

locales, regionales y nacionales competentes, adelantar estudios relacionados con el tema.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. ESCOBAR, La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar, Santiago de Chile: Naciones Unidas, 2002.
- [2] COMISIÓN COLOMBIANA DEL OCÉANO, «Comisión Colombiana del Océano,» 27 Octubre 2014. [En línea]. Available: http://cco.gov.co/prensa/ano2014/septiembre%202014/boletin_apc_cco_ohi.pdf.
- [3] INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS "JOSÉ BENITO VIVES DE ANDRÉIS" - INVEMAR, «Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras del caribe y pacífico colombianos,» Invemar, Santa Marta, 2014.
- [4] INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS "JOSÉ BENITO VIVES DE ANDRÉIS" - INVEMAR, «Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia,» INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS "JOSÉ BENITO VIVES DE ANDRÉIS" - INVEMAR, Santa Marta, 2004.
- [5] S. SPIEGEL y M. VEIGA, «Global impacts of mercury supply and demand in small-scale gold mining,» Gobaal Mercury Project Coordination Unit, Nairobi, 2007.
- [6] J. OLIVERO y B. JHONSON, El Lado Gris de la Minería del Oro: La Contaminación con Mercurio en el Norte de Colombia, Cartagena: Universidad de Cartagena, 2012.
- [7] INSTITUTO NACIONAL DE SALUD, «Contaminación con mercurio por la actividad minera,» *Biomédica*, 2012.
- [8] ARTISANAL GOLD COUNCIL, «Mercury Watch: Charting the improvement of artisanal small-scale gold mining,» 24 Noviembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.mercurywatch.org/>.
- [9] RED DE VIGILANCIA PARA LA CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE LAS AGUAS MARINAS Y COSTERAS DE COLOMBIA - REDCAM, «Diagnóstico y Evaluación de la Calidad Ambiental Marina en el Caribe y Pacífico Colombiano,» INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS "JOSÉ BENITO VIVES DE ANDRÉIS" - INVEMAR, Santa marta, 2012.

- [10] E. GUERRERO, M. RESTREPO y E. PODLESKY, «Mercurio: Un contaminante ambiental ubicuo y peligroso para la salud humana,» *Biomédica*, pp. 144-154, 1978.
- [11] REDCAM, «Invemar: Sistema de información de la red de vigilancia de la calidad marina de Colombia,» 2012. [En línea]. Available:
<http://cinto.invemar.org.co/siam/redcam/estadisticas/index.jsp>.
- [12] N. MANCERA y R. ÁLVAREZ, «Current state of knowledge of the concentration of mercury and other heavy metals in fresh water fish in Colombia,» *Acta biológica colombiana*, pp. 3-23, 2006.
- [13] L. LANCHEROS, «Content of mercury in muscle of some commercial fish species present in eight sampling sites from the Magdalena river basin (low, medium and high),» Bogotá, 2013.
- [14] L. PEREZ, «Contaminación de la Bahía de Cartagena,» Ministerio de Salud, Bogotá, 1983.