

Distribución de mercurio en la Bahía de Cienfuegos. Evaluación de *Perna viridis* (Mollusca: Bivalvia) como bioconcentrador

Distribution of mercury in Cienfuegos Bay using Perna viridis (Mollusca: Bivalvia) as a bioconcentrator organism

Lic. Arianna García-Chamero, Lic. Miguel Gómez-Batista, Dr. C. Carlos. M. Alonso-Hernández, MsC. Yusmila Helguera-Pedraza, Tec. Donaida Chamero-Lago, Tec. Ana M. Torres-Martín

arianna@ceac.cu; ceac@ceac.cu

Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), Cienfuegos, Cuba

Recibido: 16 de febrero 2015

Aprobado: 8 de mayo 2015

Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar la distribución del mercurio en la Bahía de Cienfuegos utilizando *P. viridis* como organismo bioconcentrador. El rango de las concentraciones de mercurio encontradas en el sedimento fue entre 0,04-0,09 mg kg⁻¹, en agua de mar entre 0,19-0,33 µg L⁻¹ y en *P. viridis* entre 0,024-0,026 mg kg⁻¹; ninguno de los valores sobrepasaron el límite máximo permisible, exceptuando la fracción del sedimento menor de 0,5 mm en la estación Prácticos del Puerto. *P. viridis* es un bajo bioconcentrador de mercurio, sin embargo puede ser utilizado como centinela de la calidad de las aguas de la Bahía de Cienfuegos, pues bioconcentra aproximadamente cien veces los niveles de mercurio presentes en el agua de mar.

Palabras clave: mercurio, Bahía de Cienfuegos, sedimento, agua de mar, *Perna viridis*, bioconcentrador.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the distribution of mercury in Cienfuegos Bay using *P. viridis* as a bioconcentrator organism. The average concentrations in sediment ranged between 0,04 and 0,09 mg kg⁻¹, in seawater between 0,19 and 0,33 mg L⁻¹ and in *P. viridis* between 0,024 and 0,026 mg kg⁻¹, none value exceeded the maximum permissible limit, except for the fraction of sediment 0,5-0,25 mm in Prácticos del Puerto station. *P. viridis* is a low mercury bioconcentrator organism, however it can be used as a sentinel of Cienfuegos Bay waters quality, because it bioconcentrates about 100 times the concentrations of mercury in seawater.

Keywords: mercury, Cienfuegos Bay, sediment, seawater, *Perna viridis*, bioconcentrator.

Introducción

Entre los metales pesados más tóxicos se encuentra el mercurio (Hg), causante de muchos problemas ambientales y de salud [1]. Una vez en el agua, el mercurio sufre un proceso de biotransformación por la acción de los microorganismos, convirtiéndose en especies químicas más peligrosas, como sus derivados orgánicos. Estas especies son posteriormente adsorbidas y acumuladas por los organismos vivos o pasan a los sedimentos costeros, e ingresan a la trama trófica, donde pueden ocurrir procesos de bioconcentración y bioacumulación hacia los consumidores [2-8].

La Bahía de Cienfuegos, principal recurso natural y de importancia económica de la provincia de Cienfuegos, no está exenta de una posible contaminación por este metal, ya que la misma se encuentra expuesta a severos impactos antropogénicos provenientes de la Ciudad de Cienfuegos, del polo industrial y los ríos Damují, Salado, Arimao y Cauna [9]. Entre los contaminantes presentes en el ecosistema han sido cuantificados elementos tóxicos, entre ellos, hidrocarburos del petróleo [10], plaguicidas organoclorados [11], arsénico [2, 3, 12] y otros metales pesados [5, 13, 14].

En el caso del mercurio, las mediciones en las aguas marino costeras son muy complejas, debido a los bajos niveles encontrados y las interferencias de otros elementos químicos similares. Para superar estas limitaciones, muchos programas de monitoreo utilizan organismos bioconcentradores o bioacumuladores de la contaminación ambiental. La ventaja de estos organismos es que permiten integrar la información sobre los niveles de contaminantes en el agua [4].

Para la selección e introducción de los organismos bioacumuladores, es necesario conocer los factores de concentración del elemento a estudiar en la especie seleccionada, es decir, la razón de la concentración del elemento en el tejido de la especie con relación a la concentración del elemento en el agua. Así, a partir de las concentraciones del elemento en el tejido pueden ser estimadas las concentraciones del elemento en el agua [6-15].

El uso de organismos filtradores sésiles como bioconcentradores del mercurio y otros metales pesados en ecosistemas costeros, ha sido bien documentado a nivel internacional, en particular el uso de la especie *Perna viridis* [14].

En Cuba, se tuvo conocimiento de la existencia de esta especie en el año 2005, específicamente en la Bahía de Cienfuegos. Un año más tarde se reportó su presencia en

todo el litoral de la bahía [16]. Desde el 2010, se han desarrollado estudios e investigaciones de esta especie bajo el Proyecto GEF “Control y Manejo de Especies Exóticas”, lo que ha permitido conocer la distribución de sus poblaciones en este ecosistema. Como parte de este proyecto, ha sido evaluada la contaminación de pesticidas organoclorados en la bahía, utilizando *P. viridis* como especie bioconcentradora [4].

A partir de la necesidad-problema descrita anteriormente el objetivo general de este estudio fue evaluar la distribución del mercurio en la Bahía de Cienfuegos, utilizando *Perna viridis* como organismo bioconcentrador y específicamente determinar la concentración de mercurio en agua, sedimento y tejido de *P. viridis* en estaciones seleccionadas de la Bahía de Cienfuegos, determinar los factores de concentración en *P. viridis* y evaluar el nivel de contaminación y toxicidad del mercurio en la zona estudiada.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

La Bahía de Cienfuegos se encuentra ubicada entre los 20°1' y 22°11" N y 80°23' 30" y 80°33' 42" W, en la región centro sur de Cuba. Presenta un bajo submarino desde Cayo Carenas hasta Punta la Cueva a una profundidad de 1,5 m que la divide en dos lóbulos naturales bien definidos, norte y sur, a la vez que ejerce gran influencia en la circulación de las masas de agua de la bahía. El lóbulo norte abarca el área de mayor actividad industrial y urbana, mientras que el lóbulo sur se haya más próximo al canal de entrada [10].

Muestreo

Se seleccionaron cuatro sitios de muestreo dentro de la bahía, donde estudios anteriores reportaron la presencia de *P. viridis*, y teniendo en cuenta que fueran representativos del área según el patrón de corrientes [4-9]. En el lóbulo norte se estudiaron tres estaciones: Calicito, Prácticos del Puerto y Punta la Cueva. Calicito se encuentra alejada de las principales fuentes industriales de contaminación, sin embargo recibe la descarga del río Damují.

Prácticos del Puerto y Punta la Cueva son zonas que se encuentran influenciadas por la Ciudad de Cienfuegos. En el lóbulo sur se estudió una estación, la Base Submarina, la cual se encuentra alejada de las principales fuentes contaminantes, y muy cercana al

canal de entrada. Los muestreos se realizaron en los meses de febrero y marzo del 2014, época en que la Bahía de Cienfuegos presenta un rango de temperatura de 25,6-27,4 °C, de salinidad de 32,9-33,5 ‰, y un pH de 8,18 [9].

Mediante buceo ligero fueron colectadas tres réplicas de sedimento superficial por estación de muestreo. Las muestras de agua se tomaron a 50 cm de la superficie utilizando una botella Niskin con una capacidad de 5 L. Los mejillones fueron colectados también mediante buceo autónomo y en dependencia de la abundancia existente en el lugar se extrajeron entre 15 y 30 organismos, con una talla que osciló entre 80 y 100 mm. Todas las muestra colectadas fueron conservados a 40 °C para su traslado al Laboratorio de Ensayos Ambientales, donde fueron pretratados y determinado su contenido de mercurio.

Pretratamiento

El sedimento fue liofilizado por 36 h. Una porción de cada muestra de sedimento fue molida y tamizada por un tamiz de 0,25 mm. Una de las muestras fue fraccionada pasando el sedimento por el siguiente juego de tamices: 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,250 mm, 0,125 mm y 0,063 mm. La fracción retenida en cada tamiz fue colectada, macerada y determinado el contenido de mercurio. En todos los casos fueron anotados los pesos.

Con el objetivo de estimar la concentración de mercurio no asociada a la matriz del sedimento otra porción de cada una de las muestras fue incinerada a 550 °C en una mufla, y posteriormente analizada para determinar la concentración de mercurio en ellas. Para el análisis del contenido de mercurio en el agua y las partículas suspendidas, primeramente se filtró la cantidad que pudiera pasar por un filtro de 0,22 µm tipo Millipore GS. Del agua filtrada se tomaron 200 mL, y el filtro fue secado en un horno a 45 °C por 24 h, para el posterior análisis de las partículas suspendidas. En todos los casos, se anotó el peso y volumen.

Con los mejillones de cada estación se conformaron tres grupos réplicas. El tejido de cada grupo fue extraído y posteriormente fue homogenizado en una batidora. Las muestras se mantuvieron en húmedo a 4 °C hasta que fueron analizadas. Para medir el contenido de mercurio en cada una de las matrices, se utilizó el sistema Milestone DMA-80 Analizador Directo de Mercurio (Direct Mercury Analyzer, *en inglés*).

Para evaluar el grado o nivel de contaminación de los sedimentos estudiados, se utilizó el índice de geo-acumulación (Igeo). Este indicador de la calidad del sedimento se divide en siete clases [17] y se calcula por la ecuación 1:

$$I_{geo} = \log_{\mathbf{2}} \left(\frac{Cn}{1.5 Bn} \right) \quad (1)$$

donde **Cn**: concentración del metal, **Bn**: valor de fondo (tomado como el valor mínimo obtenido en este estudio) y **1,5**: factor incluido para la corrección por la variación en la composición geoquímica del sedimento.

El factor de concentración se calculó mediante la fórmula propuesta por Eka Putri [18], donde utilizaron como organismo bioconcentrador, *P. viridis*, según la ecuación 2.

$$FC = \frac{\text{Concentración de Hg en el tejido de } P. \text{ viridis}}{\text{Concentración de Hg en agua de mar}} \quad (2)$$

Resultados y discusión

Las concentraciones medias de mercurio analizadas en el sedimento total se encontraron en el rango de 0,04-0,09 mg kg⁻¹. Según el Análisis de Varianza realizado, con un nivel de confianza de 95 % ($p \leq 0,05$) entre los sitios estudiados, no existen diferencias significativas (figura 1).

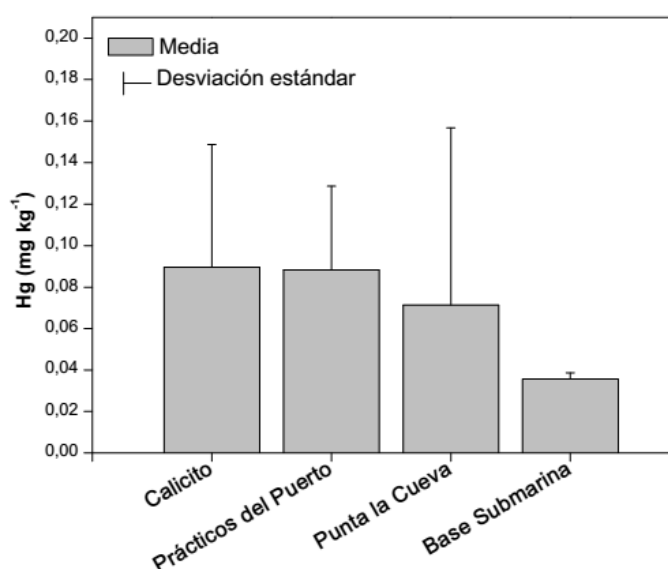


Figura 1. Media y desviación estándar de las concentraciones de mercurio en el sedimento total de las estaciones estudiadas en la Bahía de Cienfuegos

Los valores no sobrepasaron el límite de $0,15 \text{ mg kg}^{-1}$ establecido por la norma *Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality* (en inglés) [19].

En los cuatro sitios estudiados, el 85 % (valor promedio) de la concentración de mercurio se encontró asociado a la fracción orgánica del sedimento, con un rango de 66-98,6 %. En la fracción inorgánica, los valores obtenidos se encontraron en un rango de 1,4-34 % (figura 2).

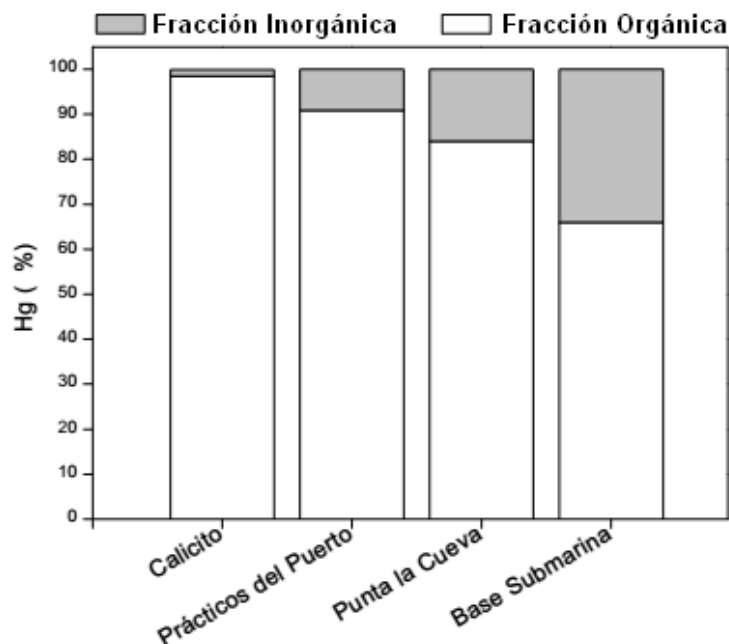


Figura 2. Por ciento de mercurio total asociado a las fracciones orgánicas e inorgánicas del sedimento en las estaciones estudiadas en la Bahía de Cienfuegos

Según los resultados obtenidos en las distintas fracciones de sedimento revela, que para las estaciones de Calicito, Punta la Cueva y Base Submarina, las concentraciones de mercurio se mantienen constante en todas las fracciones estudiadas, con un ligero incremento de las concentraciones de mercurio en las partículas menores de $0,063 \text{ mm}$. Sin embargo, para la estación Prácticos del Puerto un incremento significativo en las concentraciones de mercurio es encontrado a partir de las fracciones menores de $0,5 \text{ mm}$, con un valor de $0,35 \text{ mg kg}^{-1}$ (figura 3).

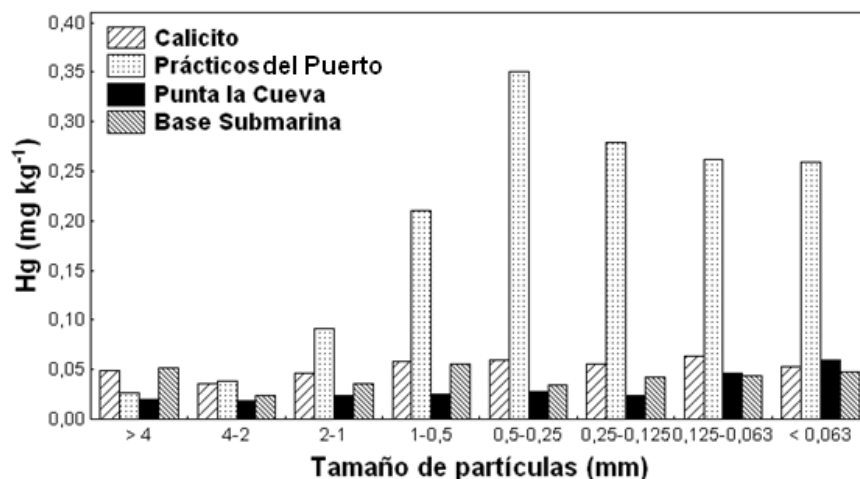


Figura 3. Concentración de mercurio en diferentes tamaños de partículas del sedimento en las estaciones estudiadas en la Bahía de Cienfuegos

Según Peña Icart, los metales de origen antropogénico se encuentran ligados, fundamentalmente, a la fracción menor de 0,063 mm. Estas partículas presentan una gran área superficial con relación a su volumen, lo que favorece la adsorción de los metales en las mismas [20]. Sin embargo se encontró un incremento en la concentración de mercurio en los Prácticos del Puerto a partir de las fracciones menores de 0,5 mm. Estos resultados sugieren la necesidad de una revisión de los procedimientos de análisis de contaminantes por metales pesados en el Laboratorio de Ensayos Ambientales del CEAC, pues a partir del sedimento total, pudiera ser diluida la señal de la contaminación antrópica, la cual es asociada principalmente a las partículas menores de 0,250 mm.

Los resultados de la aplicación del índice de geo-acumulación en las muestras de sedimentos y sus fracciones analizadas, como se observa en la figura 4, muestran que las estaciones Calicito (C), Punta la Cueva (PC) y Base Submarina (BS) fueron evaluadas como no contaminadas o moderadamente contaminadas, al obtener un $I_{geo} < 1$; sin embargo, en la estación Prácticos de Puerto (PP), el índice de geo-acumulación alcanzó valores entre 3 y 4, clasificando a las fracciones de sedimentos menores de 0,5 mm entre fuerte y extremadamente contaminada.

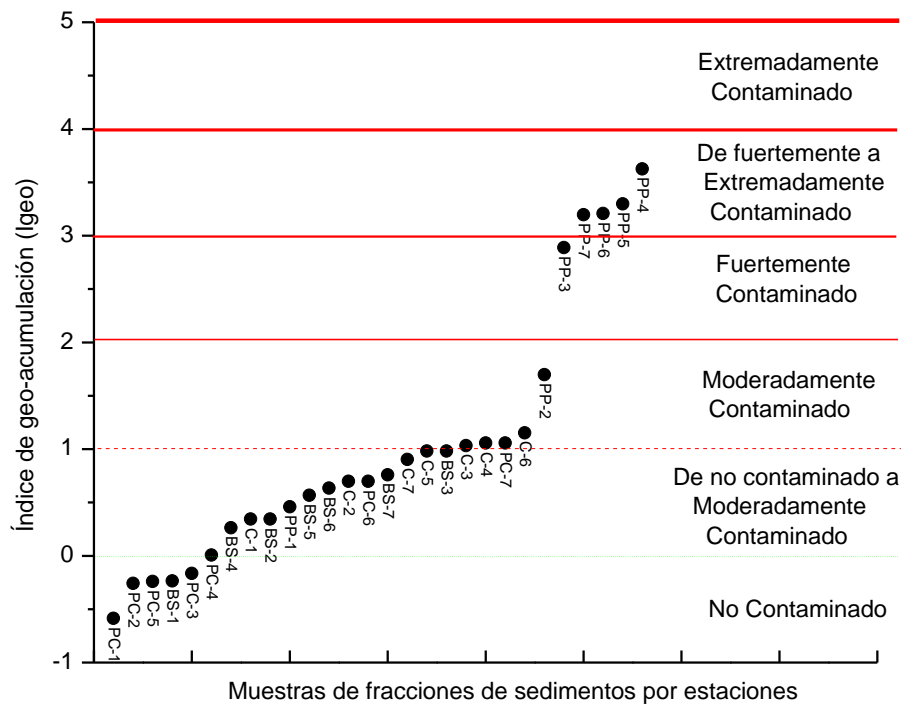


Figura 4. Índice de geo-acumulación calculado para las fracciones del sedimento analizadas en las estaciones estudiadas en la Bahía de Cienfuegos

Los números en las etiquetas de las estaciones indican la fracción granulométrica: (1) fracción 4 – 2 mm; (2) fracción 2 – 1 mm; (3) fracción 1 – 0,5 mm; (4) fracción 0,5 – 0,25 mm; (5) fracción 0,25 – 0,125 mm; (6) fracción 0,125 – 0,063 mm; (7) fracción < 0,063 mm.

Estos niveles superan los criterios de calidad establecidos en $0,170 \mu\text{g g}^{-1}$ para evitar efectos tóxicos severos en organismos acuáticos [21], por lo que la vida acuática en esta área del ecosistema se encuentra en riesgo, afectando los demás niveles de la cadena trófica.

Los niveles de mercurio analizados en agua de mar se encontraron en un rango de $0,19-0,33 \mu\text{g L}^{-1}$. En cuanto a las concentraciones de mercurio asociado a las partículas suspendidas el rango, estuvo entre $0,03-0,10 \mu\text{g L}^{-1}$ con una media \pm Desviación Estándar de $0,07 \pm 0,03 \mu\text{g L}^{-1}$, mientras que para el mercurio disuelto se encontró entre $0,17-0,25 \mu\text{g L}^{-1}$ con una media \pm Desviación Estándar de $0,22 \pm 0,04 \mu\text{g L}^{-1}$ (figura 5).

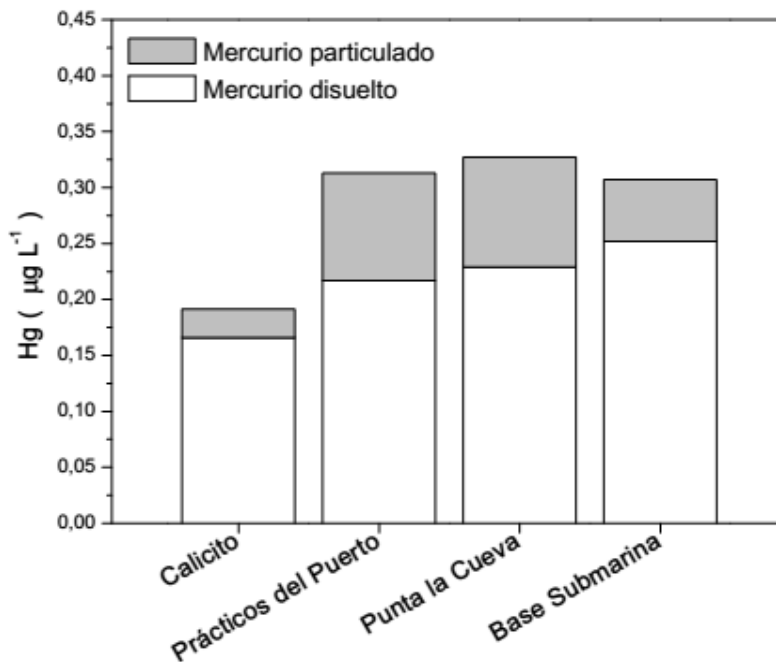


Figura 5. Concentraciones de mercurio total, disuelto y asociado a las partículas suspendidas en las estaciones estudiadas en la Bahía de Cienfuegos

Los valores de mercurio en el tejido de *P. viridis* no mostraron diferencias significativas entre los sitios muestreados, con un nivel de confianza de 95 % ($p \leq 0,05$). El rango de las concentraciones fue de 0,024-0,026 mg kg^{-1} obteniéndose una media \pm Desviación Estándar de $0,025 \pm 0,003 \text{ mg kg}^{-1}$ (figura 6).

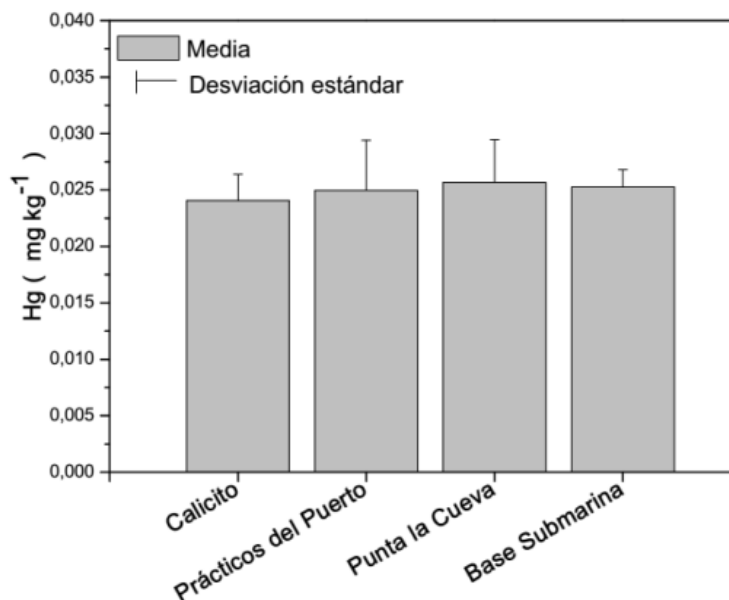


Figura 6. Valores medios y desviación estándar de las concentraciones de mercurio en *P. viridis*, en las estaciones estudiadas en la Bahía de Cienfuegos

Los valores de mercurio obtenidos en el agua de mar y en *P. viridis* no sobrepasaron el límite máximo permitido por las Normas Cubanas de $0,50 \mu\text{g L}^{-1}$ [22], y $0,5 \text{ mg/kg}$ [23], respectivamente.

El factor de concentración de los puntos de muestreo tuvo un promedio de 91,6. El valor más alto de este indicador se obtuvo en la estación de Calicito con un valor de 125,74 y el menor en Punta la Cueva con un valor de 78,49 (tabla 1).

**TABLA 1. FACTOR DE CONCENTRACIÓN (FC)
DE MERCURIO EN *Perna viridis***

Estación de muestreo	FC
Calicito	125,74
Prácticos del Puerto	79,77
Punta la Cueva	78,49
Base Submarina	82,30
Media	91,6

Según las categorías propuestas por el Consejo Nacional de Investigadores de Estados Unidos, *National Research Council United States (NRC US)* en 1989, y el valor del factor de concentración medio obtenido en este estudio, *P. viridis* se clasifica como un organismo bajo acumulador de mercurio, sin embargo, los resultados demuestran que *P. viridis* puede ser utilizada para estimar las concentraciones de este metal en el agua de mar de la Bahía de Cienfuegos, ya que bioconcentra aproximadamente cien veces la cantidad de mercurio que hay en el agua de mar.

Conclusiones

El promedio de las concentraciones de mercurio en el sedimento de los sitios estudiados en la Bahía de Cienfuegos oscila en el rango de $0,04-0,09 \text{ mg kg}^{-1}$; se encuentran asociados, mayormente a la fracción orgánica y por debajo del límite máximo permisible, según los criterios de calidad establecidos. Sin embargo, las fracciones menores de $0,5 \text{ mm}$ de los sedimentos superficiales en la estación Prácticos del Puerto se clasifican de fuerte a extremadamente contaminadas por mercurio, y superan los límites que provocan efectos nocivos en la vida acuática.

La concentración de mercurio en agua de los sitios estudiados en la Bahía de Cienfuegos se encuentra en un rango entre $0,19-0,33 \mu\text{g L}^{-1}$, encontrándose

mayormente asociada a la fase disuelta y por debajo del límite máximo permisible, según la Norma Cubana 25: 1999.

*Las concentraciones de mercurio en el tejido de *Perna viridis* de los sitios estudiados en la Bahía de Cienfuegos oscilan entre 0,024-0,026 mg kg⁻¹, y se encuentran por debajo del límite máximo permisible, según la Norma Cubana 493: 2008.*

*Aun cuando *Perna viridis* en la Bahía de Cienfuegos se cataloga, según los criterios internacionales, como un organismo bajo bioconcentrador de mercurio, esta especie puede ser utilizada como organismo centinela en el programa de monitoreo de la calidad de las aguas de la Bahía de Cienfuegos, pues bioconcentra aproximadamente cien veces los niveles de mercurio presentes en el agua de mar.*

Referencias bibliográficas

1. MERO VALAREZO, M. "Determinación de metales pesados (Cd y Pb) en moluscos bivalvos de interés comercial de cuatro esteros del golfo de Guayaquil". Maestría en Ciencias, Universidad de Guayaquil, 2010.
2. COSTA, M. *et al.* "Mercury in tropical and subtropical coastal environments". *Environmental Research*, 2012, 119, 88-100.
3. DÍAZ ASECIO, L. Programa de monitoreo del bentos en la Bahía de Cienfuegos como herramienta científica en función del MICAC. Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez", 2006.
4. EKA PUTRI, L.; DWI PRASETYO, A.; ARIFIN, Z. "Green mussel (*Perna viridis* L.) as bioindicator of heavy metals pollution at Kamal estuary, Jakarta Bay, Indonesia". *Journal of Environmental Research And Development*, 2012, 6(3).
5. FATTORINI, D. *et al.* "Chemical speciation of arsenic in different marine organisms: Importance in monitoring studies". *Marine Environmental Research*, 2004, 58(2-5), 845-850.
6. FERNÁNDEZ GARCÉS, R.; ROLÁN, E. *Primera cita de *Perna viridis* (L.,1758) (bivalvia; mytilidae) en aguas de Cuba*. Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos y Museo de Historia Natural. Cienfuegos, 2005.
7. FUNG, C. N. *et al.* "Mussel-based monitoring of trace metal and organic contaminants along the east coast of China using *Perna viridis* and *Mytilus edulis*". *Environmental Pollution*, 2004, 127(2), 203-216.

8. GAONA, X.; VALIENTE, M. "Stability study on a Westöön-based methodology to determine organomercury compounds in polluted soil samples". *Analytica Chimica Acta*, 2002, 480, 219-230.
9. SEISDEDU LOSA, M. "Variaciones espaciales y temporales en indicadores de la calidad ambiental de las aguas de la Bahía de Cienfuegos, Cuba". *Investigaciones Marinas*, 2006, 27(2), 159-164.
10. TOLOSA, I.; MESA-ALBERNAS, M.; ALONSO-HERNÁNDEZ, C. M. "Inputs and sources of hydrocarbons in sediments from Cienfuegos bay, Cuba". *Marine Pollution Bulletin*, 2009, 58(11), 1624-1634.
11. TOLOSA, I.; MESA-ALBERNAS, M.; ALONSO-HERNÁNDEZ, C. M. "Organochlorine contamination (PCBs, DDTs, HCB, HCHs) in sediments from Cienfuegos bay, Cuba". *Marine Pollution Bulletin*. 2010, 60(9), 1619-1624.
12. FATTORINI, D. *et al.* "Chemical speciation of arsenic in different marine organisms: Importance in monitoring studies". *Marine Environmental Research*, 2004, 58(2-5), 845-850.
13. GONZÁLEZ, H. "Heavy-Metal Surveys in Sediments of five Important Cuban Bays". *Biogeochemistry*, 1991a, 14 (2), 113-128.
14. GONZÁLEZ, H. "Heavy metal surveys in sediments of five important Cuban Bays". *Biogeochem*, 1991b, 14, 113-12.
15. KIMBROUGH, K. L.; JOHNSON, W. E.; LAUENSTEIN, G. G.; CHRISTENSEN, J. D.; APETI, D. A. . An Assessment of Two Decades of Contaminant Monitoring in the Nation's Coastal Zone, Silver Spring, MD., NOAA Technical Memorandum, NOS NCCOS. 2008, Vol 74, 105 p.
16. FERNÁNDEZ GARCÉS, R.; ROLÁN, E. *Primera cita de Perna viridis (L.,1758) (bivalvia; mytilidae) en aguas de Cuba*. Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos y Museo de Historia Natural. Cienfuegos, 2005.
17. MÜLLER, G. "Die Schwermetall belastung der sedimenten des Neckars und Seiner Nebenflusse". *Chemiker-Zeitung*, 1981, 6, 157-164.

18. EKA PUTRI, L.; DWI PRASETYO, A.; ARIFIN, Z. “Green mussel (*Perna viridis* L.) as bioindicator of heavy metals pollution at Kamal estuary, Jakarta Bay, Indonesia”. *Journal of Environmental Research And Development*. 2012, 6(3).
19. PEÑA ICART, M. Desarrollo y aplicación de metodología mediante la simulación de las condiciones digestivas de peces para la evaluación de la biodisponibilidad de metales en sedimentos marinos. Universidad de Cadiz, 2012.
20. BURTON, G. A. “Sediment quality criteria in use around the world”. *Limnology*, 2002, 3, 65-75.
21. NORMA CUBANA 25. Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero. Especificaciones, 1999.
22. NORMA CUBANA 493. Contaminantes metálicos en alimentos - regulaciones sanitarios, 2008.