

Metales traza en sedimentos de la bahía de Cayo Moa (Cuba): evaluación preliminar de la contaminación

Yosbanis Cervantes Guerra
Yuri Almaguer Carmenate
Allan Pierra Conde
Gerardo Orozco Melgar
Hans-Juergen Gursky

Resumen

En este artículo se evalúan los niveles de cuatro elementos traza: arsénico (As), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn) en sedimentos superficiales de la bahía de Cayo Moa, en la cual la actividad humana ha incidido desde mediados del pasado siglo, paralelamente al desarrollo de una de las regiones mineras más importante de Cuba. Para evaluar el grado de contaminación de los sedimentos se utilizaron tres métodos fundamentales: la comparación con otros ecosistemas marinos, la determinación del nivel de enriquecimiento metálico mediante el cálculo del Factor de Contaminación, y la interpretación de los datos obtenidos con base en criterios de calidad. El rango de concentraciones varió entre 7-153 μgg^{-1} para As, 18-175 μgg^{-1} para Cu, 5-62 μgg^{-1} para Pb y de 46-527 μgg^{-1} para el Zn. La distribución espacial de las concentraciones mostró valores altos en toda la bahía y zonas aledañas, con variaciones según el elemento analizado; los mayores niveles de As se encontraron en las desembocaduras de los ríos Moa y Cayo Guam. El Cu, Pb y Zn están en mayor proporción en el interior de la bahía, específicamente en el punto P5, aunque en los puntos ubicados en el sur de Cayo Moa Grande los valores de estos contaminantes fueron también elevados. Los resultados muestran una elevada concentración de As, Cu, Pb y Zn; los niveles de contaminación revelados en este estudio permiten clasificar algunos puntos analizados como altamente contaminados o con un potencial de riesgo biológico alto.

Palabras clave

Bahía de Cayo Moa; factor de contaminación; metales traza; sedimentos marinos.

Trace Metals in Moa Cay's Sediments(Cuba): Preliminary Site Contamination Assessment

Abstract

This work presents an evaluation of four trace elements (arsenic, As; copper, Cu; lead, Pb; and zinc, Zn) contained in the superficial sediments of Cayo Moa Bay. This area has been impacted by human activity since the middle of the last century with the exploitation of one of the most important mines of Cuba. Three basic methods were used to evaluate the range of concentration: comparison with other marine ecosystems, determination of metal concentration by calculating the contamination factor, and interpretation of the data obtained based on quality criteria. The range of concentrations varied from 7-153 $\mu\text{g g}^{-1}$ for As, 18-175 $\mu\text{g g}^{-1}$ for Cu 5-62 $\mu\text{g g}^{-1}$ for Pb and 46-527 $\mu\text{g g}^{-1}$ for Zn. The spatial distribution of concentrations shows high values throughout the bay and surrounding areas, with variation according to the elements analyzed. The higher values of As were found at the mouth of Moa and Cayo Guam rivers. High amounts of Cu, Pb, and Zn were found in the inner bay specifically in P5; however; these contaminants were also in large quantities in spots localized at the south of Cayo Moa Grande. The results obtained show enrichment of the studied elements in the bay's sediments and that according to the level of contamination some of the areas studied can be classified as highly polluted or as a potential biological risk.

Keywords

Cayo Moa Bay; contamination factor; trace metals; marine sediments.

1. INTRODUCCIÓN

Los estudios acerca de la composición y caracterización de los metales pesados en los sedimentos de ambiente marino son de gran interés, atendiendo a la capacidad del sedimento para concentrar e integrar a los ecosistemas los metales disueltos y convertirse en zonas potenciales de riesgo ambiental (Palanques *et al.* 1990; Gutiérrez *et al.* 1994; González *et al.* 2009).

Metales como el arsénico (As), el zinc (Zn), el cobre (Cu) y el plomo (Pb) son elementos recurrentes en los problemas derivados de la contaminación ambiental en zonas cercanas a asentamientos humanos (Papakostidis *et al.* 1975; Grimanis *et al.* 1977; Amat *et al.* 2002; González *et al.* 2009; Galán *et al.* 2009), de ahí que la cuantificación de estos metales en los sedimentos de dichas zonas permite establecer los niveles de concentración característicos de ese ambiente y revelar situaciones anómalas.

En general, se considera que la movilidad de los metales pesados es muy baja, quedando acumulados en los primeros centímetros del sedimento y siendo lixiviados a los horizontes subsuperficiales en muy pequeñas cantidades. Por tal razón, la presencia de altas concentraciones en el horizonte superficial resulta un buen criterio de diagnóstico de contaminación antrópica.

La bahía de Cayo Moa, situada al noreste de la provincia de Holguín, ha sufrido en sus costas una gran alteración debida a la actividad minera metalúrgica (Rodríguez *et al.* 2002; Rodríguez *et al.* 1996; Hernández *et al.* 2009; Montes de Oca 2009). Tales alteraciones tienen su origen desde mediados del siglo pasado y se han incrementado con el desarrollo industrial y urbano de la ciudad de Moa. Entre los principales impactos de las labores mineras en Moa están la desaparición de extensas áreas de bosques, la construcción de trochas de exploración geológica y caminos mineros, y la formación de grandes depósitos de colas industriales, todo lo cual ha propiciado el acrecentamiento de los procesos erosivos en las tierras emergidas, con el consiguiente aumento de la carga sedimentaria que llega a la zona marina transportada por las corrientes superficiales (Rodríguez *et al.* 2002; Cervantes *et al.* 2009; Montes de Oca 2009).

El área investigada tiene un substrato compuesto por rocas ultrabásicas serpentizadas (Rodríguez 1998) con alto grado de alteración y sometidas a una intensa actividad tectónica. En la región, el grado de serpentización es variable; sobre el substrato serpentizado yacen depósitos cuaternarios, ubicados espacialmente en todo el litoral o muy cercanos a este (Rodríguez & Batista 2007).

En el fondo de la bahía predominan sedimentos clásticos friables cuaternarios de carácter biodetrítico y terrígeno. La litología está representada por cuatro horizontes, de abajo hacia arriba: arena calcárea, cieno carbonatado arenoso, cieno carbonatado limoso y cieno terrígeno (Menéndez 2001; Azcuy *et al.* 2001).

El régimen de corrientes en la bahía de Cayo Moa está regido por el efecto de la marea, observándose un movimiento neto del agua en dirección oeste, durante el período llenante, y menos intenso, al este, durante el vaciante (Menéndez 2001); esto implica que gran parte de los sedimentos arrastrados por los ríos y la escorrentía lleguen a la bahía y se redepositen en el entorno costero de la ciudad de Moa.

El presente trabajo prevé una evaluación preliminar de los niveles de contaminación antrópica en los sedimentos superficiales de la bahía de Cayo Moa, atendiendo a la acumulación de cuatro elementos traza: arsénico (As), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se decidió evaluar la concentración de los elementos traza (As, Cu, Pb y Zn) en los sedimentos de la bahía de Cayo Moa atendiendo a que, por su disociación con la geología de la zona, constituyen geoindicadores de la contaminación antrópica. Considerando la complejidad de los ecosistemas presentes en la bahía, los aspectos ambientales que la conforman y la incidencia de la actividad antrópica, la región para su estudio se dividió en tres zonas:

1. Desembocadura de ríos: se monitorearon las desembocaduras de los ríos Cayo Guam, Yagrumaje y Moa (P1, P2, P3 respectivamente). Las profundidades no excedieron el metro.
2. Línea costera de la ciudad de Moa: es el área que intercambia con el medio urbano, con profundidades que no exceden los tres metros; se muestreó en tres puntos: P4, P5 y P6.
3. Cayo Moa Grande: es el área que abarca parte de la porción sur del cayo, las profundidades oscilan entre uno y dos metros; aquí se ubicaron los puntos de muestreo P7 y P8.

En dos campañas se colectaron ocho muestras de sedimentos en la bahía en 12,45 km a través de la línea de costa (Figura 1). Se seleccionaron zonas alrededor de la bahía, no así de la parte central, debido a que en esta porción se realiza el dragado de sedimentos de forma continua y las muestras podrían no ser representativas. También se tomaron muestras de sedimentos en las desembocaduras de los ríos Moa, Yagrumaje y Cayo Guam (afectados por la actividad minera de la región), así como en dos puntos próximos a Cayo Moa Grande. A juicio de los autores, constituyen estas las principales áreas que enmarcan la bahía de Cayo Moa.

2.1. Determinación del contenido total de metales traza en sedimentos

La preparación de la muestra se inició con el secado a 60 °C por 24 horas hasta llegar al peso específico. La muestra fue disgregada a polvo fino mediante un mortero de ágata. La solución del As, Cu, Pb y Zn existentes en los sedimentos se realizó mediante una digestión ácida de 0,5 g de sedimento seco con mezcla de ácidos de calidad Suprapur®: 5 mL de HNO₃ (concentrado), 10 mL de HF (concentrado) y 7 mL de HClO₄ (concentrado) hasta su sequedad. El residuo se disolvió con 10 mL de HCl (concentrado), se trasvasijó a matraz de teflón y fue aforado a 25 mL con agua desionizada pura de 18,2 MΩ cm⁻¹. Las determinaciones se llevaron a cabo mediante un ICP Varian Vista MPX Axial .



Figura 1. Puntos de muestreo de sedimentos en la Bahía de Cayo Moa (Imagen tomada de Google Earth, 2011).

2.2. Comparación con otros ecosistemas marinos

Las concentraciones de metales traza en los sedimentos de la bahía de Cayo Moa se compararon con las concentraciones reportadas de estos elementos en varios ecosistemas marinos de Cuba y otras regiones del mundo.

2.3. Valoración del grado de contaminación

Para determinar el estado de enriquecimiento de As, Cu, Pb y Zn en los sedimentos se usó el método del Factor de Contaminación (FC), el cual se define como la relación entre la concentración del elemento en

la muestra (Me) y la concentración del elemento correspondiente a su valor de base (Me)_{BL} (Rubio *et al.* 2000).

$$FC = (Me) / (Me)_{BL}$$

Carballeira *et al.* (1997) establecen los siguientes rangos de clasificación para este factor:

FC	Grado de Contaminación
< 1	Ausente o bajo
1-3	Moderado
3-6	Considerable
> 6	Muy alto

2.4. Interpretación de los datos con base en criterios ecotoxicológicos

Para la interpretación y comparación de los resultados se utilizaron los límites propuestos por Long *et al.* (1995) para caracterizar la contaminación en sedimentos. Estos investigadores estudiaron e identificaron los efectos que ocasionan en los organismos y en el ecosistema la acumulación de nueve metales pesados (As, Cr, Cd, Pb, Cu, Ni, Zn, Hg, Ag). Ellos definieron los valores de ERL como la concentración más baja de un metal que produjo efectos adversos en el 10 % de las muestras. De igual forma el ERM designa el nivel en el cual la mitad de los estudios refirió efectos dañinos. Estos criterios han sido ampliamente aceptados y se refieren en estudios realizados por la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU (USEPA), así como en los realizados por Accornero *et al.* (2008).

En la Tabla 1 aparecen los límites de evaluación ecotoxicológica propuestos para sedimentos estuarinos por Long *et al.* (1995). Estos límites tienen dos valores de referencia para la concentración de metales contaminantes en sedimentos: la concentración más baja de un metal en sedimentos a partir de la cual se pueden producir efectos adversos en seres vivos (ERL) y el nivel máximo tolerable (ERM); valores superiores a este último son considerados muy tóxicos (Accornero *et al.* 2008)

Tabla 1 Límites de evaluación ecotoxicológica propuestos por Long *et al.* (1995) para sedimentos estuarinos

Metal	ERL *	ERM*
Arsénico	8,2	70
Cobre	34	270
Plomo	47	220
Zinc	150	410

* Las unidades están en $\mu\text{g g}^{-1}$

Según Long *et al.* (1995) cuando:

- la concentración del metal sea menor que el ERL establecido para este, los niveles de contaminación no son significativos
- la concentración del metal sea mayor que ERL y menor que ERM, significa ambiente contaminado
- la concentración del metal sea mayor que ERM, el ambiente es tóxico.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización de los sedimentos

El color de los sedimentos varió entre el negro y el carmelita-rojo, pasando por diferentes matices en dependencia del área estudiada (Tabla 2). Así, los que se encuentran más afectados por el material en suspensión que llega al medio marino por los ríos Moa y Yagrumaje tienen una coloración rojiza, similar al mineral laterítico procesado por las empresas del territorio. Vale destacar que los sedimentos obtenidos en el punto P3 poseen una coloración negra, muy similar a las colas depositadas en las proximidades de la desembocadura, lo cual puede estar motivado por la erosión de este material producida por la esorrentía. La granulometría, en la mayoría de los casos, indica la presencia de arcillas o mezclas de arcillas con diferentes tipos de arenas.

Tabla 2. Características físicoquímicas de los sedimentos superficiales de fondo

Estación	Color (visual)	Textura (visual)
P1	Negro-gris con vetas rojas	Arena fina
P2	Carmelita con vetas negras	Arcilla
P3	Negro	Arcilla-arena fina
P4	Carmelita-negro	Arena-arcilla
P5	Carmelita-negro	Arcilla-arena
P6	Gris-negro	Arcilla-arena fina
P7	Negro	Arcilla
P8	Gris-negro	Arcilla

El área menos afectada, desde el punto de vista del contenido metálico, fue la del punto de muestreo P4 (Figura 2); esta área se encuentra resguardada del impacto antrópico y su granulometría corresponde a sedimentos más gruesos, por lo que desde el punto de vista químico-físico no se favorece su enriquecimiento en metales, ya que estos tienden a ser más abundantes en los sedimentos finos debido a la alta superficie específica de los mismos (ofrecen una mayor adsorción) y también debido a la atracción iónica de la carga negativa de las partículas arcillosas (Rubio *et al.* 2000).

Por otro lado, las concentraciones de As y Pb en especial fueron bajas, por lo que se decidió tomar estos valores como referencia (valores de base) de un área no contaminada (Tabla 3).

Tabla 3. Concentración de elementos traza tomados como referencia de sedimentos marinos no contaminados

Concentraciones encontradas en P4*			
As (μgg^{-1})	Cu (μgg^{-1})	Pb (μgg^{-1})	Zn (μgg^{-1})
7	18	5	46

* Se asumen como valores de base $(\text{Me})_{\text{BL}}$ para el cálculo de FC.

Estudios realizados con anterioridad en la región expresan que los niveles de contaminación de los sedimentos en esta área son el resultado del vertimiento de residuales industriales y domésticos (Rodríguez *et al.* 1996; Rodríguez *et al.* 2002; Hernández *et al.* 2009; Montes de Oca 2009). El punto más afectado, atendiendo al contenido metálico, fue el P5 (Figura 2).

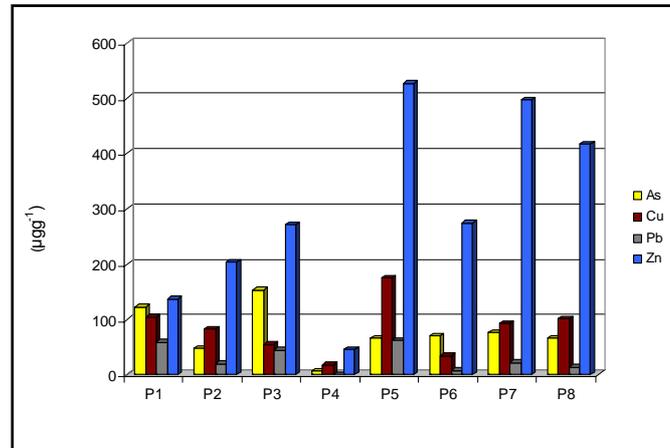


Figura 2. Contenido de metales pesados en los puntos muestreados.

3.2. Comparación con otros ecosistemas marinos

En la Tabla 4 se muestran las concentraciones de As, Cu, Pb y Zn obtenidos en los sedimentos de la bahía de Cayo Moa y las concentraciones de estos elementos en otros ecosistemas marinos.

La concentración de metales traza en la bahía de Cayo Moa es comparable con los obtenidos en otras bahías cubanas localizadas en regiones con gran influencia de la industria y densamente pobladas (ej. Santiago de Cuba, La Habana y Cienfuegos), aunque los valores de Cu y Pb reportados en las bahías de La Habana y Santiago de Cuba (Tabla 4) superan los obtenidos en Moa. Al igual que en el resto de las bahías estudiadas en Cuba, en Moa el Zn constituye el elemento contaminante más nocivo, lo cual incide negativamente en la salud de los ecosistemas presentes en la zona.

Los niveles de Cu y Zn obtenidos en Moa son superiores a los encontrados en la bahía de Levisa, no obstante a que esta igualmente se halla afectada por la escorrentía proveniente de diversas áreas mineras (con mineral laterítico) que abastecen la planta metalúrgica de Nicaro. En el caso de Levisa, el Pb muestra resultados superiores y no se tiene referencia del As. En ese acuatorio los residuos industriales, tanto sólidos como líquidos, también contaminan la bahía (Chabalina & Beltran 2005).

Tabla 4. Concentración de elementos traza en ambientes sedimentarios marinos

Lugar	Tipo de Ecosistema	As*	Cu*	Pb*	Zn*	Referencias
Bahía de Cayo Moa (Cuba)	Bahía	7-153	18-175	5-62	46-527	Este estudio.
Manzanillo (Cuba)	Bahía (Desarrollo industrial)	28	45	46	69	Amat et al.
La Habana (Cuba)	Bahía	---	65-260	65-334	80-497	Chabalina & Beltran
Matanzas (Cuba)	Bahía	---	15-60	20-56	20-152	Chabalina & Beltran
Levisa (Cuba)	Bahía (Desarrollo industrial)	---	1-91	4-96	2-174	Chabalina & Beltran
Santiago de Cuba (Cuba)	Bahía (Desarrollo industrial)	---	35-194	7-213	102-603	Chabalina & Beltran
Cienfuegos (Cuba)	Bahía (Desarrollo industrial)	---	32-144	6-103	57-195	Chabalina & Beltran
Nipe (Cuba)	Bahía	---	9-40	2-28	28-96	Chabalina & Beltran
Golfo de Nicaya (Costa Rica)	Golfo	---	64	5	71	Garcia et al.
Golfo Dulce (Costa Rica)	Golfo	---	87	6	96	Garcia et al.
Culebra (Costa Rica)	Bahía	---	58	3	66	Garcia et al.
Mar Caribe (Costa Rica)	Costa	---	52	6	84	Garcia et al.
Golfo Saranoikos (Grecia)	Golfo (Desarrollo industrial)	0,7-70	---	---	45-1800	Papakostidis et al.
Golfo de Cádiz (España)	Golfo (Desarrollo industrial)	300-850	900-1830	260-930	1400-2300	Ruiz et al.
Ría de Vigo (España)	Estuario (Desarrollo industrial)	---	20	25	191	Rubio et al.

* Las unidades están en μgg^{-1}

A pesar de los altos niveles de contaminación encontrados en la bahía de Cayo Moa, el estudio comparativo muestra que a nivel nacional e internacional existen otras bahías con concentraciones superiores de elementos traza.

3.3. Factor de contaminación

En la Tabla 5 se muestra el resultado del FC para los cuatro metales analizados. Se puede percibir que existe un grado de contaminación considerable en todo el acuatorio. Los niveles más elevados de Cu, Pb y Zn se obtuvieron para el punto P5. El As fue elevado en los puntos P1 y P3, lo cual se asocia al vertimiento de residuales industriales en las cuencas aledañas a la bahía.

El cálculo de FC permitió conocer que el Zn es el elemento contaminante de mayor representatividad en el acuatorio y que el P5, ubicado en la línea costera, es el punto de mayor contaminación por metales pesados en la bahía.

Tabla 5. Factor de Contaminación calculado para As, Cu, Pb y Zn en los sedimentos de la Bahía de Cayo Moa

Punto de monitoreo	As	Cu	Pb	Zn
P1	17,57	5,77	11,8	6,52
P2	6,85	4,61	4	9,71
P3	21,85	3,05	9	12,9
P5	9,42	9,72	12,4	25,09
P6	10	1,88	1,6	13,04
P7	10,85	5,16	4,4	19,85
P8	9,42	5,61	2,8	23,66

3.4. Interpretación de los datos con base en criterios ecotoxicológicos

Atendiendo a los resultados obtenidos, en la Figura 3 se muestra la magnitud de la contaminación en las áreas estudiadas. Se expresa el por ciento de sedimentos contaminados y depende de la concentración de metales traza en cada punto.

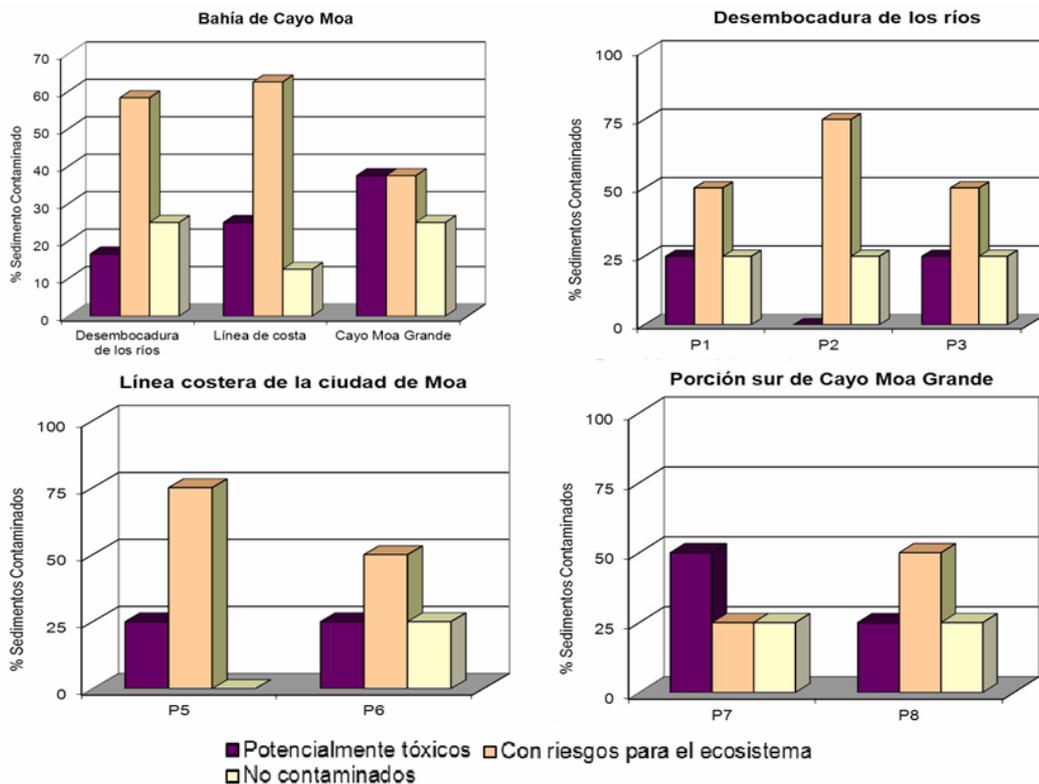


Figura 3. Evaluación ecotoxicológica de los sedimentos en las áreas estudiadas.

3.5. Distribución de metales pesados

Arsénico

La concentración varió entre 48 y 153 $\mu\text{g g}^{-1}$, con un valor ERL superior a 8,2 $\mu\text{g g}^{-1}$ en el 100 % de las muestras (Figura 2). Las mayores concentraciones se encontraron en las desembocaduras de los ríos Moa (153 $\mu\text{g g}^{-1}$) y Cayo Guam (123 $\mu\text{g g}^{-1}$); en la línea de la costa de Moa el valor más representativo se alcanzó en el P6 y las concentraciones disminuyeron hacia el SE. En la zona sur de Cayo Moa Grande, el valor más alto se obtuvo en P8. De forma general, se obtuvieron altos índices de concentración en toda la bahía y zonas aledañas, mostrando altos niveles de contaminación.

Cobre

La concentración varió entre 18 y 175 $\mu\text{g g}^{-1}$, con ERL mayor de 34 $\mu\text{g g}^{-1}$ en el 87,5 % de los puntos (Figura 2). Los valores máximos se encuentran distribuidos en las tres zonas establecidas, el mayor exponente en la línea costera es el P5 (175 $\mu\text{g g}^{-1}$).

En la porción sur de Cayo Moa Grande el FC muestra un elevado nivel de contaminación al igual que la desembocadura del río Moa. De los metales analizados el Cu muestra los valores más bajos de FC.

Plomo

La concentración varió entre 8 y 62 $\mu\text{g g}^{-1}$, con ERL mayor de 47 $\mu\text{g g}^{-1}$ en solo el 28,5 % de los puntos muestreados (Figura 2). Al igual que los elementos antes citados, las mayores concentraciones se muestran en la porción SW de la laguna (P5 = 62 $\mu\text{g g}^{-1}$); también se obtuvieron valores elevados en la desembocadura de los ríos Cayo Guam y Moa.

Zinc

La concentración varió entre 46 y 527 $\mu\text{g g}^{-1}$, con un ERL mayor de 150 $\mu\text{g g}^{-1}$ en el 75 % de las muestras (Figura 2). Las mayores concentraciones se localizaron en la porción SW de la laguna (P5) y al sur de Cayo Moa Grande. De los metales analizados en el presente estudio el Zn posee el segundo mayor nivel de acumulación en todo el acuatorio, con altos niveles de contaminación en el 37,5 % de los puntos muestreados, según el ERM establecido para este metal. Constituye el FC más representativo en todos los puntos estudiados.

4. CONCLUSIONES

- Las concentraciones de As halladas en los sedimentos son muy elevadas en todo el acuatorio, principalmente en las zonas de la desembocaduras de los ríos Moa y Cayo Guam, estas van disminuyendo hacia el interior del acuatorio, lo que indica la posibilidad de que los residuales vertidos al río Moa por las empresas mineras constituyan la principal causa de la contaminación por este elemento en la zona de estudio.
- El Factor de Contaminación demostró que la región de estudio presenta una contaminación importante por As, Cu y Zn. El punto de mayor contaminación de Zn y Cu es el P5, lo cual debe estar motivado fundamentalmente por el patrón de circulación de la bahía, que permite que en esta área se redepositen los sedimentos y residuales de las actividades humanas desarrolladas en la Bahía de Cayo Moa y sus alrededores.

- El estudio comparativo entre los diferentes ecosistemas marinos del país permitió establecer que la bahía de Cayo Moa posee un grado de contaminación similar a otros acuatorios, declarados como los más contaminados en Cuba. Ello motiva al desarrollo urgente de un plan de manejo que considere fundamentalmente el tratamiento de los residuales de la actividad minera en la región.
- La interpretación de los datos obtenidos en el presente estudio, basada en criterios ecotoxicológicos, mostró niveles potenciales de toxicidad en casi todos los puntos, excepto en P4.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Proyecto PTCIT 10/11: "Manejo Integrado de Zonas Costeras y Minería. Caso de Estudio: Región Minero – Metalúrgica de Moa y Nicaro", asignado al Centro de Estudios del Medio Ambiente (CEMA) de Moa. Al Instituto de Geología y Paleontología de la TU Clausthal (Alemania) por su apoyo para la publicación de este artículo. Nuestro sincero agradecimiento por las valiosas sugerencias y comentarios de los evaluadores.

6. REFERENCIAS

- ACCORNERO, A.; GNERRE, R.; MANFRA, L.** 2008: *Sediment concentrations of trace metals in the Berre Lagoon (France): An assessment of contamination. Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 54: 372-385.
- AMAT, D.; PIERRA, A.; CASALS, I.; VÁZQUEZ, D.** 2002: Estudio de la contaminación por metales pesados en sedimentos y ostiones de la bahía de Manzanillo, Cuba. *Journal of the Mexican Chemical Society* 46: 357-361.
- AZCUY, E.; PÉREZ, E.; CAMPOS, M.; GARCÍA, A.; OLIVERA, J.; FÉRNANDEZ, L.; ARIAS, C.** 2001: Interpretación y correlación entre los datos aportados por los levantamientos geofísicos y de pozos para la caracterización morfoestructural de la plataforma marina al sur de Cayo Moa Grande, Holguín. *Revista Internacional de Ciencias de la Tierra. Mapping Interactivo. Consulta: 28 de abril de 2011. Disponible en: http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=282*

- CARBALLEIRA, A.; CARRAL, E.; PUENTE, X. M; VILLARES, R.** 1997: Estado de conservación de la costa de Galicia. Nutrientes y metales pesados en sedimentos y organismos intermareales. Universidad de Santiago de Compostela. Xunta de Galicia, Consellería de Pesca, Marisqueo y Acuicultura, 107 p.
- CERVANTES, Y.; ALMAGUER, Y.; OROZCO, G.; PIERRA, A.; GURSKY, H.** 2009: Variación de la dinámica erosiva y acumulativa en Cayo Moa Grande, Bahía de Cayo Moa, Cuba. Período 1972–2007. *Minería y Geología* 25(4): Disponible en: <http://www.ismm.edu.cu/revistamg>
- CHABALINA, L. & BELTRAN, J.** 2005: Contaminación marina en bahías y zonas costeras de Cuba y del Gran Caribe. Consulta: 16 de mayo de 2011. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/peru/cubcca005.pdf>
- GALÁN, E.; BLOUNDI, K.; GONZÁLEZ, I.; DUPLAY, J.** 2009: Evaluación de la contaminación por elementos traza en sedimentos de la Laguna de Nador (Marruecos). *Macla* 11: 87-88.
- GARCÍA, J.; ACUÑA, J.; VARGAS, J.** 2004: Metales traza en sedimentos costeros de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 52(2): 12- p.
- GONCALVES, E.; BOAVENTURA, R.; MOUVET, C.** 1992: *Sediments and aquatic mosses as pollution indicators for heavy metals in the Ave River basin (Portugal)*. *Science of the Total Environment* 114: 7–24.
- GONZÁLEZ, E.; RETAMAL, M.; MEDINA, V.; AHUMADA, R.; NEIRA, J.** 2009: Enriquecimiento, disponibilidad y contaminación de metales traza (Cd, Cu, Pb y Zn) en sedimentos de lagunas urbanas de Concepción - Chile. *Química Nova* 32(4): 902-907.
- GRIMANIS, A.; VASSILAKI, G.; GRIGGS, G.** 1977: Pollution studies of trace elements in sediments from the upper Saronikos Gulf, Greece. *Journal of Radioanalytical Chemistry* 37: 761-733.
- GUTIÉRREZ, E.; FLORES, G.; ORTEGA, V.; VILLAESCUSA, J.** 1994: Metales pesados en sedimentos de la costa fronteriza Baja California (Mexico). *Ciencias Marinas* 20(1): 105 -124.
- HERNÁNDEZ, I.; GALIZIA, F.; COTO, O.; DONATI, E.** 2009: Reduction of heavy-metal content in overburden material by bacterial action. *Advanced Materials Research* 71-73: 653-656.

- LONG, E.; MACDONALD, D.; SMITH, S.; CALDER, F.** 1995: Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management* 19(1): 81-97.
- MADUREIRA, M-J.; VALE, C. & FONSECA, N.** 2003: Distribución de metales traza en sedimentos de zonas de lodo de la plataforma costera norte de Portugal. *Ciencias Marinas* 29(4): 435-445.
- MENÉNDEZ, M.** 2001: Explotación racional del yacimiento de Cienos Carbonatados en la Bahía de Cayo Moa. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa (Tesis de Maestría) 68 p.
- MONTES DE OCA, A.** 2010: Principales fuentes contaminantes de las aguas superficiales del río Moa. *Cub@: Medio ambiente y Desarrollo* 10(18):páginas inclusivas
Consulta: 28 de abril de 2011. Disponible en: <http://ama.redciencia.cu/articulos/18.08.pdf>
- MÜLLER, G.** 1979: Schwermetalle in den sedimenten des Rheins-Veränderungen seitt 1971. *Umschan*, 79: 778-783.
- PALACIOS, F. & GARCÍA, O. AÑO:** Gestión de las aguas residuales en la terminal de combustibles de Moa. Consulta: 15 de abril de 2011. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/moa.pdf>
- PALANQUES, A. & DÍAZ, J.** 1990: Contaminación de metales pesados en los sedimentos superficiales de la plataforma continental de Barcelona (Mediterraneo Noroccidental). *Revista de la sociedad Geologica de España* 3: 357-371.
- PAPAKOSTIDIS, G.; GRIMANIS, A.; ZAFIROPOULOS, D.; GRIGGS, G.; HOPKINS, T.** 1975: Heavy metals in sediments from the Athens sewage outfall area. *Marine Pollution Bulletin* 6: 136-139.
- PREGO, R.; OTXOTORENA, U.; COBELO-GARCÍA, A.** 2006: Presencia de Cr, Cu, Fe y Pb en sedimento bajo bateas de cultivo de mejillón (Rías de Arosa y Vigo, Node Espana): ¿Es un área contaminada por metales? *Ciencias Marinas* 32 (2B): 339-349.
- RODRÍGUEZ, A.** 1998: Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa (Tesis doctoral) 129 p.
- RODRÍGUEZ, A. & BATISTA, J.** 2007: Falla Moa: caracterización geodinámica y riesgos tectónicos asociados. *Minería y Geología* 23 (2) Disponible en: <http://www.ismm.edu.cu/revistamg>

- RODRÍGUEZ, D.; GONZÁLEZ, C.; ESQUIVEL, E.; RODRÍGUEZ, A.** 1996: Riesgos químicos ambientales relacionados con la industria del níquel en Cuba. AIDIS. Consolidación para el desarrollo. México, D.F, 1996. t.2. Consulta: 28 de abril de 2011. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/info/niquel.pdf>
- RODRÍGUEZ, R.; CANDELA, L.; PROENZA, J.; HIDALGO, M.; SALVADO, V.** 2002: Presencia de cromo, níquel y manganeso en las aguas subterráneas del municipio Moa (noreste de Cuba): Discusión sobre su origen. En: *Groundwater and human development*. Bocanegra, E.; Martínez, D.; Massone, H (Eds). Disponible en: <http://www.alhsud.com/public/articulos/Rodriguez-Pacheco.pdf>
- RUBIO, B.; NOMBELA, M.; VILAS, F.** 2000: La contaminación por metales pesados en las Rías baixas gallegas: nuevos valores de fondo para la Ría de Vigo (NO de España). *Journal of Iberian Geology* 26: 121-149.
- RUIZ, F.; GONZÁLEZ, M.; MUÑOZ, J.; FERNÁNDEZ, J.** 1997: Contaminación metálica en los sedimentos litorales del norte del Golfo de Cádiz (SO de España). *Revista de la sociedad Geológica de España*. 10(1-2): 107-115.
- USEPA.** Sediment contamination. Cap.5. 41-52 p. Consulta: 12 de mayo de 2011. Disponible en: <http://www.epa.gov/emap/maia/html/docs/Est5.pdf>

Yosbanis M. Cervantes-Guerra ycervantes@ismm.edu.cu
Máster en Minería. Profesor Asistente.
Centro de Estudios del Medio Ambiente.
Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa, Cuba

Yuri Almaguer-Carmenates yalmaguer@ismm.edu.cu
Doctor en Ciencias Geológicas. Profesor Auxiliar.
Centro de Estudios del Medio Ambiente
Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa, Cuba

Allan Pierra-Conde apierre@ismm.edu.cu
Doctor en Ciencias Químicas. Profesor Titular.
Vicerrectoría de Investigación y Posgrado
Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa, Cuba.

Gerardo Orozco-Melgar gorozco@ismm.edu.cu
Doctor en Ciencias Geológicas. Profesor Titular.
Departamento de Geología.
Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa, Cuba.

Hans-Juergen Gursky

Doctor

Instituto de Geología y Paleontología
Universidad Técnica de Clausthal, Alemania.

gursky@geologie.tu-clausthal.de