

Distribución del mercurio y composición isotópica de la materia orgánica en sedimentos superficiales del golfo de Guacanayabo, Cuba

Mercury distribution and organic matter isotopic composition in surface sediment from from Guacanayabo gulf, Cuba

YOELVIS BOLAÑOS-ALVAREZ¹, GUSTAVO ARENCIBIA-CARBALLO², ALEJANDRO GARCÍA-MOYA¹, ABEL BETANZOS-VEGA², KIRENIA COS-NEGRET¹, CARLOS MANUEL ALONSO-HERNÁNDEZ¹

¹ Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC). Carretera Castillo de Jagua Km 1.5, Ciudad Nuclear, CP 59350, Cienfuegos, Cuba, E-mail: yoelvis@ceac.cu

² Centro de Investigaciones Pesqueras. Calle 246 entre 5ta. Avenida y Mar, Reparto Barlovento, Municipio Playa, CP 19100, La Habana, Cuba.

RESUMEN ABSTRACT

De la zona costera al este del golfo de Guacanayabo, provincia de Granma, Cuba, se muestrearon diez sitios entre los poblados de Campechuela y Niquero, y dos sitios en laguna Marea del Portillo, costa sur de Granma; áreas que constituyen hábitat de camarones, peces, ostiones, entre otras especies marinas. El objetivo fue determinar los niveles de concentración y distribución espacial del mercurio (Hg) y la composición isotópica de la materia orgánica en los sedimentos superficiales. Se estudió la granulometría, la composición elemental de los nutrientes, y la concentración total del mercurio. De acuerdo con los resultados de la distribución granulométrica, predominan los sedimentos limo-arcillosos. Los patrones de distribución espacial del Hg estuvieron determinados por la composición de las arcillas, el carbono orgánico y el nitrógeno total, mostrando correlación significativa ($p < 0,05$). La relación entre la fracción total de los nutrientes y su composición isotópica sugiere una contribución predominante de fuentes de materia orgánica de origen marino en el golfo de Guacanayabo. Los valores de Hg en los sedimentos, entre $14,3-67,5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, no representan riesgo para los organismos marinos según criterios ecológicos y las normas de calidad consultadas.

Palabras clave: sedimentos costeros, granulometría, contaminación, mercurio.

From the coastal area east of the Gulf of Guacanayabo, province of Granma, Cuba, ten sites were sampled between the towns of Campechuela and Niquero, and two sites in Laguna Marea del Portillo, south coast of Granma; areas that constitute habitat for shrimp, fish, oysters, among other marine species. The objective was to determine the concentration levels and spatial distribution of mercury (Hg) and the isotopic composition of organic matter in surface sediments. The granulometry, the elemental composition of the nutrients, and the total concentration of mercury were studied. According to the results of the granulometric distribution, silt-clay sediments predominate. The spatial distribution patterns of Hg were determined by the composition of the clays, organic carbon and total nitrogen showed a significant correlation ($p < 0,05$). The relationship between the total fraction of nutrients and their isotopic composition suggests a predominant contribution of sources of organic matter of marine origin in the Gulf of Guacanayabo. The values of Hg in the sediments, between $14,3-67,5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, do not represent a risk for marine organisms according to ecological criteria and the quality standards consulted.

Keywords: coastal sediments, granulometry, contamination, mercury.

INTRODUCCIÓN

El mercurio (Hg) es considerado un contaminante de alcance global, debido a que es la forma predominante de Hg atmosférico, la cual tiene un largo tiempo de residencia en la atmósfera (entre 0,5-2 años) (Li *et al.*, 2009) y puede ser transportado y depositado a largas distancias (1 000 km) desde su fuente (Grangeon *et al.*, 2012). Este elemento significa un peligro latente para los seres humanos por su elevado potencial de toxicidad (Selin, 2009) y proviene de fuentes naturales (vulcanismo, quema de biomasa) y de actividades humanas (minería, combustión de hidrocarburos, plantas cloro-alcálicas) (Bolaños-Álvarez *et al.*, 2016a).

Los mares y océanos son importantes en el ciclo biogeoquímico del Hg, a través de procesos biológicos y abióticos, donde la sedimentación es uno de los más importantes (Selin, 2009). Los sedimentos pueden actuar simultáneamente como fuente y reservorios de nutrientes y contaminantes (Keith *et al.*, 2014), dentro de ellos el Hg, por lo que pueden ser utilizados como herramienta indirecta para la evaluación del riesgo de la contaminación en los seres vivos empleando criterios y normas o Guías Internacionales de Calidad (GCS) (Buchman, 2008).

Algunas variables como la granulometría y la materia orgánica (MO) son factores esenciales que controlan la distribución, acumulación y biodisponibilidad del Hg en sedimentos costeros (Chakraborty *et al.*, 2014). Por tal razón, en los últimos años se han venido utilizando parámetros como isótopos estables del carbono y el nitrógeno, así como sus relaciones para la evaluación de las fuentes, destino y variaciones de la MO sedimentaria (Gonnea *et al.*, 2004; Li, Y. *et al.*, 2016).

El golfo de Guacanayabo (GG) (Fig. 1) posee gran importancia socioecológica y económica debido a la diversidad de complejos ecológicos, según ecosistemas y especies que lo habitan, y su zona costera presenta importantes áreas de cría de especies marinas comerciales como camarones (*Penaeus sp.*), peces de diferentes familias, y hábitat del ostión de mangle *Crassostrea rhizophorae* (Arencibia-Carballo *et al.*, 2017). La pesca constituye la principal actividad económica en las aguas marinas de la región. Diversos trabajos referidos a metales pesados se han realizado en sedimentos del GG (Arencibia-Carballo *et al.*, 1988; Amat-Infante *et al.*, 2002; Díaz-Arado *et al.*, 2008, 2009), sin embargo, no se han reportado resultados cuantificables de Hg en los sedimentos de esta zona. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la distribución espacial del Hg,

la granulometría, la MO y la composición isotópica en los sedimentos del GG.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El GG se localiza en la plataforma suroriental de Cuba, y sus aguas forman parte de la zona costera de tres provincias, Camagüey, Las Tunas y Granma. El área de estudio comprende la zona costera sur de la provincia de Granma, entre la costa (1 m) hasta la isobata de 5 m, desde la ciudad y puerto de Niquero hasta la desembocadura del río Guá, que limita los municipios de Campechuela y Manzanillo (Fig. 1). Las principales actividades en la región son el cultivo de arroz, industria azucarera y la camaronicultura, siendo estas dos últimas una fuente de residuales con elevada carga orgánica que es transportada hacia las zonas costeras directamente o a través de las cuencas (Pérez Santos *et al.*, 2003). Debido a la intensa actividad de cultivo de caña de azúcar en la región, la quema de cañaverales (biomasa), constituye una contribución importante de material particulado a las zonas costeras (Shi *et al.*, 2019). A la región costera tributan las cuencas hidrográficas de los ríos Tana y Guá. Paralelamente al estudio de la zona costera al suroeste de Granma, se realizó un muestreo en la laguna de Portillo (Marea del Portillo) al sur de la provincia, municipio de Pílon, que colinda con las aguas del Mar Caribe (Fig. 1), laguna costera con abundancia de ostión *C. rhizophorae*, y área de cría y hábitat de peces.



Fig. 1. Área de estudio y ubicación de las estaciones de muestreo.

Muestreo y análisis de laboratorio

Como parte del monitoreo de las aguas del GG, se realizó muestreo en mayo 2016 (mes del período lluvioso). En una red de 12 estaciones, diez en el GG y dos en laguna del Portillo, se colectaron muestras de sedimentos superficiales utilizando una draga Van Veen (0,025 m²). Las muestras fueron almacenadas en bolsas plásticas a 4 °C y trasladadas al laboratorio del CEAC (Cienfuegos), donde se secaron a 45 °C. Se utilizaron submuestras de 5 g de cada muestra original para la determinación de las diferentes fracciones granulométricas (Loring & Rantala, 1992). El resto de la muestra fue molida en un molino de agata (Retsh PM 400) hasta alcanzar un tamaño de partícula de 125 µm, y almacenada para las restantes determinaciones.

La concentración total de Hg fue determinada en un Analizador Directo de Mercurio (DMA-80) según el método EPA 7473 (Bolaños-Álvarez *et al.*, 2016b). Las muestras se analizaron por duplicado y para el control de la calidad se utilizaron los Materiales de Referencia Certificados de sedimentos marinos IAEA 405 y IAEA 433, obteniendo una recuperación de 99 % y 103 %, respectivamente.

La composición elemental del carbono orgánico (C_{org}) y nitrógeno total (N_{tot}) se determinó en un analizador elemental Carlo Erba NC 1500. El C_{org} fue determinado luego de exponer las muestras a un ambiente ácido (HCl 85 %) para remover los carbonatos inorgánicos. La determinación de los isótopos estables δ¹³C y δ¹⁵N se realizó en un espectrómetro de masas IsoPrime 100, acoplado a un analizador elemental CNHS Vario MYCRO cube en modo Flujo Continuo.

Los valores son expresados como su señal δ en partes por mil relativos a estándares internacionales, vs. V-PDB (Belemnite Pee Dee de Viena) para el carbono y AIR (Aire atmosférico) para el nitrógeno, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\delta X (\text{‰}) = \frac{R_{\text{muestra}} - R_{\text{estandar}}}{R_{\text{estandar}}} \times 1000$$

Donde:

X: isótopo de interés;

R: fracción del isótopo pesado y ligero.

Se utilizaron dos materiales de referencia internos: δ¹³C = -42,16 ‰ & -17,14 ‰; δ¹⁵N = -0,22 ‰ y 14,36 ‰. Ambos, normalizados en la escala NBS19-LSVEC para δ¹³C

y IAEA-N1, N-2 y N-3 para δ¹⁵N. Se utilizó además un tercer material de referencia interno como control de calidad y para garantizar la precisión de la calibración (δ¹³C = -28,75 ‰ & δ¹⁵N = -0,06 ‰). La incertidumbre se reporta como la desviación estándar típica del ensayo, para δ¹³C ± 0,1 ‰ vs. V-PDB y para δ¹⁵N ± 0,2 ‰ vs. AIR.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de mercurio en los sedimentos

Las concentraciones de Hg en los sedimentos superficiales de la zona estudiada, fluctuaron entre 14,3-69,5 µg·kg⁻¹ con concentración promedio de 45,1 µg·kg⁻¹ (Tabla 1). Los menores valores correspondieron a los sitios de muestreo de Media Luna (Estación 5) y canal Balandras de Niquero (Estación 9), mientras que en los puntos de San Ramón (Estación 4) y laguna del Portillo 1 (Estación 11) se registraron las mayores concentraciones.

De forma general, los valores de Hg encontrados en todas las estaciones son bajos y están considerados como concentraciones naturales (50-80 µg·kg⁻¹) para sedimentos marinos (Gutiérrez-Galindo *et al.*, 2007). El valor medio de Hg registrado en este estudio (45,1 µg·kg⁻¹) se ubica entre los valores determinados en los sedimentos costeros de Malasia (61 µg·kg⁻¹) (Kannan & Falandysz, 1998) y la bahía de Guaratuba (Brasil) (20 µg·kg⁻¹) considerados no impactados por Hg (Sanders *et al.*, 2006). Sin embargo, es menor que los niveles registrados en sitios impactados por fuentes puntuales como en bahía de Sagua la Grande (al norte y centro de Cuba), donde se reportan concentraciones de Hg de 5 570 µg·kg⁻¹ (Olivares-Rieumont *et al.*, 2012) y 2 680 µg·kg⁻¹ (Díaz-Asencio *et al.*, 2009) en sedimentos marino costeros. A partir de los criterios de toxicidad establecidos en las guías de calidad de sedimentos de la Agencia Ambiental de los Estados Unidos (EPA, siglas en inglés) (Buchman, 2008), todas las estaciones presentaron valores de Hg inferiores al nivel umbral de efectos (TEL, siglas en inglés) y al nivel de efectos probables (PEL, siglas en inglés), cuyos valores son de 130 µg·kg⁻¹ y 700 µg·kg⁻¹, respectivamente. Concluyendo que los valores encontrados se corresponden con zonas no impactadas por este elemento. Lo anterior está en concordancia con la poca actividad industrial de la región y la baja distribución demográfica entre las poblaciones costeras de Campechuela (42 263 habitantes) y Niquero (42 262 habitantes) (ONEI, 2019a, 2019b).

Tabla 1. Ubicación de los puntos de muestreo, textura, valores de concentración de Hg en los sedimentos superficiales de la zona de estudio

Puntos	Nombre	Ubicación	Arcillas (%)	Limos (%)	Arenas (%)	Hg ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	C_{org} (%)	N_{tot} (%)	$C_{\text{org}}/N_{\text{tot}}$	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
1	Punta Gua	77°15,487 W 20°17,308 N	53	13	34	52,0	1,61	0,14	11,93	-23,13	3,82
2	Campechuela	77°16,866 W 20°15,231 N	46	18	36	32,1	0,88	0,11	8,05	-19,44	3,83
3	Ceiba Hueca	77°20,289 W 20°14,002 N	69	29	2	56,0	1,17	0,14	8,15	-19,72	4,39
4	San Ramón	77°22,568 W 20°12,876 N	64	31	5	67,5	1,55	0,17	8,88	-19,85	4,45
5	Media Luna	77°27,239 W 20°09,574 N	10	2	88	14,9	0,36	0,04	8,15	-20,47	2,86
6	P. Manacal ¹	77°29,114 W 20°08,422 N	60	4	36	29,0	0,63	0,07	8,86	-20,04	7,56
7	Río Tana	77°30,468 W 20°06,456 N	55	4	41	37,5	0,64	0,07	9,55	-20,14	7,44
8	Punta Sevilla	77°31,531 W 20°05,930 N	54	13	33	61,0	1,08	0,11	9,78	-20,13	4,88
9	C. Niquero ²	77°36,016 W 20°05,001 N	33	12	55	14,3	0,68	0,09	7,27	-19,49	6,59
10	P. Niquero ³	77°36,266 W 20°03,276 N	65	28	7	65,5	1,87	0,20	9,22	-19,60	5,71
11	Lag. Portillo 1	77°10,942 W 19°54,561 N	77	16	7	69,5	3,54	0,27	12,92	-24,81	6,03
12	Lag. Portillo 2	77°10,751 W 19°54,535 N	61	35	4	42,0	3,43	0,33	10,25	-24,97	5,84
	Media		54	17	39	45,1	1,45	0,15	9,42	-20,98	5,28
	Rangos		10-77	2-35	2-88	14,3-69,5	0,36-3,54	0,04-0,33	7,27-12,92	-24,97-19,44	2,86-7,56

¹: punta Manacal; ²: canal de Balandras de Niquero; ³: bahía de Niquero.

Características texturales de los sedimentos

Según distribución granulométrica del sedimento, la contribución de las arcillas mostró un intervalo entre 10-77 %, donde la mayoría de las estaciones presentaron valores por encima del 50 %, seguido de las arenas (rango entre 2-88 %) y limos (2-35 %). Según la clasificación de la textura de los sedimentos propuesta por Folk (1974), los sedimentos de la zona de estudio se distribuyen en dos grupos principales, el primero de ellos incluye las estaciones 1, 2, 6, 7, 8 y 9, donde predominan los sedimentos areno-arcillosos y lodo-arenosos, mientras que el segundo grupo (estaciones 3, 4, 10, 11 y 12) presentó características limo-arcillosas. La estación 5 mostró un comportamiento diferente respecto al resto, predominando los sedimentos arenosos. Entre las diferentes fracciones granulométricas del sedimento, solo las arcillas presentaron una correlación positiva y estadísticamente significativa con el Hg ($r^2 = 0,65$, $p < 0,05$, $n = 12$). Esta afinidad está fundamentada en la elevada superficie específica y carga superficial negativa que presentan este tipo de minerales, lo que hace que presenten la habilidad de adsorber cationes (Bradl, 2005).

Nutrientes y origen de la materia orgánica

Los resultados del C_{org} y el N_{tot} muestran intervalos de variación de 0,36-3,54 % y 0,04-0,33 %, respectivamente (Tabla 1). De acuerdo con los niveles de estos nutrientes, la relación C_{org}/N_{tot} oscila en un intervalo de variación entre 7,27-12,92. Menores valores en la relación C_{org}/N_{tot} indican que la MO sedimentaria se encuentra influenciada por MO de origen marino, atribuido a la producción biológica *in situ* y un decrecimiento del aporte terrígeno, mientras que a medida

que se incrementa esta relación, se incrementa el aporte de MO desde tierra (Chakraborty *et al.*, 2014).

Según la relación entre el contenido de carbono orgánico (a) y nitrógeno (b) respecto a los niveles de Hg en los sedimentos (Fig. 2), exceptuando las estaciones 11 y 12, laguna de Portillo, en el resto de los sitios, ambos parámetros mostraron una correlación estadísticamente significativa con el Hg ($p < 0,05$), lo cual pudiera disminuir la biodisponibilidad del Hg en los sedimentos (Chakraborty *et al.*, 2014; Driscoll *et al.*, 2012), provocando así que se reduzca su transferencia en la cadena trófica.

Al observar la distribución de las estaciones estudiadas de acuerdo con los rangos típicos de $\delta^{13}C$ y C_{org}/N_{tot} para materia orgánica en zonas costeras (Fig. 3), todas las estaciones sugieren un origen de la MO mayoritariamente de origen marino (Ga), mientras que las estaciones 1, 11 y 12 (Gb) reflejan una ligera contribución de origen terrígeno, lo que está en consonancia con las características estuarinas de los sitios, al ubicarse la estación 1 adyacente a la desembocadura del río Gua y su sistema lacustre, al igual que las estaciones 11 y 12 ubicadas en la laguna de Portillo.

Este estudio actualiza información sobre la calidad de los sedimentos costeros del golfo de Guacanayabo, y forma parte del monitoreo de los niveles de acumulación de contaminantes tóxicos en zonas de cría y hábitat de especies bentónicas de interés comercial, como los camarones *Penaeus* sp. Resultado que en adición a estudios antecedentes, sobre concentración y distribución de hidrocarburos (HAPs) y de pesticidas (residuos) en los sedimentos de esa misma región, zona costera de Campechuela a Niquero, no mostraron valores que indiquen afectación por contaminación (Álvarez-Vázquez *et al.*, 2018; Arencibia-Carballo *et al.*, 2017).

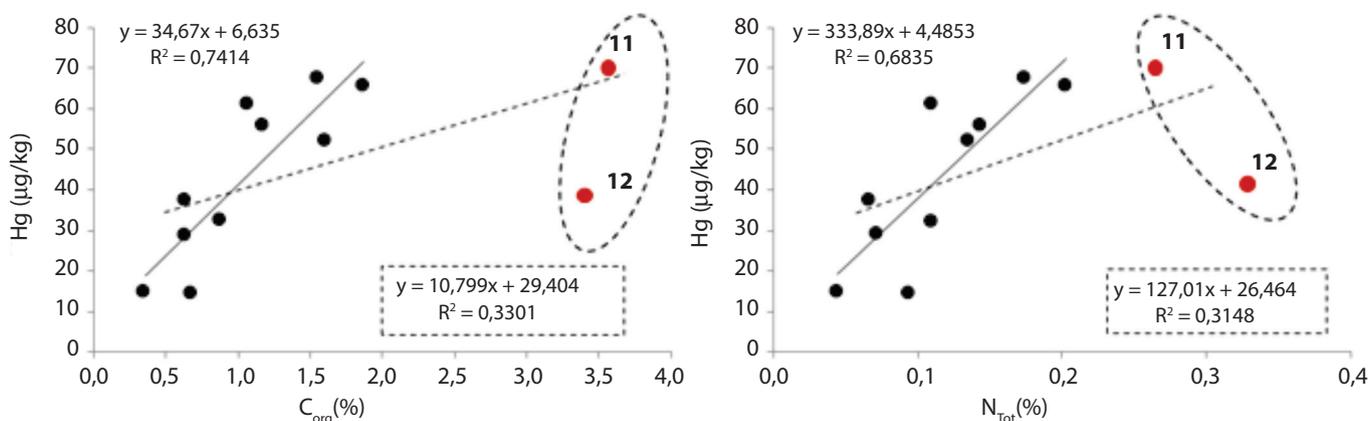


Fig. 2. Relación del Hg con el carbono orgánico y el nitrógeno de los sedimentos.

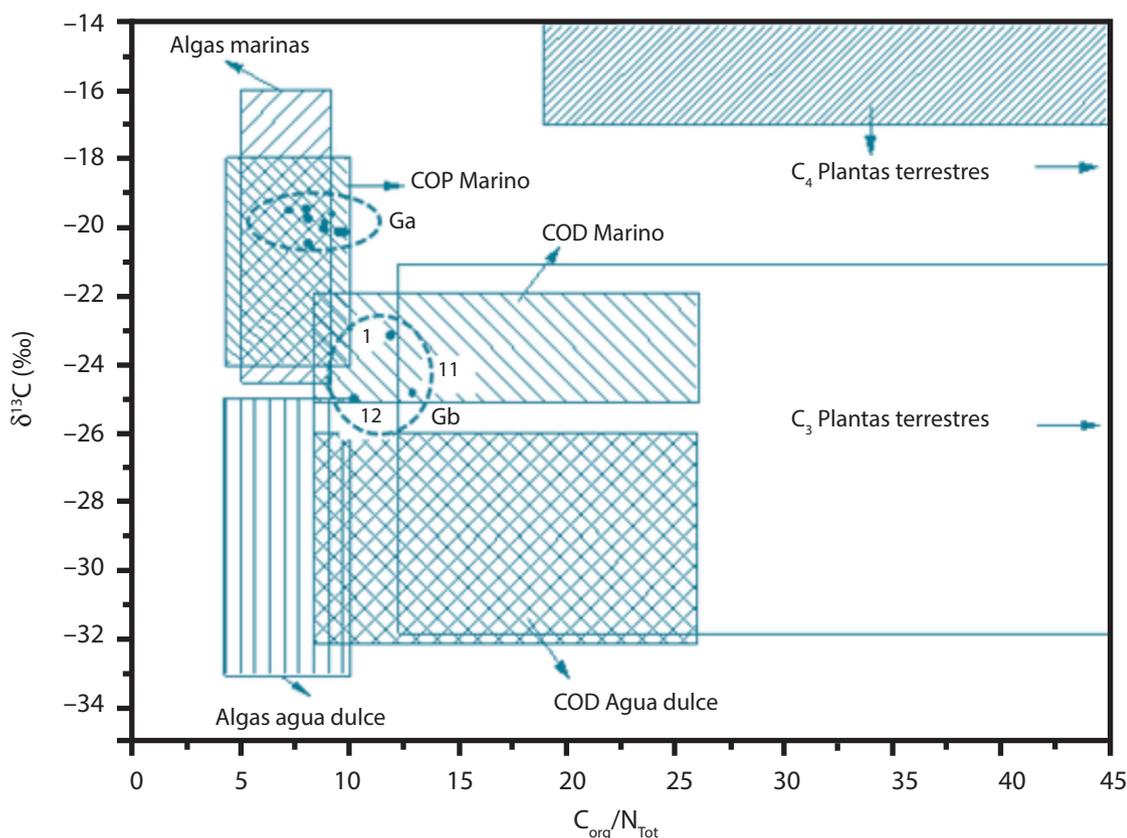


Fig. 3. Rangos típicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\text{C}_{\text{org}}/\text{N}_{\text{tot}}$ para materia orgánica en zonas costeras.

CONCLUSIONES

Se concluye que existe una distribución relativamente homogénea de los niveles de mercurio en los sedimentos estudiados, encontrándose en todas las estaciones concentraciones seguras para la vida acuática. La relación entre los nutrientes y el Hg en las estaciones del GG favorece las condiciones para la disminución de su biodisponibilidad en los sedimentos. En las estaciones del GG predominan los sedimentos cuya materia orgánica es de origen marino, mientras que en la laguna del Portillo es mayoritariamente de origen terrestre, debido al transporte de material desde tierra a través de las cuencas fluviales que tributan a esa zona.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue soportado por el proyecto Soluciones a problemas específicos del manejo integrado de cuencas y áreas costeras en Cuba, a través de técnicas isotópicas y nucleares (MICATIN) (Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada-CEAC) y el proyecto Evaluación de Impactos de Fenómenos Naturales y Actividad Antropogénica sobre los Recursos Pesqueros y la Acuicultura, del CIP. También merece especial agradecimiento el personal de la Empresa Pesquera

Industrial de Granma (EPIGRAM), el laboratorio del CEAC y el apoyo del laboratorio de isótopos estables del Centro de Investigaciones GEOTOP, de la Universidad de Quebec en Montreal, Canadá.

REFERENCIAS

- Álvarez-Vázquez, M., Arencibia-Carballo, G., Betanzos-Vega, A., Formoso García, M. & Tripp-Quezada, A. (2018). Pesticide evaluation in water, sediment and in oyster shells (*Crassostrea rhizophorae*) in the Manzanillo - Niquero coastal area, Cuba. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 3(5), 2456-1878.
- Amat Infante, P. D., Pierra Conde, A., Casals Blet, I. & Vázquez Abella, D. (2002). Estudio de la contaminación por metales pesados en sedimentos y ostiones de la bahía de Manzanillo, Cuba. *Revista de la Sociedad Química de México*, 46(4), 357-361.
- Arencibia-Carballo, G., Isaac, M. & González, H. (1988). Distribución de metales en sedimentos costeros del golfo de Guacanayabo. *Revista Cubana de Química*, IV(3), 1-10.
- Arencibia-Carballo, G., Betanzos-Vega, A., Pérez-Prohenza, M., Ocano-Busia, C. A., Rodríguez-Gil, A., & Tripp-Quezada, A. (2017). Hidrocarburos aromáticos policíclicos en

- sedimentos superficiales de la zona costera de Campechuela-Niquero, Cuba. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 34(2), 68-73, <http://www.oceandocs.org/handle/1834/3628>
- Bolaños-Álvarez, Y., Alonso-Hernández, C. M., Morabito, R., Díaz-Asencio, M., Pinto, V., Gómez-Batista, M. & Alonso-Hern, C. M. (2016a). Mercury contamination of riverine sediments in the vicinity of a mercury cell chlor-alkali plant in Sagua River, Cuba. *Chemosphere*, 152, 376-382.
- Bolaños-Álvarez, Y., Cos-Negret, K. & Guillén-Arruebarrena, A. (2016b). Mercury Determination Method in Sediment and Biological Tissue Using Direct Mercury Analyzer (DMA-80). *Revista Cubana de Química*, 28(3), 784-792.
- Bradl, H. B. (2005). Chapter 1 Sources and origins of heavy metals. *Interface Science and Technology*, 6(C), 1-27, [https://doi.org/10.1016/S1573-4285\(05\)80020-1](https://doi.org/10.1016/S1573-4285(05)80020-1)
- Buchman, M. F. (2008). *NOAA Screening Quick Reference Tables, NOAA OR&R Report 08-1*.
- Chakraborty, P., Sarkar, A., Vudamala, K., Naik, R. & Nath, B. N. (2014). Organic matter - A key factor in controlling mercury distribution in estuarine sediment. *Marine Chemistry*, 173, 302-309, <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2014.10.005>
- Díaz-Arado, O. et al. (2009). Evaluation of the InSTEC's EDXRF assembly for marine sediment pollution studies. *AIP Conference Proceedings*, 1139, 158-159, <https://doi.org/10.1063/1.3157801>
- Díaz-Arado, O. et al. (2008). Análisis multielemental en sedimentos superficiales del golfo de Guacanayabo, Cuba. *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental*, 8, 283-294.
- Díaz-Asencio et al. (2009). One century sedimentary record of Hg and Pb pollution in the Sagua estuary (Cuba) derived from ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs chronology. *Marine Pollution Bulletin*, 59(4-7), 108-115, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.02.010>
- Driscoll, C. T. et al. (2012). Nutrient supply and mercury dynamics in marine ecosystems: A conceptual model. *Environmental Research*, 119, 118-131, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2012.05.002>
- Folk, R. L. (1974). *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill.
- Gonneea, M. E., Paytan, A. & Herrera-Silveira, J. A. (2004). Tracing organic matter sources and carbon burial in mangrove sediments over the past 160 years. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 61(2), 211-227, <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2004.04.015>
- Grangeon, S., Guédrón, S., Asta, J., Sarret, G. & Charlet, L. (2012). Lichen and soil as indicators of an atmospheric mercury contamination in the vicinity of a chlor-alkali plant (Grenoble, France). *Ecological Indicators*, 13(1), 178-183.
- Gutiérrez-Galindo, E., Casas-Beltran, D., Munoz-Barbosa, A., Macias-Zamora, J. V., Segovia-Zavala, J., Orozco-Borbon, M. V. & Daessle, L. W. (2007). Spatial distribution and enrichment of mercury in surface sediments off the north-west coast of Baja California, Mexico. *Ciencias Marinas*, 33(4), 473-482.
- Kannan, K. & Falandysz, J. (1998). Speciation and concentrations of mercury in certain coastal marine sediments. *Water, Air and Soil Pollution*, 103, 129-136.
- Keith, M. K., Sobieszczyk, S., Goldman, J. H. & Rounds, S. A. (2014). Investigating organic matter in Fanno Creek, Oregon, Part 2 of 3: sources, sinks, and transport of organic matter with fine sediment. *J. Hydrol.*, 519 (Part D), 3010-3027.
- Li, P., Feng, X. B., Qiu, G. L., Shang, L. H. & Li, Z. G. (2009). Mercury pollution in Asia: A review of the contaminated sites. *Journal of Hazardous Materials*, 168(2-3), 591-601, <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.03.031>
- Li, Y., Zhang, H., Tu, C., Fu, C., Xue, Y. & Luo, Y. (2016). Sources and fate of organic carbon and nitrogen from land to ocean: Identified by coupling stable isotopes with C/N ratio. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 181, 114-122, <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.08.024>
- Loring, D. H. & Rantala, R. T. T. (1992). Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth-Science Reviews*, 32, 235-283.
- Olivares-Rieumont, S., Lima, L., Rivero, S., Graham, D. W., Alonso-Hernández, C., & Bolaños-Álvarez, Y. (2012). Mercury levels in sediments and mangrove oysters, *Crassostrea rhizophorae*, from the north coast of villa clara, Cuba. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 88(4), 589-593, <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0544-8>
- ONEI (2019a). *Anuario Estadístico Granma. Campechuela, 2018*.
- ONEI (2019b). *Anuario Estadístico Granma. Niquero, 2018*.
- Pérez-Santos, I. E., Arencibia-Carballo, G., Capetillo-Piñar, N. & Isla-Moleda, M. (2003). Influencia del cultivo del camarón blanco (*Litopenaeus schmitti*) sobre los ecosistemas costeros. *Fopcana*, 2(1-2), 11-20.
- Sanders, C. J., Santos, I. R., Silva-Filho, E. V. & Patchineelam, S. R. (2006). Mercury flux to estuarine sediments, derived from Pb-210 and Cs-137 geochronologies (Guaratuba bay, Brazil). *Marine Pollution Bulletin*, 52, 1085-1089.
- Selin, N. E. (2009). Global Biogeochemical Cycling of Mercury: A Review. *Annual Review of Environment and Resources*, 34(1), 43-63, <https://doi.org/10.1146/annurev.environment.051308.084314>
- Shi, Y., Zhao, A., Matsunaga, T., Yamaguchi, Y., Zang, S. & Li, Z. (2019). High-resolution inventory of mercury emissions from biomass burning in tropical continents during 2001-2017. *Science of the Total Environment*, 653, 638-648, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.420>