

# Estudio de la contaminación por metales en sedimentos marinos de la Bahía de Santiago de Cuba

Study of the contamination by marine sediments metals in Santiago of Cuba Bay

ODALYS QUEVEDO-ÁLVAREZ<sup>1</sup>, JORGE LORENZO GÓMEZ-PASCUAL<sup>1,2</sup>, TAMARA ESTRADA-LA ROSA<sup>1</sup>  
Y ANA CATALINA NÚÑEZ-CLEMENTE<sup>1</sup>

Recibido: Noviembre 19, 2018

Aceptado: Julio 19, 2019

## Resumen

La bahía de Santiago de Cuba es un ecosistema complejo que posee como uno de sus principales problemas el vertido de residuales líquidos semitratados de origen industrial y urbano. La deposición de los mismos puede originar una contaminación permanente de los fondos de la bahía que inducen alteraciones en las cadenas tróficas. El objetivo de este trabajo fue evaluar la contaminación por metales (Cu, Zn, Ni, Co, Cd y Pb) en los sedimentos superficiales de la bahía de Santiago de Cuba a través de la determinación de los contenidos totales, su comparación directa con las concentraciones de referencia establecidas en guías internacionales de calidad de sedimentos y el empleo de índices de enriquecimiento y riesgo ecológico. De los elementos analizados, el Cu presenta las mayores concentraciones y la máxima variabilidad, mientras que Ni, Zn y Pb tienen distribuciones más homogéneas. La evaluación del contenido de metales en los sedimentos mostró que el orden de abundancia de los elementos analizados fue: Cu > Zn > Ni > Pb > Co ~ Cd. De acuerdo al criterio del índice de geoacumulación, los sedimentos se encuentran fuertemente contaminados con Cu, moderadamente contaminados con Zn y tres de las estaciones presentan una contaminación de moderada a fuerte con Ni. Según criterios ecotoxicológicos, los sedimentos de tres de las estaciones se encuentran moderadamente contaminados, mientras que el resto presentan una contaminación ligera.

**Palabras clave:** contaminación, metales, sedimentos marinos, espectrometría de absorción atómica.

## Abstract

Santiago of Cuba bay is a complex ecosystem. The deposition of different pollutant agents can originate a permanent contamination of the bay's sediments, affecting plants and animals. In this work was evaluated the contamination for metals (Cu, Zn, Ni, Co, Cd and Pb) in the superficial sediments of this bay through the determination of the total contents, its direct comparison with the reference concentrations established in international quality guides of sediments and the employment of enrichment and ecological risk indexes. Cu was the element that presents the highest concentrations and the maximum variability, while Ni, Zn and Pb have more homogeneous distributions. The evaluation of the content of metals showed that the order of abundance of the analyzed elements in the sediments was: Cu > Zn > Ni > Pb > Co ~ Cd. According to the geo-accumulation index, the sediments are strongly polluted with Cu, moderately polluted with Zn and three of the considered stations present a contamination of moderate to strong with Ni. According to the employed ecological risk index, the sediments of three of the stations are moderately polluted, while the rest presents a slight contamination.

**Keywords:** environmental, metals, marine sediments, atomic absorption spectrometry.

<sup>1</sup> CENTRO DE INVESTIGACIÓN DEL PETRÓLEO (CEINPET). CHURRUCA, No.481, E/ VÍA BLANCA Y WASHINGTON, LA HABANA, CUBA. C.P. 12000.

<sup>2</sup> DIRECCIÓN ELECTRÓNICA DEL AUTOR DE CORRESPONDENCIA: JGOMEZ@CEINPET.CUPET.CU



## Introducción

**S**e conoce que muchos elementos químicos son constituyentes naturales del medio acuático, sin embargo, la actividad humana ha contribuido al incremento de la concentración de algunos de ellos en aguas, sedimentos, flora y fauna, tanto marinas como epicontinentales. En este contexto, metales y metaloides poseen gran significación ecológica debido a que no son eliminados de los ecosistemas acuáticos, ni transformados a formas menos dañinas por procesos naturales y pueden llegar a enriquecer diferentes sustancias orgánicas y minerales, incorporándose a la cadena alimenticia y provocando daño en sus diferentes niveles, llegando incluso a provocar la muerte (Bettioli, 2008).

Cuba, debido a sus características geográficas particulares, posee amplias y diversas zonas costeras, cuya calidad ambiental generalmente se ve comprometida por los diferentes usos socio-económicos a las que son destinadas. Ejemplo de ello es la bahía de Santiago de Cuba, donde se desarrollan múltiples actividades, generalmente incompatibles entre sí, entre las que se encuentran implementación de puertos comerciales, pesqueros y/o de cabotaje, actividades de producción, almacenamiento y transporte de petróleo, así como de desarrollo turístico. A la misma son descargadas en muchos casos aguas residuales domésticas e industriales, sin una previa depuración.

Aunque las cantidades totales presentes en un suelo o sedimento constituyen una medida poco representativa de la posible toxicidad de un metal, por su facilidad de medida y reproducibilidad, se utilizan muy frecuentemente estos valores para definir los umbrales en los estudios de contaminación. De hecho, investigaciones recientes a nivel mundial encaminadas a la evaluación del estado ambiental de un ecosistema aplican indicadores como: índices de contaminación, índices de enriquecimiento e índices de riesgo ecológico (Essien, 2009; Delgado, 2011; Hong, 2011; Banu, 2013; Hahladakis, 2013), todos relacionados con el contenido total.

Los objetivos de esta investigación fueron: evaluar la contaminación por metales (Cu, Zn, Ni, Cd y Pb) en los sedimentos superficiales de la bahía de Santiago de Cuba recolectados en el año 2011, a través de la determinación de los contenidos totales, su comparación directa con las concentraciones de referencia establecidas en guías internacionales de calidad de sedimentos y el empleo de índices de enriquecimiento y riesgo ecológico.

## Materiales y métodos

La bahía de Santiago de Cuba está localizada en la costa sur-oriental de Cuba frente al Caribe, en los 19° 58' N y 75° 52' W, entre los accidentes geográficos Punta Morrillo y Punta Socapa, y en sus riberas se ubica la ciudad del mismo nombre, la segunda en importancia y población del país. Es considerada como una bahía de bolsa rodeada de elevaciones, con un estrecho canal de entrada que limita la renovación del agua. La superficie total de la bahía es de 11.9 km<sup>2</sup>, con una profundidad promedio de 8 m y un perímetro del litoral, incluyendo sus cayos, de 41.35 km. A la bahía descargan los ríos Cobre, Guao, Gascón y Yarayó, así como varios drenajes entre los que destaca el Trocha. La misma recepciona un volumen de agua residual de 3 millones de metros cúbicos por día como promedio, al encontrar dentro del territorio de la cuenca 261 instalaciones entre industriales, agropecuarias y de servicios que constituyen emisores de contaminantes de residuales líquidos de todo tipo.

La bahía constituye uno de los principales recursos naturales de esta provincia en pleno desarrollo, tanto social como económico, en la que compiten diferentes usos. Ello provoca cambios en la calidad del ecosistema y por tanto una disminución de sus potencialidades a causa del incremento de las actividades industriales y de los desechos domésticos de la población que se asienta en sus alrededores.

Se llevó a cabo una campaña de muestreo durante la estación de seca del año 2011, para la cual se fijaron nueve estaciones. Para ello, se utilizó un diseño específico de muestreo, seleccionando las estaciones sobre la base de resultados de estudios anteriores y la

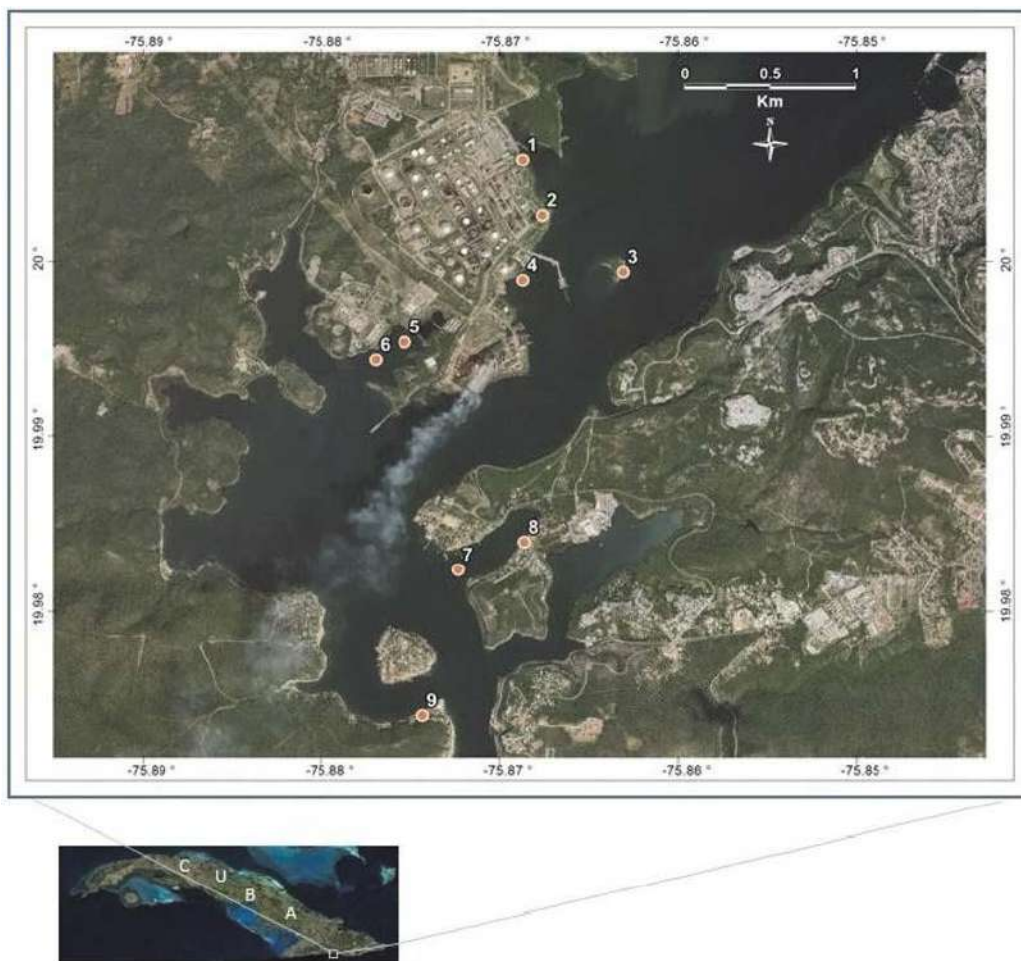
localización de posibles fuentes contaminantes (Figura 1). Las posiciones de estas estaciones se tomaron con un equipo GPS a bordo de una embarcación.

Los sedimentos superficiales (10 cm) se recolectaron con una draga Van Veen, de acuerdo con las normas ISO 5667-19 (2004). Para garantizar la representatividad de las muestras se tomaron aproximadamente 2 kg en diferentes puntos cercanos de la misma estación de muestreo, y se homogenizaron, de modo que se dispuso de una muestra compuesta para cada estación. Para el traslado al laboratorio y preservación, las muestras se colocaron en bolsas plásticas y se congelaron a  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta su posterior procesamiento. Así, se limitó la actividad biológica y previno cualquier transformación química o alteraciones de la materia orgánica (ISO 5667-15, 2009).

Una vez en el laboratorio se descongelaron y sometieron al proceso de cuarteo, para lograr homogeneidad, después de lo cual se secaron a temperatura ambiente y se tamizaron con tamices plásticos, se seleccionó la fracción con tamaño de partículas inferior a  $63\text{ }\mu\text{m}$  y se mantuvo en recipientes plásticos estériles hasta su análisis.

Las disoluciones de referencia para la calibración de la técnica de cuantificación empleada se prepararon por dilución a partir de disoluciones de  $1000\text{ mg/mL}$  (CertiPur, Alemania) de Cu, Cd, Ni, Zn y Pb. Los reactivos que se emplearon fueron de calidad analítica. El contenido de los metales estudiados fue cuantificado por espectrometría de absorción atómica con llama (FAAS, Flame Atomic Absorption Spectrometry), con un espectrómetro GBC Avanta  $\Sigma$  (Australia).

**Figura 1.** Ubicación espacial de los sitios de muestreo. Bahía de Santiago de Cuba.



Para la digestión total de los sedimentos se empleó el método EPA 3052 (1996). A  $0.5000 \pm 0.0001$  g de sedimento seco se le añadieron 9 mL de HNO<sub>3</sub> (65% v/v) y 3 mL de HF (ac) (40% v/v). Se calentó durante 15 minutos a 180 °C en horno de microondas Milestone, modelo Ethos1600 (Italia), a una potencia de 100 W. Se trasvasó cuantitativamente a volumétrico de 50 mL, se adicionaron 12 mL de la disolución de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> al 5% m/v y se enrasó con agua desionizada. La digestión se realizó por triplicado. Se realizó además un ensayo en blanco. La veracidad del procedimiento fue evaluada con los Materiales de Referencia Certificado (MRC) de sedimento marino: BCSS-1 y de sedimento estuarino IAEA-405, procedentes del National Research Council of Canada y la International Atomic Energy Agency (IAEA), respectivamente.

Evaluación de la contaminación por metales en sedimentos marinos a partir de los contenidos totales: se determinó el contenido total de los elementos indicados de contaminación seleccionados y se compararon directamente estas concentraciones con los valores de referencia establecidos en las guías de calidad de sedimentos. Debido a la ausencia en la legislación cubana de estándares (guías) que regulen la calidad de la matriz sedimentaria en cuanto a los límites permitidos de los contaminantes analizados, se utilizó como referencia la Guía de Calidad adoptada por la Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos (National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA por sus siglas en inglés (2008), a lo cual se hace referencia en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Criterios para la evaluación de la contaminación en sedimentos según la NOAA (2008).

Nivel de riesgo	Concentraciones de referencia (µg.g <sup>-1</sup> )				
	Cu	Ni	Pb	Zn	Cd
TEL: Nivel por debajo del cual no existe riesgo potencialmente tóxico para los organismos	18.7	15.9	30.2	124	0.68
ERL: Nivel con efectos biológicos bajos	34	20.9	46.7	150	1.2
PEL: Nivel de efectos probables	108	42.8	112	271	4.2
ERM: Nivel con efectos biológicos moderados	270	51.6	218	410	-

Este paso permitirá establecer, en primera instancia, los sitios mayormente impactados por la actividad humana y por cuáles elementos indicadores de contaminación. Se emplearon diferentes criterios o índices basados en los contenidos totales de

contaminantes para la determinación de la calidad ambiental de un ecosistema. La política ambiental cubana concerniente a la calidad de los sistemas acuáticos no establece criterios normalizados para evaluar la calidad de los sedimentos, por ello, en este trabajo se recomienda el empleo combinado de índices de enriquecimiento como: el Factor de Enriquecimiento (FE) y el índice de Geoacumulación (Igeo), y de índices de riesgo ecológico, como el cociente medio de los efectos de riesgo moderado (m-ERM-Q) o el índice de carga contaminante (PLI). De esta forma, la evaluación del estado ambiental de los ecosistemas se realiza de forma integradora teniendo en cuenta todos los criterios posibles.

En este trabajo se utilizaron los índices de Geoacumulación (Igeo) y del cociente medio de los efectos de riesgo moderado (m-ERM-Q). El índice de geoacumulación se calculó según la ecuación de Müller (1979):

$$I_{geo} = \log_2 \left( \frac{Cx}{1.5Bx} \right)$$

Donde: Cx es la concentración del elemento X, Bx es la concentración del elemento correspondiente al fondo geoquímico natural o nivel del elemento en sedimentos no contaminados de la zona de estudio, y 1.5 es un factor introducido para atenuar posibles variaciones en el valor de fondo debido a efectos litogénicos. En este trabajo se emplearon como fondo natural, las concentraciones elementales en rocas sedimentarias carbonatadas (Turekian, 1961).

De acuerdo con este índice, los niveles de contaminación de los sedimentos se clasifican como: no contaminado (Igeo < 0), no contaminado-moderadamente contaminado (Igeo 0 - 1), moderadamente contaminado (Igeo 1 - 2), moderado a fuertemente contaminado (Igeo 2 - 3), fuertemente contaminado (Igeo 3 - 4), fuertemente a extremadamente contaminado (Igeo 4 - 5) y extremadamente contaminado (Igeo > 5).

Dicho índice considera las variaciones de las concentraciones de fondo debido a efectos litogénicos, así como las fluctuaciones naturales en el contenido de una sustancia dada en el medio ambiente y las pequeñas influencias antropogénicas (Davutluoglu, 2011).



El índice del cociente medio de los efectos de riesgo moderado, se calcula de acuerdo a la siguiente expresión (Long, 1998):

$$m - ERM - Q = \frac{\sum_{x=1}^n C_x / ERM_x}{n}$$

Donde:  $C_x$  es la concentración del elemento en el sedimento,  $ERM_x$  es el valor de concentración del elemento que provoca un efecto moderado en la biota y está establecido en las guías de calidad de los sedimentos, y  $n$  es el número de elementos.

El grado de contaminación de los sedimentos según este índice es: no contaminado para  $m-ERM-Q < 0.1$ ; ligeramente contaminado cuando  $0.1 < m-ERM-Q < 0.5$ ; moderadamente contaminado si  $0.5 < m-ERM-Q < 1.5$  y altamente contaminado para valores de  $m-ERM-Q > 1.5$ .

Este índice considera de forma combinada el potencial adverso de grupos de contaminantes (por ejemplo: metales, hidrocarburos aromáticos policíclicos y compuestos organoclorados), contrastando las concentraciones de los contaminantes con los valores establecidos en las Guías de Calidad de los sedimentos, por lo que ofrece una valoración más real de la toxicidad de los sedimentos (Essien, 2009; Davutluoglu, 2011; Hahladakis, 2013) y su utilización no queda enmarcada solo a los metales.

Para el análisis comparativo de las concentraciones totales obtenidas para los MRC con los valores certificados se empleó el «Test de Rangos Múltiples». Para el procesamiento de los datos se empleó el paquete de programa Statgraphic Plus 5.1, empleando un valor de  $p < 0.05$  para determinar la significancia estadística de los resultados.

## Resultados y discusión

La evaluación de la contaminación de los sedimentos de la bahía de Santiago de Cuba se realizó según las Guías de calidad de sedimentos de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos.

En el Cuadro 2 se reportan los valores de los principales parámetros analíticos para el procedimiento ensayado, así como los intervalos de  $t_{exp}$

obtenidos para los MRC empleados. Como se aprecia, los límites de detección y cuantificación obtenidos son inferiores en todos los casos a los niveles de TEL establecidos en la guía NOAA de calidad de los sedimentos. Tal resultado demuestra que es posible la cuantificación de los analitos estudiados, aún por debajo de los valores establecidos en dicha guía.

Además, no existen diferencias significativas para un nivel de 95% de confianza entre la concentración certificada y la experimental, lo que fundamenta la aplicación del procedimiento de digestión total seleccionado junto a la cuantificación por FAAS para la determinación del contenido total de los elementos analizados.

**Cuadro 2.** Principales parámetros de desempeño del método analítico empleado para la determinación de los contenidos totales.  $t_{tab} = 4.303$ .

Parámetro	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd
LD ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	4.2	2.7	5.0	3.3	4.2
LC ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	16.6	8.3	19.9	7.6	15.3
Verac. ( $t_{exp}$ )	0.7-3.6	0.7-3.8	0.5-1.9	0.3-3.4	0.2-1.8
Repetibilidad (DTRr,%)	1.7-2.5	0.4-3.3	1.5-3.9	0.9-2.4	1.1-3.3

En el Cuadro 3 se muestran algunos estadísticos descriptivos calculados a partir de la concentración de metales en los sedimentos estudiados.

**Cuadro 3.** Estadística descriptiva de las concentraciones de metales ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) en sedimentos de la Bahía de Santiago de Cuba. DS: desviación standard.

Metal	N	Media	DS	Mínimo	Máximo
Cu	9	169.0	105	43.3	409
Zn	9	162.2	36.8	70.0	216.0
Ni	9	72.4	49.7	27.5	164.0
Pb	9	15.7	19.1	0.4	47.3
Cd	9	< 4.2	-	-	-

Una primera aproximación a la evaluación de la contaminación por Cu, Zn, Ni, Pb y Cd de los sedimentos en estudio se realizó por comparación con los valores de referencia de guías de calidad de sedimentos. En la Figura 2 se contrastan las concentraciones totales de Cu, Zn, Pb, Ni y Cd

determinadas en los sedimentos de las 9 estaciones, con los niveles guías establecidos por las Guías de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (2008). Como se aprecia, el Cu es el elemento cuyas concentraciones son más elevadas y presenta mayor variabilidad ( $43-409 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ). Su concentración en 7 de las 9 estaciones supera el valor del PEL ( $108 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ), concentración a partir de la cual los efectos sobre la biota son probables. En el caso de las estaciones 8 y 9, la concentración de Cu excede el valor del TEL ( $18.7 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ).

El Zn es el segundo elemento que presenta mayor variabilidad respecto al sitio de muestreo (Figura 2). De acuerdo con la distribución espacial de su concentración, solo en la estación 3 es inferior al TEL ( $124 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ). El resto de las estaciones presentan concentraciones superiores a dicho nivel e inferiores a  $271 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , concentración correspondiente al PEL.

El Ni es el tercer elemento que presenta mayor variabilidad y su concentración es superior al TEL en todas las estaciones (Figura 2). Específicamente, en 5 y 6 la concentración sobrepasa más de dos veces la concentración del ERM ( $51.6 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ), lo cual se interpreta en la Guía NOAA como una probabilidad entre 60 y 90% de provocar efectos adversos a la biota.

En el caso del Pb, solo en las estaciones 5, 6 y 9 la concentración presente en los sedimentos rebaza el valor del TEL. Con relación al Cd, las concentraciones presentes en los sedimentos de todas las estaciones son inferiores a  $4.2 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , valor correspondiente al TEL para este elemento.

Tomando como referencia la mediana, el orden de concentración de los analitos estudiados en los sedimentos de la bahía es:  $\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{Cd}$ . Los niveles medios de Cu ( $169 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) y Ni ( $72.4 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) en la zona estudiada de la bahía sobrepasan los valores del PEL para ambos elementos, mientras que el Zn se encuentra en el intervalo entre el TEL y el PEL. Comparando los resultados obtenidos en este trabajo con los reportados por otros autores, se puede plantear que los niveles de Cu son superiores, mientras que los de Pb y Zn se encuentran en el mismo orden (González, 1991; Martínez, 1998).

Los altos niveles de Cu, Zn y Ni en los sedimentos de la bahía pueden estar motivados, entre otros, por aportes antropogénicos provenientes de diversas fuentes municipales e industriales del área, no

obstante, para el Ni y el Cu existe además la posibilidad de contribuciones naturales originadas por los lixiviados procedentes, fundamentalmente de los minerales oriundos de la zona (intemperismo geoquímico).

En resumen, la evaluación de la contaminación de los sedimentos por comparación del contenido total de: Ni, Zn, Cu, Pb y Cd con las concentraciones de referencia establecidas por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos indica que en casi la totalidad de las estaciones los elementos presentan concentraciones por encima del TEL. El cobre y el níquel pueden considerarse como los contaminantes de mayor relevancia debido a que sus concentraciones superaron el nivel máximo de riesgo ecológico (ERM) en al menos una estación.

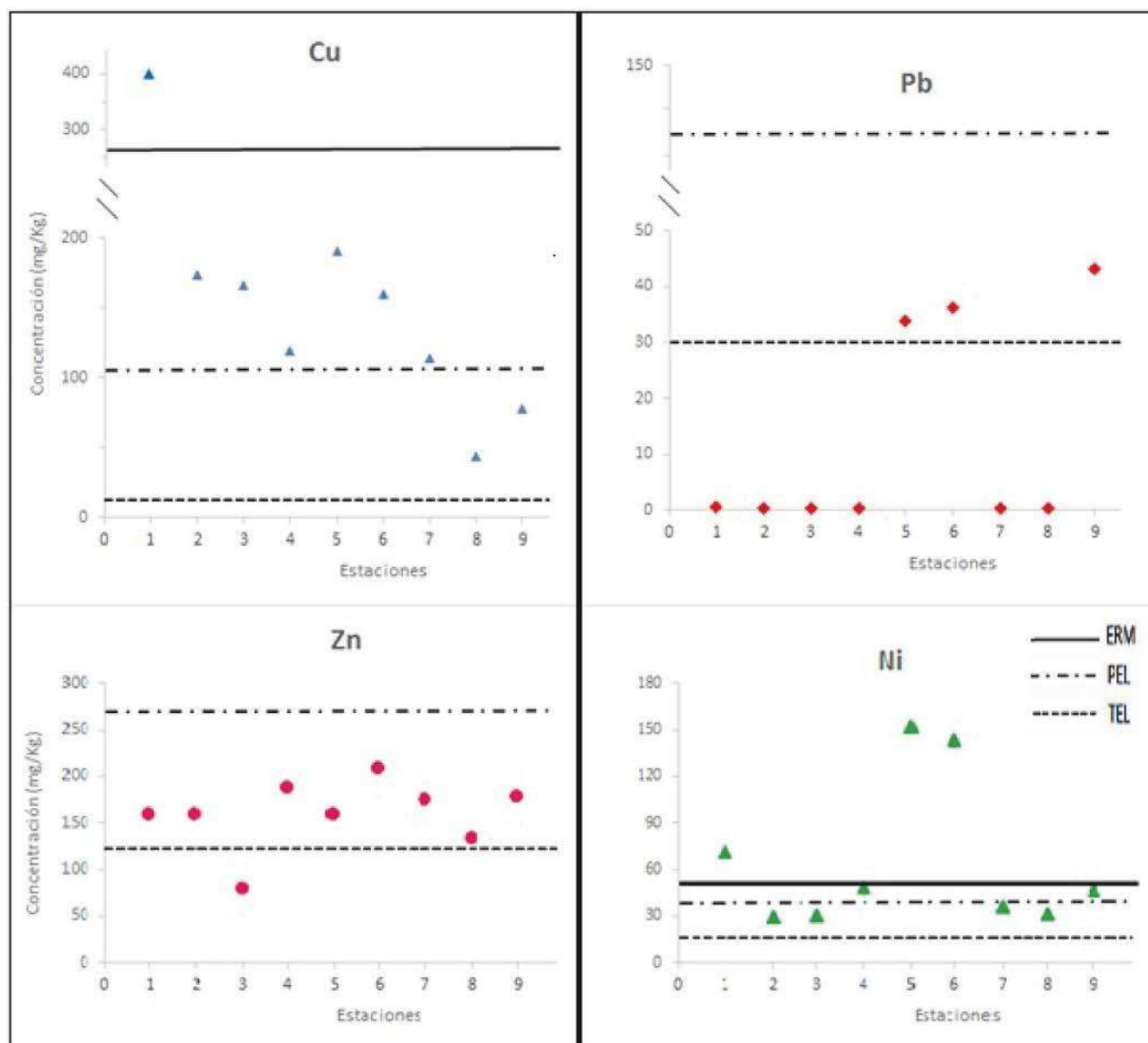
Además, en varias estaciones los niveles de: Ni, Zn, Cu y Pb detectados superaron los contenidos medios correspondientes a rocas sedimentarias carbonatadas (Turekian, 1961). Estos resultados indican una posible antropogenización de las zonas estudiadas de la bahía, sin embargo, una mejor estimación de la contaminación de los sedimentos se realizará teniendo en cuenta tanto criterios de enriquecimiento como ecotoxicológicos.

Como se aprecia en la Figura 2, la concentración de Cu en el 60% de las estaciones se encuentra en el intervalo entre PEL-ERM, lo que indica que los sedimentos presentan un grado de contaminación moderado. Solo en el caso de la estación E1 la concentración de Cu sobrepasa el valor de ERM, por lo que los sedimentos se encuentran muy contaminados con respecto a este metal y es de esperar que ocurran efectos adversos ocasionales y frecuentes, respectivamente, sobre la biota. Esta contaminación pudiera ser explicada sobre la base de las diferentes contribuciones de Cu al ecosistema (intemperismo geoquímico, residuales industriales y actividad petrolífera en general). Aunque el Zn representa el segundo elemento en concentración de los analitos analizados en los sedimentos de la bahía, el 100% de las estaciones presentan concentraciones inferiores al PEL. La concentración de Ni en el 20% de las estaciones se concentra en el intervalo entre PEL-ERM, sin embargo, en el 30% de las estaciones la concentración de este contaminante sobrepasa el

valor de ERM, por lo que los sedimentos se encuentran muy contaminados con respecto a este metal, y es de esperar que ocurran efectos adversos ocasionales y frecuentes, respectivamente, sobre la biota. Esta contaminación pudiera tener un origen similar al del

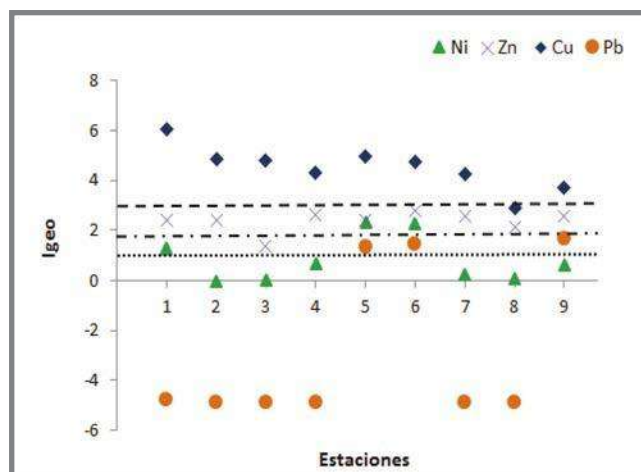
Cu. Para el resto de los elementos (Cd y Pb), las concentraciones en la mayor parte de las estaciones son inferiores a los valores del nivel con efectos biológicos bajos, por lo que la probabilidad de toxicidad es baja.

**Figura 2.** Comparación de la concentración total de Cu, Zn, Pb y Ni en cada sitio de muestreo con las concentraciones de referencia en la Guía NOAA. TEL: Concentración por debajo de la cual no existe riesgo potencialmente tóxico para los organismos. PEL: Concentración con efectos probables. ERM: Concentración con efectos biológicos moderados. El nivel de riesgo aumenta en el sentido: TEL < PEL < ERM.



Con relación al índice de geoacumulación (Figura 3) se destaca en primer lugar el Cu, con  $I_{geo} > 3$  en todas las estaciones de muestreo, lo que clasifica a sus sedimentos de fuertemente a extremadamente contaminados con este elemento. El Zn aparece en segundo lugar con niveles de contaminación de moderada a fuerte en 8 de las 9 estaciones estudiadas. La contaminación con Ni es de moderado (1) a fuertemente contaminado (5 y 6) en tres de las estaciones, las que coinciden con aquellas donde las concentraciones detectadas superaron el valor de concentración con efectos biológicos moderados (ERM). El nivel de contaminación con Pb es bajo, aunque puntualmente se destacan las estaciones 5, 6 y 9, las mismas que sobresalían en la comparación con los valores de referencia establecidos por la NOAA, con una contaminación moderada, lo cual puede estar dado por actividades vinculadas al uso y manejo de combustibles.

**Figura 3.** Índices de geoacumulación calculados con respecto a la corteza terrestre (rocas sedimentarias carbonatadas).  $I_{geo} < 0$  no contaminado;  $I_{geo} 0 - 1$  no contaminado-moderadamente contaminado;  $I_{geo} 1 - 2$  moderadamente contaminado;  $I_{geo} 2 - 3$  moderado a fuertemente contaminado;  $I_{geo} 3 - 4$  fuertemente contaminado;  $I_{geo} 4 - 5$  fuertemente a extremadamente contaminada e  $I_{geo} > 5$  muy contaminado.

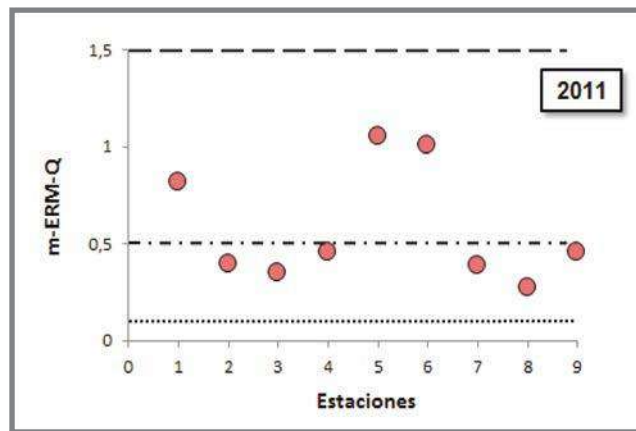


Aunque este índice constituye una herramienta muy efectiva en la diferenciación de la fuente de enriquecimiento por metales entre antropogénica o natural, solo brinda una valoración individual de los contaminantes y no ofrece información acerca de la

interacción potencial de los metales con los componentes abióticos y bióticos del medio. Asimismo, es necesario tener en consideración que la elección de una u otra concentración de fondo condiciona la interpretación geoquímica del área en estudio. Evaluación según el índice del cociente medio de los efectos de riesgo moderado (m-ERM-Q):

Según este índice (Figura 4), seis de los sedimentos analizados están ligeramente contaminados ( $0.11 < m\text{-ERM-Q} < 0.5$ ), lo que representa un 30% de probabilidad de causar efectos biológicos adversos, según Essien (2009). Destacan como más contaminadas las estaciones 1, 5 y 6 con valores de m-ERM-Q superiores a 0.5, lo que clasifica a sus sedimentos como moderadamente contaminados.

**Figura 4.** Índice del cociente medio de los efectos de riesgo moderado (m-ERM-Q) para todas las estaciones. Clasificación:  $m\text{-ERM-Q} < 0.1$  - no contaminado;  $0.11 < m\text{-ERM-Q} < 0.5$  - ligeramente contaminado;  $0.5 < m\text{-ERM-Q} < 1.5$  - moderadamente contaminado;  $m\text{-ERM-Q} > 1.5$  - altamente contaminado.



Los criterios empleados hasta el momento, sirven como punto de partida para la evaluación de los posibles efectos que los contaminantes estudiados puedan provocar en los organismos. Sin embargo, se debe prestar atención al carácter experimental estadístico sobre el cual fueron elaboradas las guías NOAA. Estas fueron desarrolladas para su empleo en una determinada zona geográfica sobre la base de la composición de los sedimentos y los efectos reales observados sobre la biota en esa región.

Ciertamente, estas guías constituyen una herramienta de fácil aplicación y han demostrado su



utilidad en el lugar donde fueron elaboradas, pero la extrapolación a otras áreas debe ser cuidadosamente evaluada. Por otra parte, dado los resultados obtenidos y teniendo en cuenta que la evaluación por contenidos totales no predice la capacidad de movilización de los contaminantes hacia el medio acuático, ni su biodisponibilidad, se recomienda realizar un estudio para evaluar la biodisponibilidad de los metales estudiados.

## Conclusiones

La comparación directa del contenido total de los elementos indicadores de contaminación con los valores de referencia establecidos en la guía de calidad de sedimentos NOAA permitió establecer en primera instancia los sitios mayormente impactados por la actividad humana (1, 5 y 6) y los principales elementos indicadores de la contaminación (Cu, Zn y Ni).

De acuerdo al criterio del índice de geoacumulación, los sedimentos de la rada santiaguera se encuentran fuertemente contaminados con Cu, moderadamente contaminados con Zn y tres de las estaciones consideradas presentan una contaminación de moderada a fuerte con Ni.

Según el índice de riesgo ecológico, el 60% de los sedimentos analizados se encuentran ligeramente contaminados y el 30% moderadamente contaminados. Destacan como más contaminadas las estaciones 1, 5 y 6.

## Literatura citada

AZEVEDO, M. L., Ferraceiu, L. R., Guimaraes, L. R. 2003. Biosolids and heavy metals in Soils. *Sci. Agric.* (60):793-806.  
AJLEC, R.; Cop, M. and Stupar, 1988. *J. Analyst* (113):585.  
GONZÁLEZ, H. 1991. Heavy metal surveys in sediments of five important Cuban Bays. *Biogeochemistry* (14):113-128.  
ARAUZ D., Garcia A. L., Rodriguez F., Zarate M. F. 2013. Nivel de contaminación y distribución espacial de metales pesados en sedimentos superficiales de Bahía Damas, Isla Coiba. *RIDTEC*. 9 (2):14-23.  
AVILA H., Quintero E., Angulo N., Cardenas C., Araujo N., Morales N., Prieto M. 2014. *Multiciencias* 14(1): 6-21.  
BETTIOL, C., Stievano, L., Bertelle, M. and Delfino, E.A., 2008. *Applied Geochemistry* (23):1140.

CALDERON C., Valdes J. 2012. Contenido de metales en sedimentos y organismos bentónicos de la Bahía San Jorge, Antofagasta, Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 47(1):121-123.  
DAVUTLUOGLU, O.I.; Seckin, G.; Ersu, C.B.; Yilmaz, T.; Sari, B. 2011. Assessment of metal pollution in water and surface sediments of the Seyhan river, Turkey, using different indexes. *Clean-Soil, Air, Water* (39):185-194.  
ESSIEN, J. P.; Antai, S. P.; Olajire, A. A. 2009. Distribution, seasonal variations and ecotoxicological significance of heavy metals in sediments of cross river estuary Guide to Method Validation and related Topics.  
EURACHEM: The Fitness for Purpose of Analytical Methods. 1998. A Laboratory  
GONZALEZ LOZANO, C., Mendez Rodriguez, D., Lopez Veneroni G., Vazquez Botello A. 2006. Evaluación de la contaminación en sedimentos del área portuaria y zona costera de Salina Cruz, Oaxaca, Mexico. *Interciencia* 31(9):647-656.  
HENRÍQUEZ, C. 2006. Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos de la Cuenca del Río Quibu. Tesis Maestría. Universidad de la Habana. Cuba.  
HAHLADAKIS, J., Smaragdaki, E., Vasilaki, G., Gidarakos, E. 2013. Use of Sediment Quality Guidelines and pollution indicators for the assessment of heavy metal and PAH contamination in Greek surficial sea and lake sediments. *Environ Monit Assess* (185):2843-2853.  
ISO 5667/15-99. Calidad del agua. Muestreo. Parte 15: Guía sobre conservación y manipulación de muestras de lodo y sedimento.  
ISO 5667/19-2004. Calidad del agua. Muestreo. Parte 19: Guía para el muestreo de sedimentos marinos.  
LUKKANI, T., Taavitsarinen, M., Vaisanen, A. and Haimi, J., 2004. *Ecotoxicology and Environmental Safety* (59):340.  
MARTÍNEZ, M., Pérez, R. et al. 1998. Nivel de contaminación metálica de los sedimentos de fondo de algunas zonas de la plataforma insular cubana. Memorias IV Taller Cátedra de Medio Ambiente.  
MARTINO, M.; Turner, A.; Nimmo, M.; Milward, E.; 2002. Resuspension, reactivity and recycling of trace metals in the Mersey Estuary, UK. *Mar. Chem.* (77):171-186.  
METHOD EPA 3052. 1996. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices.  
MULLER, G., 1971. Schermetalle in den Sedimenten des Rheins – Veränderungen. *Umschau* (79):778-783.  
NOMENCLATURE IN EVALUATION OF ANALYTICAL METHODS INCLUDING DETECTION AND QUANTIFICATION CAPABILITIES (IUPAC Recommendations 1995). 1995. *Pure and Appl. Chem.* (67):1699-1723.  
RAO, C. R. M., Sahuquillo, A., Lopez Sanchez, J. F., 2008. *Water Air Soil Pollut.* (189):291.  
SASTRE, J., Sahuquillo, A., Vidal, M. and Rauret, G., 2002. *Analytica Chimica Acta* (462):59.  
SOYLAK, M., Divrikli U., Saracoglu S. and Elci L., 2002. Polish Journal of Sun, Y., Chi, P., Shiue, M. 2001. *Analytical Sciences* (17):1395.  
TUREKIAN, K. K., Wedepohl, K. H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geol. Soc. Am.* (72):175-191.

Este artículo es citado así:

Quevedo-Álvarez, O., J. L. Gómez-Pascual, T. Estrada-La Rosa, A. C. Núñez-Clemente. 2019. Estudio de la contaminación por metales en sedimentos marinos de la Bahía de Santiago de Cuba. *TECNOCENCIA Chihuahua* 13(3):181-190.

DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v13i3.476>

## Resumen curricular del autor y coautores

**ODALYS QUEVEDO ÁLVAREZ.** Terminó su licenciatura en 1991, año en el que le fue otorgado el Título de Licenciada en Química por la Facultad de Química de la Universidad de la Habana. Obtuvo la Maestría en Química Analítica en el año 2012 y el grado de Doctora en Ciencias Químicas en la Universidad de la Habana en el año 2014. Desde el año 1991 labora en el Centro Nacional de Investigaciones Científicas donde obtiene la categoría de Investigador Agregado. Sus principales investigaciones las realiza en el campo de la Química Analítica. Ha publicado como autor más de 30 artículos científicos en revistas y participado en más de 28 eventos nacionales e internacionales, 1 patente y 2 libros. Ha dirigido 10 proyectos de investigación científico técnica en temáticas de Química Analítica. Se desempeña como Miembro del Tribunal Categoría de Investigador Auxiliar en el centro. Tutor de 2 trabajos de curso y 10 Tesis de Grado. Ha participado en 9 proyectos regionales y nacionales. Ha impartido conferencias, clases prácticas, seminarios y laboratorios de las diferentes asignaturas que se imparten en el Departamento de Química Analítica de la carrera de Licenciatura en Química.

**JORGE LORENZO GÓMEZ PASCUAL.** Terminó su licenciatura en 1976, año en el que le fue otorgado el título de Licenciado en Química por la Facultad de Química de la Universidad de la Habana. Obtuvo el grado de Doctor en Ciencias Químicas en la Universidad de la Habana en el año 2000. Desde el año 1979 laboró en el Centro de Investigaciones Químicas, obteniendo las categorías científicas de Investigador Agregado e Investigador Auxiliar. Desde el año 1992 labora en el Centro de Investigación del Petróleo donde obtiene la categoría de Investigador Titular. Sus principales investigaciones las realiza en el campo de la Corrosión Atmosférica y la Química Analítica. Ha publicado como autor más de 50 artículos científicos en revistas y participado en más de 200 eventos nacionales e internacionales. Ha dirigido 10 proyectos de investigación científico técnica en temáticas de Corrosión Atmosférica y Química Analítica. Se desempeña como Presidente del Tribunal Categoría de Investigador Auxiliar en el centro. Tutor de 1 Tesis de Doctorado, 4 Tesis de Maestría y 10 Tesis de Grado.

**TAMARA ESTRADA LA ROSA.** Terminó sus estudios como Técnico de nivel medio en Química Analítica en el año 1991. Ha trabajado en laboratorios de Labiofam, Empresa Cárnica y en el Centro Nacional de Higiene de los Alimentos (CNHA). Ha recibido 21 cursos de superación en diferentes temas de su especialidad. Ha participado en 12 eventos nacionales e internacionales. Ha sido cotutora de un trabajo de curso de licenciatura en química.

**ANA CATALINA NÚÑEZ CLEMENTE.** Terminó su licenciatura en 1989, año en el que le fue otorgado el título de Licenciada en Química por la Facultad de Química de la Universidad de La Habana (UH). Obtuvo el grado de Maestra en Ciencias en el área de Impacto y Protección Ambiental en el año 2003 por el Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas (INTEC). Desde el año 1996 labora en el Centro de Investigación del Petróleo (CEINPET) y posee la categoría científica de Investigador Auxiliar. Sus principales investigaciones las realiza en el campo de la Química Ambiental. Del colectivo de autores de más de 30 artículos científicos y participado en más de 30 eventos y congresos. Ha dirigido varios servicios científico-técnicos y 3 proyectos nacionales en temáticas de Química Ambiental. Ha dirigido 2 tesis de grado. Se desempeña como Miembro del Tribunal Categoría de Investigador Auxiliar en el centro. Es miembro del Comité Técnico Asesor de Medio Ambiente de la Unión Cuba Petróleo (CUPET).