

Contaminación por metales pesados en los sedimentos de los Ríos Tílima y Hatibonico

Grety Márquez-Peñamaría,
Luis B. Ramos-Sánchez,
Zaida Fernández-Terra,
Rubén del Toro-Deniz,

Docentes de la Universidad de Camagüey. Facultad de Química y Alimento. Cuba

Autor para correspondencia: luis.ramos@reduc.edu.cu

Christine Goehler,
Volker Luederitz.

Docentes de Hochschule Magdeburg - Stendal. Alemania

Manuscrito recibido el 18 de noviembre de 2012. Aceptado tras revisión el 21 de diciembre de 2012

RESUMEN

La contaminación por metales pesados es uno de los problemas más importantes y complejos con los que se enfrenta la sociedad actual. La necesidad de minimizar esta contaminación ha llevado al hombre a estudiar la variación de las características químicas de las aguas. Los metales pesados requieren de una atención prioritaria tanto por la ciencia como por la tecnología, debido a la alta carga de toxicidad y los riesgos a la salud humana que producen. Es por ello que este trabajo tuvo como objetivo determinar los niveles de concentración de metales pesados (Ni, Zn, Cu, Sn, Pb, Cr, Pb, Hg, Co) en sedimentos de puntos de los Ríos Tílima y Hatibonico, en la Cuenca San Pedro, de la provincia de Camagüey. En una primera etapa fueron muestreadas las aguas en diez puntos distribuidos en toda cuenca San Pedro. A estas muestras se le realizó un análisis cualitativo basado en el desarrollo de color utilizando una columna rellena con un absorbente a base de sulfuro de Zinc. Los resultados de esta etapa reflejaron que en ocho puntos existía contaminación por metales pesados. Para establecer el nivel de contaminación, en una segunda etapa se decidió tomar muestras de los sedimentos de los puntos con resultados anómalos. La determinación cuantitativa se realizó por Espectrometría de Absorción Atómica con llama, exceptuando el mercurio, que se determinó por EAA con vapor frío. Los resultados mostraron que las concentraciones de Ni, Zn, Cu, Sn, Pb, y Cr, son superiores a las establecidas por las normativas internacionales.

Palabras clave: Contaminación, aguas superficiales, lodo, sedimento, metales pesados.

ABSTRACT

Contamination by heavy metals is one of the most important and complex problems that face the present-day society. The need of minimizing this contamination has generated the control by man of the variations of the chemical characteristics of water. The heavy metals contamination call for a priority attention of science and technology due to the high load of toxicity and risks to human health that they produce. This work hence aims at determining concentration levels of nine heavy metals (Ni, Zn, Cu, Sn, Pb, Cr, Pb, Hg, Co) in the sediments of eight points of the rivers Tílima and Hatibonico, in the San Pedro's basin of Camagüey's province. In a first stage waters in ten points distributed all over San Pedro's basin were sampled. These samples were qualitatively analyzed based in the development of colour utilizing a packed column with an absorbent on the basis of Zinc sulphide. The results of this stage showed that contamination by heavy metals existed in eight points. In order to establish the level of contamination, in a second stage was decided to take samples of the sediments of the points with anomalous results. The quantitative determination was done by Atomic Absorption Spectrometry. The results showed that of the heavy metals examined: Ni, Zn, Cu, Sn, Pb, Cr, presented higher concentrations than those established by international norms in several of the collected samples.

Key words: Contamination, superficial waters, mud, sediment, heavy metals.

INTRODUCCIÓN

La contaminación de las aguas es uno de los problemas más complejos que se presenta a la Ciencia y la Técnica actual. No bastan las buenas intenciones, ni las normas y legislaciones para resolver esta situación, que es cada vez más aguda. Existen las leyes y las regulaciones pero conjuntamente con esto, persiste la contaminación de los recursos hídricos. (Colis et al., 2011; Quiroz, 1995)

Dentro de los contaminantes más severos de los recursos hídricos, se encuentran los metales pesados (Moore & Ramamorthy, 1987; Rauf, Javed, Ubaidullah, & Abdullah, 2009) con una alta carga de toxicidad, incluso a exposiciones continuadas de concentraciones sub-letales.

Los metales pesados se incorporan al hombre por diversas vías (Álvarez & López, 1997) para dañar de forma irreversible en algunos casos, órganos y tejidos, y

provocar en otros, efectos carcinogénicos que terminan drásticamente con la existencia humana (Tavares, Ferreira, Magalhaes, Silva, & Tadel, 2003). Los metales son constituyentes naturales de la corteza terrestre. Las actividades humanas han modificado drásticamente el equilibrio y los ciclos bioquímicos y geoquímicos de algunos metales pesados. (Forsberg & Zeidemann, 1999; Guimaraes, Fostier, & others, 1999; Rámirez, 1991) Como no pueden degradarse ni destruirse, los metales pesados son contaminantes estables y persistentes del medio ambiente. Como consecuencia de ello, tienden a acumularse en suelos y sedimentos. (Hernández et al., 2003; Lindeström, 2003; Rendina, Arrechinf, Bargiela, & Iorio, 2001)

Muchos metales son esenciales para la vida y sólo se convierten en tóxicos cuando la exposición de la biota es excesiva, es decir, cuando excede un umbral determinado en el que comienzan a producirse efectos perjudiciales. Aunque algunos metales no esenciales no tienen umbrales de exposición explícitos para la producción de efectos nocivos, la naturaleza de las respuestas biológicas a la exposición a los metales es consecuencia directa de la exposición y se define mediante relaciones de dosis-efecto. Es por ello que la predicción de cuándo se pondrán de manifiesto los efectos provocados por la presencia de metales en los organismos vivientes, solo se conoce desde el punto de vista macroscópico. Por consiguiente, es deseable reducir al mínimo esa exposición (Erikfeld, 2001; Luque, Sardans, Cisa, & Sabata, 2001; Ruiz, Romero, & Echemendía, 1992). En contraste con ello, el principal problema en el caso de los metales pesados es limitar la exposición a niveles que no causen efectos perjudiciales.

Las principales fuentes antropogénicas de metales pesados son variadas: industriales puntuales, incluidas las actividades mineras actuales y pasadas, las fundiciones, fuentes difusas como las tuberías, la combustión de subproductos derivados del petróleo, el tráfico, etc. Los metales pesados relativamente volátiles y los que se adhieren a partículas acuosas pueden dispersarse ampliamente. Los metales pesados transportados en medios acuosos y sedimentarios (por ejemplo, la escorrentía fluvial) se integran en el ciclo bio-geoquímico costero normal y en gran medida quedan retenidos en las regiones cercanas a la costa y en la plataforma.

El objetivo de este trabajo es determinar el nivel de contaminación de metales pesados existente en los sedimentos de los ríos Tílima y Hatibonico, de la cuenca San Pedro, en la Provincia de Camagüey, Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de Estudio

El río San Pedro está formado principalmente por los ríos Tílima y Hatibonico. El Hatibonico nace entre las cotas 120 - 130 m. sobre el nivel del mar, al norte de la ciudad de Camagüey, a su paso por la ciudad se le incorporan

los ríos Guije, Juan del Toro y Júcaro los cuales nacen al este de la ciudad. El Tílima por su parte nace a 6 km al norte de la ciudad de Camagüey y atraviesa la misma por la parte oeste.

Aproximadamente a 2 km al sur de la ciudad los ríos Tílima y Hatibonico se unen y el nombre de Hatibonico se mantiene hasta la unión con el Guareao, 13 km más al sur, recibiendo entonces el nombre de Guaguabo, a esta altura se encuentra remansado por la presa Jimaguayú, después de la cortina del embalse toma el nombre definitivo de San Pedro, el cual se une casi en la desembocadura al Durán. El cauce principal tiene una longitud de 134 km. Actualmente existe una derivación cerca de la desembocadura que permite el trasvase de agua del río San Pedro al Durán.

En la parte media, la red fluvial está débilmente desarrollada y aguas abajo el río se torna afluente de consideración. En la parte superior el río corre en dirección suroeste, desviándose más hacia el oeste, las márgenes del cauce en la parte superior tienen alturas de 7 a 8 m y en la parte media de 3 a 5 m.

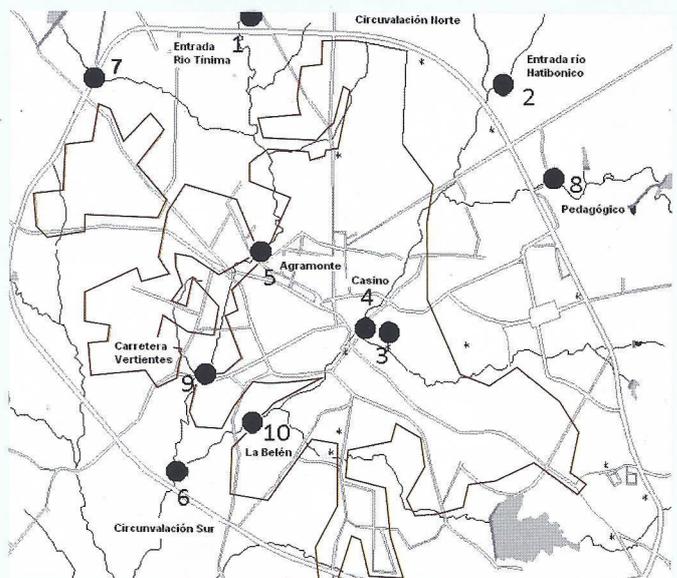


Figura 1. Mapa de los puntos de muestreo en la cuenca San Pedro de la provincia de Camagüey.

Selección de las muestras

El muestreo se realizó en ocho puntos de los afluentes Tílima y Hatibonico de la cuenca San Pedro en la provincia de Camagüey, Cuba, ya que las aguas en dichos puntos, habían sido objeto de un estudio cualitativo previo. Este método consistió en pasar un litro de muestra por una columna de vidrio de 20 cm de largo y 1,5 cm de diámetro; empacada con 1 g de adsorbente (silicagel de 0,2 - 0,5 mm impregnado en ZnS) con un flujo de 5 mL/min.

La presencia de metales pesados en la muestra se realizó por detección visual donde el adsorbente de color blanco toma una coloración de gris a negro en dependencia de la concentración de los metales (Anvador &

Fdez, 1991; Mijangos, Ibarro, Salvador, & Fdez, 1991). Los resultados indicaban la presencia de estos metales en ocho puntos. Por lo que se decidió realizar un estudio cuantitativo en los sedimentos de esos mismos puntos, teniendo en cuenta que la mayor concentración de estos metales se encuentra en los sedimentos. Los puntos seleccionados abarcan desde la entrada a la ciudad de Camagüey de los afluentes Tílima y Hatibonico hasta la salida de la misma, donde estos afluentes se cruzan, tal y como se muestra en la figura 1. Para ello se tomó una cantidad de lodo superficial con ayuda de un frasco de lavado acoplado a una varilla metálica, en un área de 1 m² de cada punto previamente seleccionado.

Las muestras tomadas fueron sometidas a un proceso de secado a temperatura ambiente, pulverizadas con morteros y pesadas en una cantidad de 10 g, de manera tal que permitieran su almacenamiento en recipientes de color ámbar con sus tapas, previamente esterilizados y rotulados según los puntos de muestreo, para su posterior análisis por el método de Espectrometría de Absorción Atómica.

Determinación de metales por Espectrometría de Absorción Atómica

Para la determinación de los diferentes metales pesados presentes en las muestras de sedimentos se hizo utilizando un espectrofotómetro de Absorción Atómica. (Modelo ABC 906 AA). La mezcla de combustión utilizada fue la de acetileno-aire (INFRA, AA), la cual proporciona una temperatura de 1 000 °C. Las curvas de calibración se elaboraron con ayuda de disoluciones estándar, de las marcas Fluka, Merck y Riedel-deHaën y lámparas de cátodo hueco correspondiente a cada metal.

Por tanto fue necesario someter las muestras nuevamente a un proceso de preparación, además de la elaboración de las curvas de calibración correspondientes a cada metal.

Preparación de las Muestras

Para lograr una mayor absorción de los metales en los sedimentos fue necesario primeramente reducir aún más el tamaño de las partículas hasta obtener un polvo¹. Para ello se tomó 10 g de cada muestra, se pasó por un molino (Retsch) durante cinco minutos a una velocidad de 85 000 min⁻¹. Luego éstas fueron calentadas a 105 °C durante 30 min. Durante el proceso de calentamiento las muestras se encontraban destapadas y se colocaron cada una con sus tapas. Al concluir este proceso fueron tapadas y trasladadas con pinzas a una desecadora donde se podían dejar refrescar de uno a tres días. Una vez finalizada la preparación de las muestras, se pesaron 3,0 g de cada una.

Para la determinación de los metales, exceptuando el Hg, las muestras fueron sometidas a un proceso de digestión, el cual consistió en la adición de las mismas en

¹ Manual de técnicas analíticas del laboratorio Instrumental de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Magdeburgo, Alemania.

balones, a los que se les adicionó: 21 mL de HCl y 7 mL de HNO₃ concentrados. Posteriormente a cada balón se les acopló una vasija o recipiente de absorción, adicionándole 10 mL de una disolución de HNO₃ de concentración 0,5 mol/L. Luego se les colocó un condensador con agua durante 24 h, tiempo necesario para que ocurriese la reacción química. Posteriormente se aplicó circulación de agua en los condensadores para llevar cabo el proceso de digestión, el cual se realizó a 120 °C durante dos horas. El producto obtenido fue diluido con agua bidestilada hasta un volumen de 100 mL.

Los patrones de los metales analizados para espectroscopía atómica en ácido nítrico fueron diluidos con una disolución de 10 mL de HNO₃ concentrado (65 %) en 100 mL de agua destilada, al igual que las muestras problemáticas. Todas las muestras fueron analizadas por triplicado y los valores reportados en este trabajo corresponden a la promedia de las tres repeticiones.

Para cada metal se construyó una curva de calibración, partiendo de soluciones de estándar 1000 mg/L en HNO₃ 0,5 mol/L. Cada curva contó con cinco patrones de diferentes concentraciones, atendiendo a cada metal en el rango lineal, en este sentido para cada metal existió un rango de concentraciones diferentes y las rectas de regresión se hallaron por el método de ajuste de los mínimos cuadrados. En la tabla 1 se reportan los coeficientes de determinación para cada metal.

En el equipo, en todos los casos, la altura de *slit* fue normal, el flujo de combustible fue de 2 L/min y el de oxidante 10 L/min. Otras condiciones instrumentales de operación del equipo se reflejan en la tabla 1:

Tabla 1- Parámetros instrumentales del equipo de absorción atómica.

Metal	Corriente de Lámpara (mA)	Longitud de onda (nm)	Ancho de SLIT	R ² curva patrón
Pb	4	217,0	1,0	0,910
Ni	5	232,0	0,2	0,971
Cr	6	357,9	0,2	0,996
Cu	3	324,7	0,5	0,999
Zn	5	213,9	0,5	0,999
Cd	3	228,8	0,5	0,999
Co	6	240,7	0,2	0,893
Sn	10	286,3	0,7	0,973

Determinación de Mercurio

Se procedió a la preparación de las muestras, adicionándole a 3,0 g de cada una, 5 mL de HNO₃ concentrado, 5 mL de H₂SO₄ concentrado, 15 mL de una disolución de KMnO₄ de concentración 0,125 mol/L y agua destilada hasta alcanzar un volumen de 100 mL. Luego se calentaron durante una hora a una temperatura de 95°C. Las muestras previamente preparadas fueron adicionadas en una probeta a la que se le añadió 5 mL de HNO₃ concentrado y agua destilada hasta una medida de volumen fijada. Posteriormente se le adicionó 5 mL de NH₂OH x

HCl y 2 mL de SnCl₂ de concentración 15g/100 mL, realizándose las determinaciones de concentración de Hg en µg/10 mL de muestra en un espectrómetro de absorción atómica por el método de vapor frío.19

Procesamiento Estadístico de los Datos Experimentales

Las concentraciones de los metales determinadas en los diferentes puntos de muestreo fueron analizadas por una matriz de correlación lineal, buscando establecer posibles causas de la contaminación.

Cálculo de los Índices de Contaminación

Para determinar el comportamiento de las concentraciones medidas respecto a los valores límites indicadores de contaminación comprobada, se calculó un índice de contaminación dado por la desviación relativa a los valores reportados en el nivel 1 de las normas holandesas, tal como se muestra en la ecuación (1):

$$IC = \frac{(C_{metal} - C_{límite})}{C_{límite}} \quad (1)$$

Donde:

IC: Índice de contaminación de los metales en los diferentes puntos.

C_{metal}: Concentración del metal. (mg/kg)

C_{límite}: Concentración límite. (mg/kg)

Con los valores calculados con la ec.(1), se determinaron los valores medios de este índice para cada metal en todos los puntos y para cada punto para todos los metales:

$$\bar{IC} = \frac{\sum_{i=1}^n IC}{n} \quad (2)$$

\bar{IC} : Índice de contaminación medio de los metales en los diferentes puntos de muestreo.

IC Índice de contaminación de los metales en los diferentes puntos, o índice de contaminación de cada punto.

n: número de puntos de muestreo (8 puntos) o número de metales considerados (9 metales).

El índice de contaminación medio calculado con la ec.(2) para cada metal cuantifica la dispersión de las concentraciones de éste respecto al límite permisible en toda la cuenca según los ocho puntos de muestreo elegidos en este trabajo. Un valor muy positivo resulta peligroso y valores negativos indican que las concentraciones determinadas se encuentran por debajo de lo que se considera peligroso por las normas utilizadas. En el caso del índice medio en los puntos lo que se revela es la desviaciones globales, debidas a los diferentes metales considerados. Mientras más positivo sea este resultado, significa que hay un mayor número de metales en los que sus concentraciones sobrepasan los límites normales.

Diagrama de Pareto

Este diagrama se construye ordenando los elementos de mayor a menor y tomando el porcentaje acumulado de las causas en cada uno de los elementos en ese orden.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se presentan los valores de concentración de las diferentes muestras tomadas en varios puntos de los ríos Tílima y Hatibonico. Para cada uno de los metales fue calculada la media, la desviación estándar (DE) y el coeficiente de variación (CV). Como se evidencia por el coeficiente de variación, existe una amplia dispersión en las concentraciones de estos metales de punto a punto de muestreo.

Tabla 2- Niveles de concentración determinados en los puntos de muestra. (mg/kg)

Nro.	Pb	Ni	Cr	Cu	Zn	Cd	Co	Sn	Hg
1	65	99	53	79	175	0,23	11	66	0,23
2	15	1354	370	52	125	0,1	120	72	0,6
4	67	390	136	55	172	0,5	24	29	0,2
5	337	242	156	106	122	0,23	23	74	0,1
6	99	102	53	158	284	0,04	12	13	0,33
8	4	2642	2093	45	101	n. d.	223	102	0,12
9	472	134	87	67	135	0,57	14	37	0,17
10	127	359	151	143	442	1,03	18	57	1,16
Media	148	665	387	88	194	0,39	56	56	0,36
Desv. Est.	167	898	696	43	115	0,34	77	29	0,36
CV (%)	113	135	180	49	59	89	138	51	99

En la tabla 3 se exponen dos niveles de referencia de contaminación según las normas holandesas.(Ruiz, 1994) El nivel I es aquel por encima del cual hay contaminación demostrable. El nivel II indica valores por encima de los cuales se debe sanear los sedimentos.

Tabla 3- Niveles máximos permisibles de metales pesados en sedimentos de aguas dulces según la norma holandesa (mg/kg)

NIVELES	Pb	Ni	Cr	Cu	Zn	Cd	Co	Sn	Hg
I	50	50	100	50	200	1	20	20	0,5
II	600	500	800	500	3 000	20	300	300	10,0

Al comparar la información de las tablas 2 y 3 resulta evidente que la norma holandesa es superada en varios puntos de muestreo para varios metales en el nivel I y el nivel II es sólo superado por el níquel. Analizaremos en detalle los resultados.

En la Figura 2 se representan los niveles del índice de contaminación calculado según se explicó antes de cada uno de los metales pesados en los diferentes puntos.

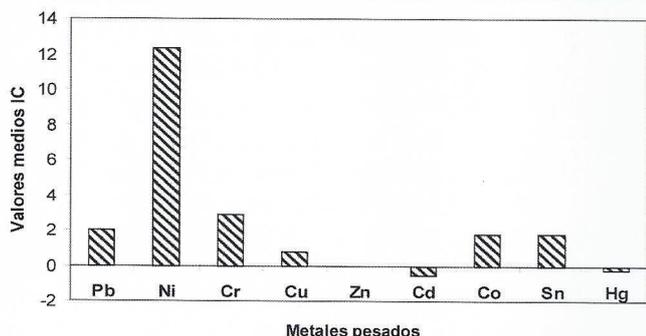


Figura 2. Índice de contaminación promedio de los metales pesados en los diferentes puntos de muestreo.

Los resultados en la figura 2 muestran al níquel con un valor de contaminación muy elevado, seis veces superior al cromo, metal que le sigue en intensidad de contaminación en la cuenca. Se destaca que los metales zinc, cadmio y mercurio presentan valores por debajo de los límites permisibles según las normas holandesas. (Ruíz, 1994)

Con vistas a identificar con mayor precisión los metales que más contribuyen a la contaminación según el índice representado en la figura 2, se construyó el diagrama de Pareto que aparece representado en la figura 3.

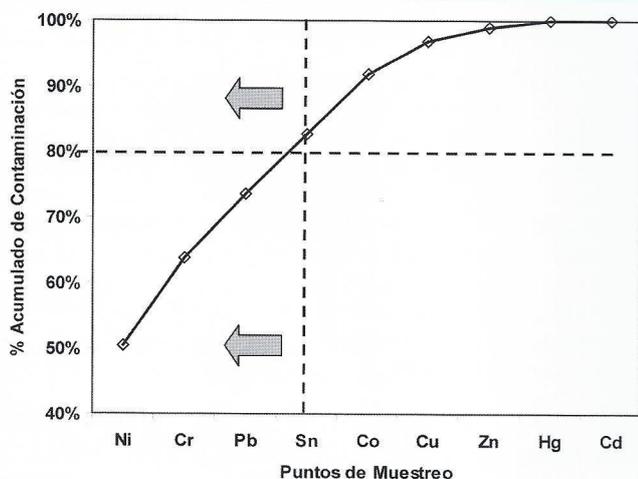


Figura 3. Diagrama de Pareto para la contaminación de acumulada de los diferentes metales pesados.

De acuerdo a este diagrama, el Ni, el Cr y el Pb son los que presentan mayor desviación con respecto a los límites aceptados en la referida norma holandesa para el nivel 1. Este hecho pudiera estar asociado a la existencia de un gran yacimiento de níquel y cromo a pocos kilómetros de estos ríos. Esta cercanía pudiera facilitar la deposición de partículas aéreas con cromo, provenientes de esos terrenos anexos. Según Niagru (1990) las emisiones provenientes de partículas aéreas de suelo constituyen la fuente natural de cromo atmosférico más significativa (Niagru, 1990). Probablemente una hipótesis semejante pudiera aplicarse al níquel. Además, el valor medio de concentración del níquel reflejado en la tabla 1 (665 mg/kg), es muy

superior a los valores de concentración de metales pesados en sedimentos de diferentes ríos del mundo reportados por Aprile, F.M. & Bouvy. (Aprile & Bouvy, 2008) Según este autor el valor medio mundial es de sólo 68 mg/kg, cien veces menor que el determinado para esta cuenca.

En la figura 4 se refleja el promedio del índice de contaminación de los diferentes metales pesados en cada uno de los puntos muestreados.

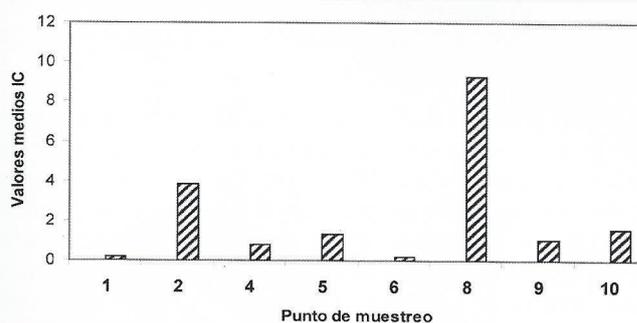


Figura 4. Promedio de los diferentes metales pesados en cada punto de muestreo.

Usando los datos de la figura 4 se construyó el correspondiente diagrama de Pareto, como se muestra en la figura 5, la cual permite identificar los principales puntos de contaminación. Los resultados demuestran que los puntos 8, 2 y 10 presentan los mayores niveles de contaminación global de los metales analizados.

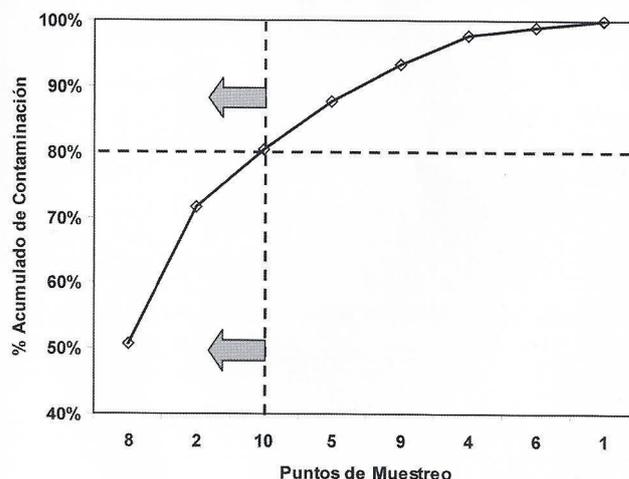


Figura 5. Diagrama de Pareto que muestra los puntos de muestreo donde se concentra la mayor contaminación.

Según la tabla 1, en el punto 8, situado en el afluente del río Hatibonico, conocido como el Gúije, la mayor contaminación se debe a los metales pesados: Ni, Cr, Co y Sn. Este alto contenido de estos metales puede ser producido, además de por causas naturales como se señaló antes, por los residuales de las arcillas empleadas como materia prima en la fábrica de baldosas cercana a este punto, las que pueden contener cromo, níquel y cobalto.

En el punto 2, próximo al nacimiento del río Hatibonico, en la circunvalación norte, los valores de concentración reflejados en la tabla 1 para el Ni, Cr, Co, Sn y Hg, son muy elevados, siendo el Ni el de mayor carga contaminante con respecto a los valores que indican un nivel de contaminación no aceptable. Es importante señalar que en este punto de muestreo, el nivel de concentración del Hg, considerado uno de los metales pesados más tóxicos para la salud, está por encima del valor permisible. Los centros que tributan a este punto son: Planta Potabilizadora de Camagüey, Hospital Amalia Simoni y la Fábrica de Refractarios, los cuales pudieran constituir una de las causas de tal contaminación.

En el punto 10, por donde corre el río Hatibonico, se muestran niveles de concentración muy elevados de los metales pesados Ni, Cr, Zn, Sn, Hg, Cu, Pb, siendo la concentración de Zn la más alta, según los valores reportados en la tabla 1. En este punto de muestreo la concentración de Hg resultó ser casi el triple de los niveles de concentración establecidos por las normativas holandesas, incluso llegó a ser muy superior al valor alcanzado en el punto 2.

A esta parte del río tributan las empresas próximas al punto 2, a las cuales se hizo referencia anteriormente, además de las fábricas de: conserva El Mambí, *Coppelia*, Acetileno y Nitrógeno líquido, y el núcleo urbano. Esta última causa es la máxima responsable de la alta carga contaminante, debido a que todo el sistema de alcantarillado de la ciudad vierte directamente en este río, a lo que se le suma la poca cultura ambientalista de la población.

Análisis de la matriz de correlación entre metales

En la tabla 4 se muestra el análisis de correlación lineal confeccionado con los valores de concentración medidos en cada punto y para cada metal, técnica empleada para dilucidar posibles causas de la contaminación (Adaikpoh, Nwajei, & Ogala, 2005). En esta información se destacan algunos coeficientes que son superiores a 0,90 correspondientes a los pares: Ni-Cr, Ni-Co y Cr-Co.

Tabla 4- Matriz de correlación de las concentraciones de los metales en la cuenca.

	Pb	Ni	Cr	Cu	Zn	Cd	Co	Sn	Hg
Pb	1,000 0								
Ni	-0,499 7	1,000 0							
Cr	-0,386 5	0,944 3	1,000 0						
Cu	0,127 2	-0,547 2	-0,455 3	1,000 0					
Zn	-0,122 1	-0,386 4	-0,356 6	0,785 9	1,000 0				
Cd	0,322 9	-0,429 6	-0,405 5	0,278 2	0,663 7	1,000 0			
Co	-0,480 2	0,996 5	0,937 0	-0,557 1	-0,435 6	-0,490 2	1,000 0		
Sn	-0,240 9	0,722 7	0,697 2	-0,461 4	-0,381 0	-0,254 1	0,726 6	1,000 0	
Hg	-0,237 3	-0,092 4	-0,223 8	0,455 5	0,821 6	0,641 0	-0,136 1	-0,044 0	1,000 0

Este resultado sugiere que las concentraciones de estos metales en los sedimentos provienen de una misma fuente de contaminación (Adaikpoh, et al., 2005). Como se señaló antes, la posible fuente pudiera ser la existencia de los

importantes yacimientos de esos metales en la zona. La generación de partículas aéreas en esas áreas sería responsable de la distribución de estos metales en la cuenca, terminando, entre otros lugares, en los sedimentos de los ríos cercanos.

También se destaca la correlación de los pares Ni-Sn $R = 0,722 7$, Co-Sn $R = 0,726 6$, Cu-Zn $R = 0,785 9$ y Hg-Zn $R = 0,821 6$. En los dos primeros casos, la fuente contaminante pudiera ser también de origen natural, teniendo en cuenta que el Sn se correlaciona de forma semejante con el Ni y el Co. En los dos últimos casos, si la causa fuese la misma, debería existir buena correlación entre el Cu y el Hg. Los datos de la tabla 4, sin embargo, indican que no es así, por lo que pudiéramos atribuir este resultado a fuentes contaminantes diferentes, probablemente antropogénicas.

CONCLUSIONES

- Las concentraciones promedios de los metales indican que, excepto el Cd, Zn y el mercurio, el resto de los metales presentan niveles que sobrepasan los valores considerados como contaminación demostrada y, en el caso del Ni, las concentraciones indican la necesidad de remediación en el área.
- El Ni, el Cr y el Pb son los metales que presentan las mayores desviaciones del nivel de contaminación demostrada $Ni > Cr > Pb$ y, en el caso del Ni y el Cr, esta contaminación pudiera estar asociada a causas naturales.
- Los puntos de mayor contaminación demostrada fueron en orden: $8 > 2 > 10$.
- En el punto 10 la concentración de Hg resultó ser tres veces superior a los niveles establecidos por las normas internacionales.
- La matriz de correlación refuerza la hipótesis de que la causa de contaminación de los metales: Ni, Cr, Co y Sn es de origen natural, asociada a los importantes yacimientos existentes en la región.
- Las correlaciones del Cu, Zn y Hg indican que no tienen la misma causa y pudieran estar asociadas a la actividad antropogénica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adaikpoh, O.E, Nwajei, E. G, & Ogala, E.J. (2005). *Heavy Metals Concentrations in Coal and Sediments from River Ekulu in Enugu*, Coal City of Nigeria. *J. Appl. Sci. Environ. Mgt*, 9 (3), 5 – 8.
- Álvarez, Makiel López, & López, Yuneskis Barrero. (1997). *Detección y Cuantificación de Metales Pesados en las Aguas Empleadas para el Cultivo del Camarón en Santa Cruz del Sur*. BSc Trabajo de Diploma, Universidad de Camaguey, Camaguey.
- Anvador, Federico Mijangos, & Fdez, Mario Díaz. (1991). *Recuperación de metales pesados con resinas selectivas I*. Experimentos en lecho fijo con disoluciones complejas. *Afinidad*, LVIII(434), 227-231.
- Aprile, M. F, & Bouvy, M. (2008). *Distribution And Enrichment of Heavy Metals in Sediments at the Tapacurá River Basin*, Northeastern Brazil. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol*, 12(1), 1-8.
- Colis, G Guzmán, López, EM Ramírez, Thalasso, F, Narciso, S Rodríguez, Barrera, A Guerrero, & González, FJ Avelar. (2011). *Evaluación de Contaminantes en Agua y Sedimentos del Río San Pedro en el Estado de Aguascalientes*. *Universidad y Ciencia: Trópico húmedo*, 27(1), 17-32.
- Erikfeld, Segurd Rognerud and. (2001). *Trace Element Contamination of Norwegian Lake Sediments*. *Ambio*, 30(1), 11-19.
- Forsberg, M. C. Silva, & Zeidemann, V. K. (1999). *Mercury Contamination in Human Linked to River Chemistry in the Amazon Basin*. *Ambio*, 28 (6), 519 - 521.
- Guimaraes, Jean Remy Davée, Fostier, Anne-Hélène, & others, and. (1999). *Mercury in Human and Environmental Samples from two lakes in Amapa Brazilian Amazon*, XXVIII(4), 296 - 299.
- Hernández, M. A., Velasco, J. A., Rojas, Fernando, Lara, V. Hugo, Salgado, Martha A., & Tamariz, Victor. (2003). *Evaluación de Mesoporos y Caracterización de Arcillas del estado de Puebla*, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 9(4), 183-189.
- Lindeström, Lennart. (2003). *Mercury in Sediment and Fish Communities of Lake Vänern*, Sweden: Recovery from Contamination. *Ambio*, 30(8), 538-544.
- Luque, C. Lao, Sardans, M. Solé, Cisa, F. X. De las Heras, & Sabata, J. Ma. Casas. (2001). *Contaminación por metales pesados en lo sedimentos de la cuenca del Llobregat*. *Afinidad*, LVIII(493), 121-125.
- Mijangos, Federico, Ibarrodo, Iñigo Galarza, Salvador, Pilar A., & Fdez, Mario Díaz. (1991). *Recuperación de metales pesados con resinas selectivas (II). Recuperación selectiva de iones de baja afinidad*. *Afinidad*, XLVIII(436), 352-356.
- Moore, W.J, & Ramamorthy, S. (1987). *Heavy Metals in Natural Waters*: Springer-Verlag.
- Niagru, O.J. (1990). *Global metal pollution. Poisoning the biosphere? . Environment* 32(7), 7-33.
- Quiroz, A Jorge. (1995). *Análisis Económico de la Contaminación de las Aguas en América Latina*: Centro Internacional para el Desarrollo Económico y el Programa de Postgrado en Economía Ildes.
- Rámirez, Armando J. (1991). *Transporte fluvial de nutrientes y metales pesados al mar*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*(1), 67-72.
- Rauf, Abdul, Javed, Muhammad, Ubaidullah, Muhammad, & Abdullah, Sajid. (2009). *Assessment of Heavy Metals in Sediments of the River Ravi*, Pakistan. *International Journal of Agriculture & Biology*, 11(2).
- Rendina, L. De Cabo, Arrechinf, Silvana, Bargiela, M., & Iorio, Alicia Fabrizio de. (2001). *Geochemical distribution and Mobility factors of Zn and Cu in sediments of the Reconquista River*, Argentina. *International Journal of Environmental Pollution*, 4, 187-192.
- Ruiz, E., Romero, F., & Echemendía, A. (1992). *Composición, distribución por tamaño, contenido en metales pesados y características de sedimentos de la cuenca del río Bidasoa*. *Afinidad*, XLIX(442), 361-371.
- Ruíz, M. Romana. (1994). *Contaminación en sedimentos marinos*. *Revista de obras públicas*, 329(3), 141-143.
- Tavares, A. G, Ferreira, R.J, Magalhaes, E.C De Carvalho, Silva, C.N da, & Tadel, H.M Tirollo. (2003). *Mercury in the Moji-Guaçu River Basin, S.P.Brazil: The Link between Marginal Lagoons and River Contribution*. Assessed by 210Pb Dating Profiles. *AMBIO*, 32(1), 47-51.