

## Determinación de metales pesados en sedimentos superficiales en cuerpos de agua del canal del dique en las poblaciones de Gambote y Soplaviento (Bolívar)

Determination of heavy metals in surface sediments in water bodies of the channel dike in populations of Gambote and Soplaviento (Bolívar)

Nevis Espitia\*

RECIBIDO: 15/09/2014 – APROBADO: 30/09/2014

**Resumen:** Los metales pesados muchas veces se encuentran en depósitos de sedimentos como contaminantes de las aguas. Por dicha razón en presente estudio se llevo a cabo la determinación de metales pesados (Hg, Cd, Pb, Cr, Ni, Fe), en sedimentos superficiales en Cuerpos de Agua del Canal del Dique, (brazo artificial del Río Magdalena) mediante el método de digestión suave, empleando la metodología de Chester y Voutsinou, encontrándose niveles normales de dichos metales en estos cuerpos de agua, pese a tener aportes del río Magdalena, y a estar con influencia de zonas mineras. Se halló un nivel ligeramente superior de Níquel en la Ciénaga Grande de Lórica (sitio control, sin fuentes antropogénicas de contaminación por metales pesados) con relación a los demás puntos de muestreo debido a que es un sitio rico en Níquel, pero sus valores están dentro de los valores permisibles, por lo demás es un buen sitio para utilizarlo como control de los demás metales, el Plomo no fue detectado mediante el empleo de ésta metodología.

**Palabras clave:** Metales pesados, Sedimentos superficiales, Canal del Dique.

**Abstract:** Heavy metals are often found in sedimentary deposits as water pollutants. For this reason in this study was carried out the determination of heavy metals (Hg, Cd, Pb, Cr, Ni, Fe) in surface sediments in Water Bodies Canal del Dique, (artificial arm cupcake River) by smooth digestion method, using the methodology of Chester and Voutsinou, finding normal levels of these metals in these water bodies, despite having contributions of the Magdalena River, and to be influenced by mining areas. A slightly higher level of nickel was found in the Ciénaga Grande de Lórica (site control, no anthropogenic sources of heavy metal pollution) relative to the other sampling points because it is a site rich in nickel, but their values are in permissible values, otherwise it is a good place to use as a control for the other metals, lead was not detected by the use of this methodology.

**Keywords:** Heavy-metal, Surface sediments, Canal del Dique.

\* Universidad de Cartagena. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Programa de Especialización en Química Analítica. Cartagena De Indias, D.T.y C.. Colombia.  
E-mail: nesir2003@hotmail.com

## I. INTRODUCCIÓN

Entre los contaminantes más perjudiciales del ambiente se encuentran los metales pesados, ya que éstos no se degradan, sino que permanecen en él por tiempo indefinido. Al mismo tiempo se ha demostrado que dichos elementos producen daños morfológicos y fisiológicos en los organismos (1).

Los sedimentos de los cuerpos acuáticos son los depósitos preferidos por los metales pesados, por lo que es posible encontrarlos en altas concentraciones, cuando éstos se encuentran como contaminantes en las aguas (1).

Dentro de los metales pesados, es bien sabido que el mercurio ocupa los primeros lugares como contaminante ambiental y es uno de los metales más estudiados por ser particularmente nocivo para la salud, además de los efectos genéticos que presenta, y su facilidad de bioacumulación a través de la cadena trófica.

En estudios recientes llevados a cabo en el Sur de Bolívar se muestra que la contaminación por mercurio generada por la actividad minera de la explotación del oro de esta zona ha alcanzado niveles elevados de éste metal en cabello, tejidos de peces y sedimentos de los cuerpos de agua del Sur de Bolívar (2,4,5), Bajo Cauca (28) y Canal del Dique (3).

Estudios recientes (24) muestran la presencia de metales en cuerpos de agua de la Bahía de Barbaocoas (Fe, Ni, Cu, Co, Zn, As, y Pb), encontrándose en algunos casos concentraciones superiores a 2mgL-1; hay que tener en cuenta que ésta bahía recibe aguas del Canal del Dique.

Es sabido que los sedimentos que transportan el Canal del Dique no se originan en su curso ni en su cuenca, sino que provienen del río Magdalena (el cual recibe aportes de aguas posiblemente contaminadas del río Bogotá y río Cauca, Sur de Bolívar y resto del país que llegan a éste río) y que además el 80% de los sedimentos que entran a dicho canal siguen en suspensión a lo largo de su curso (23).

El presente trabajo, está encaminado a determinar la concentración de Mercurio y otros metales pesados (Fe, Ni, Pb, Cd y Cr) en sedimentos superficiales en cuerpos de agua del Canal del Dique en las poblaciones de Soplaviento y Gambote, con el fin de establecer el grado de contaminación con dichos metales por fuentes antropogénicas y/o naturales.

Así como sentar las bases que permitan más adelante llevar a cabo un monitoreo, mediante datos actualizados, sobre calidad de los cuerpos de agua del Canal del Dique en cuanto a su concentración de metales pesados, para establecer mecanismos de alerta y control ambiental.

## II. ANTECEDENTES

Estudios realizados por Miranda D.M., sobre la contaminación por Plomo y Cromo en la Bahía durante el periodo de abril de 1984 a febrero de 1985, en nueve estaciones de muestreo, dos de ellas fuera de la Bahía, informan que la contaminación por éstos metales contenidos en los sedimentos es tan alta como la de otros estuarios del mundo, considerados contaminados. Informan sobre

la correlación lineal positiva entre los dos metales pesados, y entre éstos con los contenidos de materia orgánica. El método de evaluación se realiza por la extracción ácida de Plomo y Cromo de los sedimentos y posterior análisis de ellos por absorción atómica. Recomienda continuar el monitoreo de metales pesados en la Bahía, con seguimiento de la trayectoria de los sedimentos (7)

Gillis-Ca y NI Bonnevie analizaron concentraciones de Mercurio en 18 muestras de sedimentos superficiales colectadas a lo largo del estuario en la Newark y New Jersey. Sus resultados fueron comparados con datos de investigaciones previas de sedimentos y biota en el estuario en un esfuerzo por caracterizar la extensión de la contaminación por Mercurio. Los resultados de las investigaciones demostraron que la medida de concentración del Mercurio total se ha elevado en un rango alto. Y comparando varios estados, en un criterio cualificado de los sedimentos se sugiere que la presencia del Mercurio tiene una peligrosa toxicidad para la biota acuática (8).

La acumulación de sedimentos asociadas con concentraciones de metales pesados retenidos y detenidos en pequeños lagos los cuales reciben agua de diversas lagunas fue analizada para determinar la existencia de migración vertical de metales pesados en varias capas de sedimentos.

La extracción de metales pesados fue evaluada usando varias alternativas, los cuales incluyen la EPA y la TCLP (Toxicity characteristics leaching procedures), además los sedimentos fueron incubados bajo variadas concentraciones de pH para investigar los efectos de los cambios en las condiciones de los sedimentos sobre la estabilidad de la asociación metal-sedimento (9).

Reyes y colaboradores encontraron concentraciones altas de Cu (17 ppm), Zn (45 ppm), Cd (12 ppm), Pb (29 ppm), Fe (3775) y Mn (639), además de concentraciones menores de Ni, Co, V en sedimentos tomados en la zona de importantes descargas industriales y futuro desarrollo del puerto industrial de Altamira, Tamaulipas (Mex.). Las muestras se tomaron con dragas y fueron analizadas por la técnica de extracción con HCl. Se encontró influencia de las variaciones geográficas con concentraciones elevadas, presentándose en general una distribución con tendencia al aumento con relación a la distancia de la línea de la Costa y observándose un aumento en la zona cercana a la desembocadura del Río Panesco y en las descargas del corredor industrial Tampico-Altamira (10).

La determinación de las concentraciones totales de siete metales pesados (Cu, Cr, Co, Zn, Ni, Pb, y Mn) fue llevada a cabo por G. Garlaschi P. en aguas y sedimentos ribereños del Río Mapocho (Chile).

En este estudio también se incluyó el fraccionamiento de todos los sedimentos muestreados. Los resultados indicaron que a la salida de la cordillera el río Mapocho trae bajas concentraciones de los metales estudiados (en sedimentos superficiales), a excepción del Cobre cuyo nivel fue alto. Aumentan su concentración durante el paso del río por la ciudad, la cual vuelve a disminuir aguas debajo de la ciudad. Además se comprobó la existencia de una relación causa-efecto entre las concentraciones de metal en el agua y en los lodos, lo que señalaría que la autopu-

rificación observada y detectada en las aguas es atribuible fundamentalmente al proceso de sedimentación (11).

Por otro lado, J.R. Pineda G. determinó las cantidades de Cobre, Mercurio, y Plomo en el lago de Amatitlan (Guatemala), el análisis no detectó mercurio, sin embargo la concentración de Cobre en el agua fue de 414 ppm y en sedimentos 167.31 ppm, y el Plomo en agua 1.583 ppm y en sedimentos 149.67 ppm (12).

En nuestro país se ha llevado a cabo varios estudios para evaluar la contaminación por metales pesados (particularmente Mercurio): en la Bahía de Cartagena se presentó un caso de contaminación por Mercurio en 1976, donde el Comité de protección ambiental (COPAC) intuyó la presencia del metal en este ecosistema, siendo comprobado posteriormente, hallándose concentraciones altas de Mercurio (5), (24).

En agosto de ese mismo año, el Ministerio de Salud señaló como fuente contaminante la planta de Cloro-Soda de la empresa Alcalis de Colombia, detectando en el afluente de la fábrica concentraciones de 1040 ppm de Mercurio (5).

Páez-Osuna, F., et al. Analizaron los metales pesados en 45 secciones de 1cm<sup>3</sup> de sedimento en la laguna de Mitla con objeto de estimar el flujo sedimentario de dichos elementos. Las concentraciones encontradas en la laguna Mitla son comparables a los sedimentos de textura equivalente de la laguna Chautengo y laguna Ostión (México), aunque metales como Cu, Zn, Pb, y Cr sus niveles son menores que los dados para un área contaminada del puerto de los Ángeles. El aporte de metales pesados al cuerpo principal de la laguna Mitla (Co, 1.02-6.22; Ni, 5.4-30.7; Cu, 2.91-21.5; Pb, 0.71-3.23; Zn, 6.49-39.7; Mn, 50.4-200; Fe, 2680-16108; Al, 4334-65400 µg.g<sup>-1</sup> cm<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>) parece ser del mismo orden en magnitud que el de la zona estuarina de Narragansett Bay (EUA) y de Erie Lake (EUA-Canadá), aunque relativamente más altos que los encontrados en las cuencas de California (USA) y Guaymas (México) y el delta de Godavari (India) (25) (Tabla N.º 1).

**Tabla N.º 1.** Niveles de Metales pesados en Sedimentos Superficiales en Algunos Cuerpos de Agua. Concentración expresada en µg/g.

LOCALIZACION	CONCENTRACION	COMENTARIO	REF.
<b>CADMIO</b>			
Lago Adirondack (USA)	1.5-2.1	Nivel Natural	6
Río Thailand	0.77-1.51	Nivel Natural	6
Arroyo Wellington	0.3-25.8	Ligeramente contaminado	6
Río Cwn, Wales	0.2-5.5	Viejas minas, aguas ácidas	6
Sistema del Río Niágara	0.4-5.5	Contaminada	6
Lago Wisconsin	Máx. 4.6	Ligeramente contaminado	6
Río Illinois	0.2-12.1	Natural a Industrializado	6
Ríos europeos	0.05-95	Natural a contaminado	6
Arroyo, Nz	2-30	Área de vieja minería	6

Río Conway	3-95	Área de minería	6
<b>MERCURIO</b>			
Ríos de Tailandia	0.23-1.5	Natural a Contaminado	6
Lago Michigan	0.2	Contaminado	6
Lago Swendish	11	Industrias de cloroálcalis	6
Sistema del Río Niágara	0.1-8.68	Contaminado	6
Lagos Entre Canadá y USA	0.004-0.3	Nivel Natural	6
Lagos Canadienses	0.07-1.5	Natural a contaminado	6
Hawaii	0.05-0.24	Nivel natural	26
Bahía Baffin (Canadá)	0.02-0.11	No contaminada	26
Bahía Fundy (Canadá)	0.02-0.09	Relativamente limpia	26
Bahía Saint Jhon (Canadá)	0.01-0.3	Relativamente no contaminada	26
<b>PLOMO</b>			
Lagos árticos, Canadá	10.33	Nivel Natural	6
Cañón Thompson, USA	38-42	Contaminación atmosférica	6
Lago Michigan	88	Contaminado	6
Ríos europeos	50-712	Contaminado	6
<b>NIQUEL</b>			
Golfo Thermaikos (Grecia)	165-235	Contaminado	27
Bahía de Volos (Grecia)	70-170 $\bar{x}$ =110	No contaminado	27
Golfo Pagassitikos (Grecia)	165-420	Contaminado	27
Este del mar Aegean (Grecia)	60-305 $\bar{x}$ =145	Poco contaminado	27
<b>CROMO</b>			
Golfo Thermaikos (Grecia)	80-350	Contaminado	27
Bahía de Volos (Grecia)	55-22	Contaminado	27
Este del mar Aegean (Grecia)	20-165	Relativamente contaminado	27
<b>HIERRO</b>			
Golfo Thermaikos (Grecia)	15.000 a 55.000	Ligeramente altos	27
Bahía de Volos (Grecia)	15.000 a 65.000 $\bar{x}$ =30.000	Ligeramente altos	27
Golfo Pagassitikos (Grecia)	150.000 a 65.000	Ligeramente altos	27
Este del mar Aegean (Grecia)	15.000 a 40.000 $\bar{x}$ = 25.000	Ligeramente altos	27

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Localización del Área De Estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el Canal del Dique, Canal que comunica el Río Magdalena y la Bahía de Cartagena. Los puntos de muestreo se localizaron en cuerpos de agua cercanos a las poblaciones de Gambote y Soplaviento (ver Figura 1).

Características del Canal del Dique: Los problemas del Canal del Dique se deben a un elemento común: los sólidos en suspensión que acarrea el Canal y que la gran mayoría de las personas identifican como “sedimentos”, aunque aún no se hayan depositado (23).

Los sedimentos que acarrea el Canal no se generan en su curso ni en su cuenca. Los recibe del Río Magdalena (23). La carga de sedimentos del Río Magdalena es permanente y creciente, y proviene de la erosión causada por la descontrolada y creciente deforestación de la cuenca, especialmente la de las laderas (23). Además de la extensión y magnitud de los perjuicios que causan los sedimentos, esos efectos se agravan por el hecho de ser permanentes, crecientes, acumulativos o irreversibles o de reversión lenta y de alto costo. Todas estas circunstancias hacen necesaria una acción inmediata para controlarlos.

Los metales pesados, en especial Mercurio y Cromo, están aún a muy bajos niveles de concentración en el Canal del Dique. Sin embargo, deben vigilarse, especialmente el Mercurio, por el incremento de la minería aurífera en la cuenca del bajo Cauca y el creciente vertimiento y el proceso acumulativo en los sedimentos y el posible aso a las cadenas tróficas en las ciénagas y en la zona estuarina del Canal (23).

Trayectoria General de los Sedimentos del Canal. Según los aforos más recientes del Laboratorio de Hidráulica de las Flores, el caudal líquido que entra al Canal en Calamar y de los sedimentos que acarrea es aproximadamente el 5% del caudal del Río Magdalena en ese sitio (23).

De los sedimentos que ingresan al Canal, los más pesados (20%), son atrapados en la trampa de fondo de Calamar. Los más livianos (80%), que en su mayor parte están conformados por partículas de material arcilloso y limoso y arenas finas, no son atrapados y siguen en suspensión a lo largo del Canal, entran a las ciénagas en épocas de crecida o aguas altas del Canal, o son captados con las aguas del canal por los acueductos y para otros usos de esas aguas. En épocas de estiaje o aguas bajas, las ciénagas descargan hacia el Canal aguas con muy poco contenido en sedimentos, que han quedado depositados en ellas (23). El Canal desemboca por los caños de Correa, Matunilla y Lequerica y por la desembocadura de Pasacaballos.

Al contacto con agua salada del mar y de las bahías, parte de los sedimentos se floclula, es decir, se aglomera en grumos o “flocs” que se depositan rápidamente. Por eso el efecto notorio de relleno y de avance de los deltas en los caños de Matunilla y Lequerica y en la desembocadura de Pasacaballos. Los sedimentos no floclulados son

arrastrados por la corriente y se extienden en manchas conocidas como “plumas” o “penachos”, cuya extensión y conformación se pueden apreciar mejor desde el aire y en fotografías aéreas y de satélites (23).

En épocas de estiaje, por tener el Canal menor caudal y velocidad, el agua salada, que es más pesada, penetra por las desembocaduras e intenta avanzar aguas arriba por el fondo del Canal. El avance depende del grado de apertura de las desembocaduras y de los caudales del Canal (23).

Los sedimentos de caño Correa quedan en parte en el sistema de humedales del delta y salen al mar por las bocas del Portobelo, Luisa, Boca Cerrada y otras menores (23).

De la información general sobre la dinámica del Canal y el río se tiene que:

Por Calamar, el río acarrea unas 200.000.000 toneladas de sedimentos por año.

Aproximadamente un 5% entra al Canal. El 95% restante sigue. A Bocas de ceniza llega aproximadamente la misma cantidad de sedimentos que pasan por Calamar. En términos generales, las velocidades del río son mayores que en el Canal.

Estas cifras indican que si se impidiera la entrada o se devolviera al río una porción cuantiosa de los sedimentos que entran al Canal, el río no se afectaría en absoluto y los sedimentos devueltos seguirían con los demás que trae el río sin ocasionar problemas hasta salir por Bocas de ceniza (23).

La selección de estos cuerpos de agua se realizó debido a su importancia comercial y por estar localizadas en una zona que recibe la posible contaminación mercurial y de metales pesados de ciénagas y quebradas del Sur de Bolívar y la transportada por el Río Magdalena.

Como cuerpo de agua control fue seleccionada la Ciénaga Grande de Lórica, localizada al Noroeste del Departamento de Córdoba. No presenta fuentes de contaminación industrial o minera que influyan sobre ella. Recibe aguas de Río Simú en época de invierno.

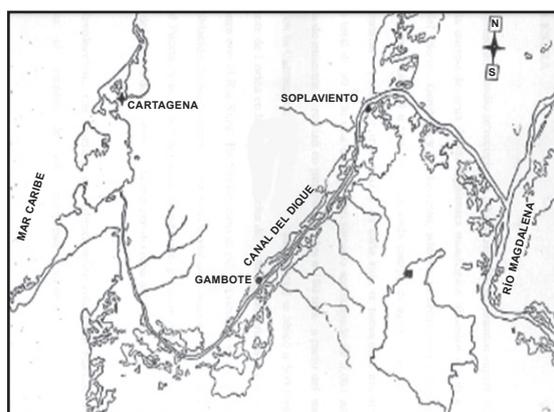


Figura N.º 1. Localización del Área de Estudio: Canal del Dique, Bolívar, Colombia.

### 3.2. Muestra

Para el presente estudio se recogieron 30 muestras de sedimentos superficiales por cada cuerpo de agua de los siguientes municipios ubicados a orillas del Canal del Dique: Gambote y Soplaviento; además se obtuvieron sedimentos de una ciénaga control o testigo. Por cada cuerpo de agua muestreado se seleccionaron 5 puntos de muestreo; y en cada sitio se tomaron 6 muestras, para un total de 30; cada una de ellas con tamaño aproximado de 0.001mts<sup>3</sup>.

La toma de muestras se realizó en puntos radiales a 100mts, a partir del punto inicial; en la Ciénaga Grande de Lorica el punto inicial se ubicó a 500 metros del Puente de Lorica en la margen derecha del caño Aguas Prietas que conecta la Ciénaga con el Río Sinú. En Soplaviento el punto inicial se ubicó del lado de la población de Soplaviento cruzando el Canal del Dique en el sitio ubicado frente al Puerto y en la población de Gambote el punto inicial se tomó a 500 metros del Puente de Gambote en la margen derecha del Canal.

#### 3.2.1. Recolección

Las muestras de sedimentos se colectaron manualmente mediante el empleo de un recipiente plástico y depositadas en bolsas de polietileno, convenientemente rotuladas y congeladas inmediatamente, para limitar la actividad biológica y prevenir cualquier transformación química.

#### 3.2.2. Tratamiento Previo

Secado y tamizaje: Las muestras fueron divididas en dos grupos; una para Mercurio (Temperatura de secado 40°C) y otra para el resto de metales, (temperatura de secado 105°C, en un horno a temperatura controlada por un lapso de 48 horas).

Para el análisis se empleó la fracción de 63  $\mu\text{m}$ , la cual eliminó la arena, dejando las fracciones más finas de cieno y arcilla, siendo la recomendada, dado que los metales pesados están presente principalmente en éstas, además de parecerse esta fracción a la materia en suspensión que es la vía más importante de transporte de sedimentos y ofrece una mejor comparación de resultados. Fue utilizado un tamiz plástico para evitar posible contaminación por metales.

### 3.3. Análisis de las Muestras

Todos los análisis se realizaron por duplicado. Las muestras (exceptuando las destinadas para el análisis de mercurio) fueron sometidas a digestión empleando la metodología de Chester y Voutsinou(20) como se especifica en la figura 2. Para la cuantificación se utilizó un equipo de Espectrometría de Absorción Atómica Perkin Elmer 372.

#### 3.3.1. Análisis De Mercurio Total

Se pesó 1 g. de sedimento. Posteriormente se adicionaron 20 mL de agua regia a muestras, patrones y blancos. Se sometieron a digestión durante un periodo de tiempo de

una hora, a una temperatura de 105°C. AL cabo de este tiempo se permitió tomar la temperatura ambiente, se adicionó el permanganato de potasio al 5% (hasta permanencia del color), se calentó a igual temperatura por 15 minutos. Posteriormente, se adicionó la solución de hidroxilamina al 12% hasta desaparición del color. Se llevó la solución hasta volumen de 100 mL.

Por último se le adicionó 5 mL de solución de Cloruro Estannoso al 10 % en el momento de hacer la lectura la cual se llevó a cabo en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica UNICAM 969 de vapor frío.

### 3.4. Preparación de la Curva de Calibración

Para la preparación de patrones se procedió de la siguiente manera:

A partir de una solución stock de mercurio de 1000 ppm, se preparó una dilución estándar intermedia de 10 ppm a partir de la cual se prepararon patrones de 1,3,5  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , los cuales fueron tratados de manera similar a las muestras.

### 3.5. Tratamiento de los Datos

El análisis de las diferencias entre las concentraciones de Mercurio y otros metales pesados (Fe, Ni, Pb, Cd y Cr) de los distintos puntos de muestreo se realizó mediante el empleo de diferentes indicadores estadísticos, como son: la Media, Desviación Estándar, Coeficiente de Variación y el establecimiento del valor mínimo y máximo e intervalo de confianza (21) (22) (ver Figura N.º 2).

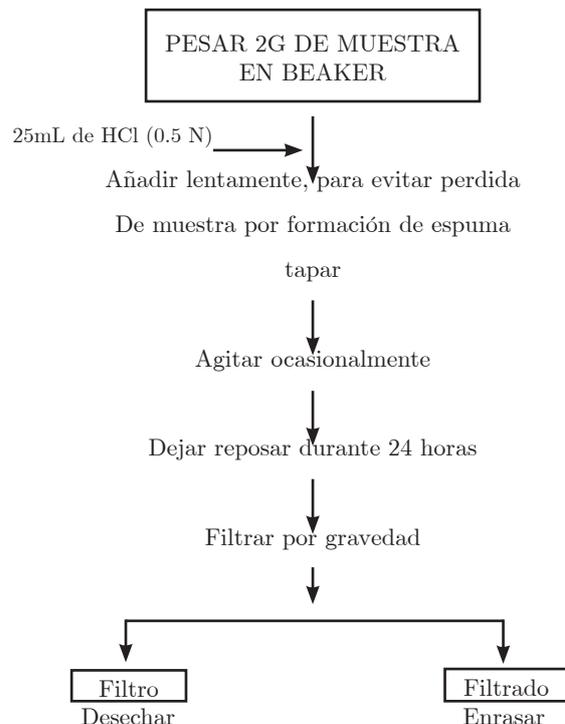


Figura N.º 2. Tratamiento para la Digestión Suave de Metales Pesados.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados de los análisis de metales pesados en sedimentos superficiales de cuerpos de agua de las dos poblaciones estudiadas y cuerpo de agua control, aparecen en las tablas 2 a la 6, las cuales son detalladas seguidamente:

Con relación al hierro se encontró que este metal fue el que arrojó las mayores concentraciones detectadas. En Soplaviento las concentraciones de éste metal fueron halladas en el rango de 8.750  $\mu\text{g/g}$  y 14.685  $\mu\text{g/g}$  con una media de 11.495  $\mu\text{g/g}$ ; en Gambote los valores de hierro se hallaron entre 7.500  $\mu\text{g/g}$  y 11.125  $\mu\text{g/g}$  con una media de 820.83. Estos resultados fueron similares a los hallados en el punto control, donde las concentraciones naturales de dicho metal se hallaron entre 9.769  $\mu\text{g/g}$  y 11.320.25  $\mu\text{g/g}$  en una media de 10.783.25  $\mu\text{g/g}$ . Es sabido que el hierro es el cuarto elemento de la corteza terrestre, por lo tanto su concentración es más alta en sedimentos que la de los otros metales estudiados. Además los valores en esta matriz se hallan por debajo de los reportados por Voutsinou en Grecia, los cuales son considerados ligeramente altos (15.000  $\mu\text{g/g}$  a 60.000  $\mu\text{g/g}$ ).

El intervalo de confianza para hierro en el presente análisis es de 10.654,47  $\mu\text{g/g}$  a 10.912,03  $\mu\text{g/g}$  para el punto control; de 10.752,79  $\mu\text{g/g}$  a 12.237,21  $\mu\text{g/g}$  para Soplaviento y de 9.445,66 a 10.196 para Gambote, con un nivel de confianza del 95%.

En la tabla 4 se puede observar que las concentraciones de Cadmio en sedimentos superficiales de los cuerpos de agua de Soplaviento, oscilaron entre 1.92  $\mu\text{g/g}$  a 3.75  $\mu\text{g/g}$  con una media de 2.69  $\mu\text{g/g}$  y para Gambote se hallaron entre 1.77  $\mu\text{g/g}$  a 3.75  $\mu\text{g/g}$  con una media de 2.80  $\mu\text{g/g}$ . Estas concentraciones fueron superiores a las halladas en el punto control, donde dicho metal no fue detectado con la metodología empleada (límite de detección = 0.05  $\mu\text{g/mL}$ ); lo que indica que existe un posible riesgo de contaminación por Cadmio en el Canal del Dique. Si se comparan éstos resultados con las concentraciones de Cadmio en sedimentos superficiales reportadas en otros sitios (ver Tabla N.º 2), se consideraría los sedimentos de los cuerpos de agua de las poblaciones estudiadas como posiblemente contaminados.

El intervalo de confianza de éste análisis fue de 2.54  $\mu\text{g/g}$  a 2.84  $\mu\text{g/g}$  para Soplaviento y de 2.60  $\mu\text{g/g}$  a 2.30  $\mu\text{g/g}$  para Gambote con un nivel de confianza del 95%.

En el Canal del Dique las concentraciones de Mercurio en sedimentos superficiales de éstos cuerpos de agua se hallan en los siguientes márgenes: en Soplaviento de 0.072  $\mu\text{g/g}$  a 0.126  $\mu\text{g/g}$  con una media de 0.093  $\mu\text{g/g}$  y en Gambote oscila entre 0.147  $\mu\text{g/g}$  a 0.240  $\mu\text{g/g}$  con una media de 0.193  $\mu\text{g/g}$ .

Estos valores es posible considerarlos normales si se los compara con los obtenidos de los sedimentos superficiales del cuerpo de agua control; éstos últimos se hallan en un rango de 0.122  $\mu\text{g/g}$  a 0.178  $\mu\text{g/g}$  con una media de 0.144  $\mu\text{g/g}$  de igual manera se considerarían los niveles

promedio de mercurio en sedimentos de las poblaciones estudiadas como naturales si se tiene en cuenta el ciclo global del mercurio planteado por Fergusson (6), para el cual los niveles naturales de mercurio en sedimentos son <0.20  $\mu\text{g/g}$ .

Las concentraciones de mercurio total, obtenidas en los sedimentos superficiales de los cuerpos de agua evaluados, se encuentran por debajo de los reportados por Lozano et al (28) en un estudio realizado en sedimentos superficiales en cuerpos de agua de la Mojana (Sucre), donde fueron encontradas concentraciones de 3.0  $\mu\text{g/g}$  (contaminado).

El intervalo de confianza para las concentraciones de mercurio total fue de 0.135  $\mu\text{g/g}$  a 0.150  $\mu\text{g/g}$  para el punto control; 0.087 a 0.099  $\mu\text{g/g}$  para los sedimentos de Soplaviento y 0.184 a 0.202  $\mu\text{g/g}$  para los sedimentos de la población de Gambote.

Las concentraciones de Níquel (ver Tabla N.º 3) en los sedimentos superficiales de Soplaviento (rango de 17.25 a 31.25  $\mu\text{g/g}$  con promedio de 24.07  $\mu\text{g/g}$ ) y Gambote (rango de 20.75 a 37.00  $\mu\text{g/g}$  con promedio de 22.6  $\mu\text{g/g}$ ) fueron similares entre si y ligeramente inferiores a las encontradas en el punto control (rango de 20.75 a 37.00  $\mu\text{g/g}$  con promedio de 30.09  $\mu\text{g/g}$ ). Este ligero aumento, posiblemente se debe a que el suelo de ésta zona es rico en níquel, como lo demuestra la presencia de minas en Cerromatoso en el alto Sinú.

Las concentraciones de Níquel encontradas en los sedimentos superficiales evaluados en el presente estudio, podría considerarse inferiores a las halladas en otros estudios (ver Tabla N.º 1), las cuales son reportados como no contaminadas.

El intervalo de confianza para las concentraciones de Níquel obtenidas en el presente trabajo es de 23.41 a 32.58  $\mu\text{g/g}$  para el punto control; de 22.48 a 25.66  $\mu\text{g/g}$  para Soplaviento y de 20.97 a 24.35  $\mu\text{g/g}$  para Gambote.

En los sedimentos superficiales en cuerpos de agua de Soplaviento (ver Tabla 5), las concentraciones de Cromo oscilaron entre 22.00 a 36.75  $\mu\text{g/g}$ . Tanto en los sedimentos del punto control como en los de la población de Gambote las concentraciones de éste metal no fueron detectadas (límite de detección = 0.6  $\mu\text{g/mL}$ ). Sin embargo, al comparar las concentraciones obtenidas en las poblaciones de Soplaviento, con las reportadas en otros estudios realizados en la misma matriz, podrían considerarse como relativamente no contaminados.

Las concentraciones de plomo en los sedimentos superficiales de las poblaciones estudiadas y del punto control, no fueron detectadas por la metodología empleada (límite de detección = 1  $\mu\text{g/mL}$ ).

La detectabilidad mínima para los diferentes metales evaluados en el presente estudio, obtenidas de las respectivas curvas de calibración fue de 0.05  $\mu\text{g/mL}$  para Cadmio; 0.35  $\mu\text{g/mL}$  para hierro; 0.37  $\mu\text{g/mL}$  para níquel; 0.6  $\mu\text{g/mL}$  para cromo; 1  $\mu\text{g/mL}$  para plomo y 0.004  $\mu\text{g/mL}$  para mercurio (ver Tabla N.º 4, 5 y 6).

**Tabla N.° 2.** Concentración de Hierro en Sedimentos Superficiales de cuerpos de Agua en la Ciénaga Grande de Lórica, Gambote y Soplaviento. Concentración expresada en  $\mu\text{g/g}$ .

No. De Muestra	Ciénaga Grande de Lórica	Soplaviento	Gambote
1	11.320	10.000	10.750
2	10.950	9.375	11.000
3	10.969,5	8.750	10.750
4	10.941,25	8.750	10.750
5	10.875	8.750	10.625
6	10.855,25	9.925	11.125
7	10.836,75	9.375	8.250
8	10.794,25	9.925	9.500
9	10.732,75	10.312,5	10.750
10	10.713,75	10.000	9.500
11	10.657,75	10.312,5	9.500
12	10.713,75	10.312,5	9.500
13	11.320,25	14.687,5	11.125
14	11.253,75	14.062,5	9.500
15	11.253,75	13.477,5	10.125
16	10.770,25	13.750	11.125
17	10.903,25	14.687,5	10.875
18	11.015	13.437,5	10.375
19	10.865	13.437,5	9.750
20	10.328,75	10.937,5	8.625
21	10.694,5	10.312,5	9.750
22	10.704,5	9.375	9.750
23	10.526,25	10.625	10.250
24	10.609,25	13.125	10.375
25	10.941,25	13.750	8.250
26	10.912,5	12.500	8.750
27	10.903,25	12.500	7.500
28	10.263	12.500	9.250
29	9.671	14.375	8.750
30	10.197,25	11.562,5	8.500
Media	10.783,25	11.495	9.820,83
S	344,92	1.987,9	1.004,83
Cv	3,19%	17,29%	10,27%
V max.	11.320,25	14.685,5	11.125
V min.	9.671	8.750	7.500

**Tabla N.° 3.** Concentración de Níquel en Sedimentos Superficiales de cuerpos de Agua en la Ciénaga Grande de Lórica, Gambote y Soplaviento. Concentración expresada en  $\mu\text{g/g}$ .

No. De Muestra	Ciénaga Grande de Lórica	Soplaviento	Gambote
1	23.50	22.50	22.00
2	22.00	22.50	22.00
3	20.75	22.50	22.00
4	23.50	21.42	19.25
5	22.00	17.75	19.25
6	23.50	17.75	19.25
7	20.75	22.50	17.75
8	20.75	20.00	17.75
9	25.00	22.50	21.42
10	20.75	17.75	21.42
11	22.00	17.75	17.75
12	22.00	17.75	17.75
13	24.50	21.42	21.42
14	37.00	27.07	32.12
15	37.00	25.00	32.12
16	33.50	31.25	28.50
17	33.35	27.07	21.42
18	37.00	27.07	21.42
19	36.25	31.25	25.00
20	33.50	27.00	28.50
21	34.50	25.00	28.50
22	36.25	25.00	32.12
23	34.25	20.75	25.00
24	37.00	22.90	25.00
25	34.50	27.07	21.42
26	36.25	31.25	17.75
27	34.50	25.00	21.42
28	37.00	27.00	21.42
29	33.50	31.25	17.75
30	34.50	27.07	21.42
Media	30,9	24,07	22,66
S	6,68	4,26	4,47
Cv	22,20%	17,69%	19,72%
V max.	37	31,25	32,12
V min.	20,75	17,75	17,75

**Tabla N.º 4.** Concentración de Cadmio en Sedimentos Superficiales de cuerpos de Agua en la Ciénaga Grande de Lorica, Gambote y Soplaviento. Concentración expresada en  $\mu\text{g/g}$ .

No. De Muestra	Ciénaga Grande de Lorica	Soplaviento	Gambote
1	ND	3,75	1,77
2	ND	3,75	1,77
3	ND	3,12	2,67
4	ND	3,12	2,67
5	ND	2,50	2,90
6	ND	2,50	1,77
7	ND	2,50	2,50
8	ND	2,50	3,12
9	ND	2,50	2,50
10	ND	2,50	3,75
11	ND	2,50	3,75
12	ND	2,50	3,12
13	ND	2,42	3,00
14	ND	2,60	2,32
15	ND	2,60	3,00
16	ND	2,92	2,66
17	ND	2,60	3,25
18	ND	2,60	3,00
19	ND	2,92	2,32
20	ND	2,92	3,00
21	ND	2,25	3,25
22	ND	2,60	2,66
23	ND	1,92	2,66
24	ND	2,25	3,25
25	ND	2,60	3,12
26	ND	2,60	2,50
27	ND	2,25	2,50
28	ND	2,60	3,75
29	ND	2,60	3,12
30	ND	3,25	2,50
<b>Media</b>		<b>2,69</b>	<b>2,80</b>
S		0,40	0,52
Cv		14,86%	18,57%
V max.		3,75	3,75
V min.		1,92	1,77

ND= No Detectado

**Tabla N.º 5.** Concentración de Cromo en Sedimentos Superficiales de cuerpos de Agua en la Ciénaga Grande de Lorica, Gambote y Soplaviento. Concentración expresada en  $\mu\text{g/g}$ .

No. De Muestra	Ciénaga Grande de Lorica	Soplaviento	Gambote
1	ND	32,75	ND
2	ND	26,25	ND
3	ND	26,25	ND
4	ND	26,25	ND
5	ND	26,25	ND
6	ND	26,25	ND
7	ND	26,25	ND
8	ND	26,25	ND
9	ND	26,25	ND
10	ND	32,75	ND
11	ND	26,25	ND
12	ND	26,25	ND
13	ND	22,00	ND
14	ND	33,00	ND
15	ND	25,72	ND
16	ND	29,40	ND
17	ND	33,00	ND
18	ND	22,00	ND
19	ND	25,72	ND
20	ND	22,00	ND
21	ND	22,00	ND
22	ND	26,25	ND
23	ND	26,25	ND
24	ND	22,00	ND
25	ND	25,72	ND
26	ND	28,37	ND
27	ND	29,40	ND
28	ND	25,72	ND
29	ND	36,75	ND
30	ND	29,40	ND
<b>Media</b>		<b>26,75</b>	
S		3,98	
Cv		19,19%	
V max.		36,75	
V min.		22,00	

ND= No Detectado

**Tabla N.º 6.** Concentración de Mercurio en Sedimentos Superficiales de cuerpos de Agua en la Ciénaga Grande de Lorica, Gambote y Soplaviento. Concentración expresada en  $\mu\text{g/g}$ .

No. De Muestra	Ciénaga Grande de Lorica	Soplaviento	Gambote
1	0,145	0,107	0,233
2	0,130	0,076	0,240
3	0,125	0,125	0,159
4	0,148	0,082	0,187
5	0,160	0,074	0,223
6	0,124	0,080	0,172
7	0,144	0,080	0,187
8	0,136	0,085	0,212
9	0,108	0,079	0,188
10	0,163	0,072	0,217
11	0,171	0,084	0,198
12	0,178	0,089	0,209
13	0,145	0,080	0,185
14	0,158	0,089	0,211
15	0,137	0,078	0,155
16	0,144	0,088	0,187
17	0,143	0,098	0,205
18	0,154	0,087	0,147
19	0,159	0,125	0,198
20	0,148	0,099	0,165
21	0,140	0,081	0,236
22	0,147	0,093	0,208
23	0,140	0,078	0,207
24	0,149	0,079	0,183
25	0,122	0,134	0,176
26	0,128	0,116	0,187
27	0,135	0,112	0,150
28	0,173	0,092	0,186
29	0,129	0,110	0,222
30	0,158	0,126	0,171
Media	0,144	0,093	0,193
S	0,016	0,017	0,025
Cv	11,11%	18,27%	12,95%
V max.	0,178	0,126	0,240
V min.	0,122	0,072	0,147

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Las concentraciones de Cadmio en los sedimentos superficiales de los cuerpos de agua de Soplaviento y Gambote son mayores a las encontradas en el cuerpo de agua control, donde este metal no fue detectado.
2. El Hierro fue el metal que presentó las mayores concentraciones en los sedimentos superficiales de los cuerpos de agua de Soplaviento, Gambote y el punto control. Estos valores podrían considerarse como naturales.
3. Las concentraciones de Cromo en los sedimentos superficiales en cuerpos de agua de Soplaviento fueron superiores a las encontradas en los sedimentos

superficiales de los cuerpos de agua de Gambote y punto control.

4. EL Plomo no fue detectado en los sedimentos superficiales de los cuerpos de agua evaluados y en el sitio control.
5. Con relación al Níquel encontramos que las concentraciones halladas en los sedimentos superficiales de la Ciénaga Grande de Lorica fueron ligeramente superiores a las encontradas en los sedimentos superficiales de cuerpos de agua de Soplaviento y Gambote; pero inferiores a todas las reportadas por la literatura como naturales.
6. La Ciénaga Grande de Lorica podría ser un buen punto control para futuras determinaciones de Cadmio, Plomo y Cromo al no ser detectados estos metales en los sedimentos superficiales de éste cuerpo de agua.
7. Las concentraciones de Mercurio en sedimentos superficiales de cuerpos de agua de las poblaciones de Soplaviento y Gambote fueron muy similares a las concentraciones naturales halladas en el punto control.
8. Se recomienda realizar un monitoreo o análisis sucesivos para cuantificar los niveles o concentraciones de Cadmio tanto en los puntos evaluados como en otros sitios del Canal y a diferentes profundidades. Como además monitorear el Cromo en Soplaviento.
9. Realizar la determinación de éstos metales en sedimentos tanto superficiales como estratificados (a diferentes profundidades) en los puntos evaluados así como en otros lugares a lo largo del Canal del Dique.
10. Desarrollar un estudio comparativo de las metodologías de digestiones (fuertes y suaves)
11. Utilizada para la determinación de metales pesados en los sedimentos superficiales en los cuerpos de agua evaluados.
12. Se recomienda realizar la cuantificación de estos metales en sedimentos superficiales y/o estratificados de cuerpos de agua analizados tanto en épocas de verano como de invierno.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gonzalez, H. 1996. Monitoreo Ambiental de Metales y Compuestos Orgánicos en ecosistemas hídricos. Apuntes para un curso de Postgrado. Universidad de Cartagena. F.C.Q.F. Cartagena.
2. Mendoza M., C.; Mestre A., J. 1994. Determinación Cuantitativa de Mercurio en cabello en algunas comunidades del Sur de Bolívar. Universidad de Cartagena. F.C.Q.F. Cartagena.
3. Navas B., V., Perez R., A. 1996. Determinación Cuantitativa de Mercurio en las Especies *Prochilodus reticulatus*, *Rhamdia sebae*, *Troportheus magdalenae* y *Pseudoplatystoma fasciatum*, presentes en el Canal del Dique. Universidad de Cartagena, F.C.Q.F. Cartagena.

4. Solano R., B. 1996. Determinación Cuantitativa de Mercurio en diferentes niveles de la cadena trófica de la Ciénaga Mina Santa Cruz, Barranco Loba (Bolívar). Universidad de Cartagena. F.C.Q.F. Cartagena.
5. Berrio A., Y. Et Al. 1994. Toxicidad y concentración de Mercurio en Sedimentos de algunos cuerpos de agua del Sur de Bolívar, Universidad de Cartagena. F.C.Q.F. Cartagena..
6. Fergusson, J, E, 1991. The heavy elements; Chemistry, environmental impact and health effects. Ed. Pergamon Press. Ira Edición.
7. Miranda, D.M. 1987. Estudio de la Contaminación por Plomo y Cromo en la Bahía de Cartagena. DB-UNC-DIA. Bogotá, 171 p.
8. Gullis-Ca.; Bonnevie-NI; et al. 1993. Mercury contamination in the Newar Bay estuary. *Ecotoxicol-Environ safety*; 25(2): 214-26.
9. Mousef-Ya; Hvitved, J.T. Harper, H.H. et al. 1990. Heavy metal accumulation and transport through detention ponds receiving highway run-off. *Sci-Total-Environ*; 93: 433-40.
10. Reyes, G.;Anaya, J. 1987. Concentraciones de metales pesados en sedimentos, en la zona costera de la desembocadura del Río Panuco a Altamira, Tampa. Segunda reunión de investigadores universitarios en contaminación ambiental: Memorias. UNAM. ECO. México, N.F. 19-21.
11. Garlaschi, P.G. 1983. Determinación de Cobre, Cromo; cobalto, Níquel, Plomo, Manganeso en aguas y lodo del Río Mapocho. Universidad de Chile. F.C.Q.F. Santiago de Chile, 73 p.
12. Pineda, G. J.R. Determinación de Cobre, Mercurio y Plomo en Aguas y Sedimentos del lago Amatitlan. Universidad de San Carlos de Guatemala. F.C.Q.F. CICON. Guatemala.
13. Meili, M. 1991. "The coupling of Mercury and matter in the Biogeochemical Cycle. Towards a Mechanistic Model for the Boreal forest zone". *Water Air Soil Pollut*, 56 p. 333.
14. Cook, R., B. et al. 1986 . "Mechanism of Hydrogen Ion neutralization in an Experimentally Acidified Lake". *Oceanogr.* 31 p. 134.
15. De Fernicoza, N. 1992. Toxicología Ambiental. Revista Facultad Nacional de Salud Pública.
16. Gerstner, H.B.; Huff, J.E., *Clin, Toxicol.* 1977. II, p. 131.
17. Feltier, J.S. et al. 1972. *Ann Intern. Med.* 76 p. 779.
18. Sanchez, B.J.; Hernandez, H., M.D. 1981. El Mercurio: Un contaminante ecológico. Departamento de Química Industrial. Universidad Complutense de Madrid. 27 (7-8) p. 511.
19. Duffus, J.H. 1983 . *Toxicología Ambiental.* Ed. Ediciones Omega S.A. Barcelona, pp. 88-94.
20. Chester, R.; Voutsinou, F.G. 1989. *Mar Pollut, Bull.* 12, 84, 91.
21. Walpole, R.; Myers, R. 1991. *Probabilidad y Estadística.* 4ta, Edición, México.
22. Calvo, F. 1978. *Estadística Aplicada.* Ed. Deusto. España.
23. Salas F., Z.; Penereiro, J. 1985. Plan de Acción del Canal del Dique, Bases para los Términos de Referencia. Ministerio del Medio Ambiente CARDI-QUE. Cartagena,.
24. Mazo-Gray, V. 1997. Determination of Traces of heavy metals in Estuarine Waters of Barbacoas Bay, Colombia, by X-Ray Fluorescence Spectrometry. *X-Ray Spectrometry.* 26: 57-64 p.
25. Paez-Ozuna, F. et al. 1987. Accumulation Of Heavy metals At Mitlan a Tropical Coastal Lagoon. *Ciencias Marinas*, 13 (3) 26: 57-64 p.
26. Gonzalez H., Torres I. 1988. Distribución de Mercurio en Sedimentos de Bahías Cubanas. *Revista Cubana de Química*, Vol. IV N.º 2.
27. Voutsinou-Taziadori. Metal Concentration in Polluted Greek Sediments a Comparative Study.
28. Lozano, G. et al. 1996. En la Mojana: Contaminación por Mercurio en los Ríos Cauca, Magdalena y San Jorge. *Revista Acodal* N.º 171.