

COMPORTAMIENTO DE METALES PESADOS ENTRE LOS LODOS BENTÓNICOS Y LA CORRIENTE DE AGUA DEL RIO BOGOTÁ

Luis Felipe Pinzón Uribe¹, Hernando Sotelo Rojas².

¹Ingeniero Geógrafo, Doctor en Tecnología Ambiental y Gestión del Agua, Docente Investigador de la Universidad Militar Nueva Granada – Colombia.
luis.pinzon@unimilitar.edu.co

²Ingeniero Industrial, Especialista en Logística, Asistente de Investigación de la Universidad Militar Nueva Granada – Colombia. hernando.sotelo@unimilitar.edu.co

Resumen

Los procesos industriales han generado problemas ambientales, como consecuencia de las descargas contaminantes que emiten al medio natural, especialmente a los cuerpos de agua; su contaminación con Metales Pesados - MP se considera altamente peligrosa en algunos sectores del río Bogotá, presentando una disminución de estos a medida que la corriente de agua avanza, sin tener establecido su destino final y sus efectos sobre los lodos bentónicos. Para el presente estudio se utilizó como base el río Bogotá, que nace en el municipio de Villapinzón - Colombia y desemboca en el río Magdalena. Se seleccionaron algunos puntos de muestreo, teniendo en cuenta que su localización corresponde a sectores donde se desarrollan actividades antrópicas. Los resultados mostraron la relación de patrones y su concentración por cada metal, elaborados para la generación de las curvas de calibración de las aguas y los sedimentos. Aunque en algunos sectores se obtuvieron lecturas de concentraciones altas, estas están dentro de los parámetros establecidos por la legislación colombiana¹.

Palabras Clave: Metales Pesados, Lodos Bentónicos, Corriente de Agua.

Abstract

Producto derivado del Proyecto ING 2099 financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la UMNG – vigencia 2016.

Industrial processes have generated environmental problems as a result of emitted pollutant discharges to the natural environment, especially water bodies; contamination with heavy metals - MP is considered highly dangerous in some sectors of the Bogota River, a decrease of these as the stream progresses, without having established their final destination and its effects on benthic sludge. For this study was used as a basis the Bogotá river, which is born in the municipality of Villapinzón - Colombia and empties into the Magdalena River. Some sampling points were selected, given its location corresponds to areas where human activities are developed. The results showed the relationship of patterns and concentration for each metal, prepared for generating calibration curves of the water and sediment. Although high concentrations readings were obtained in some sectors, these are within the parameters established by Colombian law.

Key Words: Heavy Metals Sludge Benthic, Flowing Water.

1. Introducción

El acelerado desarrollo de los procesos industriales ha generado una serie de problemas ambientales, como consecuencia de las descargas contaminantes que estas emiten al medio natural, especialmente a los cuerpos de agua; la contaminación con Metales Pesados - MP se considera altamente peligrosa ya que estos no presentan ningún tipo de degradación biológica o química, además de ser bio-acumulados de forma inorgánica o como compuesto orgánico, permaneciendo en el organismo de los seres vivos por largos periodos de tiempo (Förstner y Müller, 1974).

En apartes de algunas investigaciones se hace mención a análisis de MP realizados en las aguas, de algunos sectores del río Bogotá, donde se aprecia una disminución de estos a medida que las aguas avanzan por el cauce, dejando en el aire la idea de no tener establecido el destino final de los MP, como el que pudiese estar pasando en cuanto a sus efectos sobre el medio ambiente. (Acosta, Lodeiros, Senior, y Martínez. 2002.).

Para el presente estudio se utilizó como base el río Bogotá; nace en el municipio de Villapinzón a 3200 msnm. a los 5°13' de latitud norte y 73°32' de longitud oeste, para desembocar en el río Magdalena por su margen derecha y al oriente de la ciudad de Girardot, a los 4°18' de latitud norte y 74°48' de longitud al oeste de Greenwich. Tiene un curso de 255 km, en su recorrido riega tierras de 26 municipios, incluyendo la zona occidental del Distrito Capital (Instituto de Estudios Urbanos. 2016).

Se seleccionaron algunos puntos de muestreo, teniendo en cuenta que su localización corresponde a sectores donde se desarrollan actividades antrópicas, de allí se extrajeron muestras de sedimento y agua para su análisis físico químico y estudio a escala; mediante la implantación de las muestras en columnas o reactores; uno de características anaeróbicas completamente mezclado y otro de características aeróbicas, donde se tuvo en cuenta la actividad metanogénica de los mismos. Los resultados mostraron la relación de patrones y su concentración por cada metal, elaborados para la generación de las curvas de calibración de las aguas y los sedimentos.

La mayoría de los metales se encuentran dentro de los límites establecidos por la Norma del Decreto 1594 de 1984. Aunque en algunos sectores se obtuvieron lecturas de concentración altas, estas están dentro de los parámetros señalados por el decreto, sin embargo la mayor cantidad de datos obtenidos son para la columna de agua, considerando también que gran cantidad de las concentraciones se encuentran en los sedimentos.

2. Marco Teórico.

Los contaminantes presentes en el medio ambiente representan una amenaza potencial para la existencia de los seres humanos; estos comprenden una amplia variedad de sustancias de muy diversa estructura química, se les suele clasificar en dos grandes grupos:

- Elementos traza y compuestos órgano-metálicos
- Sustancias orgánicas

Estos dos grupos, tienen características que le son comunes a todos ellos, aunque pueden diferir de forma amplia en su estructura química, aunque poseen ciertas propiedades físicas similares; algunos son resistentes a los procesos de degradación y son muy estables en los medios, otros poseen la cualidad de acumularse en los alimentos y por consiguientes al ser consumidos ponen en peligro la salud humana debido a su lenta velocidad de eliminación. Aunque algunos contaminantes traza metálicos son indispensables en el organismo su deficiencia puede causar problemas de salud, y si se supera el intervalo de seguridad pueden ser altamente tóxicos. (Falco, Nadal, Llobet y Domingo, 2012). La contaminación ambiental se produce por agentes tóxicos de diferentes fuentes entre las que se destacan:

- La presencia natural.
- La polución industrial.
- La elaboración industrial
- Las tecnologías agrícolas.

2.1. La presencia natural

La condición geológica de muchos elementos en la corteza terrestre hace que los MP se encuentren en forma natural, disueltos en todos los sistemas acuáticos y en diferentes grados de concentración, mediante los procesos orogénicos; los ecosistemas acuáticos se ven sometidas a aportes de compuestos metálicos provenientes de los suelos, por parte la actividad volcánica y la erosión que son factores que contribuyen al aumento de las concentraciones de metales en el medio, siendo las fuentes de transporte más comunes las fuentes de agua y los vientos. (Manahan, 2006)).

2.2. La polución industrial

Los procesos industriales son la principal fuente de contaminación y deterioro del medio acuático, dada su gran variedad y el uso de diferentes materias primas e insumos necesarios para el desarrollo y producción de nuevas tecnologías. Las cantidades, en toneladas métricas, emitidas al año en el mundo para algunos metales son: Plomo, 2'000.000; Cadmio, 5.500; mercurio, 11.000 y arsénico 78.000 (Falco et al. 2012), estas cifras son 300 veces más altas que las emisiones naturales. Las industrias galvánicas o de acabado de metales, producen una serie de desechos que contienen usualmente ácidos, trazas metálicas, cianuro y cromados. Estos provienen de los procesos de bruñido del

acero, del Hierro como del Cobre y en especial de los procesos de galvanoplastia (Sierra, 1983).

Las aguas residuales del bruñido del acero tienen un gran contenido de ácidos y Hierro ferroso; estos desechos son muy difíciles de tratar y muy tóxicos para los microorganismos (Urrutia, Yevenes, y Barra. 2002). El bruñido del Cobre, el lavado y procesamiento se traduce en la presencia del mineral en los residuos líquidos, aun en bajas concentraciones este metal es tóxico para la vida acuática y perturba los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales. Los desechos producto de los procesos de la galvanoplastia son extremadamente tóxicos, ya que generalmente contienen cianuro y cianatos (Stephens y Fulle, 2009).

Algunos procesos de fabricación pueden contribuir al incremento de elementos traza en el medio natural, mediante las descargas de aguas residuales, sin ningún tipo de tratamiento, a las corrientes naturales, ocasionando su deterioro gradual. Ver Tabla 1.

Tabla 1. Procesos industriales en los que se utilizan metales pesados

Fuente. Tomado de Förstner y Müller

Proceso Industrial	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Ni	Sn	Zn
Producción de papel y cartón		X	X		X		X	X		X
Petroquímica e Ind. Comp. Orgánica	X	X		X	X		X		X	X
Ind. Química(soda cáustica y otros)	X	X		X	X		X		X	
Producción de abonos	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Refinería	X	X	X	X			X	X		X
Ind. Metalúrgica	X	X	X	X	X		X	X	X	X
Producción de metales diferentes al Hierro		X	X		X		X			X
Industria de autos y aviones	X	X	X		X			X		
Industria de vidrios, cementos y asbestos		X								
Industria textil		X								
Industria del cuero		X								
Plantas de vapor (Calderas)		X								

2.3. Las tecnologías agrícolas

La presencia de MP en el ecosistema por causas de las tecnologías agrícolas, se debe al uso de diferentes tipos de agroquímicos que contienen este tipo de elementos. (Sierra, 1983).

2.4. Efectos tóxicos de los metales pesados en el organismo humano

La toxicidad de los metales pesados se basa en la influencia que tienen en los procesos fisiológicos de los organismos, (Cruz-Guzmán, (2007), siendo los de mayor peligro el Plomo (Pb), el Cadmio (Cd) y el Mercurio (Hg).

El Mercurio es uno de los metales pesados más usados y es considerado un veneno para el medio natural; su toxicidad se desarrolla en forma de compuesto orgánico e inorgánico. Las sales de mercurio al ser descargadas en los medios acuáticos se transforman por acción de la actividad bacteriana; bajo ciertas condiciones medioambientales (en aguas con bajo contenido de nutrientes y alto contenido de oxígeno el proceso de metilación es más acelerado), en compuestos orgánicos el metilmercurio es un compuesto altamente tóxico y soluble en grasas. (Cruz-Guzmán, 2007).

El Cadmio es un producto secundario de la extracción del Cinc, cerca del 0.2% del mineral de Cinc lo constituye el Cadmio; su toxicidad es muy compleja y se basa en las múltiples posibilidades que tiene para formar macromoléculas, como por ejemplo reemplazando a otros metales que desempeñan un papel importante en la actividad enzimática y reaccionando con grupos biológicos activos (carboxilo, fenol, sulfidrilo y otros). El Cadmio junto al Plomo y al Mercurio reaccionan especialmente con los grupos sulfidrilo (SH).

El Plomo es otro metal muy tóxico, al igual que el mercurio su toxicidad tiene dos rutas; como compuesto inorgánico se le denomina buscador de huesos, pues es allí donde se acumula y se ha comprobado que el 90% del Plomo en el cuerpo se acumula en estos; la otra forma es la de compuesto orgánico, más ampliamente conocidos ya que son utilizados como aditivos antidetonantes en la gasolina.

3. Metodología

Las muestras se tomaron mediante el sistema instantáneo, el cual reflejan solo las condiciones en el momento del muestreo, estas se tomaron de los sedimentos al fondo del río en la parte central del cauce, tomando dos puntos por sector, a una distancia de 50 m. entre uno y otro, y a una profundidad promedio de 0.40 m., mediante un sistema de barreno, diseñado para este proyecto, utilizando 4 segmentos de 1,5 m en tubería galvanizada de 1" ϕ con acoples de rosca que permiten alargar la extensión del barreno hasta los 6 m (máxima manejable), la trampa de recolección o muestreador, está constituida por un tubo de PVC de 3" ϕ y con 0,5 m de largo con sus respectivos tapones de cierre para facilitar el almacenamiento y evitar las pérdidas de muestra. Una vez obtenidas las muestras de los dos puntos del sector se procede a homogeneizarlas, para realizar el montaje de las columnas.

Las muestras fueron guardadas en frascos de vidrio esterilizados con anterioridad, sin ningún tipo de preservación, y almacenadas en lugar oscuro y fresco para su posterior montaje en las columnas; las muestras para sulfuros fueron preservadas fijando los mismos mediante la adición de reactivos. Para la toma de oxígeno disuelto OD, se diseñó y construyó un muestreador portátil de fácil manejo, al que se le adicionaron los reactivos indispensables para la fijación del oxígeno.

Para el análisis de las trazas de MP, se utilizó el método de espectrofotometría de absorción atómica, para lo que las muestras fueron extraídas por sistema de fijación y digestión en ácido dependiendo de los niveles de MP presentes en la muestra

3.1 Características de las Columnas

Físicamente las columnas se armaron con un tubo de PVC de ϕ 4" y aproximadamente 40 cm. de largo, con una tapa y una base en acrílico de cierre hermético, mediante una brida asegurada con tornillos, con tres accesos para conexiones o extracción de muestras que se encuentran localizadas al costado del cilindro a 10 cm, 25 cm y 40 cm medidos desde la tapa.

2.3.1 Columna aeróbica.

La columna presenta un suministro constante de aire mediante una bomba conectada a una válvula de acceso ubicada en la tapa, el aire es inducido al medio líquido a través de un difusor, evitando cualquier tipo de disturbio en los sedimentos. Ver figura 1.



Figura 1. Columna Aerobia.

2.3.2 Columna anaeróbica.

La columna presenta en la tapa, a diferencia de la aeróbica, un sistema mediante un motor de rotación lenta, que activa el giro de una hélice, produciendo un movimiento continuo y lento del líquido, que emula el producido por la corriente del río y tratando de evitar al máximo que el sedimento presente algún tipo de disturbio. Ver figura 2.



Figura 2. Sistema de Rotación Lenta

4. Resultados

Los siguientes datos son los resultados del análisis de las trazas de metales pesados, una vez leídos en el espectrofotómetro de absorción atómica y su respectiva corrección, respecto a los blancos, como a la curva de calibración.

La siguiente tabla muestra la relación de patrones y su concentración para cada metal, elaborados para la generación de las curvas de calibración tanto de las aguas como para los sedimentos.

Tabla 2. Absorbancia para los patrones de las aguas y de los sedimentos.

Metal	Agua		Sedimentos	
	ppm	Absorbancia	ppm	Absorbancia
Cromo	0,100	0,067	2,000	0,082
	0,200	0,135	4,000	0,146
	0,300	0,206	10,000	0,297
	0,500	0,297	0	0,005
Cadmio	0,050	0,05	0,500	0,064
	0,100	0,11	1,000	0,124
	0,200	0,145	2,000	0,240
			0	0,003
Plomo	0,500	0,273	5,000	0,066
	1,000	0,546	10,000	0,13
	2,000	1,092	20,000	0,257
			0	0,003
Níquel	0,200	0,039	2,000	0,018

	0,500	0,100	5,000	0,040
	1,000	0,210	10,000	0,073
			0	0,000

Para el desarrollo de la curva de calibración, para cada metal, se sometió a todo el proceso de extracción y lectura a cada una de las diluciones correspondientes obteniendo los siguientes resultados. (Bowels, 1981).

En lo referente a las Concentraciones Mínimas Detectables - CMD para el agua, para cada metal se recurrió a la curva de calibración que se observa en la figura 3, y en el lugar de corte se obtienen los valores de concentración mínimos detectables para cada metal, sin embargo cuando estos valores son muy pequeños se requiere de ampliar el sector de la curva donde se presentan las inconsistencias, al cruzar las curvas de los patrones metálicos con el valor de ruido del espectrofotómetro se establecieron los valores de las CMD., que para cada metal se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. CMD en agua por metal.

METAL	CONCENTRACIÓN (ppm)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMITIDA DECRETO 1594 (ppm)
Cromo	0,003	0,0002	0,05
Cadmio	0,002	0,0004	0,01
Plomo	0,004	0,0004	0,05
Níquel	0,012	0,0003	0,2

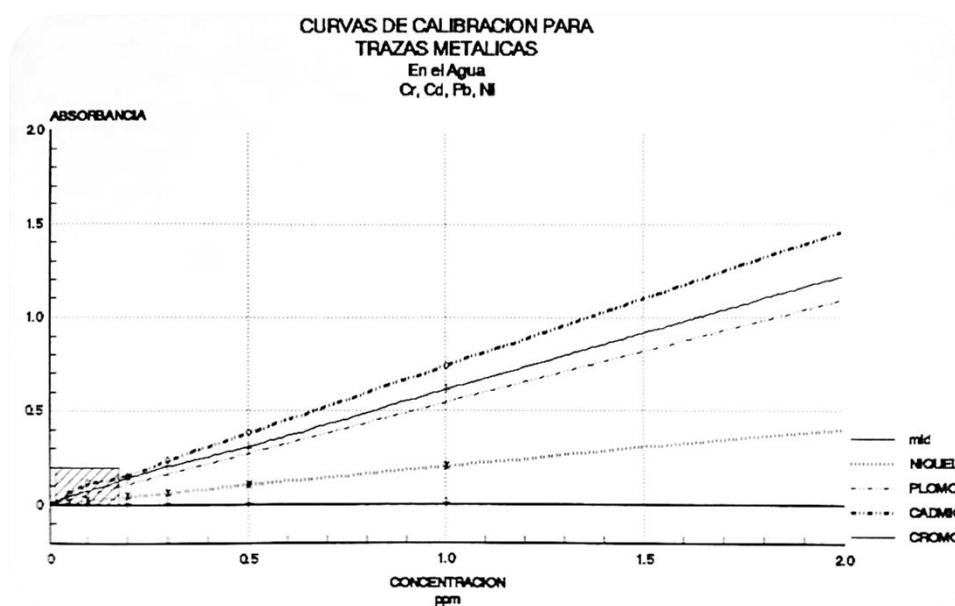


Figura 3. Curva de Calibración para Trazas Metálicas en el Agua.

En cuanto a los CMD para el sedimento, para cada metal en los sedimentos se repitió el proceso, se recurrió a la curva de calibración que se observa en la figura 4, de la misma forma que se hizo con el agua, dando como resultado lo valores q se muestran en la tabla 4.

Tabla 3. CMD en sedimento por metal.

METAL	CONCENTRACIÓN (ppm)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMITIDA DECRETO 1594 (ppm)
Cromo	0,048	0,005	0,05
Cadmio	0,011	0,003	0,01
Plomo	0,13	0,012	0,05
Níquel	0,15	0,021	0,2

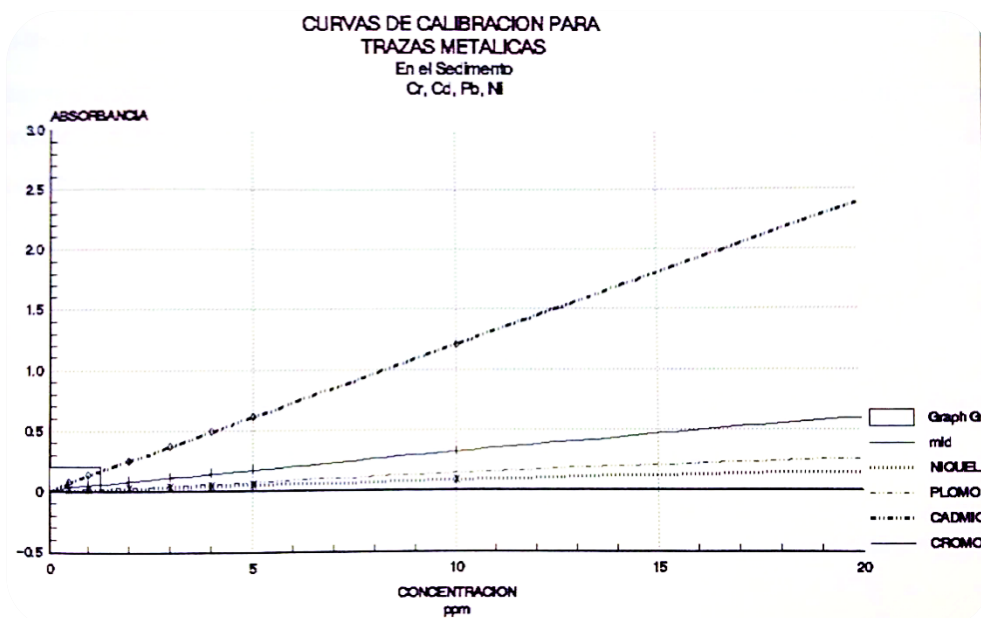


Figura 4. Curva de Calibración para Trazas Metálicas en el Lodo Bentónico.

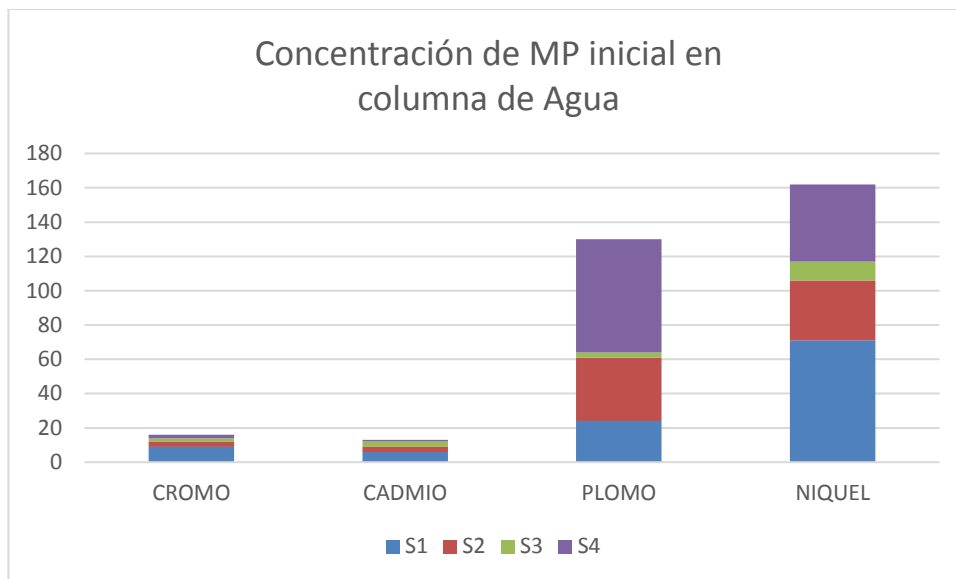


Figura 5. Concentración Inicial de MP en la Columna de Agua (ppm)

La figura 5 muestra que el Níquel es el MP de mayor concentración, seguido del Plomo, sin embargo las concentraciones de cromo y cadmio son muy bajas a tal punto que la sumatoria de sus valores no supera la cuantía de S1 de Plomo.

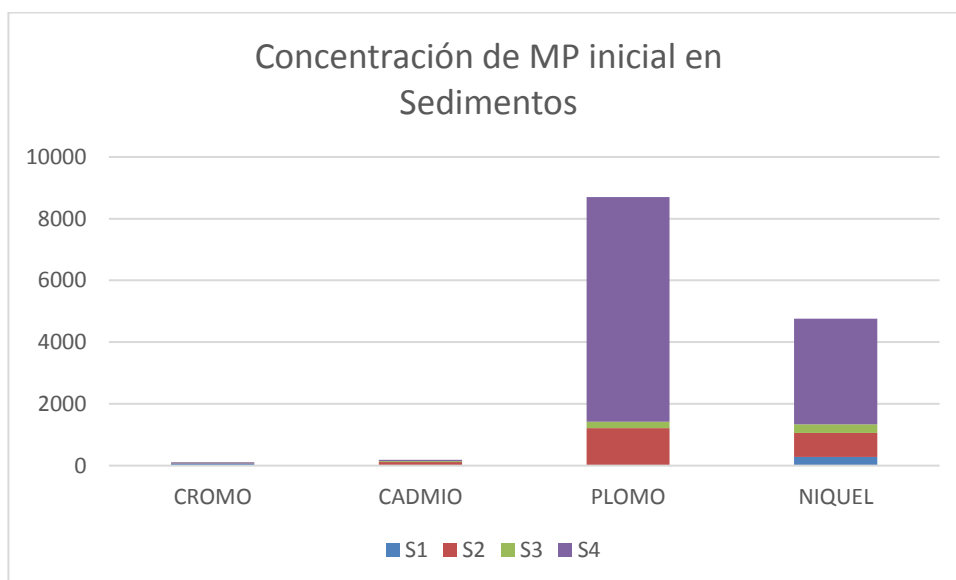


Figura 6. Concentración de MP inicial en Sedimentos (ppm)

En cuanto a los sedimentos la figura 6 muestra que el Plomo es el MP de mayor concentración en especial en el punto S4, sin embargo el Níquel presenta un mayor valor que los otros elementos en el punto S1.

Comparando las figuras 5 y 6, es claro que los MP que se vierten al río se van acumulando en el sedimento, a medida que se van precipitando al fondo.

Luego de instalado el sistema de columnas se obtuvieron los siguientes resultados:

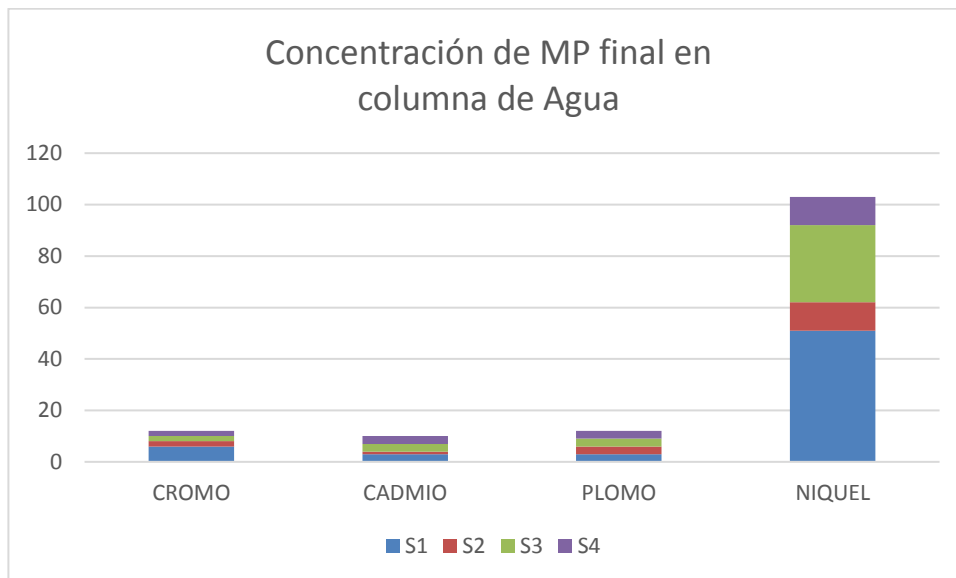


Figura 7. Concentración de MP final en columna de Agua (ppm)

Para el agua al final del experimento se obtuvieron una reducción del en las concentraciones como se manifiesta en la figura 7, viéndose más afectado el valor del plomo que disminuyo en un 91%, el níquel también mostro una baja significativa del 36%.

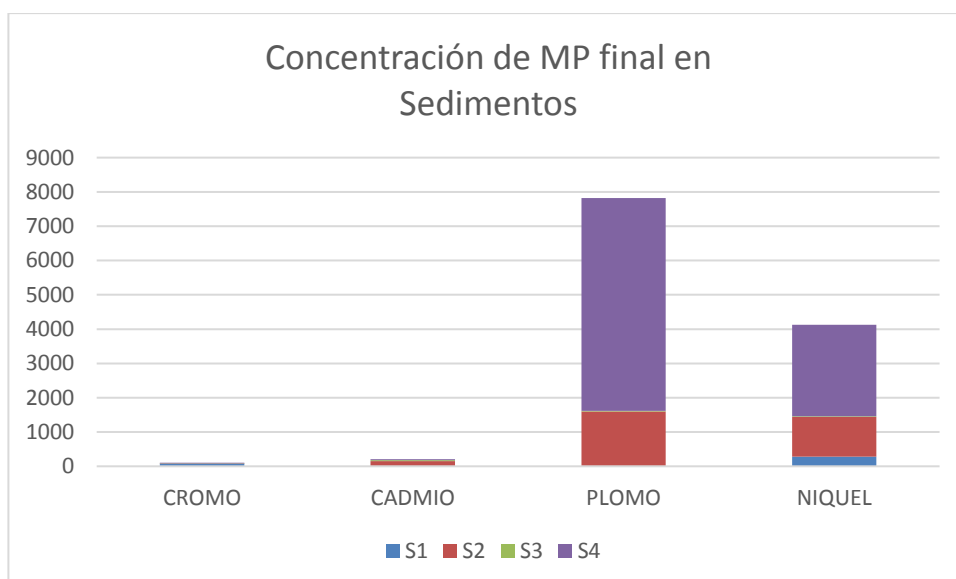


Figura 8. Concentración de MP final en Sedimentos (ppm)

En los sedimentos las concentraciones también se vieron ligeramente afectadas, cabe destacar que la concentración de plomo aumento en un 32% en el punto S2, los demás valores presentaron reducciones.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados que se obtuvieron en el laboratorio, de los metales analizados en este estudio, el Plomo (Pb) y el Níquel (Ni) se presentan en una mayor concentración en la columna de agua, por encima del Cr y el Pb; concentraciones de 251 ppb para el Plomo y de 187 ppb para el Níquel (Ni) en la columna de agua, pueden ser altamente perjudiciales para los organismos vivos.

Las altas concentraciones obtenidas en la columna aeróbica en comparación con las de la anaeróbica, puede ser ocasionado por el sistema de aireación, que al disminuir el volumen de agua en esta columna, por las extracciones, llega a tener contacto con el sedimento produciendo un disturbio del mismo liberando los metales concentrados en este. Otra razón puede ser la desaparición de las capas protectoras de fosfato.

La transferencia de metales pesados entre el sedimento y la columna de agua no parece presentarse de forma difusiva, pero el volumen de agua de la columna, restituido por agua de dilución, es evidente una resuspensión y un aumento en las concentraciones debido a la tendencia de los metales a fijarse de los Sólidos Suspendidos.

Se observó la tendencia que tienen el Cadmio y el Plomo a permanecer en el sedimento, no presentando transferencia de forma natural con la columna de agua.

La mayoría de los metales se encuentran dentro de los límites establecidos por el Decreto 1594 de 1984. Aunque en algunos sectores se obtuvieron lecturas de concentración altas, estas están dentro de los parámetros establecidos por el decreto, sin embargo la mayoría de los datos obtenidos son para la columna de agua pero la mayoría de las concentraciones se encuentran en los sedimentos.

Referencias.

Acosta, V. Lodeiros, C. Senior, W. y Martínez, G. (2002). Niveles de Metales Pesados en Sedimentos Superficiales en Tres Zonas Litorales de Venezuela. Disponible en: http://www.interciencia.org/v27_12/acosta.pdf

Bowels, E. J. (1981). Manual de laboratorio de Ingeniería Civil, Editorial Mc. Graw-Hill, ISBN 968-451-046-2, Experimentos 6 y 7.

Cruz-Guzmán, M. (2007). La Contaminación de Suelo y Aguas. Su Prevención con Nuevas Sustancias Naturales. Editorial Secretariado de Publicaciones Universidad de Sevilla, Sevilla España. p 51-65

Falco, G. Nadal, M. Llobet, J. y Domingo, J. (2012). Riesgo Tóxico por Metales Presentes en los Alimentos: Toxicología Alimentaria. Editorial Ediciones Díaz de Santos. Madrid España.

Förstner, U. Müller, G. (1974). Schwermetallen in Flüssen und Seen. *Springer-Verlag*, Berlin, p. 225.

Instituto de Estudios Urbanos, Secretaria de Hacienda. (2016). Río Bogotá Disponible en: <http://institutodeestudiosurbanos.info/endatos/0100/0110/0112-hidro/011211.htm>

Manahan, S. (2006). Introducción a la Química Ambiental. Editorial Reverté S. A. México D. F. México.

Sierra, J. H. (1983). Análisis de Aguas y Aguas Residuales, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Sanitaria, Universidad de Antioquia.

Stephens, A. Fulle, M. (2009). Sewage Treatment: Uses, Processes and Impact. Editorial Nova Science. p 394.

Urrutia, R. Yevenes, M. y Barra, R. (2002). Determinación de los Niveles Basales de Metales Traza en Sedimentos de Tres Lagos Andinos de Chile: Lagos Chungará, Laja y Castor. Boletín de la Sociedad Chilena de Química. ISSN 0366-1644.