

**DETERMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN EL
EMBALSE EL GUÁJARO, DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO**

ANA MILENA ARIZA BLANCO

LUZ DANIELA SAMPAYO CAMPO



UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BARRANQUILLA

2017

**DETERMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN EL
EMBALSE EL GUÁJARO, DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO**

ANA MILENA ARIZA BLANCO

LUZ DANIELA SAMPAYO CAMPO

Informe de Proyecto de Grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental.

ASESOR

Ing. Ana Carolina Torregroza Ms.C

CO- ASESOR:

Ing. Daniel Castañeda Valbuena Ms.C.

UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BARRANQUILLA

2017

Nota de aceptación

4,6



Firma del Presidente del jurado



Firma del jurado



Firma del jurado

Dedicatoria

A Dios, por ser el motor principal en mi vida y porque me ha permitido cumplir cada una de mis metas.

A mis amados abuelitos María Victoria Serrano y Diego Blanco (QEPD), que lo han dado todo por mí.

A mis padres Ana Rosa y Luis Alberto, de los cuales aprendí a ver la vida desde sus perspectivas, a comunicarme de forma diferente y a que una limitación auditiva no es un impedimento, sino un impulso para avanzar.

A mi hermano Mario Ariza, al cual quiero, admiro y me siento orgullosa de sus logros.

Ana Milena Ariza.

Dedicado a Dios por brindarme la fuerza y ser luz en mí camino.

Asimismo, a mi Madre Luz Marina, por todo su amor y esfuerzo para conmigo ¡Te amo Mamá!

Luz Daniela Sampayo.

Agradecimientos

A Dios, porque su fidelidad es infinita.

A nuestros tutores Ana Carolina y Daniel, por ser personas constantes y excelentes guías en el desarrollo del presente trabajo de grado. Sin ustedes esto no hubiera sido posible ¡Gracias!

A mi familia, en especial a mi tía Lupe Blanco, que sin su motivación no me hubiera lanzado a estudiar cuando no tenía opciones.

A Iveth Barros, por ser esa persona sincera y solidaria, la cual estaré eternamente agradecida, al ser ese apoyo para estudiar cuando otros cerraron los caminos.

A Lucis, por todos los momentos divertidos y el apoyo desde el día que la conocí. Por ser más que una amiga, por ser como una hermana.

A todos mis amigos, en especial a Katty por siempre declarar palabras de bendición hacia mi vida.

Ana Milena Ariza.

A Dios Porque siempre ha sido bueno conmigo.

A nuestros tutores por su gran paciencia y dedicación, realmente los aprecio mucho.

A mis padres y hermanos, por todo el apoyo en cada proyecto que he emprendido.

A mi tía Ever, por acogerme y ser tan especial conmigo.

A Ana Belén por regalarnos parte de su tiempo en el desarrollo experimental y por sus grandes historias.

A mi gran amiga y compañera Ana, por todas las aventuras vividas y largos momentos agradables.

A mis amigos y amigas, por estar atentos a mis necesidades, por su carisma y motivación.

Luz Daniela Sampayo.

Resumen

El objetivo de este proyecto de investigación consistió en determinar las concentraciones de metales pesados (Hg, Pb, Zn) en agua y sedimento del Embalse El Guájaro, Departamento del Atlántico. Se seleccionaron al azar ocho (8) puntos de muestreo, distribuidos en toda el área del embalse. Inicialmente se realizó un análisis exploratorio por medio de búsqueda de información primaria y secundaria sobre las posibles fuentes de contaminación, encontrando que principalmente la contaminación es producida por fuentes antropogénicas (vertimiento de aguas residuales e industriales, minería, entre otros) y algunas fuentes naturales (erosión del suelo y enriquecimiento natural). El análisis de metales pesados en agua y sedimento se realizó mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica según los lineamientos del Standard Methods. A partir de los resultados obtenidos en la matriz de agua se pudo observar que para el Hg las concentraciones se mantuvieron constantes entre los puntos de muestreo (< 0.002 mg/l). Para el Zn se encontró que la zona sur y norte presentaron las concentraciones más altas (0,8 - 1,30 mg/l, respectivamente) y las concentraciones de Pb estuvieron por debajo del límite de detección del equipo. Por su parte, en el sedimento no se detectaron valores de Hg. El Pb y el Zn se registraron solo en algunos puntos con un valor máximo de 1.38 mg/kg y 61.31 mg/kg, respectivamente. Posterior a la identificación de la distribución de la concentración de metales pesados se realizó un análisis de correlación para determinar la interacción entre las concentraciones obtenidas en sedimento y algunos parámetros fisicoquímicos del mismo, obteniendo una correlación positiva entre el Pb y el contenido de MO ($p \leq 0,05$). En conclusión, la presencia de metales pesados en los cuerpos de agua y en sus sedimentos se considera como una afectación y alteración del medio ambiente, lo cual puede traer consecuencias en la salud de los

usuarios del embalse, por lo que se recomienda monitorear la calidad del agua de consumo de la zona.

Palabras clave: Metales pesados, agua, sedimento, contaminación.

Abstract

The objective of this investigation project consisted on determining heavy metal concentrations (Hg, Pb, Zn) in water and sediment at the Guájaro reservoir, Department of Atlántico. Eight (8) sampling points were selected randomly, distributed across the reservoir area. Initially, an exploratory analysis was done through search of primary and secondary information about the possible sources of contamination, finding that pollution is mainly produced by anthropogenic sources (dumping of industrial and wastewaters, mining, among others) and some natural sources (soil erosion and natural enrichment). The analysis of heavy metals in waters and sediment was performed using atomic absorption spectrophotometric technique according to standard methods guidelines. From the results obtained in the water matrix, it was observed that for the Hg the concentrations remained constant between the sampling points (< 0.002 mg/l). For the Zn it was found that the southern and northern areas had the highest concentrations (0.8 - 1.30 mg/l, respectively) and the Pb concentrations were below the detection limits of the equipment. On the other hand, Hg values were not detected in the sediment. Pb and Zn were recorded only at some points with a maximum value of 1.38 mg / kg and 61.31 mg / kg, respectively. After the identification of the distribution of the heavy metals concentration, a correlation analysis was performed to determine the interaction between the concentrations obtained in sediment and some physicochemical parameters of the same, obtaining a positive correlation between the Pb and the organic matter content ($P \leq 0.05$). In conclusion, the presence of heavy metals in bodies of water and their sediments is considered as an affectation and alteration of the environment, which can have consequences for the health of the users of the reservoir. Monitoring the quality of drinking water in the zone is recommended.

Key words: Heavy metals, water, sediment, pollution.

Contenido

Lista tablas y figuras.....	xiii
Glosario.....	xv
Lista de abreviaturas y sigla.....	xvii
Introducción	1
1. Planteamiento del problema.....	3
2. Justificación	5
3. Objetivos	6
3.1 Objetivo general	6
3.2 Objetivos específicos.....	6
4. Estado del arte.....	7
5. Marco teórico	11
5.1 Metales Pesados	11
5.1.1. Mercurio.....	11
5.1.2. Plomo.....	12
5.1.3. Zinc.....	12
5.2 Dinámica de metales en el ambiente.....	12
6. Metodología	14

6.1	Área de estudio.....	14
6.2	Fase de campo	15
6.3	Fase de laboratorio	16
6.4	Análisis de la información.....	16
7.	Resultados	17
7.1	Descripción de las condiciones fisicoquímicas del embalse.....	17
7.2	Análisis de las posibles fuentes de la contaminación metales pesados (Hg, Pb y Zn) en el embalse El Guájaro.....	18
7.2.1	Mercurio.....	19
7.2.2	Plomo	19
7.2.3	Zinc.....	20
7.3	Determinación de las concentraciones de metales pesados (Hg, Pb y Zn) en aguas superficiales del embalse El Guájaro.....	20
7.4	Determinación de las concentraciones de metales pesados (Hg, Pb y Zn) en sedimentos superficiales del embalse El Guájaro.....	22
7.5	Correlación entre el pH y el contenido de MO con las concentraciones de metales pesados en sedimentos.....	24
7.6	Comparación con la normativa aplicable.....	25

8. Discusión.....	29
9. Conclusiones	34
10. Recomendaciones	35
Referencias.....	36

Lista de Tablas y Figuras

Tablas

Tabla 7.1 Parámetros fisicoquímicos del Embalse El Guájaro.....	17
Tabla 7.2 pH y MO para los sedimentos del embalse El Guájaro.	25
Tabla 7.3 Comparación de los parámetros analizados con lo establecido en el Decreto 1076 del 2015 (de los puntos 1 – 4).....	26
Tabla 7.4 Comparación de los parámetros analizados con lo establecido en el Decreto 1076 del 2015 (de los puntos 5 – 8).....	27
Tabla 7.5 Concentración de metales pesados en agua y sedimento.....	28

Figuras

Figura 5.1 Dinámica de los metales en el ambiente	13
Figura 6.1. Ubicación general del embalse El Guájaro	14
Figura 6.2 Ubicación de los puntos de muestreo ubicados en el Embalse El Guájaro	15
Figura 7.1 Distribución de Mercurio en aguas superficiales del embalse El Guájaro (mg/l).....	21
Figura 7.2 Distribución de Zinc en aguas superficiales del embalse El Guájaro (mg/l)	22
Figura 7.3 Distribución de Plomo en sedimentos superficiales del embalse El Guájaro (mg/kg)	23
Figura 7.4 Distribución de Zinc en sedimentos superficiales del embalse El Guájaro (mg/kg)..	24

Glosario

- Adsorción:** Proceso de atracción de las moléculas o iones de una sustancia en la superficie de otra, siendo el tipo más frecuente el de la adhesión de líquidos y gases en la superficie de los sólidos. La adsorción es un fenómeno de naturaleza física o química.
- Agua residual doméstica:** Son las procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios y que correspondan a:
1. descargas de los retretes y servicios sanitarios.
 2. descargas de los sistemas de aseo personal (duchas y lavamanos), de las áreas de cocinas y cocinetas, de las pocetas de lavado de elementos de aseo y lavado de paredes y pisos y del lavado de ropa (no incluyen las de los servicios de lavandería industrial.
- Agua residual doméstica: no** Son las procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios distintos a las que constituyen aguas residuales domésticas.
- Autodepuración:** La autodepuración es el proceso de recuperación de un curso de agua después de un episodio de contaminación orgánica. En este proceso los compuestos orgánicos son diluidos y transformados progresivamente por la descomposición bioquímica, aumentando su estabilidad.
- Bioacumulación:** El término bioacumulación hace referencia a la acumulación neta, con el paso del tiempo, de metales (u otras sustancias persistentes) en un organismo a partir de fuentes tanto bióticas (otros organismos) como abióticas (suelo, aire y agua).
- Biomagnificación:** Capacidad de algunos compuestos químicos de aumentar su concentración en forma creciente en cada eslabón de la cadena alimentaria, hasta alcanzar potencialmente una dosis letal para algún organismo constituyente de la misma. Este fenómeno depende de las características de la sustancia, así como de la constitución del organismo receptor, y sus especiales velocidades de absorción y excreción.

Cadena Trófica:	Es el proceso de transferencia de energía alimenticia a través de una serie de organismos, en el que cada uno se alimenta del precedente y es alimento del siguiente.
Contaminación:	Es la introducción de cualquier sustancia a un medio en una determinada concentración que pueda causar alteraciones físicas, químicas o biológicas.
Deposición atmosférica:	El proceso por el cual sustancias químicas, tales como partículas contaminantes son transferidas de la atmósfera a la superficie de la tierra.
Erosión:	La erosión es el proceso de desgaste y transporte de sólidos (sedimentos, suelos, rocas y otras partículas) desde el medio natural a otro lugar. Por lo general se produce debido al transporte por el viento, el agua o el hielo, por gravedad, temperatura o por organismos vivos, como animales excavadores, en el caso de bioerosión.
Escorrentías:	Corriente de agua que rebosa su depósito o cauce natural o artificial y que discurre por un terreno.
Eutrofización:	Es una invasión de algas, que logran reproducirse en exceso, cuando encuentran en el medio acuático en el que viven, más nutrientes de los que necesitan para su desarrollo normal.
Hidrólisis:	Descomposición de sustancias orgánicas e inorgánicas complejas en otras más sencillas por acción de agua.
Metales pesados:	Son aquellos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua. El término de metal pesado refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas.
Toxicidad:	La capacidad o la propiedad de una sustancia de causar efectos adversos sobre la salud.

Lista de Abreviaturas y Sigla

Sigla	Término
µm:	Micrómetro
ARD:	Agua residual doméstica
ARDnD:	Agua residual no doméstica
APHA:	Asociación de salud pública americana
°C:	Grados Celsius
CCME:	Consejo canadiense de ministros del medio ambiente
CEQGs:	Guías de calidad del medio ambiente de Canadá
cm:	Centímetro
CRA:	Corporación autónoma regional
DOM:	Materia orgánica disuelta
DQO:	Demanda química de oxígeno
e.g:	Por ejemplo
EPA:	Agencia de protección ambiental
Fig:	Figura
Ha:	Hectáreas
Hg:	Mercurio
HNO₃:	Ácido nítrico
kg:	kilogramo

km:	kilómetro
l:	Litro
m³:	Metro cúbico
MADS:	Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible
Máx:	Máximo
mg:	Miligramo
MO:	Material orgánica
S:	Segundos
SGC:	Servicio geológico Colombiano (anteriormente INGEOMINAS).
OD:	Oxígeno disuelto
Pb:	Plomo
pH:	potencial de Hidrógeno
PTAP:	Planta de tratamiento de agua potable
SPSS:	Paquete estadístico para las ciencias sociales
Zn:	Zinc

Introducción

En la actualidad, son muy diversos los problemas ambientales a los que se enfrentan los ecosistemas acuáticos, por procesos naturales (e.g. meteorización de las rocas, erosión de los suelos, entre otros) o por acción antropogénica (e.g. la industrialización, la urbanización, el vertimiento de desechos y contaminantes, la deforestación de las zonas rurales, entre otros). De esta forma se introducen a los ecosistemas compuestos de origen inorgánico, alterando la calidad del agua (Cabildo et al., 2013). En este sentido, los metales pesados son unos de los constituyentes inorgánicos que se encuentran en altas concentraciones en los ecosistemas acuáticos (Emoyan, Ogban, y Akarah, 2006). La contaminación por metales pesados es uno de los problemas ambientales más alarmante y que requiere de su cuantificación, caracterización y análisis, principalmente por su toxicidad y persistencia, así como también por su bioacumulación y biomagnificación en la cadena trófica (Papagiannis, Kagalou, Leonardos, Petridis, y Kalfakakou, 2004).

Los metales pesados son arrastrados a las aguas superficiales de los ecosistemas acuáticos por diferentes medios y procesos (escorrentía, precipitación, deposición atmosférica, migración, adsorción, vertimientos puntuales, entre otros) y posteriormente se depositan en los sedimentos (Scherer, Sagemann, y Stephan, 2011). Estos elementos se acumulan en los sedimentos superficiales y guardan una estrecha relación con el tamaño de las partículas que constituyen el sedimento (limo, arcilla y arena) y con la cantidad de MO sedimentaria (Acosta, Lodeiros, Senior, y Martínez, 2012), alterando el equilibrio ecológico y biogeoquímico del ecosistema. A través de diferentes procesos de actividad microbiana y de remineralización de la MO se colocan nuevamente en circulación en la columna de agua

los contaminantes sedimentados, ya sean disolviéndose en el agua o suspendidos junto al material particulado (Mariani y Pompêo, 2008). Adicionalmente, los parámetros fisicoquímicos indican la disponibilidad, persistencia y toxicidad de los metales pesados. Variaciones de pH y del contenido de MO pueden provocar movilización y resuspensión de especies químicas acumuladas en los sedimentos, magnificando incluso su efecto tóxico (Ruiz, Echenandía, y Romero, 1994).

El embalse El Guájaró, constituye uno de los ecosistemas acuáticos más importantes del departamento del Atlántico, debido a que abastece tres distritos de riego, sustenta actividades pecuarias, agrícolas, mineras e industriales Corporación Autónoma regional del Atlántico (CRA, 2007). Este embalse es un cuerpo de agua artificial, que tiene conexión a través de compuertas con el canal del dique, y este a su vez con el río Magdalena. Por la vulnerabilidad de este ecosistema a la contaminación por metales pesados, por el riesgo ambiental que representan estos contaminantes y por la inexistencia de estudios sobre la problemática específica, se hizo pertinente determinar la contaminación por metales pesados (Hg, Pb, Zn) presentes en agua y sedimento en el Embalse El Guájaró, para así brindar un estudio y proporcionar información sobre la distribución de los mismos en esta zona.

1. Planteamiento del problema

La contaminación ambiental aumenta drásticamente como consecuencia del desarrollo urbano e industrial, los asentamientos humanos y las diversas actividades de origen antropogénico. Uno de los principales problemas ambientales que se presentan en los cuerpos de agua, es la presencia de contaminantes químicos de tipo orgánico e inorgánico, destacándose en este último los metales pesados (Gao y Chen, 2012). Los metales pesados son altamente tóxicos en su gran mayoría, se bioacumulan y biomagnifican en los diferentes niveles de la cadena trófica (Contreras, Mendoza, y Gómez, 2004), tienen una amplia distribución en el ambiente y sus concentraciones varían de un lugar a otro de acuerdo con la naturaleza geológica del ecosistema (Suresh, Sutharsan, Ramasamy, y Venkatachalapathy, 2012). Lo anterior ha conllevado a que se realicen estudios en diferentes zonas que permitan analizar la concentración, distribución y comportamiento de los metales pesados; así como la resuspensión de estos, del sedimento a la columna de agua (Huo et al., 2013; Lledó, 2002;). El estudio de la presencia de metales pesados en agua y sedimento, suministra información importante para la determinación de estrategias de manejo sostenible en los ecosistemas acuáticos.

En el estudio de metales pesados también es necesario tener en cuenta parámetros fisicoquímicos que permitan indicar la toxicidad, disponibilidad, solubilidad, (Mariani y Pompêo, 2008) entre otras propiedades. Entre estos parámetros se puede destacar el pH y la MO. La mayoría de los metales son insolubles a pH neutros o básicos y tienden a estar más disponibles a pH ácido. En cuanto a la MO, esta tiende a acumular altas cantidades de metales, que, por diferentes procesos de movilidad y asociación química, son resuspendidos de los sedimentos a la columna de agua (Emoyan et al., 2006). En la interfase sedimento-

agua o en la columna de agua, los metales son más propensos a transportar y entrar en la cadena trófica (Suresh et al., 2012), ya que se adhieren a la MO y otros materiales sólidos, disueltos o suspendidos. Los cuales constituyen una fuente de alimento para los organismos que habitan en el cuerpo de agua y por la ingestión de dicho “alimento contaminado” los metales pesados se introducen en los organismos vivos (Baby et al., 2010). Pese a la importancia económica, ecológica y social del embalse El Guájaro en el Departamento del Atlántico, no existen investigaciones sobre esta temática que permitan determinar la contaminación por metales pesados (Hg, Pb y Zn) en agua y sedimento. En este sentido, el presente estudio se plantea las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cuáles son las posibles fuentes de contaminación por metales pesados (Hg, Pb y Zn) en agua y sedimento en el embalse El Guájaro, Departamento del Atlántico?
- ¿Cómo es la distribución espacial de las concentraciones de metales pesados (Hg, Pb y Zn) en agua y sedimento en el embalse El Guájaro, Departamento del Atlántico?
- ¿Existe relación entre el pH y la MO con las concentraciones de metales pesados en agua y sedimento del embalse El Guájaro, Departamento del Atlántico?
- ¿Están los niveles de concentraciones de metales pesados superan los valores máximos permisibles de la legislación ambiental?

2. Justificación

El embalse El Guájaro es el cuerpo de agua de esta naturaleza más importante en el Departamento del Atlántico y el segundo en todo el país; principalmente por su extensión y productividad. Se encuentra ubicado en una ecorregión estratégica que garantiza el bienestar y la seguridad alimentaria de aproximadamente 60.000 habitantes, a través de los diferentes usos del agua para actividades domésticas, pecuarias, agrícolas y turísticas (CRA, 2007). Debido a la amplia gama de servicios ecosistémicos que ofrece el embalse El Guájaro, es importante analizar las fuentes que pueden producir un impacto negativo en el ecosistema acuático. Por lo general, dentro de esas fuentes se destacan: los vertimientos de aguas residuales, la recirculación de aguas de lavados en los distritos de riego, la explotación minera, entre otros (McBride, 1994). Todo lo anterior, puede ocasionar en el ecosistema contaminación por metales pesados, la cual constituye un riesgo ambiental que se agudiza con la concentración, la especiación y la biodisponibilidad específica de cada metal. Considerando que estas características determinan su reactividad, movilidad y su capacidad de ser absorbidos por la flora y la fauna (Pueyo et al., 2007)

Los metales pesados como el Hg, Pb y Zn están considerados dentro de los mayores agentes tóxicos asociados a contaminación ambiental. Su toxicidad se asocia con la alta estabilidad química y poca susceptibilidad a la degradación por organismos (Thomann, 1984). Estos metales tienden a bioacumularse en los tejidos de animales y plantas, persisten en sus organismos por largos períodos y en algunos casos pueden sustituir constituyentes esenciales para la vida (Ramírez, 2002). Por toda la problemática relacionada con los metales pesados, resulta de vital importancia determinar las concentraciones de Hg, Pb y Zn en agua y sedimento en el embalse El Guájaro.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Determinar la contaminación por metales pesados en agua y sedimento en el embalse El Guájaro, Departamento del Atlántico.

3.2 Objetivos específicos

- Analizar las posibles fuentes de la contaminación metales pesados (Hg, Pb y Zn) en el embalse El Guájaro.
- Determinar las concentraciones de metales pesados (Hg, Pb y Zn) en agua y sedimento del embalse El Guájaro.
- Correlacionar el pH y el contenido de MO con las concentraciones de metales pesados en sedimentos del embalse El Guájaro.

4. Estado del arte

El estudio de metales pesados se considera un tema de gran interés a nivel global, la alta concentración de estos en las tres matrices ambientales (agua, aire y suelo) son el fundamento para su evaluación (Wang, Chen, Hung, y Shamma, 2009). Diversas son las investigaciones realizadas sobre contaminación por metales pesados en cuerpos de agua (Acosta et al., 2012; Gao y Chen, 2012; Marrugo y Paternina, 2011; Navas-Ruiz y Méndez-Armenta, 2011). La presencia de elementos metálicos en sistemas acuáticos se origina por la interacción del agua con los sedimentos y la atmósfera con la que está en contacto (Rainbow, 1995), como resultado de las fuerzas hidrodinámicas naturales, biológicas y químicas se producen fluctuaciones en las concentraciones en el agua.

Los sedimentos son un componente ecológicamente importante en el hábitat acuático, constituyen un reservorio natural de contaminación (Contreras et al., 2004). La existencia de metales en sedimentos puede verse influenciada por vertimientos de aguas residuales no domésticas; de igual manera el uso de agroquímicos se convierte en fuente de metales para los sedimentos a través del transporte o arrastre de aguas de riego desde zonas agrícolas. Esta descarga incontrolada de desechos industriales, perturba de manera directa el balance entre los metales de los sedimentos (Jiménez, 2001).

Adicionalmente se ha demostrado que las altas concentraciones de metales generan un déficit de OD, una disminución en el pH y potencial redox, un aumento en la mineralización y en la concentración de DOM (Marrugo y Paternina, 2011).

La correlación positiva entre la concentración de MO y el contenido de metales pesados permite valorar su distribución espacial en los sedimentos (Dong et al., 2015). Las investigaciones de la última década sobre metales pesados alrededor del mundo se han

realizado en diferentes ecosistemas acuáticos (Bifano y Mogollón, 1995; Galasso, Siegel, y Kravitz, 2000; Gu et al., 2014). También se han evaluado tanto la columna de agua (Adomako et al., 2008; Salati y Moore, 2010) como en los sedimentos (Khodami, Surif, Wo, y Daryanabard, 2017) y en todas las investigaciones mencionadas se han encontrado concentraciones elevadas de metales pesados (212 mg/l de Hg y 16,83 mg/l de Pb en aguas, 49,4 mg/kg de Pb y 194,4 mg/kg de Zn en sedimentos).

Particularmente en Colombia, los primeros avances en investigación sobre metales pesados en ecosistemas continentales, marinos y costeros, los ha realizado el Invemar y la Universidad de Córdoba. Específicamente a través de estudios realizados en el río Magdalena, en la Ciénaga Grande de Santa Marta, en la zona costera del Caribe y el Pacífico, y en Ciénagas del departamento de Córdoba, en los cuales se han encontrado concentraciones significativas (Espinosa, Parra, y Villamil, 2011; Parra y Espinosa, 2008; Tejada-Benitez, Flegel, Odigie, y Olivero-Verbel, 2016), que pueden ser resultado de las actividades del sector primario y/o secundario como la producción agrícola, la industria y la minería donde se reporta el aumento de las concentraciones de plomo y mercurio en los ecosistemas acuáticos (Bueno-Zabala, Pérez-Vidal, y Torres-Lozada, 2014; Londoño-Franco, Londoño-Muñoz, y Muñoz-García, 2016). También algunas son asociadas como producto de enriquecimiento natural, erosión del suelo y a las actividades portuarias aledañas al mismo (Feria, Marrugo, y González, 2010; Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS, 2001).

Por otra parte, diversos estudios han demostrado que los efectos tóxicos de los metales pesados pueden generarse a concentraciones bajas, y sus efectos en el ambiente y en la población mundial son más graves de lo que se había pensado (Acosta et al., 2012; Marrugo y Paternina, 2011; Suresh et al., 2012). Algunos autores consideran el riesgo de la

acumulación de metales pesados en agua a partir de los efectos ecológicos significativos a lo largo de la cadena alimentaria (Alkorta et al., 2004; Reyes, Vergara, Omar, Díaz, y González, 2016), tal es el caso de algunos estudios realizados recientemente sobre la presencia de metales pesados como el Hg, Pb, Zn, Cr, As en las verduras y hortalizas comercializadas como la lechuga, espinaca, frijol, papa entre otros (Chang et al., 2014; Pan, Wu, y Jiang, 2016) proveniente de las aguas destinadas para riego de cultivos (Sharma, Katnoria, y Nagpal, 2016; Akinyele y Shokunbi, 2015; Fransisca et al., 2015).

Cabe resaltar que los efectos tóxicos ocasionados por las concentraciones de metales en el medio, son considerados según la forma química en la que se encuentre disponible el elemento (Hirose, 2006). Los autores como Tchounwou, Yedjou, Patlolla, y Sutton, (2012); Jaishankar, Tseten, Anbalagan, Matthew y Beeregowda, (2014); Jarup, (2003); Duruibe, Ogwuegbu, y Egwurugwu, (2007), detallan en sus evaluaciones los efectos generados a partir de la acumulación de metales pesados como Pb, Hg y Zn en los organismos vivos, los cuales desencadenan graves enfermedades como cáncer, alteración de las funciones cerebrales e inclusive pueden llegar a producir deficiencia en la reproducción.

Partiendo del estado actual de la distribución espacial de las concentraciones de metales pesados en algunos lugares del mundo es relevante mencionar que se ve influenciada según dinámica del desarrollo económico y por el crecimiento poblacional del área a evaluar (Tang et al., 2014; Zhang et al., 2016). En algunos casos es posible determinar si la distribución espacial es originada principalmente por actividades antropogénicas. Sin embargo, las variaciones en las concentraciones de los metales también responden a factores externos como son los parámetros climáticos (temperatura, velocidad del viento, precipitaciones) (Khan, Hasan, Khan, Aktar, y Fatema, 2017; Machado, AL, Rizzi, Figueira, y Froehner, 2017; Mello, 2012; Wang, Wen, Guo, Shi, y Yan, 2017).

Por su parte, el embalse El Guájaro es un cuerpo de agua artificial, se alimenta del río Magdalena, del cual depende más del 70 % de la población de Colombia (CRA, 2007). No existen estudios que evidencien la contaminación por metales pesados en dicho ecosistema, por lo cual se convierte en una zona de interés para el desarrollo de investigaciones, tomando como referencia su conexión con el río Magdalena y las diferentes actividades socioeconómicas que se realizan alrededor del mismo.

5. Marco teórico

5.1 Metales Pesados

Los metales pesados son elementos metálicos que poseen una densidad relativamente más alta que la del agua (Fergusson , 1990), estos pueden reaccionar perdiendo uno o más electrones para formar un catión. Son elementos que tienen pesos atómicos entre 63.546 y 299.590 u.m.a. con una gravedad específica mayor a 4.0 (Cornelis y Nordberg, 2007). Son compuestos peligrosos porque tienden a bioacumularse. Lo cual significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración del producto químico en el ambiente (Contreras et al., 2004). Los efectos de los metales pesados son bastante graves contaminan el ambiente y los cultivos. Si hay presencia de una alta concentración de metales se pueden producir (Agarwal, 2009):

- Alteraciones en las plantas (pérdidas en cosechas y mortalidad).
- Degradación de los suelos, disminuyendo la productividad.
- Afectaciones en la fauna de los ecosistemas acuáticos (acumulación en los tejidos grasos)
- Problemas de salud en humanos.

5.1.1 Mercurio.

Es un elemento que se presenta de manera natural en el ambiente y existe en diferentes formas. Durante su ciclo, el mercurio puede cambiar de estado y especie, pero su forma más simple es el mercurio elemental o metilmercurio, nocivo para los seres humanos y el medio ambiente. Una vez liberado a partir de los minerales, o depósitos de combustibles fósiles y minerales yacientes en la corteza terrestre, y emitido a la biósfera, el mercurio

puede tener una gran movilidad y circular entre la superficie terrestre y la atmósfera. Los suelos superficiales de la tierra, las aguas y los sedimentos de fondo se consideran los principales depósitos biosféricos de mercurio (Duffus, 2002).

5.1.2 Plomo.

El plomo es uno de los metales pesados más usados, detectables en prácticamente todas las fases del medio ambiente y los sistemas biológicos. Proviene de fuentes naturales y antropogénicas. No se considera esencial para la vida. Se puede encontrar como sulfuro, carbonato, óxidos, complejos orgánicos, entre otros. Se le emplea en aleaciones, baterías, compuestos y pigmentos, revestimiento para cables, proyectiles y municiones (Navas-Ruíz y Méndez-Armenta, 2011).

5.1.3 Zinc.

El Zinc es un elemento traza esencial para todos los organismos vivos. Es un constituyente de más de 200 metaloenzimas y otros compuestos metabólicos. La contaminación ambiental por zinc, y sus efectos sobre la población, no son tan conocidos como en el caso de la producida por los elementos como el Hg o Pb. Sin embargo, cada vez son más numerosos los estudios que ponen de manifiesto su elevada concentración en las aguas. Esto sólo se refiere al estado elemental, ya que algunos derivados, como arsenato de zinc y cianuro de zinc, pueden ser extremadamente peligrosos (Marrugo y Paternina, 2011).

5.2 Dinámica de metales en el ambiente

Los metales pesados han ido aumentando sus concentraciones en el medio ambiente debido a ciertas actividades antropogénicas como por ejemplo el transporte, la generación de energía, los vertimientos industriales y domésticas, entre otros, de modo que a la atmósfera ocurren emisiones constantes de estos contaminantes. Debido a fenómenos

naturales como la lluvia y la erosión del suelo; estos llegan a la hidrósfera, actuando sobre organismos que conviven en este medio (ver Figura 1) (Agarwal, 2009).

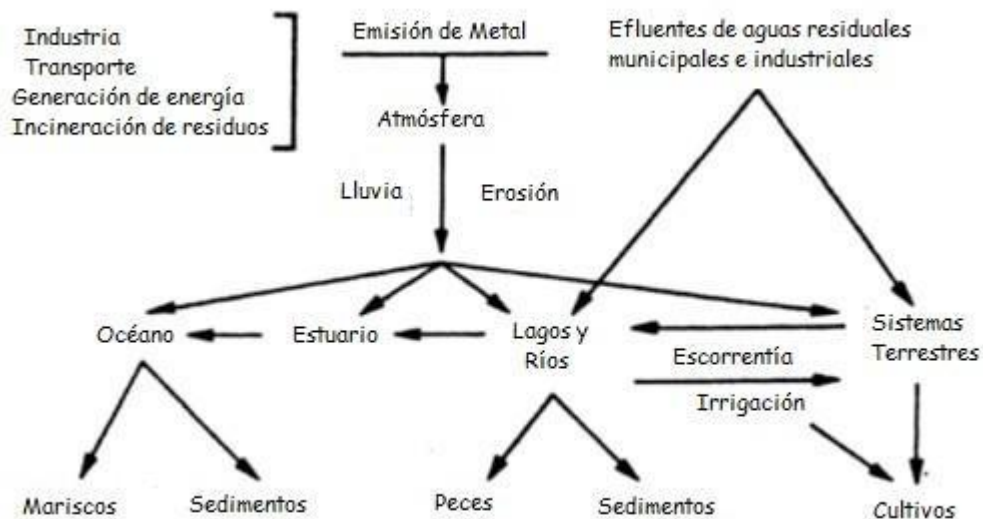


Figura 1. Dinámica de los metales en el ambiente. Adaptado de “Heavy Metal Pollution” por Agarwal, 2009, New Delhi, India: APH Publishing por L. D. Sampayo y A. M. Ariza, 2017.

6. Metodología

6.1 Área de estudio

El presente estudio se realizó en el embalse El Guájaro, el cual se encuentra localizado $10^{\circ} 25' - 10^{\circ} 38' N$ y $75^{\circ} 00' - 75^{\circ} 08' O$ al sur del Departamento del Atlántico, teniendo como área de influencia los municipios de Luruaco, Repelón, Manatí y Sabanalarga. Este embalse tiene un área de 16.000 Ha y está conformado por una presa en tierra de 12.5 km de longitud, un volumen de 400 m^3 y un caudal de $230 \text{ m}^3/\text{s}$. Drena 12,000 Ha por medio de tres distritos de riego y drenaje. Cuenta con dos sistemas de compuertas que lo comunican con el canal del dique, permitiendo controlar los niveles del embalse (CRA, 2007). Las condiciones meteorológicas de la zona están dadas por una marcada variabilidad interanual, producidas por las anomalías climáticas: El Niño y La Niña (Ruiz *et al.*, 1994).

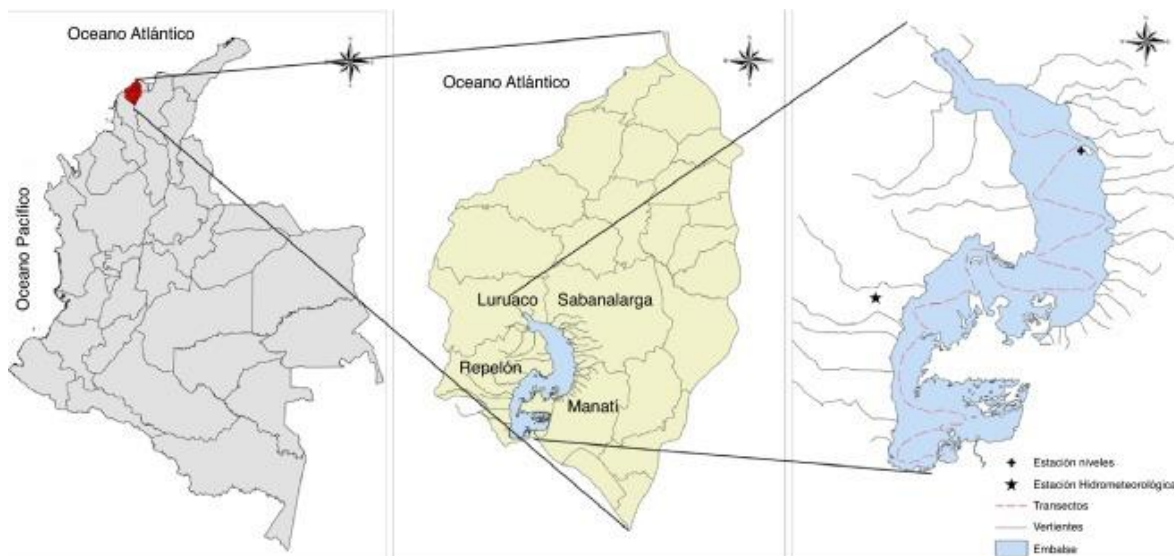


Figura 2. Ubicación general del embalse El Guájaro. Adaptado de “La modelación hidrodinámica para la gestión hídrica del embalse del Guájaro, Colombia” por F. Torres-Bejarano, J. Padilla, C. Rodríguez Cuevas, H. Ramírez y R. Cantero, *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 32(3), 163-172. Por L. D. Sampayo y A. M. Ariza, 2017.

6.2 Fase de campo

Se seleccionaron ocho (8) puntos de muestreos distribuidos en toda el área del embalse (Figura 3).

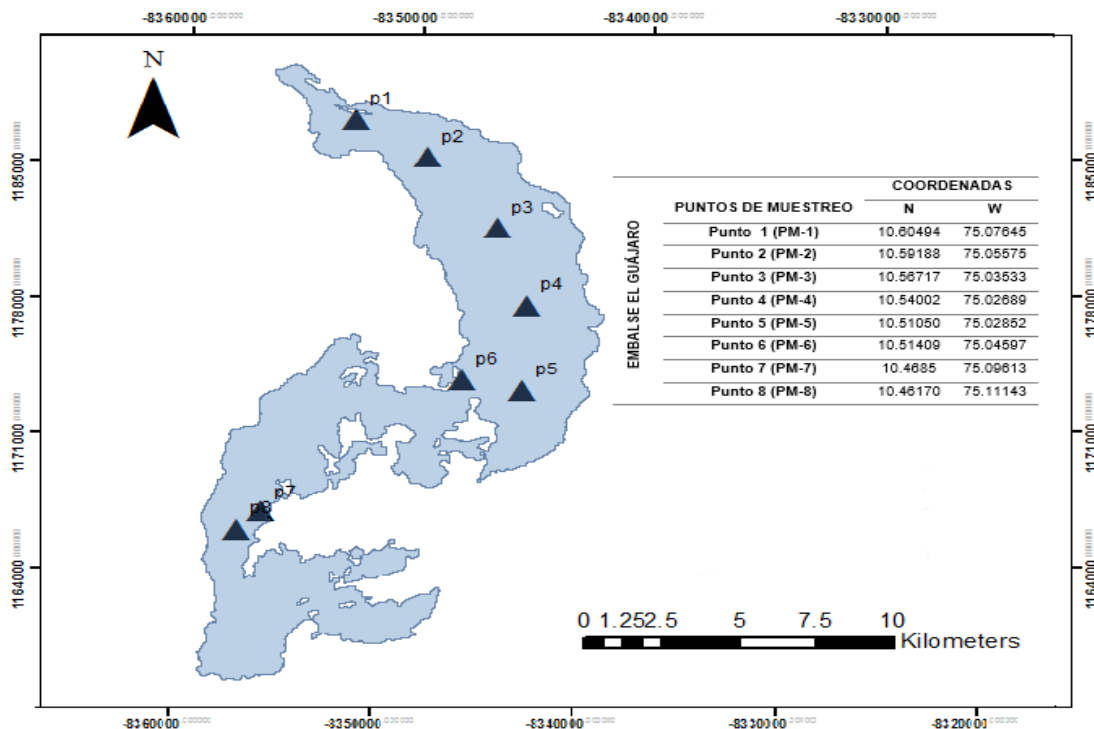


Figura 3. Ubicación de los puntos de muestreo ubicados en el Embalse El Guájaro con coordenadas geográficas planas. Por L. D. Sampayo y A. M. Ariza, 2017.

Se realizó una campaña de medición en época seca, donde fueron recolectadas las muestras de agua y sedimento, las cuales se tomaron siguiendo los lineamientos de la metodología propuesta del Standard Methods American Public Health Association (APHA, 2005).

Para metales pesados en agua se tomaron 500 ml de muestra en cada punto con una botella recolectora. Las muestras fueron filtradas ($0,45 \mu\text{m}$), acidificadas (HNO_3 hasta $\text{pH}=2.0$) y refrigeradas a $4.0 \text{ }^\circ\text{C}$. Para metales pesados en sedimento se tomaron 100 g de muestra en cada punto, recolectados de la capa superficial (máx. 5 cm) con una draga

Ekman. Las muestras fueron conservadas en bolsas de polietileno estéril y se mantuvieron a 4 °C. Todas las muestras fueron transportadas para su análisis en laboratorio (APHA, 2005).

Adicionalmente se tomaron muestras de 50 g de sedimento para pH y MO, las cuales fueron conservadas de la misma forma (APHA, 2005).

6.3 Fase de laboratorio

El análisis de metales pesados en agua y sedimento se realizó mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica (APHA, 2005) en el laboratorio Ortiz Martínez (LABORMAR) en la ciudad de Barranquilla. Los metales pesados analizados fueron Hg, Pb y Zn en ambas matrices.

Las muestras de pH y MO, fueron procesadas en el laboratorio ambiental de la Universidad de la Costa. El pH se realizó por homogenización con ayuda de un pH metro. La MO se realizó por calcinación (540°C durante 5 horas) (APHA, 2005)

6.4 Análisis de la información

A partir de la concentración de metales pesados en agua y sedimento, se generaron mapas de distribución en el software SURFER V.11. Adicionalmente se realizó un análisis de correlación entre los parámetros fisicoquímicos en sedimento (pH y MO) y la concentración de metales pesados en sedimento en aguas y sedimentos utilizando el paquete estadístico SPSS V.23.

7. Resultados

7.1 Descripción de las condiciones fisicoquímicas del embalse

Teniendo en cuenta que la disponibilidad de los metales pesados, puede estar influenciada en parte por los niveles de los mismos, los parámetros fisicoquímicos condicionan la calidad de las aguas superficiales al intervenir en los procesos bióticos y abióticos que en ellas se desarrollan. En la presente investigación se analizaron los cuatro parámetros fisicoquímicos indispensables para el análisis del estudio de metales pesados. (Belin, Sany, y Salleh, 2013). A continuación, se pueden observar las condiciones en la que se encontraba el cuerpo de agua analizado durante la campaña de medición.

Tabla 1

Parámetros fisicoquímicos del Embalse El Guájaro, durante la campaña de muestreo

Puntos	pH	Temperatura	OD	Conductividad	DQO
	Und	°C	mg O ₂ /l	mS/cm	mg/l
1	8.6	34.7	6.6	2150	259.8
2	8.8	34.4	8.6	1983	259.7
3	8.8	33.1	7.1	1917	233.1
4	8.7	32.1	6.8	1743	238.2
5	8.6	31.2	6.1	1639	215.7
6	8.5	32.3	7.1	1426	222.8
7	7.9	34.3	6.1	352.8	179.8
8	7.5	33.4	7.3	204.8	173.7
Prom ± DE	8.5 ± 0.4	33.2 ± 1.1	7.0 ± 0.7	1426.9 ± 695	22.9 ± 30.3

Nota: Prom= Promedio; DE= Desviación Estándar. Valores obtenidos de caracterización fisicoquímica in situ de los puntos muestreados. Por L. D. Sampayo y A. M. Ariza, 2017.

7.2 Análisis de las posibles fuentes de la contaminación metales pesados (Hg, Pb y Zn) en el embalse El Guájaro

El embalse El Guájaro se encuentra influenciado por aproximadamente 26 subcuencas hidrográficas, que confluyen en el Canal del Dique, el cual entra en contacto con el embalse a través de compuertas de regulación hidráulica (CRA, 2007), generando con esto un intercambio de aguas. En este intercambio de aguas se incorporan al embalse los contaminantes y metales pesados que estas subcuencas arrastran en su cauce. Sumado a lo anterior se encuentran los vertimientos de aguas residuales domésticas y no domésticas. Según los reportes de la autoridad ambiental estos vertimientos han ido en aumento, pudiendo ocasionar que el embalse supere su capacidad de carga y autodepuración, agravando los problemas de calidad que presenta el embalse (CRA, 2007).

Teniendo en cuenta que las actividades mineras como las canteras, trae consigo la presencia de residuos mineros y dentro de ellos los metales pesados como Hg, Pb y Zn que afectan la calidad del agua (Vallejo et al., 2016). En el embalse la situación parece agudizarse al conocer las cifras de canteras que funcionan en el área. Según informes de la autoridad ambiental, en el perímetro del Embalse el Guájaro existen 45 explotaciones mineras de materiales de construcción (arena, grava, triturado) con un área de 4.039 Ha., que representan el 1.21% del territorio departamental; de las cuales 20 se encuentran activas. De igual forma, se presenta la minería de subsistencia sobre los cauces de los arroyos. El impacto ambiental más importante de este sector, lo constituye el aporte de sedimentos a los cuerpos de agua por el mal manejo de las aguas de escorrentía (CRA, 2014).

Con lo mencionado anteriormente, se tiene que las fuentes para el Hg, Pb y Zn son de dos tipos, antropogénico y natural; y que no obstante las concentraciones de estos metales pesados, ya sea en pequeñas o grandes cantidades pueden incurrir en afectaciones y alteraciones al medio ambiente, como en el caso de un aumento de pH en los ecosistemas acuáticos lo que afecta el desarrollo de la flora y fauna y por ende a la salud de los usuarios del embalse debido a su capacidad de bioacumularse en los organismos vivos . A continuación, se presenta un listado de actividades desarrolladas en el embalse que se relacionan con las posibles fuentes de contaminación de Hg, Pb y Zn.

7.2.1 Mercurio.

- Vertimientos de aguas residuales municipales y no domésticas de los corregimientos aledaños al embalse.
- La incineración a cielo abierto de residuos/desechos en las fincas de corregimientos aledaños al embalse.
- Arrastre de sedimentos de las canteras al embalse.
- Descomposición de basuras mal dispuestas en el perímetro del embalse.
- Intercambio de aguas y sedimentos con el Canal del Dique.
- Acuicultura en el embalse, la cual acelera la eutrofización y propicia la movilidad del mercurio en el embalse.

7.2.2 Plomo.

- Pesca ilegal en el embalse.
- Desprendimiento de residuos de plomo de las rocas, debido a la explotación de canteras alrededor de la zona.
- Arrastre de sedimentos de las canteras al embalse.

- Descomposición de basuras mal dispuestas en el perímetro del embalse
- Presencia de plomo por posibles escapes de combustibles de lanchas que navegan a través del embalse.
- Uso de agroquímicos en los suelos agrícolas.
- Intercambio de aguas y sedimentos con el canal del dique.

7.2.3 Zinc.

- Desprendimiento de las rocas por procesos naturales y climáticos.
- Intercambio de aguas y sedimentos con el canal del dique.
- Se encuentra de forma natural en los minerales que posee un cuerpo de agua.
- Debido al tipo de suelo calizo y granito llega al embalse por procesos de sedimentación.

7.3 Determinación de las concentraciones de metales pesados (Hg, Pb y Zn) en aguas superficiales del embalse El Guájaro

En la Figura 4 y 5 se muestra la distribución de Hg y Zn en el embalse. Se puede observar en el caso de Hg que las concentraciones se mantienen constantes entre los puntos de muestreo (< 0.002 mg/l). Para el Zn, se encontró que la zona sur y norte presentaron las concentraciones más altas (0,8 - 1,30 mg/l, respectivamente). Por otro lado, para el Pb no se generó el mapa de distribución espacial debido a que las concentraciones estuvieron por debajo del límite de detección del equipo.

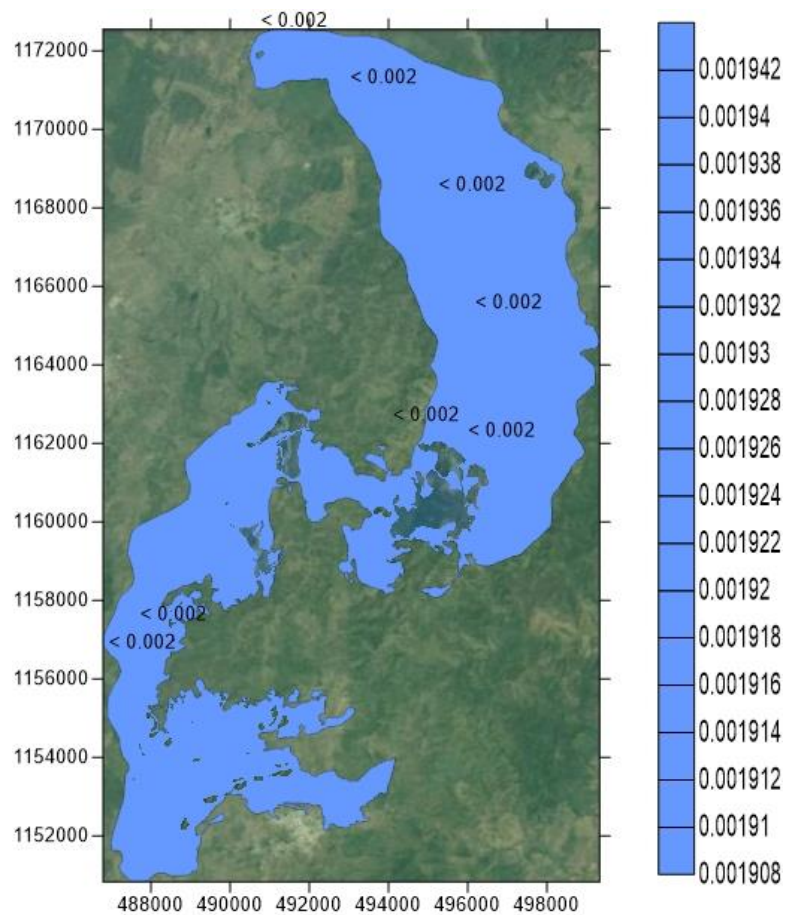


Figura 4. Distribución de Mercurio en aguas superficiales del embalse El Guájaro (mg/l). Por L. D. Sampayo y A. M. Ariza, 2017.

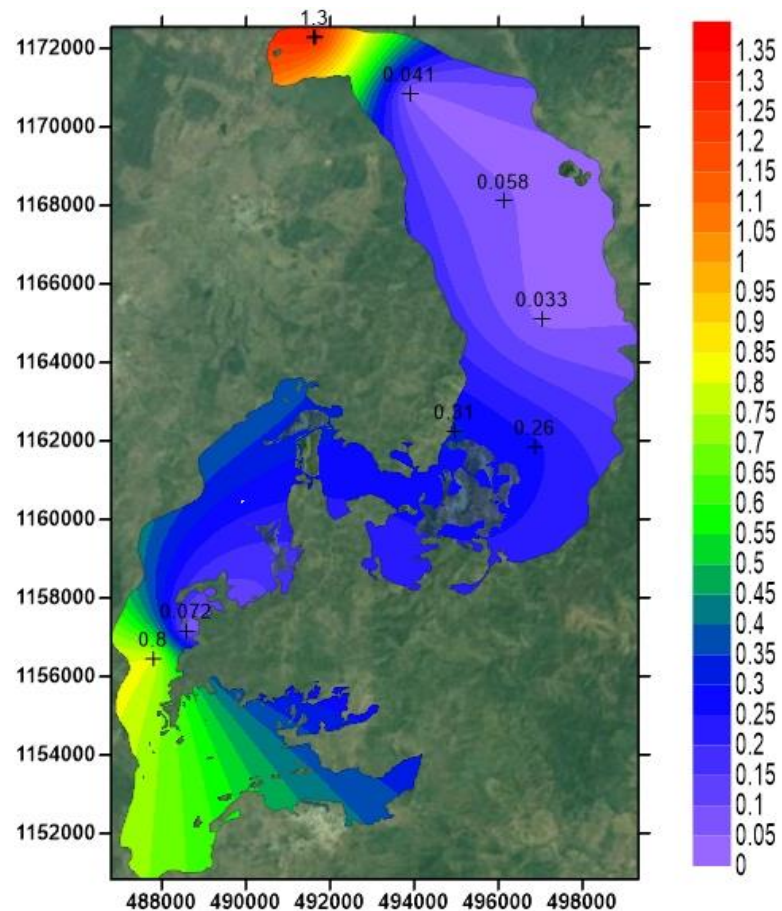


Figura 5. Distribución de Zinc en aguas superficiales del embalse El Guájaro (mg/l) por L. D. Sampayo y A. M. Ariza, 2017.

7.4 Determinación de las concentraciones de metales pesados (Hg, Pb y Zn) en sedimentos superficiales del embalse El Guájar

La distribución espacial del Pb en los sedimentos superficiales del embalse El Guájar se puede observar en la Figura 6. Las más altas concentraciones de Pb se encontraron en la zona sur y norte (0,9 – 1,5 mg/kg, respectivamente). Para el Zn, se encontraron elevadas concentraciones de este metal en la zona norte y sur (34 – 62 mg/kg, respectivamente).

Por otro lado, para el Hg no se generó el mapa de distribución espacial debido a que las concentraciones estuvieron por debajo del límite de detección del equipo

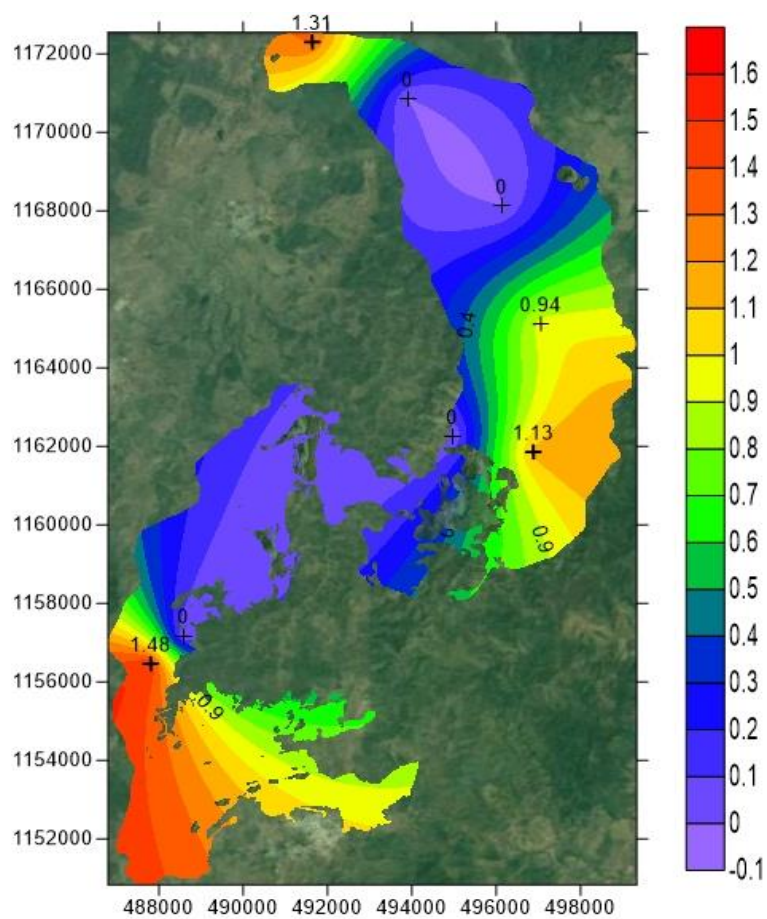


Figura 6. Distribución de Plomo en sedimentos superficiales del embalse El Guájaro (mg/kg) por L. D. Sampayo y A. M. Ariza, 2017.

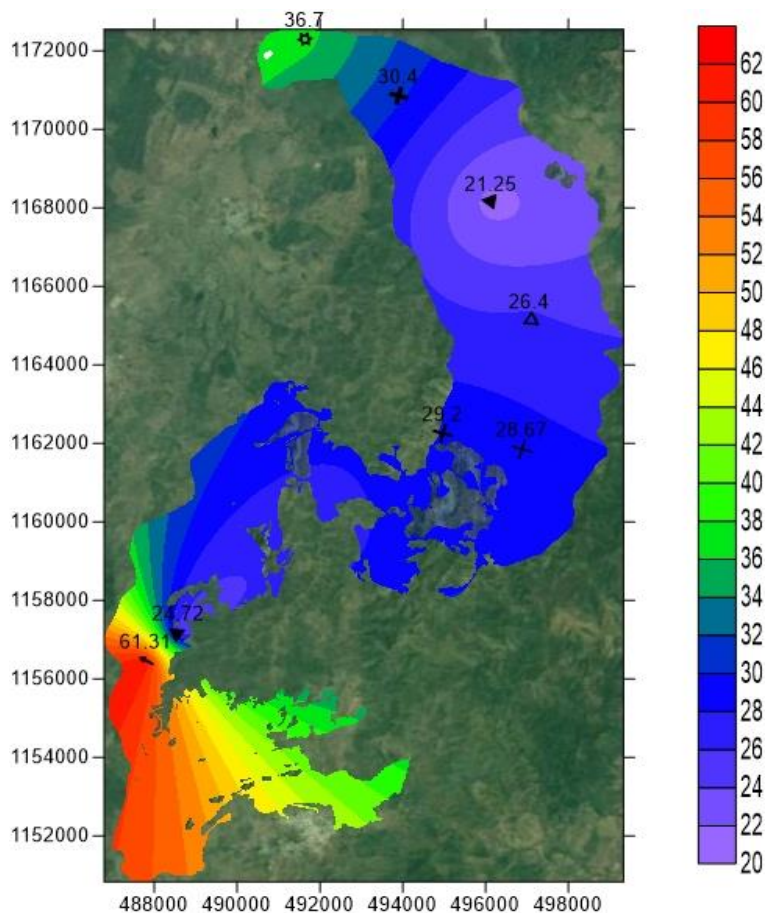


Figura 7. Distribución de Zinc en sedimentos superficiales del embalse El Guájaro (mg/kg) por L. D. Sampayo y A. M. Ariza, 2017.

7.5 Correlación entre el pH y el contenido de MO con las concentraciones de metales pesados en sedimentos.

Los resultados obtenidos para pH y MO en sedimentos se pueden observar en la Tabla 1. Se puede resaltar que el pH en todos los puntos estuvo por encima de 7, indicando pH alcalino en los sedimentos del embalse. Para el contenido de MO, se registraron valores en un rango de 0.11 – 1.03 %, lo cual indica que existe una carga orgánica baja relativa en los sedimentos del embalse.

Tabla 2

pH y MO para los sedimentos del embalse El Guájaro

Puntos	Sedimento	
	pH (Und.)	MO (%)
1	7.1	0.7
2	7.4	0.9
3	7.6	1.0
4	7.6	1.0
5	7.6	0.8
6	7.8	0.1
7	7.3	0.3
8	7.1	0.3
Promedio \pm DS	7.4 \pm 0.2	0.6 \pm 0.3

Nota: Prom= Promedio; DE= Desviación Estándar. Valores obtenidos de pH in situ y materia orgánica mediante método de calcinación en los puntos muestreados del embalse El Guájaro por L. D. Sampayo y A. M. Ariza, 2017.

En el análisis de correlación de Pearson realizado entre el contenido de MO, el pH y las concentraciones de Pb y Zn, se obtuvo una correlación positiva entre el Pb y el contenido de MO en sedimentos ($p \leq 0,05$), a diferencia del Zn con el cual no se observó correlación ($p \geq 0,05$). Tampoco hubo correlación con el pH de los sedimentos y los metales analizados ($p \geq 0,05$). Cabe resaltar que no se realizó correlación con Hg porque las concentraciones de este metal estuvieron por debajo del límite de detección.

7.6 Comparación con la normativa aplicable

A continuación, en las tablas 3 y 4 se puede observar la comparación de los parámetros analizados con respecto a lo establecido en el Decreto único reglamentario 1076 del 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en la sección 9 disposiciones transitorias, artículos:

Art. 2.2.3.3.9.3 criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico e indican que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional.

Art. 2.2.3.3.9.4 Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico e indican que para su potabilización se requiere sólo desinfección.

Art. 2.2.3.3.9.5 Criterios de calidad para uso agrícola.

Art. 2.2.3.3.9.6 Criterios de calidad para uso pecuario.

Art. 2.2.3.3.9.10 Criterios de calidad para preservación de flora y fauna (agua cálida dulce).

En negrilla se resaltan los valores que no cumplieron con lo estipulado en la norma.

Para los sedimentos, se realizó la comparación con la norma internacional canadiense CEQGs, que estipula los valores máximos permisibles para el mercurio, plomo y zinc (tabla 5).

Tabla 3

Comparación de los parámetros analizados con lo establecido en el Decreto 1076 del 2015 (de los puntos 1 – 4)

Parámetro	Puntos				Art.	Art.	Art.	Art.	Art.
	1	2	3	4	2.2.3.3.9.3	2.2.3.3.9.4	2.2.3.3.9.5	2.2.3.3.9.6	2.2.3.3.9.10
					Consumo humano y doméstico	Consumo humano y doméstico (Solo desinfección)	Uso agrícola	Uso pecuario	Preservación de flora y fauna (agua cálida dulce)
pH	8.64	8.86	8.80	8.77	5.0 - 9.0	6.5 - 8.5	4.5 - 9.0	NE*	4.5 - 9.0
Temperatura	34.7	34.4	33.1	32.1	NE*	NE*	NE*	NE*	NE*
OD	6.63	8.61	7.15	6.87	NE*	NE*	NE*	NE*	4.0
Hg	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.002	0.002	NE*	0.01	0.01
Pb	ND*	ND*	ND*	ND*	0.05	0.05	5.0	0.1	0.01
Zn	1.300	0.041	0.058	0.033	15	15	2.0	25.0	0.01

Nota: ND= No Detectable; NE= No Especifica. Se relacionan los valores obtenidos de los puntos 1 - 4 con los valores dados en la normativa ambiental decreto 1076 de 2015 del Ministerio de Ambiente y desarrollo

Sostenible, se da la temperatura en °C, para los metales y el OD se utilizan unidades de mg/L por L. D. Sampayo y A. M. Ariza, 2017.

Tabla 4

Comparación de los parámetros analizados con lo establecido en el Decreto 1076 del 2015 (de los puntos 5 – 8)

Parámetro	Puntos				Art.	Art.	Art.	Art.	Art.
	5	6	7	8	2.2.3.3.9.3	2.2.3.3.9.4	2.2.3.3.9.5	2.2.3.3.9.6	2.2.3.3.9.10
					Consumo humano y doméstico	Consumo humano y doméstico	Uso agrícola	Uso pecuario	Preservación de flora y fauna (agua cálida dulce)
						(Solo desinfección)			
pH	8.6	8.55	7.94	7.59	5.0 - 9.0	6.5 - 8.5	4.5 - 9.0	NE*	4.5 - 9.0
Temperatura	31.2	32.3	34.3	33.4	NE*	NE*	NE*	NE*	NE*
OD	6.14	7.1	6.14	7.38	NE*	NE*	NE*	NE*	4.0
Hg	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.002	0.002	NE*	0.01	0.01
Pb	ND*	ND*	ND*	ND*	0.05	0.05	5.0	0.1	0.01
Zn	0.260	0.310	0.072	0.800	15	15	2.0	25.0	0.01

Nota: ND= No Detectable; NE= No Especifica. Se relacionan los valores obtenidos de los puntos 5 - 8 con los valores dados en la normativa ambiental decreto 1076 de 2015 del Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible, se da la temperatura en °C, para los metales y el OD se utilizan unidades de mg/L por L. D. Sampayo y A. M. Ariza, 2017.

Los resultados obtenidos de pH para los ocho (8) puntos analizados, registraron su mínimo valor en el punto 8 con una concentración de 7.59 unidades y su máximo valor en el punto 2 con una concentración de 8.86 unidades. Presentando una tendencia en todos puntos de ser pH's en el rango básico o alcalino.

Las temperaturas obtenidas, se encuentran en un rango de 31.2 – 34.7, lo cual indica temperaturas poco variables en cada punto muestreado.

Las concentraciones reportadas de OD, presentan valores por encima de los 4.0 mg/L, lo que indica que son acordes para el cuerpo de agua estudiado.

El Hg para todos los puntos analizados, registró concentraciones por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada, siendo este <0.002 mg/L. El Pb, no fue detectable

para ninguno de los ocho (8) analizados en la matriz de agua, lo que indica que el metal no se encuentra disponible en concentraciones que puedan ser detectadas y por último, las concentraciones de Zn, se encuentran en un rango de 0.260 – 1.300 mg/L, valores que corresponden a los puntos muestreados 5 y 1 respectivamente. Lo que evidencia concentraciones heterogéneas entre cada uno de los puntos.

Las concentraciones de Hg, no fueron detectables para la matriz de sedimentos, indicando que el metal no se encuentra disponible en concentraciones que puedan ser detectadas, por lo cual no es posible establecer el cumplimiento con la norma aplicable. El Pb, presentó el mismo comportamiento para los puntos de muestreo 2, 3, 6 y 7. El Zn reportó valores en un rango de 21.25 – 61.38 mg/Kg, concentraciones que corresponden a los puntos 3 y 8 respectivamente. El Pb y el Zn se encuentran por debajo del límite normativo.

Tabla 5

Concentración de metales pesados en agua y sedimento, con la normativa canadiense CCME, (2002)

Puntos	Metales Pesados - Sedimento		
	(Hg)	(Pb)	(Zn)
	mg/kg		
1	ND	1.31	36.70
2	ND	ND	30.40
3	ND	ND	21.25
4	ND	0.94	26.4
5	ND	1.13	28.67
6	ND	ND	29.20
7	ND	ND	24.72
8	ND	1.48	61.31
Normativa	0.17	35	123

Nota: ND= No Detectable. Comparación de valores obtenidos en sedimento para los metales analizados en los 8 puntos muestreados, estos en unidades de mg/kg. Por L. D. Sampayo y A. M. Ariza, 2017.

8. Discusión

Las posibles fuentes de contaminación del agua y del sedimento superficial identificadas en el embalse el Guájaro, corresponden a focos puntuales de contaminación, como las actividades antrópicas (e.g. las descargas de aguas residuales municipales, las actividades de minería como las canteras, inadecuada disposición de residuos, la explotación excesiva en las actividades pecuarias, entre otros) (Zhuang y Gao, 2014). En segunda medida se encuentran también las fuentes no puntuales y/o difusas, las cuales son difíciles de controlar e identificar, y que pueden estar ejerciendo una gran influencia en la calidad del embalse. Las fuentes no puntuales y/o difusas de contaminación que se lograron inferir, son el intercambio de aguas y sedimentos a través del canal del dique con alrededor de 26 subcuencas y el río Magdalena ubicados en el departamento del Atlántico. También corresponden a fuentes difusas la acción de las lluvias, la deposición atmosférica seca o húmeda, vientos o aguas de escorrentía que transportan contaminantes y sedimento que se depositan en el cuerpo de agua (Rand, 1995).

Con respecto a la comparación de las variables fisicoquímicas con lo establecido en el decreto 1076 del 2015, se puede resaltar que los puntos de muestreo 1, 2, 3, 4, 5 y 6 se encuentran por encima del rango de pH establecido, indicando que no cumple con el criterio de ser un agua para consumo humano y doméstico que solo requiera desinfección, situación que debe ser monitoreada en la planta de tratamiento de agua potable ubicada en el municipio de Repelón. Adicionalmente, la conductividad eléctrica arrojó valores altos, en su mayoría en la zona norte del embalse, lo cual es característico de zonas con altas concentraciones de carbonato de calcio.

El pH en los puntos monitoreados fue poco variable con un comportamiento alcalino (7.4 ± 0.2), estos valores de pH pueden influir de manera directa en la disponibilidad de los metales pesados. Metales como el Hg y el Pb tienden a precipitarse rápidamente de la columna de agua se depositan en los sedimentos. La disponibilidad de los metales aumenta a medida que disminuye el pH (López-Ortega, 2012). La tendencia entre los puntos de muestreo a presentar valores altos de pH y conductividad, podría deberse por las características geológicas del terreno de la zona de estudio. La cual es caracterizada por ser

principalmente de tipo calizo por la influencia de la formación geológica de Arroyo de piedra y Rotinet; en combinación con terreno granítico de arenas y gravas (CRA, 2014).

Adicionalmente, el OD constituye uno de los elementos de mayor importancia en los ecosistemas acuáticos, según Ramírez y Viña (1998) su presencia y concentración determina la existencia de especies de acuerdo con su tolerancia y rango de adaptación, estableciendo la estructura y funcionamiento biótico de estos sistemas acuáticos. Para los puntos muestreados, el OD presenta concentraciones que superan los 4.0 mg/l, cumpliendo con lo establecido para la preservación de la flora y fauna presente en el Embalse El Guájaro.

Para metales pesados, las concentraciones registradas de Zn en el agua en los ocho (8) puntos monitoreados, superan lo establecido por el decreto 1076 del 2015 para la preservación y conservación de fauna y flora. Esto significa que el Zn constituye un parámetro crítico en su distribución espacial en el embalse, siendo predominante en el área norte y sur atribuida al intercambio de masas de aguas del río Magdalena que se origina en la zona de las compuertas, ubicada a la altura del corregimiento de Villa Rosa y que se extiende a todo el embalse, sumado a los vertimientos de aguas residuales de industrias camaroneras predominantes en la zona norte. Según Mancera-Rodríguez y Álvarez-León, (2006), el aporte de aguas de otros ríos aumenta la carga de metales pesados sobre el mismo agravando la contaminación generada por otras fuentes. Por otra parte Davis y Arnold (1998) señalan que en la acuicultura y específicamente en los cultivos de camarón se adicionan fertilizantes, los cuales contienen micronutrientes esenciales como el zinc.

Los metales estudiados Hg, Pb y Zn, han sido considerados por la Agencia de Protección Ambiental EPA, como muy tóxicos y su evaluación es requerida para establecer la calidad de un ecosistema, dado al escape de combustible de lanchas que navegan en el embalse (Fitzgerald y Clarkson, 1991), los aportes de vertimientos domésticos e industriales, explotaciones de canteras, y las prácticas ilegales de pesca (uso de dinamita que atrae a los peces) (Grant, 2010) para lograr una productividad pecuaria considerable.

Diversos estudios han demostrado que las concentraciones de metales pesados en los ecosistemas acuáticos están influenciadas por el desarrollo económico y crecimiento de poblacional (Zhang et al., 2016). El Hg y el Pb son denominados metales de origen antrópico en su gran mayoría (Páez-Osuna, 2005), los cuales son introducidos por

actividades tales como minería, agricultura, descarga de aguas residuales, entre otras. En esta investigación, el Hg en agua se encontró por debajo del límite de detección de la técnica analítica. Sin embargo, Gómez (1995) señala que el no encontrar concentraciones de Hg que puedan ser comparables en el agua, se debe a la dinámica o fenómeno de retención que experimenta el metal en dicha matriz, ya que el 60 % se volatiliza y sólo se retiene un 40 % . Este mismo comportamiento es detallado por Varol y Şen (2012), quienes manifiestan que los metales pesados se distribuirán entre los sedimentos y la fase acuosa en todos los sistemas acuáticos, y sólo un pequeño porcentaje de los iones metálicos libres pueden permanecer disueltos en el agua. Este elemento es considerado tóxico en concentraciones trazas en el ambiente, por su forma química, movilización y redistribución, influenciado por los procesos bióticos y abióticos que dan lugar en los ecosistemas acuáticos (Cabañero, 2005). Los resultados obtenidos de Hg, muestran que dicho metal no fue detectable en sedimento (tabla 5), debido a que el pH y la MO en la Matriz no eran aptos para su retención y posible cuantificación, lo que explica (Idriss y Ahmad, 2012) al afirmar que solo están disponibles a pH ácidos y contenidos altos de MO. Teniendo en cuenta lo anterior; las concentraciones de Hg deben estar en constante monitoreo; debido al riesgo ecológico y afectación a la salud que puede significar la presencia del Hg, teniendo en cuenta que la toxicidad de los metales no solo depende de su concentración, sino también de su movilidad y reactividad con otros componentes del ecosistema (Abollino et al., 2002).

Con relación al Pb, la distribución espacial revela que las mayores concentraciones se encuentran en la zona norte y sur del embalse para los sedimentos. Sin embargo, cumple con lo estipulado en las guías canadienses para sedimento, las cuales establecen un valor máximo permisible de 35 mg/kg. A pesar de que se encuentran por debajo del límite normativo, detectar concentraciones mínimas en los sedimentos puede generar efectos negativos en los organismos bentónicos que se alimentan de los materiales depositados y fijados en el mismo (Pinzón, Ospina, y Chávez, 1998). Lo que posteriormente presentaría una ascendencia de las concentraciones de metales a la cadena trófica por bioacumulación, biomagnificación y por ende la persistencia del contaminante en el ambiente y los organismos. Según Ward (2000) cualquier elemento traza puede ser potencialmente tóxico

si excede los límites de exposición segura. Esos límites varían ampliamente entre un elemento y otro.

La distribución espacial del Zn en el sedimento del Embalse El Guájaro, corresponde a un comportamiento heterogéneo, presentando la máxima concentración del metal en el punto 8 (Fig. 4 - tabla 5). La disponibilidad y distribución espacial del Zn en los sedimentos de ambientes acuáticos es de suma importancia por la capacidad que tienen los sedimentos a concentrar e integrar el Zinc en sus diferentes asociaciones químicas (González, Retamal, Medina, Ahumada, y Neira, 2009 y convertir la zona donde se halla en concentraciones considerables en un área de potencial riesgo ambiental).

El efecto total de los elementos traza en los organismos vivos está directamente relacionado a las interacciones ambientales, geológicas y biológicas. Por ejemplo, la composición mineral del sedimento puede influir fuertemente en la composición elemental y en la distribución espacial de metales pesados como el Pb y el Zn en el embalse; que a su vez se relacionan con los diferentes usos asociados al cuerpo de agua en estudio, influyendo en los fluidos y tejidos humanos y animales por la vía de la trama trófica (Ward, 2000).

Por otro lado, la MO en los sedimentos también juega un papel importante en la captura de metales, ya los metales se incorporan a estos mediante fenómenos de atracción y generación de compuestos organometálicos, limitando la biodisponibilidad de los mismos, arrastrándolos y depositándolos en el sedimento, lo que forma asociaciones muy estables y genera persistencia de la toxicidad (Khan et al., 2016). Los porcentajes obtenidos de MO en los sedimentos presentan una correlación positiva entre el Pb y la MO $p < 0,05$, lo que se encuentra relacionado con lo reportado por Basta, Ryan, y Chaney (2005), el cual manifiesta que el Pb forma complejos fuertemente enlazados con la MO.

Por otro lado, el valor promedio de MO obtenido en los sedimentos fue de 0.67 %, considerando dicho resultado como relativamente bajo en comparación con las cargas orgánicas que manejan cuerpos de aguas similares donde existen valores de 16.20% MO (Idriss y Ahmad, 2012) y 3.2 % MO Khan *et al.*, 2016). Esto sugiere que a pesar de las bajas concentraciones en el contenido de MO con el transcurso del tiempo los metales quedarían fuertemente retenidos en la MO remanente.

Con la presencia de Pb y Zn en agua y sedimentos en el Embalse El Guájaro, se tiene que dicha condición propicia una gran problemática ambiental en el ecosistema y para la salud pública de sus habitantes, ya que en este se encuentra ubicado un punto de captación para el agua potable que se distribuye al municipio de repelón, así como también se desarrollan actividades de pesca, captación de agua para riego, entre otras. Se recomienda realizar un monitoreo constante del agua de consumo y de los alimentos producidos en la zona.

9. Conclusiones

Se determinaron concentraciones de metales pesados en agua como Hg, Zn y en sedimento Pb, Zn; a excepción de Pb en agua y Hg en sedimento, ya que estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica empleada. Las concentraciones de Hg y Zn en agua y Pb y Zn en sedimento cumplen con la normativa ambiental colombiana, decreto único reglamentario 1076 del 2015 y la normativa internacional canadiense Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME, 2002); sin embargo, el Zn en agua no cumple según el artículo 2.2.3.3.9.10 para los ocho (8) puntos de muestreo.

Por otra parte se tiene que por las diversas actividades antropogénicas, como por ejemplo la explotación de canteras de asfalto, grava y materiales triturados, los vertimientos de aguas residuales domésticas y no domésticas, la recirculación de aguas del distrito de riego que regresan al embalse, la escorrentía de terrenos intervenidos con el uso de agroquímicos en la agricultura de la zona, pueden aumentar dichas concentraciones de metales pesados.

Cabe resaltar que las concentraciones de Pb y Zn en el sedimento se consideran potencialmente peligrosas debido a la interacción que tienen estos con la vida acuática, ya que el comportamiento de estos metales tiende a precipitar en el fondo donde viven los organismos bentónicos que suelen alimentarse del sustrato que circula en esta área, su posterior biomagnificación en toda la cadena trófica, puede afectar a mediano y largo plazo a la salud de los habitantes de la zona.

10. Recomendaciones

Ampliar el número de campañas de medición. Comparar las variaciones entre la época seca y la época lluviosa, dado a que la distribución y concentración de los metales pesados estudiados (Hg, Pb y Zn) pueden presentar variaciones.

Ejecutar campañas de medición con las compuertas del embalse cerradas y abiertas. Debido a que dichas condiciones darían una visión más amplia acerca de la influencia de las aguas que confluyen en el canal del dique y que llegan directamente al embalse.

Abarcar más puntos de muestreos, sobre todo en área sur y norte del embalse. Áreas donde se evidenciaron las mayores concentraciones de los metales estudiados, por lo tanto se sugiere realizar un muestreo más específico.

Monitorear la calidad de agua de consumo de la PTAP en el municipio de Repelón, ya que se encuentra ubicada en la zona sur del embalse, lugar donde se presentaron las concentraciones más significativas de Zn y Pb.

Realizar muestreos en toda la columna de agua y diferentes profundidades en los sedimentos, teniendo en cuenta que los metales no solo están presentes en las capas superficiales, sino que pueden precipitar y depositarse con el tiempo a diferentes profundidades tanto en el agua como en el sedimento.

Realizar un estudio de especiación química de los metales, es decir identificar y/o cuantificar las formas/especies químicas en que se encuentra asociado cada metal en una muestra determinada. Lo anterior, busca especificar la forma y el estado del metal que está presente en el embalse, ya que la medición del contenido total es un criterio que debe ser complementado para evaluar de una manera más adecuada y certera el riesgo ecológico y de salud que representan los metales pesados.

Referencias

- Abollino, O., Acetob, M., Malandrino, M., Mentastia, E., Sarzaninia, C., & Petrellac, F. (2002). Heavy metals in agricultural soils from Piedmont, Italy. Distribution, speciation and chemometric data treatment. *Chemosphere*, 49(6), 545-557.
- Acosta, V., Lodeiros, C., Senior, W., & Martínez, G. (2012). Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. *Interciencia*, 27(12), 686-690.
- Adomako, D., Nyarko, B., Dampare, S., Serfor-Armah, Y., Osa, S., Fianko, J., & Akaho, E. (2008). Determination of toxic elements in waters and sediments from River Subin in the Ashanti Region of Ghana. *Environmental Monitoring and Assessment*, 141(1), 165-175.
- Agarwal, S. (2009). *Heavy Metal Pollution*. New Delhi, India: APH Publishing.
- Akinyele, I., & Shokunbi, O. (2015). Concentrations of Mn, Fe, Cu, Zn, Cr, Cd, Pb, Ni in selected Nigerian tubers, legumes and cereals and estimates of the adult daily intakes. *Food Chemistry*, 173, 702-708.
- Alkorta, I., Hernández-Allica, J., Becerril, J., Amezaga, I., Albizu, I., Onaindia, M., & Garbisu, C. (2004). Chelate-Enhanced Phytoremediation of Soils Polluted with Heavy Metals. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 55-70.
- American Public Health Association. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and WasteWater*. Recuperado de <https://www.standardmethods.org>.
- Baby, J., Raj, J., Biby, E., Sankarganesh, P., Jeevitha, M., Ajisha, S., & Rajan, S. (2010). Toxic effect of heavy metals on aquatic environment. *Int. J. Biol. Chem*, 4(4), 939-952.

- Basta, N., Ryan, J., & Chaney, R. (2005). Trace element chemistry in residual-treated soil: key concepts and metal bioavailability. *Journal of environmental quality*, 1(49-63), 34.
- Belin, S., Sany, T., & Salleh, A. (2013). Heavy Metal Contamination in Water and Sediment of the Port Klang Coastal Area, Selangor, Malaysia. *Environmental Earth Science*, 69, 2013-2025.
- Bifano, C., & Mogollón, J. (1995). Metallic contaminant profiles in sediment cores from lake Valencia, Venezuela. *Environmental geochemistry and health*, 17(3), 113-118.
- Bueno-Zabala, K. A., Pérez-Vidal, A., & Torres-Lozada, P. (2014). Identificación de peligros químicos en cuencas de abastecimiento de agua como instrumento para la evaluación del riesgo. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 13(24), 59-75.
- Cabañero, A. I. (2005). *Acumulación-interacción de especies de mercurio y selenio en tejidos animales: desarrollo de nuevas metodologías de análisis(tesis doctoral)*. Universidad Complutense de Madrid, España.
- Cabildo, M., Cornago, M., Escolástico, C., Esteban, S., López, C., & Sanz, D. (2013). *Bases químicas del Medio Ambiente*. Madrid, España: UNED.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. (2002). *Canadian Environmental Quality Guidelines*. Recuperado de http://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/
- Chang, C., Yu, H., Chen, J., Li, F., Zhang, H., & Liu, C. (2014). Accumulation of heavy metals in leaf vegetables from agricultural soils and associated potential health risks in the Pearl River Delta, South China. *Environmental monitoring and assessment*, 186(3), 1547-60.

- Contreras, J., Mendoza, C., & Gómez, A. (2004). Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del río Haina. *Ciencia y Tecnología*, 29(001), 38-71.
- Cornelis, R., & Nordberg, M. (2007). *General Chemistry, Sampling, Analytical Methods, and Speciation*. San Diego, EE.UU: Elsevier.
- Corporación Autónoma Regional del Atlántico. (2007). *Documentacion del estado de las cuencas hidrográficas en el departamento del Atlántico*. Recuperado de <http://www.crautonomia.gov.co/normasambiental/Normas-CRAatlantico/Documentacion%20Cuerpos%20de%20Agua%20Atlantico.pdf>.
- Corporación Autónoma Regional del Atlántico. (2014). *Diagnóstico Inicial Para El Ordenamiento Del Embalse Del Guájaro Y La Ciénaga De Luruaco*. Recuperado de <http://www.crautonomia.gov.co/documentos/Planes/2013/4%20Sintesis%20Ambient al.pdf>.
- Davis, D., & Arnold, C. (1998). The design, management and production of a recirculating raceway system for the production of marine shrimp. *Aquacultural Engineering*, 17(17), 193-211.
- Decreto 1076. (2015). *Decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible*, 2015, 25, Mayo.
- Dong, D., Liu, X., Guo, Z., Hua, X., Su, Y., & Liang, D. (2015). Seasonal and spatial variations of heavy metal pollution in water and sediments of China Tiaozi Ri ver. *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(6), 2371-2379.
- Duffus, J. (2002). Heavy metals a meaningless term. *Pure and applied chemistry*, 74(5), 793-807.
- Duruibe, J., Ogwuegbu, C., & Ekwurugwu, J. (2007). Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of Physical Sciences*, 2(5), 112-118.

- Emoyan, O., Ogban, F., & Akarah, E. (2006). Evaluation of heavy metals loading of River Ijana in Ekpan – Warri, Nigeria. *J. Appl. Sci. Environ. Manage*, 10(2), 121-127.
- Espinosa, L., Parra, J., & Villamil, C. (2011). Determinación del Contenido de metales pesados en las fracciones geoquímicas del sedimento superficial asociado . *Bol. Invest. Mar. Cost*, 40(1), 7-23.
- Fergusson , J. (1990). *The Heavy Elements, In: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects*. Oxford, United Kingdom: Pergamon Press.
- Feria, J. J., Marrugo, J. L., & González, H. (2010). Heavy metals in Sinú river, department of Córdoba, Colombia, South America. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* (55), 35-44.
- Fitzgerald, W. F., & Clarkson, T. W. (1991). Mercury and monomethylmercury: present and future concerns. *Environmental health perspectives*, 96, 159-66.
- Fransisca, Y., Small, D., Morrison, P., Spencer, M., Ball, A., & OA, J. (2015). Assessment of arsenic in Australian grown and imported rice varieties on sale in Australia and potential links with irrigation practises and soil geochemistry. *Chemosphere*, 1008-1013, 138.
- Galasso, J., Siegel, F., & Kravitz, J. (2000). Heavy metals in eight 1965 cores from the Novaya Zemlya Trough, Kara Sea, Russian Arctic. *Marine pollution bulletin*, 40(10), 839-852.
- Gao, X., & Chen, C. (2012). Heavy metal pollution status in surface sediments of the coastal Bohai Bay. *Water Research*, 46(6), 1901-1911.
- Gómez, R. (1995). *Diagnostico Sobre la contaminacion ambiental en la amazonia peruana*. Iquitos, Perú: Instituto De Investigaciones De La Amazonía Peruana.

- González, E., Retamal, M., Medina, V., Ahumada, R., & Neira, J. (2009). Enriquecimiento, disponibilidad y contaminación de metales traza (Cd, Cu, Pb y Zn) en sedimentos de lagunas urbanas de Concepción-Chile. *Química Nova*, 32(4), 902-907.
- Grant, L. D. (2010). Getting the lead out: important exposure science contributions. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 20(7), 577-578.
- Gu, Y., Li, Q., Fang, J., He, B., Fu, H., & Tong, Z. (2014). Identification of heavy metal sources in the reclaimed farmland soils of the pearl river estuary in China using a multivariate geostatistical approach. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 105, 7-12.
- Hirose, K. (2006). Chemical speciation of trace metals in seawater: a review. *Analytical sciences : the international journal of the Japan Society for Analytical Chemistry*, 2(8), 1055-1063.
- Huo, S., Si, B., Yu, X., Su, J., Zan, F., & Zhao, G. (2013). Application of equilibrium partitioning approach to derive sediment quality criteria for heavy metals in a shallow eutrophic lake, Lake Chaohu, China. *Environmental Earth Sciences*, 69(7), 2275-2285.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería. (2001). *Compilación y Análisis de Datos Geoquímicos de Metales Trazas en Algunas Zonas del Río Magdalena*. Bogotá, Colombia.
- Idriss, A., & Ahmad, A. (2012). Heavy Metal Concentrations (Cu, Cd and Pb) in Sediments in the Juru River, Penang, Malaysia. *Journal of Biological Sciences*, 12, 376-384.
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B., & Beeregowda, K. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary toxicology*, 7(2), 60-72.

- Jarup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*, 68(1), 167-182.
- Jiménez, J. (2001). *Sedimentos marinos contaminados y alternativas de actuación con énfasis en la técnica de recubrimiento*. Editorial: Universidad Politécnica de Cataluña, España. 322 pp.
- Khan, B., Ullah, H., Khan, S., Aamir, M., Khan, A., & Khan, W. (2016). Sources and Contamination of Heavy Metals in Sediments of Kabul River: The Role of Organic Matter in Metals Retention and Accumulation. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal* , 25(8), 891-904.
- Khan, M., Hasan, M., Khan, M., Aktar, S., & Fatema, K. (2017). Distribution of Heavy Metals in Surface Sediments of the Bay of Bengal Coast. *Journal of Toxicology*, 2017, 1-7.
- Khodami, S., Surif, M., Wo, W., & Daryanabard, R. (2017). Assessment of heavy metal pollution in surface sediments of the Bayan Lepas area, Penang, Malaysia. *Marine Pollution Bulletin*, 114(1), 615-622.
- Lledó, C. (2002). *Contaminación de las aguas subterráneas de tipo doméstico e industrial, Presente y futuro de las aguas subterráneas en la provincia de Jaén*. Madrid, España: IGME.
- Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, L., & Muñoz-García, F. (2016). Los Riesgos de los Metales Pesados en la salud humana . *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153.
- López-Ortega, M. (2012). *Determinación de metales pesados en Eugerres plumieri (Cuvier, 1830) y agua de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz* (tesis doctoral). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.

- Machado, K., AL, F., Rizzi, J., Figueira, R., & Froehner, S. (2017). Spatial and Temporal Variation of Heavy Metals Contamination in Recent Sediments from Barigui River Basin, South Brazil. *Environment Pollution and Climate Change*, 108(1). doi: 10.4172/2573-458X.1000108
- Mariani, C., & Pompêo, M. (2008). La calidad del sedimento: La contaminación por metales puede ser una amenaza para los seres vivos. *Revista Ciencia Hoy*, 18(107), 48-53.
- Marrugo, J., & Paternina, R. (2011). *Evaluación de la contaminación por metales pesados en la Bahía de Cispatá, cuenca del bajo Sinú, Departamento de Córdoba*. Montería. Ed: Universidad de Córdoba, Colombia.
- McBride, M. (1994). *Environmental Chemistry of Soils*. Assessment of a sequential extraction procedure for perturbed. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press.
- Mello, L. (2012). *Distribución espacial de metales pesados en la Cuenca* (tesis de maestría) . Universidad de la República, Montevideo, Uruguay:
- Navas-Ruíz, C., & Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Arch. Neurocienc (Mex)*, 16(3), 140-147.
- Páez-Osuna, F. (2005). Fuentes de metales en la zona costera marina. In J. R.-v.-B.-H. In. A V. Botello (Ed.), *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición* (pp. 329-342.). Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología .
- Pan, X.-D., Wu, P.-G., & Jiang, X.-G. (2016). Levels and potential health risk of heavy metals in marketed vegetables in Zhejiang, China. *Scientific reports*, 6(20317) .

- Papagiannis, I., Kagalou, J., Leonardos, J., Petridis, D., & Kalfakakou, V. (2004). Copper and zinc in four freshwater fish species from lake Pamvotis (Greece). *Environment International*, 30(3), 357-362.
- Parra, J., & Espinosa, L. (2008). Distribución de metales pesados en perfiles de sedimento asociado a *Rhizophora mangle* en la ciénaga grande de Santa Marta, Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 37(1), 95-110.
- Pinzón, L. F., Ospina, E., & Chávez, A. (1998). Interacción de los metales pesados entre el sedimento y la columna de agua en el caso del Río Bogotá. *Investigación y desarrollo social*, 9(19).
- Pueyo, M., Mateu, J., Rigol, A., Vidal, M., López-Sánchez, J., & Rauret, G. (2007). Use of the modified BCR three-step sequential extraction procedure for the study of trace element dynamics in contaminated soils. *Environmental Pollution*, 24, 1:12.
- Rainbow, P. (1995). Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. *Mar. Poll. Bull*, 31, 183-192.
- Ramírez, A. (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de La Facultad de Medicina*, 63, 51-64.
- Ramírez, A., & Viña, G. (1998). *Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de Análisis, BP Exploration*. Santafé de Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Rand, G. (1995). *Fundamentals Of Aquatic Toxicology: Effects, Environmental Fate And Risk Assessment* (2nd ed.). Taylor & Francis.

- Reyes, Y. C., Vergara, I., Omar, E. T., Díaz, M., & González, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66-77.
- Ruiz, E., Echenandía, A., & Romero, F. (1994). Relaciones entre agua y sedimento en río de origen torrencial. *Limnética*, 10(1), 101-107.
- Salati, S., & Moore, F. (2010). Assessment of heavy metal concentration in the Khoshk River water and sediment, Shiraz, Southwest Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 164(1), 677-689.
- Scherer, U., Sagemann, S., & Stephan, F. (2011). Emission via erosion and retention of heavy metals in river basins of Germany. *Geophys. Res. Abstr.*, 13, 4769.
- Sharma, A., Katnoria, J., & Nagpal, A. (2016). Heavy metals in vegetables: screening health risks involved in cultivation along wastewater drain and irrigating with wastewater. *SpringerPlus*, 5(1), 488.
- Suresh, G., Sutharsan, P., Ramasamy, V., & Venkatachalapathy, R. (2012). Assessment of spatial distribution and potential ecological risk of the heavy metals in relation to granulometric contents of Veeranam lake sediments, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 84, 117-124.
- Tang, W., Shan, B., Zhang, H., Zhang, W., Zhao, Y., Ding, Y., Zhu, X. (2014). Heavy Metal Contamination in the Surface Sediments of Representative Limnetic Ecosystems in Eastern China. *Scientific Reports*, 4, 7152.
- Tchounwou, P., Yedjou, C., Patlolla, A., & Sutton, D. (2012). Heavy Metals Toxicity and the Environment. *EXS*, 101, 133-64.

- Tejeda-Benitez, L., Flegal, R., Odigie, K., & Olivero-Verbel, J. (2016). Pollution by metals and toxicity assessment using *Caenorhabditis elegans* in sediments from the Magdalena River, Colombia. *Environmental Pollution*, 212, 238-250.
- Thomann, R. (1984). Physio-chemical and ecological modeling the fate of toxic substances in natural water systems. *Ecological Modelling*, 22(1), 145-170.
- Torres-Bejarano, F., Padilla Coba, J., Rodríguez, C., Ramírez León, H., & Cantero Rodelo, R. (2016). La modelación hidrodinámica para la gestión hídrica del embalse del Guájaro, Colombia. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 32(3), 163-172.
- Vallejo, P., Vásquez, L., Correa, I., Bernal, G., Alcántara, J., & Palacio, J. (2016). Impact of terrestrial mining and intensive agriculture in pollution of estuarine surface sediments: Spatial distribution of trace metals in the Gulf of Urabá, Colombia. *Marine Pollution Bulletin*, 11(1-2), 311–320.
- Varol, M., & Şen, B. (2012). Assessment of nutrient and heavy metal contamination in surface water and sediments of the upper Tigris River, Turkey. *Catena*, 92, 1-10.
- Wang, L., Chen, J., Hung, Y., & Shamma, N. (2009). *Heavy Metals in the Environment*. Boca Raton, EE.UU: CRC Press.
- Wang, Y.-y., Wen, A.-b., Guo, J., Shi, Z.-l., & Yan, D.-c. (2017). Spatial distribution, sources and ecological risk assessment of heavy metals in Shenjia River watershed of the Three Gorges Reservoir Area. *Journal of Mountain Science*, 14(2), 325-335.
- Ward, N. (2000). Trace Elements Cap 15. In F. & Fifield (Ed.), *Environmental analytical chemistry, 2nd Edition* (p. 490). Blackwell Science Ltd.
- Zhang, L., Shi, Z., Zhang, J., Jiang, Z., Wang, F., & Huang, X. (2016). Toxic heavy metals in sediments, seawater, and molluscs in the eastern and western coastal waters of

Guangdong Province, South China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(5), 313.

Zhuang, W., & Gao, X. (2014). Integrated Assessment of Heavy Metal Pollution in the Surface Sediments of the Laizhou Bay and the Coastal Waters of the Zhangzi Island, China: Comparison among Typical Marine Sediment Quality Indices. *PloS one*, 9(4), 94-145.