



# Presencia de mercurio, plomo y cobre en tejidos de *Oreochromis niloticus*: sector de la cuenca alta del Rio Chicamocha, vereda Volcán, Paipa, Colombia\*

Edwin Javier Vergara Estupiñán\*\*, Pablo Emilio Rodríguez Africano\*\*\*

**Mercury, lead and copper in *Oreochromis niloticus* tissues: upstream area of the Chicamocha river, Volcán village, Paipa, Colombia**

**Presença de mercúrio, chumbo e cobre em tecidos de *Oreochromis niloticus*: setor da baía alta do Rio Chicamocha, vereda Volcán, Paipa, Colômbia**

## RESUMEN

**Introducción.** Los metales pesados constituyen un importante agente tóxico asociado a contaminación ambiental e industrial que se acumulan a través de peces y alimentos, y es actualmente un problema de salud pública, dada su toxicidad. En la cuenca alta del río Chicamocha no se han realizado estudios que determinen la concentración de mercurio, cobre y

plomo en peces, aun considerando serios problemas de contaminación por una importante actividad industrial. **Objetivo** El presente trabajo tiene como objetivo determinar la presencia y concentración de metales pesados en hígado, branquias y tejido muscular de *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), especie introducida, presente en un sector de la cuenca alta del río Chicamocha, ubicada en la vereda volcán, municipio de Paipa. **Materiales y métodos.** Se analizaron

---

\* El presente artículo se deriva del proyecto de investigación titulado "Detección de plomo (Pb), hierro (Fe) y cobre (Co) en aves, y macrófitos asociados a los ecosistemas acuáticos de la termoeléctrica paipa y su influencia en la diversidad y composición de aves y macrófitos". SGI 1485. Adelantado por el grupo GEO UPTC y la DIN-UPTC. \*\* Biólogo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Biológicas. Grupo de estudios Ornitológicos y Fauna Silvestre, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja- Colombia  
\*\*\* Biólogo, Universidad Nacional de Colombia, Magister Gestión Ambiental, docente Escuela de Ciencias Biológicas, Grupo de estudios Ornitológicos y Fauna Silvestre, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja- Colombia

muestras suministradas por pescadores artesanales de la región. Los metales fueron determinados por medio de espectrofotometría por absorción atómica. Se valoraron 12 muestras provenientes de 4 especímenes la mayor concentración de mercurio se registró en hígado y branquias (5 µg/g), y la menor en el tejido muscular (0,01 µg/g), en cuanto al plomo y cobre las concentraciones más altas fueron 0,51 µg/g en branquias y 3,2 µg/g en hígado respectivamente. **Resultados.** Las muestras no excedieron el umbral permitido por la normatividad colombiana, y a lo

reportado en otros estudios. **Conclusión.** Se hace necesario hacer una investigación más amplia para caracterizar a mayor profundidad la fuente y causa de la contaminación por agentes metálicos. Se recomienda identificar la población potencial consumidora de estos peces y establecer la representatividad de estos en la dieta de los pescadores artesanales de la región y descartar posible riesgos para la salud humana.

**Palabras clave:** metales pesados, bioacumulación, biomagnificación.

## ABSTRACT

**Introduction.** Heavy metals are an important toxic agent associated to environmental and industrial contamination that accumulate via fish and food, and are nowadays a public health issue, given their toxicity. In the upstream Chicamocha river no studies to determine mercury, copper and lead in fish have been made, even considering the serious contamination problems in the area due to an important industrial activity. **Objective.** This research work aims to determine the presence and the concentrations of heavy metals in the livers, gills and muscular tissues of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), a species that was brought and now is in a sector of the upstream Chicamocha river, located at the Volcán village, in Paipa. **Materials and methods.** Samples provided by artisanal fishermen were analyzed. The metals were determined by means of atomic absorption

spectrophotometry. 12 samples from 4 specimens were assessed. **Results.** The highest mercury concentration was registered in livers and gills (5 µg/g) and the lowest, in muscular tissues (0,01 µg/g); as for lead and copper, the highest concentrations were 0,51 µg/g in gills and 3,2 µg/g in livers, respectively. The samples did not exceed the threshold allowed by Colombian regulations and, due to the data from other studies. **Conclusion.** It is necessary to make wider research works in order to make a deeper characterization of the source and the cause of this contamination with metals. An identification of the population with potential of consuming these fish and establishing their representativeness in the diet of the region's artisanal fishermen is recommended, in order to discard possible health hazards.

**Key words:** heavy metals, bioaccumulation, biomagnification.

## RESUMO

**Introdução.** Os metais pesados constituem um importante agente tóxico associado a contaminação ambiental e industrial que se acumula através de peixes e alimentos, e é atualmente um problema de saúde pública, dada sua toxicidade. Na baía alta do Rio Chicamocha não se realizaram estudos que determinem a concentração de mercúrio, cobre e chumbo em peixes, ainda considerando sérios problemas de contaminação por uma importante atividade industrial. **Objetivo.** O presente trabalho tem como objetivo determinar a presença e concentração de metais pesados em fígado, brânquias e tecido muscular de *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), espécie introduzida, presente num setor da baía alta do Rio Chicamocha, localizada na vereda Volcán, município de Paipa. **Materiais e métodos.** Se

analizaram amostras subministradas por pescadores artesanais da região. Os metais foram determinados por meio de espectrofotometria por absorção atómica. Se valoraram 12 amostras provenientes de 4 espécimes; a maior concentração de mercúrio se registrou em fígado e brânquias (5 µg/g), e a menor no tecido muscular (0,01 µg/g); em quanto ao chumbo e ao cobre as concentrações mais altas foram 0,51 µg/g, em brânquias, e 3,2 µg/g, em fígado, respectivamente. **Resultados.** As amostras não excederam o umbral permitido pela normativa colombiana, e pelo reportado em outros estudos. **Conclusões.** Se faz necessário fazer uma investigação mais ampla para caracterizar a maior profundidade a fonte e a causa da contaminação por agentes metálicos. Se recomenda identificar a população potencial consumidora destes peixes e estabelecer a representatividade destes na dieta

dos pescadores artesanais da região para descartar possível riscos na saúde humana.

**Palavras chave:** metais pesados, bio-acumulação, bio-magnificação.

## INTRODUCCIÓN

Los metales pesados tales como mercurio, cobre y plomo son considerados dentro de los mayores agentes tóxicos asociados a contaminación ambiental e industrial y constituyen un riesgo serio por tener una gran estabilidad química ante los procesos de biodegradación, por lo cual los seres vivos son incapaces de metabolizarlos, generándose una contaminación por bioacumulación y un efecto multiplicador en la concentración del contaminante en la cadena trófica (Mancera & Álvarez, 2006).

La ingesta de mercurio en su forma orgánica (metilmercurio) a través de peces y alimentos del mar es actualmente un problema de salud pública, dada su toxicidad en el desarrollo neurológico en fetos y niños (Swain et al., 2007), los peces piscívoros concentran mercurio en su organismo en la forma orgánica de metilmercurio, que se produce por la metilación que microorganismos del sedimento de los ríos o del suelo, hacen al mercurio inorgánico, y por tanto, son una fuente importante de contaminación en humanos (Ortega, 2014), su biocumulación puede generar alteraciones congénitas como: ceguera, sordera, retardo del desarrollo psicomotor, convulsiones, trastorno de la atención, retardo en el desarrollo del lenguaje y autismo. Los efectos de la intoxicación con mercurio en niños y adultos incluyen: neuropatía, insuficiencia renal, compromiso visual, amnesia, trastorno de la coordinación y cambios en la personalidad (Moya et al., 2004). De igual manera, se ha podido establecer que las personas o poblaciones expuestas a niveles de mercurio pueden desarrollar alteraciones en las funciones del sistema nervioso (Lebel et al., 1996). En lo que respecta al plomo, este se encuentra en múltiples formas químicas en el ambiente aunque la mayor parte se encuentra en formas inorgánicas, siendo las actividades humanas la fuente principal debido a la combustión del petróleo y la gasolina como el principal componente

del ciclo global de plomo (Fermín, 2002). La intoxicación por plomo se asocia con trastornos del aprendizaje, especialmente, problemas de atención, hiperactividad, desorganización, dificultad para seguir indicaciones, bajo cociente intelectual y retardo del lenguaje (Moya et al., 2004); la intoxicación por plomo en adultos se relaciona con trastornos del comportamiento con predominio agresivo que puede llegar a la delincuencia, hipertensión, retardo del desarrollo sexual, disminución de la capacidad cerebral y de las funciones neurofisiológicas (Etzel & Balk, 2012).

Los estudios en Colombia se han concentrado gran parte en el río Magdalena especialmente en sector de la Mojana y en las ciénagas del sur del departamento de Bolívar (Mancera & Álvarez, 2006; Cardeñosa et al., 1973; Galiano & Sedano 1976). En peces el metal mejor estudiado es el mercurio (Ruiz et al. 1973), también se han adelantado trabajos para la detección de mercurio en especies comerciales procedentes de la Orinoquia (Trujillo et al., 2005), sin embargo, en la cuenca alta del Chicamocha no se han realizado estudios tendientes a determinar la concentración de metales pesados en peces, aun considerando serios problemas de contaminación por cuenta de una importante actividad industrial y agrícola sobre el río y los recursos hidrobiológicos presentes. Por otra parte, la concentración de metales pesados en tejidos de los peces son monitoreados en los programas de contaminación en los ecosistemas por la tendencia que presentan a acumular contaminantes (Paulson, Sharack & Zdannowicz, 2003).

La cuenca Alta del río Chicamocha muestra deficiencias significativas en materia de manejo de los residuos y sus impactos ambientales, lo cual no permite disminuir los daños resultantes del manejo inadecuado de vertimientos y la disposición de residuos a los cuerpos de agua (Manrique, Manrique & Tejedor, 2007)

Por tanto, urgente llevar a cabo investigaciones para identificar las fuentes de contaminación hídrica por cuenta de elementos metálicos en la cuenca y sus efectos sobre indicadores biológicos, que permita cuantificar y valorar el daño, constituyendo una herramienta para tomar medidas y controlar la emisión de contaminantes de origen industrial y regular la utilización de mercurio en procesos industriales. Por tanto, el presente trabajo tuvo como objetivo determinar la presencia y concentración de mercurio, plomo y cobre en tejidos de hígado, branquias y muscular de *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), especie introducida, pescada de manera artesanal, presente en un sector de la cuenca alta del río Chicamocha, ubicada en la vereda Volcán, Paipa.

## METODOLOGÍA

### Área de estudio

La zona de estudio se ubica en un sector de la cuenca alta del Río Chicamocha, vereda el Volcán, en jurisdicción del municipio de Paipa localizada en el Valle de Sogamoso (figura 1), uno de los valles internos más importantes de la región andina, en la parte centro oriental del País y centroccidental del departamento de Boyacá a 2.525 m (Garzón, 2003). La cuenca Alta del río Chicamocha se conforma a partir de la subcuenca del río Chulo que nace al occidente de la ciudad de Tunja y el río Tuta que se origina en la zona del páramo al sureste de Toca y Siachoque, además de los ríos Sotaquirá, Surba, Chiticuy, el río Chiquito (formado por los ríos Pesca y Tota) que drenan en distintas partes de la cuenca (Daza & Marin, 2009); La cuenca alta del río Chicamocha drena aproximadamente la tercera parte del departamento de Boyacá, presenta una elevación media de 2.950 m y una pendiente media de 1.10 %. El recurso hídrico de esta cuenca es utilizado para consumo humano y doméstico, agrícola, pecuario, recreativo, asimilación, dilución e industrial, lo cual ha generado problemas de contaminación y modificación profunda de las condiciones naturales de la cuenca (Daza & Marin, 2009). El

sitio de muestreo se localiza cercano a una unidad de generación termoeléctrica de importancia regional, que toma agua de la cuenca para alimentar las “Lagunas de enfriamiento” creadas desde 1963, cuya función es la disminución de la temperatura del agua vertida por la Central al río Chicamocha, provenientes del sistema de refrigeración de las calderas de la Termoeléctrica, que supone una contaminación térmica que ha generado cambios en los ecosistemas por los vertimientos de las unidades de generación (GENSA, 2009) específicamente se establece un aumento en la densidad poblacional de especies de peces, lo cual ha favorecido la pesca deportiva y de sostenimiento para algunos pobladores del sector (Monroy, 2006).

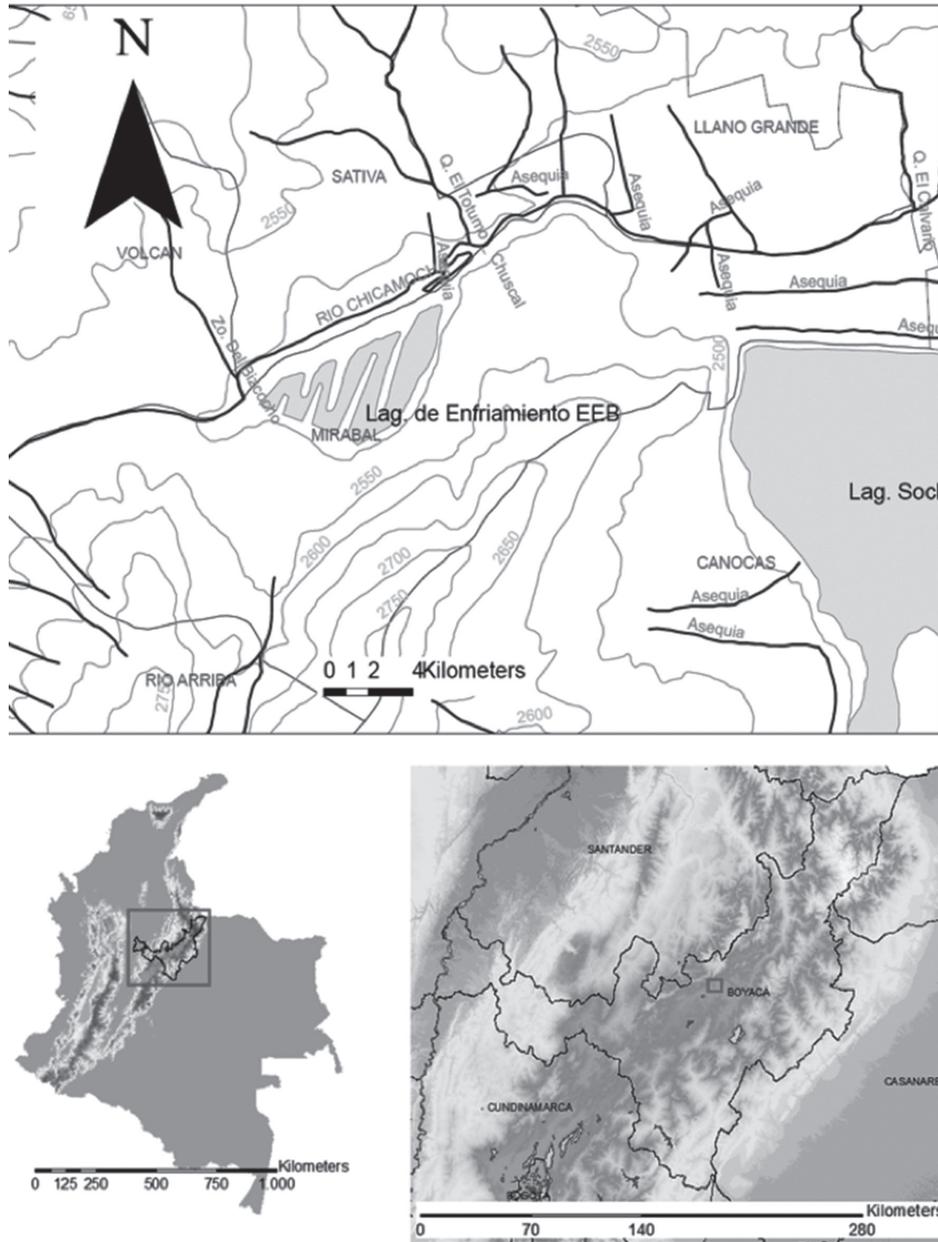
### Toma de muestras

Durante los meses de junio y noviembre de 2014 se efectuaron dos muestreos donde se recolectaron especímenes de la especie *O. niloticus* (Tilapia del Nilo), capturados por pescadores artesanales de la región. Las muestras biológicas fueron embaladas y transportadas al laboratorio del Grupo de Estudios Ornitológicos y Fauna Silvestre de la UPTC Colombia, siguiendo las metodologías descritas en el Standard Methods (APHA, 2012). Los especímenes fueron pesados, medidos y se registraron los caracteres morfométricos (Ishikawa, 2007)

### Pretratamiento y digestión

**Extracción de tejidos:** los peces se sometieron a procesos de disección, obteniendo alícuotas de tejido hepático, branquial y muscular; las submuestras para el análisis fueron obtenidas utilizando un equipo de disección con instrumentos de acero inoxidable debidamente esterilizados, a partir de métodos secos, se obtuvieron alícuotas de aproximadamente 1 a 5 g de cada individuo. Las submuestras obtenidas fueron almacenadas en frascos plásticos estériles a una temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta su análisis (Riaño et al., 2013).

**Digestión:** se obtuvo una alícuota de tejido mediante la remoción de material biológico no necesario, se pesó aproximadamente 500 mg de



**Figura 1. Ubicación del área de estudio**

Fuente: SIGOT, IGAC

cada tejido. Posteriormente la alícuota se secó a una temperatura de 105° C durante 24 horas, se procedió a su pesaje en balanza analítica cada 30 minutos. La muestra fue pesada y posteriormente se adicionó una solución de 2 mL de mezcla ácida (perclórico, nítrico y sulfúrico, 8:8:1) por cada medio gramo de tejido a tratar. A las muestras

digeridas se les añadieron posteriormente agua desionizada y esterilizada, hasta un volumen final de 20 mL.

#### **Detección de metales**

Las concentraciones de metales, fue determinada por medio de espectrofotometría por absorción

atómica (Riaño et al., 2013), adelantadas en el laboratorio de suelos de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

### Análisis de datos

Se comparó la concentración de metales promedio por muestra de tejido por medio de un análisis de varianza, empleando el Factor de Kruskal-Wallis con un nivel de significancia  $p < 0,05$  (Theodorsson, 1986). Además, se implementó un análisis estadístico de ANOVA con el fin de determinar el comportamiento de la varianza en cuento a la concentración promedio

por tipo de tejido en la especie (Basilevsky, 1994), para los análisis se utilizó el programa MINITAB 15 (Versión Libre).

### RESULTADOS

Se analizaron 12 muestras provenientes de 4 especímenes de la especie *O. niloticus*, los especímenes colectados a través de pescadores artesanales de la zona correspondía a alevines de tamaño mediano, tal como se registra en la tabla 1.

Tabla 1. Medidas morfométricas de los especímenes colectados

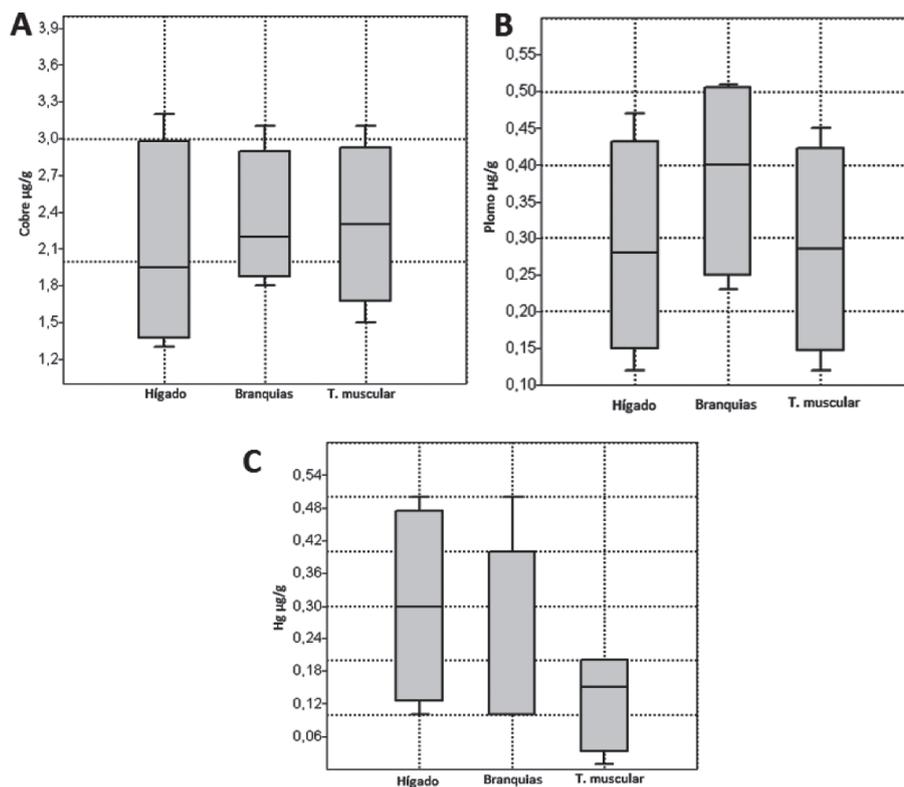
PARÁMETRO	LONGITUD TOTAL	LONGITUD CUERPO	ALETA DORSAL	CABEZA	ALETA CAUDAL
Promedio	14,575	11,65	6,125	3,575	4,025
Valor menor	13	11	5	3,1	3,6
Valor máximo	15,8	12,3	7	3,9	4,4

Tabla 2. Resumen de valores obtenidos para Hg, Pb y Cu ( $\mu\text{g/g}$ ), en los diferentes tejidos

INDIVIDUO	HIGADO	BRANQUIAS	TEJIDO MUSCULAR
Mercurio $\mu\text{g/g}$			
ID1	0.5	0.5	0.01
ID2	0.4	0.1	0.2
ID3	0.2	0.1	0.2
ID4	0.1	0.1	0.1
Plomo $\mu\text{g/g}$			
ID1	0.47	0.49	0.34
ID2	0.12	0.51	0.45
ID3	0.24	0.31	0.23
ID4	0.32	0.23	0.12
Cobre $\mu\text{g/g}$			
ID1	1.3	2.1	1.5
ID2	2.3	3.1	3.1
ID3	3.2	1.8	2.2
ID4	1.6	2.3	2.4

**Tabla 3. Resumen de los hallazgos de concentraciones de metales pesados evaluados ( $\mu\text{g/g}$ ) para los 4 especímenes analizados**

	HIGADO	BRANQUIAS	TEJIDO MUSCULAR
<b>Mercurio Hg <math>\mu\text{g/g}</math></b>			
Promedio	0,3	0,2	0,1275
Valor menor	0,1	0,1	0,01
Valor máximo	0,5	0,5	0,2
<b>Plomo Pb <math>\mu\text{g/g}</math></b>			
Promedio	0,2875	0,385	0,285
Valor menor	0,12	0,23	0,12
Valor máximo	0,47	0,51	0,45
<b>Cobre Cu <math>\mu\text{g/g}</math></b>			
Promedio	2,1	2,325	2,3
Valor menor	1,3	1,8	1,5
Valor máximo	3,2	3,1	3,1



**Figura 2. Concentración de Cu (A), Pb (B) y Hg (C) en los diferentes tejidos evaluados en *O. niloticus*.**

## DISCUSIÓN

### Concentración de metales en los tejidos de *O. niloticus*

Todas las muestras analizadas fueron positivas para la detección de mercurio, la mayor concentración se registró en hígado y branquias (5 µg/g), y la menor en el tejido muscular (0,01 µg/g) (tabla 2 y 3). El plomo se detectó en todas las muestras, los valores oscilaron entre 0,12 - 0,51 µg/g, que ha sido un valor inferior a lo reportado por otros autores (Ruiz et al., 1996), los valores más altos se registraron en el tejido de las branquias, a diferencia de los registrados en otros estudios (Gómez & Martínez 1993), (Gómez, Martínez & Podlesky 1995), donde el tejido muscular presentó niveles superiores. El cobre se detectó en todas las muestras de tejidos donde los valores fueron de 1,3- 3,2 µg/g, decididamente inferior a lo registrado por otros autores (Márquez et al., 2008), donde el tejido de mayor concentración fue el hígado (figura 2). La aplicación de la prueba de Kruskal wallis permitió verificar que no existen diferencias significativas comparando los tejidos evaluados (Hígado, branquias, y tejido muscular)  $H \chi^2 = 1,68$  y  $p$  (same) = 0,39 y una significancia del 95 %. De igual modo se pudo corroborar tras la aplicación del análisis de varianza para los datos de concentraciones de metales pesados para los diferentes tejidos, pues se obtuvo un  $p = 0,373171954 > 0,05$ , y una significancia del 95%, por tanto se permite inferir que el tipo de tejido evaluado no influye estadísticamente en la concentración de mercurio, plomo o cobre. Lo cual contrasta con lo obtenido por otros estudios (Olivero & Solano, 1998) donde el análisis de mercurio en secciones del músculo de peces fue representativo.

La captación de mayores cantidades de metales en los diferentes tejidos provoca una disminución en la concentración de mercurio difundida en la circulación sanguínea (Paul & Nagy 2003), aspecto que también puede reflejarse en la disminución del mercurio en las branquias; el hígado es un órgano que por sus características permite que este tejido metabolice con mayor rapidez el mercurio, para luego enviarlo a los

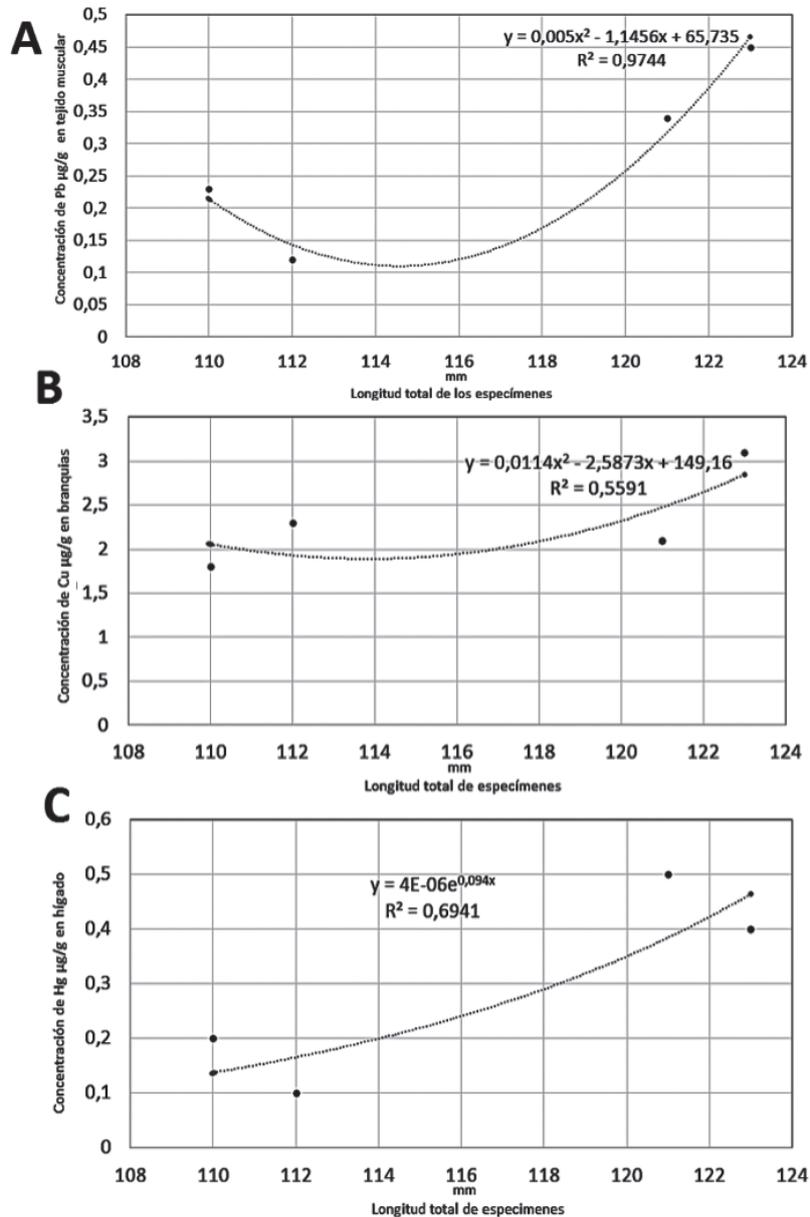
tejidos que presentan mayor bioacumulación (Pinho et al., 2002). Debido a que los mayores niveles de mercurio se presentaron en el hígado y branquias y no en el tejido muscular, se deduce que las bioacumulaciones pueden estar influidas por la cantidad de lípidos (Mendez et al., 2002).

### Concentración de metales y la longitud de individuos

Se estableció una correlación lineal altamente significativa entre la concentración de mercurio y la longitud de la tilapia del Nilo, en la cual los peces de mayor tamaño o de más edad presentan mayores concentraciones del contaminante debido a un tiempo más largo de exposición (figura 3); estudios semejantes a los de este trabajo realizado en la ciénaga de Ayapel han indicado que contaminantes como el mercurio aumentan sus niveles según el tamaño y la edad del pez (Marrugo, Lans & Benitez, 2007), en una misma especie, los peces de mayor edad o tamaño muestran mayores niveles de mercurio total que los especímenes más jóvenes, como consecuencia de un mayor tiempo de exposición al contaminante (Burguess & Hobson, 2006). Varios estudios han demostrado que el mercurio, generalmente presenta una correlación positiva con la talla y edad (Walker et al., 1976, Watling et al., 1981; Lacerda et al., 2000; Cadena-Cárdenas, 2004). La longitud o talla de un pez ha sido reconocida como un factor muy importante que influye en los niveles finales de mercurio (Olayinka & Kusemijo, 2006), se considera que los organismos que ocupan posiciones tróficas altas y son especies longevas (lo cual está relacionado a la talla del organismo), son susceptibles a contener altas concentraciones de este tóxico (Gomes et al., 2004). Esto se debe principalmente, a que pueden consumir una gran variedad de presas que tengan concentraciones elevadas de mercurio, y tengan mayor tiempo de exposición al mercurio por su longevidad. Este resultado puede indicar que el mercurio se estaría biomagnificando conforme sean más grandes los organismos, considerando que a mayor tamaño, mayor nivel trófico; además Núñez-Nogueira et al. (1998), proponen la hipótesis de que los mecanismos de desintoxicación son

inversamente proporcionales a la talla basado en el estudio de la bioacumulación de mercurio, reafirmando la idea de la biomagnificación. Debido a que diversos autores han sugerido

que la biomagnificación presenta una relación exponencial entre los niveles de mercurio y la posición trófica se recomienda ampliar los estudios a otros componentes de la cadena.



**Figura 3. Relación de la longitud total de los peces (mm) y la concentración de metales pesados para diferentes tejidos. (A) Relación de Pb y tejido muscular; (B) Relación de Cu y branquias; (C) Relación de Hg e Hígado**

La presencia de metales pesados en *O. niloticus* se puede atribuir a sus hábitos alimenticios y a una presencia latente de los contaminantes en el ecosistema (Olivero & Solano, 1998), determinaron que el contenido de Hg en las diferentes especies de peces depende de su posición en la cadena trófica y de sus hábitos alimenticios estudios como el realizado por Olivero, Jhonson & Arguello, (2002) encontraron que la mayor concentración de mercurio total la presenta especies con hábitos carnívoros, detritívoros-zooplanctónicos (parte alta de la red trófica), por lo cual una alta concentración puede atribuirse al transporte de este metal en los sedimentos, *O. niloticus* se alimenta de algas bentónicas, fitoplancton, huevos de otras especies de peces y larvas. Se requiere establecer las fuentes de los contaminantes metálicos en el sector; con el ánimo de reducir y monitorear la presencia de metales pesados en la cadena trófica. No se puede establecer el punto exacto o la fuente por la cual la Tilapia incorporó dichos contaminantes, debido a sus desplazamientos reproductivos, los peces pueden migrar cientos de kilómetros aguas arriba y se pueden alimentar en sitios distantes al de su captura (Quik & Ouboter, 2000), por ende se hace necesario hacer una investigación más amplia para determinar la causa de la contaminación de los peces.

La tilapia es uno de los peces de agua dulce más importante en el mundo de la acuicultura y se distribuye en muchas regiones, son grupos susceptibles a la biocumulación por los contaminantes metálicos; de igual modo existen estudios que utilizan esta especie en las pruebas de bioensayos o como bioindicadores para conocer la presencia y los efectos del mercurio en los ecosistemas acuáticos (Shaw, & Handy, 2006; Tsai et al., 1995; Nussey, Van Vuren, & Du Preez, 1995; Allen, 1994; Cuvin, 1994; Dangé, 1986; Menezes & Qasim, 1984). Por tanto se puede inferir que en algunos sectores de la cuenca alta del Chicamocha se están llevando a cabo procesos de contaminación por agentes metálicos, donde el monitoreo por medio de la detección en tejidos puede constituir una herramienta de seguimiento a ésta problemática.

### **Toxicidad del mercurio**

Al comparar la concentración encontrada y con los valores teóricos de la normatividad colombiana (NTC 1443, 2009) ninguna muestra excedió el límite máximo permitido, sin embargo las evidencias de biomagnificación anteriormente nombradas puede indicar que algunos individuos de Tilapia podrían exceder los límites permitidos. De los metales evaluados el mercurio resulta el más nocivo para *O. niloticus*, Oliveira et al., (2006) describieron que los peces expuestos a Hg inorgánico disuelto en el agua provoca la hipoxia, como resultado de hiperplasia celular en las laminillas secundaria de las branquias, disminuyendo el área superficial para el intercambio de gases, lo cual puede estar relacionado con los altos valores en las branquias para éste metal.

### **La presencia de mercurio y los riesgos de salud**

Pescadores artesanales y sus familias constituyen grupos vulnerables, quienes pueden presentar un grave riesgo de intoxicación por su posición en lo más alto de la cadena trófica y por la ingesta de peces en su dieta (Auger, Kofman, Kosatsky & Armstrong 2005), se recomienda evaluar la representatividad de estos peces en la dieta de estas personas con el ánimo de establecer posibles riesgos para la salud. Se han establecidos límites de la ingesta diaria que se debe de tomar en cuenta para evitar cualquier riesgo por ingesta de carne con altas concentraciones de mercurio. Cabe mencionar, que para grupos vulnerables de la población (e. g. niños de menor edad, mujeres embarazadas) los límites de consumo semanal tolerable permisible de mercurio se reducen a la mitad (Chan, 1998; Ordiano-Flores, 2009), debido a que la exposición a Hg, tanto prenatal como posnatal, afecta principalmente las funciones del sistema nervioso central, y parece tener secuelas postnatales (Rasmussen et al., 2005).

Se hace necesario fortalecer las estrategias nacionales que regulan las emisiones de contaminantes provenientes de la actividad industrial como una de las principales causas de contaminación de las aguas del país, de igual

modo la legislación y reglamentación existente en el ámbito nacional; de esta manera propender por una mejor regulación de las sustancias contaminantes generadas. Es muy importante establecer los riesgos que existen por la persistencia en la cuenca alta del río Chicamocha del mercurio y otros elementos, la investigación debe continuar obteniendo información acerca de la distribución espacial, concentraciones en aguas, sedimentos y peces.

## CONCLUSIONES

En las 12 muestras analizadas provenientes de 4 especímenes de tilapia del Nilo se detectó la presencia de Hg, Pb y Cu, en los tejidos evaluados. La mayor concentración se registró en hígado y branquias (5 µg/g), y la menor en el tejido muscular (0,01 µg/g) para el mercurio, en cuanto al plomo y cobre las concentraciones más altas fueron 0,51 µg/g en branquias y 3,2 µg/g en hígado respectivamente; las muestras no excedieron el umbral permitido por la normatividad colombiana en el caso del mercurio, y son inferiores a las reportadas por otros estudios, sin embargo son evidentes los procesos de biocumulación que a futuro pueden derivar en problemas ambientales y de salud pública. Se estableció una correlación lineal altamente significativa entre la concentración de mercurio y la longitud estándar de la tilapia del Nilo y se destaca el potencial de la especie para constituir un grupo bioindicador para este tipo de contaminantes. Se permitió verificar que no existen diferencias significativas comparando los tejidos evaluados (Hígado, branquias, y tejido muscular), el tipo de tejido evaluado no influye estadísticamente en la concentración de mercurio, plomo o cobre.

La presencia de los contaminantes metálicos en *O. niloticus* se puede atribuir a sus hábitos y amplitud ecológica, y se recomienda identificar la población potencial consumidora de estos peces para establecer la representatividad de estos en la dieta del grupo de riesgo con el ánimo de establecer y descartar patologías de salud pública.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, P. (1994). Changes in the hematological profile of the cichlid *Oreochromis aureus* (Steindachner) during acute inorganic mercury intoxication. *Comp. Biochem. Physiol. C*, 108 (1), 117-121.
- APHA, AWWA, WEF. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, D.C., American Public Health Association. 22nd edition.
- Auger, N., Kofman, O., Kosatsky, T., & Armstrong, B. (2005). Low level methylmercury exposure as a risk factor for neurologic abnormalities in adults. *Neurotoxicology* 26, 149-157.
- Basilevsky, A. (1994). *Statistical factor analysis and related methods. Theory and applications*. John Wiley & SONS, New York: p.737.
- Burgess, N., & Hobson, K. (2006). Bioaccumulation of mercury in yellow perch (*Perca flavescens*) and common loons (*Gavia immer*) in relation to lake chemistry in Atlantic Canada. *Hydrobiologia*, 567, 275-282.
- Cardenosa, J., Kanasevich, D., Mendoza, R., Rodríguez, L., Rojas, V., Galiano, F., & cristancho, L. (1973). *Evaluación de la contaminación actual en la hoya hidrográfica del río Magdalena*. Proy. IIT/ Colciencias 30026-1-01-70, Vol. 1 y 2, Bogotá, Informe Final.
- Chen, Y. W. & N. Belzile. (2001). Antagonistic effect of selenium on mercury assimilation by fish populations near Sudbury metal smelters? *Limnol. Oceanogr.*, 46(7), 1814-1818.
- Cuvin, M. (1994). Survival and heavy metal accumulation of two *Oreochromis niloticus* (L.) strains exposed to mixtures of zinc, cadmium and mercury. *The Science of the Total Environment*, 148 (1), 31-38.
- Dangé, A. (1986). Changes in carbohydrate metabolism in tilapia, *Oreochromis (Sarotherodon) mossambicus*, during short-term exposure to different types of pollutants. *Environ. Pollut. Series A, Ecol. Biol.*, 41 (2), 165-177.
- Daza, O., & Marín, S. (2009). *Identificación de conflictos de uso de suelo en rondas hídricas: herramienta para manejo ambiental. Caso de estudio municipio de Paipa Perspectiva Geográfica*.
- Etzel, R., & Balk, S. (2012). *Pediatric environmental health. Council on Environmental Health, Third edition, U.S.A: American Academy of Pediatrics*, p. 439-70.

- Fermin, I. (2002). *Estudio Geoquímico de la laguna de Unare, Estado Anzoátegui, Venezuela*. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente, Tesis de Grado, p. 106.
- Garzón, T. (2003). *Geología y Potencial minero asociado a cuerpos volcánicos en la región de Paipa, Boyacá, Colombia*. Universidad Nacional de Colombia, Tesis, p. 103.
- Galiano, F. (1976). *Investigación sobre el contenido de mercurio en aguas de ríos colombianos*. Proy. IIT/ Colgate Palmolive/COLCIENCIAS, Bogotá (Colombia), Informe Técnico.
- Gestión Energética S.A. (2009). *Actualización del plan de manejo ambiental, plan de monitoreo y seguimiento, plan de contingencias e indicadores de gestión y de calidad para el manejo ambiental de la central termoeléctrica de Paipa, etapas de operación y mantenimiento*. Paipa-Boyacá.
- Gómez, Q., & Martínez, R. (1993). *Contenido de mercurio en varias especies de peces de agua dulce y harinas comerciales de pescado*. [Trabajo de grado] Bogotá: Departamento de Farmacia, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.
- Gómez, Q., Martínez, R., & Podlesky, E. (1995). *Contenido de mercurio en varias especies de peces del río Magdalena y en harinas comerciales de pescado*. *Biomédica*, 15, (3), 183.
- Gomes-Ferreira, A., Vieira, C. E. Veiga De Carvalho, L. Teixeira, F. M. Santana Da Silva. (2004). Total mercury in the night shark, *Carcharhinus signatus* in the western equatorial Atlantic Ocean. *Braz. Arch. Biol. Tech.* 47 (4): 1-9.
- Ishikawa, N., Tavares, M., Lombardi, J., & Maris, C. (2007). Hematological Parameters in Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* Exposed to Sub-lethal Concentrations of Mercury. *Brazilian archives of biology and technology*, Vol.50, n. 4, p. 619-626.
- Mancera, N., & Álvarez, R. (2006). Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11, 3-23.
- Manrique, F., Manrique, D., Manrique, R., & Tejedor, M. (2007). Contaminación de la cuenca alta del río Chicamocha y algunas aproximaciones sobre la salud humana. *Rev. Salud Hist. y Sanidad*, 2(1), 03 – 13.
- Marrugo, J., Lans, E., & Benítez, L. (2007). Hallazgo de mercurio en peces de la ciénaga de Ayapel, Córdoba, Colombia. *Rev. mvz Córdoba*, 12(1), 878-886.
- Márquez, A., Senior, W., Martínez, G., Castañeda, J., & González, A. (2008). Metals Concentration in Sediments and Muscular Tissues of Some Fish from the Castellero Lagoon, Venezuela. *Revista Científica, FCV-LUZ / XVIII*, (2), 121 – 133.
- Méndez, L., Salas-Flores, A; Arreola-Lizarraga, S. Álvarez-Castañeda, T. & Acosta, B. (2002). Heavy metals in clams from Guaymas Bay, Mexico. *Bull. Environ. Contam.*
- Menezes, M. & Qasim, S. (1984), Effects of mercury accumulation on the electrophoretic patterns of the serum, haemoglobin and eye lens proteins of *Tilapia mossambica* (Peters). *Water Research*, 18 (2), 153-161
- Moya, J., Bearer, C., & Etzel, R. (2004). Children's behavior and physiology and how it affects exposure to environmental contaminants. *Pediatrics*, 113 (Supl. 4), 996-1006.
- Monroy, L. (2006). *Alternativas para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos, Sólidos Líquidos y Pastosos Generados en el Proceso de Producción de energía en Termopaipa*. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera Ambiental y Sanitaria, Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.
- Nussey, G., Van Vuren, J., & Du Preez, H. (1995). Effect of copper on the haematology and osmoregulation of the Mozambique tilapia, *Oreochromis mossambicus* (Cichlidae). *Comp. Biochem, Physiol*, 111 C, (3), 369-380.
- Norma Técnica Colombiana NTC 1443. (2009). *Productos de la pesca y acuicultura. Pescado entero, medallones y trozos, refrigerados o congelados*. Tercera actualización. Bogotá: Icontec.
- Lebel, J., Mergler, D., & Lucotte, M. (1996). Evidence of Early Nervous Systems Dysfunction in Amazonian Populations Exposed to Low-Level of Methylmercury. *Neurotoxicology*, (17), 157-168.
- Ortega, M. (2014). Niveles de plomo y mercurio en muestras de carne de pescado importado y local. *Pediatr*; 47(3), 51-54
- Ordiano-Flores, A. (2009). *Bioacumulación y biomagnificación de mercurio en atún aleta*

- amarilla, *Thunnus albacares*, del Océano Pacífico Oriental. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 88pp.
- Olayinka, A.O. & K. Kusemijo. (2006). Distribution of mercury in tissues of the hammerhead shark *Sphyrna couardi* from Off Lagos Coast, Nigeria. *J. Sci. Res. Dev.*, 10, 39-50
- Olivero, J., & Solano, B. (1998). Mercury in Environmental Samples From a Waterbody Contaminated by Gold Mining in Colombia, South America. *The Science of the Total Environment*, 217, 83-89.
- Oliveira, C., Neto, F., Mela, M., Silva, P., Randi, M., Rabitto, I., Alves, J., & Pelletier, E. (2006). Hematological findings in neotropical fish *Hoplias malabaricus* exposed to subchronic and dietary doses of methylmercury, inorganic lead, and tributyltin chloride. *Environmental Research*, 101, 74-80.
- Olivero, J., Jhonson, B., & Arguello, E. (2002). Human exposure to mercury due to fish consumption in San Jorge river basin, Colombia (South America). *Sci Total Environ*, 289, 41-47.
- Paul, M. C., R. F. Toia & E. I. V. Nagy-Felsobuki. (2003). A novel method for the determination of mercury and selenium in shark tissue using high-resolution inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Spectrochimica Acta Part B*, 58, 1687-1697.
- Paulson, A., Sharack, B., & Zdanowicz, V. (2003). Trace metals in ribbed mussels from Arthur Kill, New York/New Jersey (U.S.A.) *Mar. Poll. Bull*, 46, 139-152.
- Pinho, A.P., J.R.D. Guimarães, A.S. Martins, F.P.A.S. Costa, G. Olavo & J. Valentin. (2002). Total mercury in muscle tissue of five shark species from Brazilian offshore waters: effects of feeding habitat, sex and length. *Environ. Res. A*, 89, 250-258.
- Quik, J., & Ouboter, P. (2000). *Monitoreo de la calidad del agua en la cuenca del Commewijne, Surinam.* Paramaribo. Surinam: Centro de Investigación Ambiental de la Universidad Antón de Kom de Surinam.
- Rasmusse, R. S., J. Nettleton & M. T. Morrissey. (2005). A review of mercury in seafood: special focus on tuna. *J. Aquat. Food Prod. Techn.*, 14(4):71-100.
- Riaño, L., Castellón, K., González, M., & García, A. (2013). *Development and optimization of a digestion method for heavy metal determination in scleractinian corals by Atomic Absorption Spectrometry (AAS)*. California: Universidad Autónoma de Baja California.
- Ruiz, J., Fandiño, C., Romero, G., & Guevara, M. (1996). Contaminación de peces por metales pesados en el río Magdalena. *Licania arbórea*, 1(1), 18-22.
- Swain, E., Jakus, P., Rice, G., Lupi, F., Maxon, P., & Pacyna, J. (2007). Socioeconomic consequences of mercury use and pollution. *Ambio*, 36 (1), 45-61.
- Shaw, B., & Handy, R. (2006). Dietary copper exposure and recovery in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquatic Toxicology*, 76, 111-121.
- Trujillo, G., Diazgranados, M., Lasso, C., & Pérez, L. (2005). *Evaluación de las concentraciones de mercurio en peces de interés comercial en ecosistemas acuáticos de la Orinoquia*. Lasso CA, Usama J.
- Theodorsson, A. (1986). Computer program to perform nonparametric one-way analysis of variance and multiple comparisons on ranks of several independent samples department of Clinical Chemistry, Karolinska Hospital, S-104 01 Stockholm, Sweden August, Volume 23, Issue 1, Pages 57-62.
- Tsai, CH., Jang, T., & Wang, L. (1995). Effects of mercury on serotonin concentration in the brain of tilapia, *Oreochromis mossambicus*. *Neuroscience Letters*, 184, 208-211.