

Determinación de la presencia de mercurio en la especie *Pimelodus clarias* y en sedimentos procedentes de la zona de confluencia del río Bogotá con el río Grande de la Magdalena y su posible impacto social.

Determination of the presence of mercury in the *Pimelodus clarias* species and deposits from zone Bogota river confluence with the Magdalena Large river and social impact possible.

Leidy G. Mahecha-Bernate^{1*}, Juan S. Bernal-Castro¹, José E. Ramírez-Calderón¹

Resumen

El objetivo de esta investigación fue determinar la presencia de mercurio en la especie *Pimelodus clarias* y en sedimentos procedentes de la zona de confluencia del río Bogotá con el río Grande de la Magdalena y su posible impacto social en las comunidades vinculadas en el municipio de Girardot, Cundinamarca. Los análisis de mercurio se realizaron mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica y se utilizó el programa Past para las interpretaciones estadísticas. Los resultados muestran una concentración media de mercurio en 25 muestras de peces analizadas de $0,042 \pm 0,044$ mg/Kg, con un valor mínimo de $< 0,001$ mg/Kg y un valor máximo de $0,165$ mg/kg, la relación que tiene la concentración de Hg vs Talla es ($r: -0,20$) ($p: 0,32$) y la de Hg vs peso es ($r: -0,16$) ($p: 0,44$). En los sedimentos se encontraron bajas concentraciones de mercurio, por otra parte, se establece que son viables para cultivos debido a una alta CICE de $34,69$ cmol (+)/Kg. En conclusión, aunque la concentración más alta encontrada de mercurio en *Pimelodus clarias* no alcance los límites aceptados internacionalmente de $0,5$ μ g/g para considerarlos como peces no aptos para el consumo humano, se debe disminuir la pesca en esta zona y el consumo de alimentos contaminados con mercurio. Además, se considera que lo más importante de este estudio no son las concentraciones, sino haber determinado la presencia de este metal altamente tóxico para el ser humano lo que puede llegar a convertirse en un problema salud pública en la región.

Palabras clave: bioacumulación, ictiofauna, metales pesados.

The objective of this research was to determine the presence of mercury in the species of *Pimelodus clarias* and in sediments from the area of confluence of the Bogotá River with the Magdalena Large River and its possible social impact in the communities in the municipality of Girardot, Cundinamarca. Mercury analyses were performed using the method of atomic absorption spectrophotometry and used the Past programme for statistical interpretations. Results show an average concentration of mercury in 25 samples of fish analyzed $0,042 \pm 0,044$ mg/kg, with a minimum value of $< 0,001$ mg/kg and a maximum value of $0,165$ mg/kg, the relationship between the concentration of Hg vs size is ($r: -0,20$) ($p: 0,32$) and the Hg vs weight is ($r: -0,16$) ($p: 0,44$). In the sediment is found low concentrations of mercury, on the other hand, is sets that are viable for crops due to a high CICE of $34,69$ cmol (+) / kg. In conclusion, although the highest concentration found mercury in *Pimelodus clarias* not reach the accepted limits internationally $0,5$ μ g/g to consider them as fish unfit for human consumption, must be diminished fishing in this area and the consumption of food contaminated with mercury. In addition, we consider that the most important thing of this study is not concentrations, but having determined the presence of this metal highly toxic for the human being which can become a public health problem in the region.

Keywords: bioaccumulation, ichthyofauna, heavy metals.

Introducción

Entre los innumerables contaminantes, los metales pesados en el medio ambiente se han convertido en un fenómeno de interés mundial debido a su toxicidad, persistencia durante varias décadas en el medio de contacto, así como a su bioacumulación y biomagnificación en la cadena alimenticia (1). Según el PNUMA, se establece que las principales fuentes antropogénicas responsables de la contaminación de los ecosistemas acuáticos por metales pesados (Hg), están relacionadas con: la minería propia del Hg, la extracción y uso de combustibles, la obtención

de metales y su reciclaje, la producción de materias primas y derivados químicos, industrias de productos de consumo con uso intencional de Hg, disposición de residuos en rellenos sanitarios y tratamiento de aguas residuales e incineración de residuos, entre otras actividades que contaminan permanentemente nuestros recursos naturales con metales pesados necesarios en sus procesos y demás sustancias que alteran el equilibrio ecosistémico del planeta (2).

La presencia de metales pesados tóxicos no se debe solamente a la contaminación causada por actividades

¹ Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca, GUIA, Cr. 19 # 24 - 209, Girardot, Colombia
^{*} Autor de correspondencia: lg.mahecha.31@gmail.com

desarrolladas por el ser humano, sino que, a su vez de manera natural, existe una contribución en pequeñas cantidades de metales pesados en el ambiente necesarios para el desarrollo metabólico de muchos organismos, pero que en altas concentraciones pueden llegar a ser letales.

En los últimos años, se ha demostrado mediante diversas investigaciones que el origen de la contaminación del río Bogotá comienza desde el momento en que pasa por la población de Villa Pinzón, en donde recibe sus primeras descargas de aguas residuales procedentes de las curtiembres existentes en esta zona, siendo más notoria su degradación, cuando cursa por la ciudad de Bogotá recibiendo así, altas concentraciones de sustancias tóxicas de origen biológico, químico (principalmente metales pesados) y físico, aumentando la problemática de este recurso hídrico en la medida en que allegan las descargas de sus distintos tributarios, lo que lo convierte en la mayor alcantarilla abierta de Colombia alterando el equilibrio ecosistémico de la zona (3). La contaminación por mercurio se considera como una de las de mayor impacto en ecosistemas acuáticos, causando efectos tóxicos en los peces (4). El mercurio, el plomo y el arsénico constituyen los tres elementos causantes de mayores efectos adversos en la salud pública con base en su toxicidad y actuales niveles de exposición (5).

La minería aurífera es una de las principales actividades que afectan la cuenca del río Bogotá, ya que utilizan mercurio para la extracción y purificación del oro, en donde en su mayoría la minería artesanal es la más contaminante al extraer el oro por amalgamación con mercurio metálico (Hg), el cual es posteriormente volatilizado por calentamiento y liberado al ambiente sin algún control, en donde se estima que un 45% del mercurio que se incorpora a la columna de agua es posteriormente transformado por los microorganismos en metilmercurio MeHg (6). El mercurio (Hg) es un contaminante ambiental devastador y está situado en la "lista negra" de la Comunidad Económica Europea debido a su alta toxicidad, persistencia y bioacumulación en el ecosistema por lo que es considerado como un contaminante de prioridad (7).

En las últimas décadas ha aumentado la disponibilidad de metales pesados como es en este caso el del Hg, el cual, por la explotación minera y la posterior liberación de este metal, ha sido motivo de preocupación, como consecuencia del aumento de su biodisponibilidad y riesgo toxicológico para los seres vivos (8); convirtiendo al Hg en un elemento no esencial de amplia distribución y el cual es bien conocido por sus efectos altamente tóxicos en los sistemas biológicos de los organismos (9). En ambiente acuático, el Hg inorgánico es depositado en los sedimentos y es convertido principalmente en metilmercurio (MeHg), por acción bacteriana mediante un proceso de biometilación, aumentando la biodisponibilidad para la biota acuática (10,11). La conversión de mercurio inorgánico en MeHg es importante, ya que bajo esta forma su toxicidad es mayor y se requiere de mucho más tiempo para su eliminación, por lo tanto, es bioacumulado y biomagnificado a lo largo de la cadena trófica (11).

La disposición de materiales que contienen metales pesados, en los suelos es de gran interés por sus implicaciones ambientales (12). La contaminación de los sedimentos de la ribera del río Bogotá y de los suelos de cultivos aledaños a la zona con metales pesados, permite entender las diferentes afectaciones que vienen y podrían seguir trayendo a la salud humana al ser utilizados como fuentes fertilizantes para la obtención de algunos alimentos, los cuales bioacumulan metales como el mercurio en sus tejidos. La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso para la entrada de éstos en la cadena alimentaria (13). La absorción y posterior acumulación dependen en primera instancia del movimiento (movilidad de las especies) de los metales desde la solución en el suelo a la raíz de la planta. En plantas, el concepto de bioacumulación se refiere a la agregación de contaminantes; algunos de ellos son más susceptibles a ser fitodisponibles que otros (14). Así mismo, la disponibilidad y estabilidad del mercurio y compuestos de mercurio en sistemas suelo-planta-agua están en función del pH, texturas que incluyen tipo arcilla, contenido de materia orgánica, contenido de humedad del suelo, potencial óxido-reducción, y la forma del mercurio (15).

Las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, translocar y acumular sustancias (16). Sin embargo, algunos metales y metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos, translocados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos. La fitotoxicidad de los metales pesados se manifiesta particularmente en los suelos ácidos y afecta al crecimiento y la formación de raíces laterales y secundarias (17). Se sabe que el MeHg es la forma más tóxica del metal, actuando como un potente agente neurotóxico y su principal fuente de transferencia a los humanos es el consumo de pescados contaminados y en donde la exposición a niveles altos de Hg puede perjudicar órganos como: el cerebro, el corazón, los riñones, los pulmones y el sistema inmunológico de personas de todas las edades (18).

El pescado se considera un alimento saludable, por su aporte proteico y de ácidos grasos omegas, y algunos otros nutrientes esenciales como Yodo, Selenio, Calcio, Vitamina A y D (19). Por lo tanto, varias organizaciones internacionales entre las cuales se puede destacar la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), recomiendan el consumo de pescado bajo en MeHg, hecho por el cual es necesario implementar sistemas nacionales de monitoreo de los niveles de Hg en sus diferentes formas, por parte de los gobiernos locales (19). Atendiendo a lo anterior, el presente trabajo busca determinar la presencia de mercurio en la especie *Pimelodus clarias* y en sedimentos procedentes de la zona de confluencia del río Bogotá con el río Grande de la Magdalena y su posible impacto social, teniendo en cuenta la salud pública de la población aledaña y las consecuencias socioeconómicas que pueden generarse al establecerse medidas de corrección ante esta problemática.

Materiales y métodos

Para el análisis de las concentraciones de mercurio se capturaron 25 unidades de *Pimelodus clarias* en la zona de confluencia del río Bogotá con el río Grande de la Magdalena. Para la captura, se recurrió a pescadores de la región y todos los individuos capturados fueron pesados en gramos y se hizo la medición de la longitud total (cm) por espécimen. Adicionalmente se colectaron dos muestras de los sedimentos provenientes las riberas de la zona de confluencia, donde se realizó dos cuadrantes de 20 m de largo y 5 m de ancho. La primera muestra de sedimento fue tomada en la ribera del Magdalena (N; 4° 17' 20" W; 74° 47' 25") y la segunda muestra se tomó en la ribera del río Bogotá (N; 4°17'19.5" - W; 74°47'45.6". Cada muestra contiene 20 submuestras las cuales fueron seleccionadas de manera en zigzag dentro del cuadrante y homogenizadas en un balde. Los análisis de las concentraciones de mercurio se realizaron mediante el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica en el laboratorio Hydrolab para las muestras de los peces y en CORPOICA para los análisis de los sedimentos. Como un análisis conjunto se realizó la aplicación de encuestas (N=180), las cuales fueron aplicadas a 20 familias por cada barrio ubicado sobre la zona de confluencia de los dos ríos (Magdalena vs Bogotá).

Referente al tratamiento estadístico el análisis descriptivo de las variables peso (g), longitud total (cm) y concentración de Hg (mg Hg/Kg) no presentan homogeneidad en las varianzas y la variable concentración de Hg (mg Hg/Kg) muestran coeficientes de variación superiores al 70%, indicando una distribución no normal de estos datos (Tabla 1). Análisis estadísticos descriptivos de las variables peso (g), Longitud total (cm) y concentración de Hg (mg/kg).

Análisis descriptivo	mg/kg	LT cm	Peso gramos
N	25	25	25
Min	0,001	15,5	29
Max	0,165	27,5	118
Sum	1,045	453,5	1.058
Mean	0,042	18,14	42,32
Std. Error	0,00877686	0,46929	3,51412
Variance	0,00192583	5,50583	308,727
Stand. Dev	0,0438843	2,34645	17,5706
Coefficiente de variación (100%)	102,38	12,89	41,51

Fuente: Autores

Tabla 1. Análisis estadísticos descriptivos de las variables peso (g), Longitud total (cm) y concentración de Hg (mg/kg).

Debido al patrón no paramétrico de las variables se realizaron test de correlación de Spearman comparando las concentraciones de mercurio en músculo (mg Hg/Kg) vs peso y talla ($p= 0,05$). El análisis de los sedimentos se sintetiza en la tabla 2. Determinación analítica y métodos para las muestras de sedimento. Finalmente, los resultados de las encuestas fueron presentados como porcentajes y representados en Excel.

Determinación Analítica	Unidad	Método	Valor	Interpretación
pH		NTC 5264 de 2008	7,88	Alcalino
Conductividad eléctrica	dS/m	NTC 5596	1,65	No Salino
MO	%	Walkey & Black	1,99	Bajo
P Bray II	mg/kg	NTC 5350	122,64	Alto
Al+H	cmol(+)/kg	KCl	0	
Al	cmol(+)/kg	KCl	0	
Ca	cmol(+)/kg	NTC 5349	32,01	Alto
Mg	cmol(+)/kg	NTC 5350	1,91	Medio
K	cmol(+)/kg	NTC 5351	0,34	Medio
Na	cmol(+)/kg	NTC 5352	0,42	Normal
Capacidad de intercambio catiónico (CICE)	cmol(+)/kg	Suma de cationes	34,69	Alto

Tabla 2. Determinación analítica y métodos para las muestras de sedimento.

Resultados y discusión

En la figura 1 los resultados obtenidos del análisis de las concentraciones de mercurio en 25 unidades de *Pimelodus clarias* muestran una concentración media de $0,042 \pm 0,044$ mg/kg, con un valor mínimo de $< 0,001$ mg/kg y un valor máximo de $0,165$ mg/kg, valores que no superan los límites aceptados internacionalmente de $0,5 \mu\text{g/g}$ (21), pero aunque se presenten bajas concentraciones de mercurio en las unidades analizadas, pueden generar efectos adversos sobre la salud de las personas que los consumen al constatar que el metilmercurio es considerado la forma más tóxica del mercurio (20-22). Referente a las relaciones concentración de la longitud total vs el peso, se registra que aunque se encontró una tendencia en la disminución de la LT y el peso con el aumento de la concentración de mercurio, como se ve en las Figuras 2 y 3, las correlaciones negativas (Tabla 1) no fueron significativas, teniendo como relación la concentración de Hg vs LT es ($R: -0,20$) ($p: 0,32$) y la concentración de Hg vs peso es ($r: -0,16$) ($p: 0,44$).

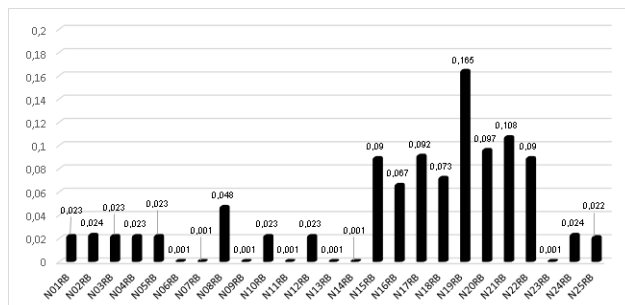


Figura 1. Concentraciones de mercurio en 25 unidades de *Pimelodus clarias*.

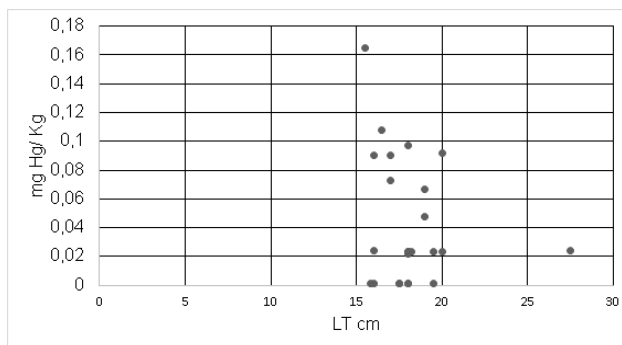


Figura 2. Relación de la concentración de mercurio vs la LT en las 25 unidades de *Pimelodus clarias* ($r = -0,20$ $p = 0,32$).

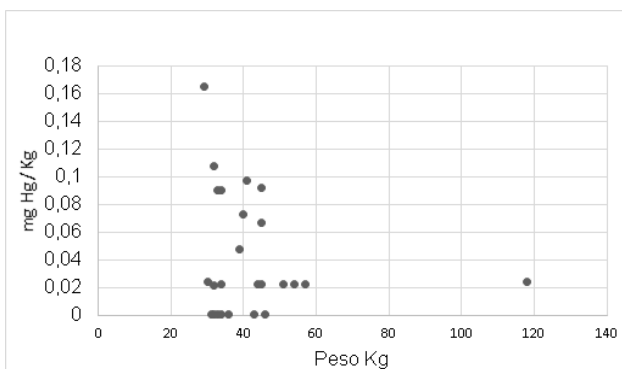


Figura 3. Relación de la concentración de mercurio vs el peso en las 25 unidades de *Pimelodus clarias* ($r = -0,16$ $p = 0,44$).

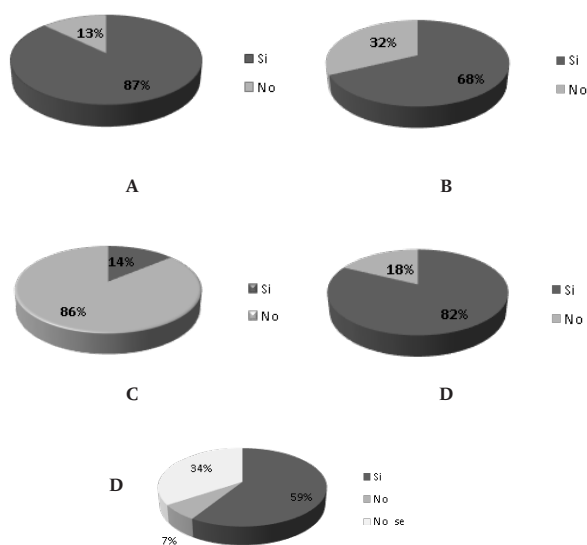


Figura 5. **A.** ¿Ha escuchado usted hablar acerca de la contaminación del Río Bogotá?. **B.** ¿Tiene conocimiento de la contaminación de peces por metales pesados tóxicos presentes en el río Bogotá?. **C.** ¿Ha recibido capacitación o información sobre las consecuencias del Mercurio para la salud humana?. **D.** ¿Considera usted que el Nicuro presente en la zona de confluencia del río Bogotá y Magdalena se encuentra contaminado?. **E.** ¿La población de peces en el río Bogotá ha disminuido?

Los análisis de los sedimentos muestran los siguientes resultados en 2 muestras de sedimentos de la zona de confluencia fueron de 0,45 mg/Kg. Referente a la percepción que tienen los ribereños sobre la contaminación por

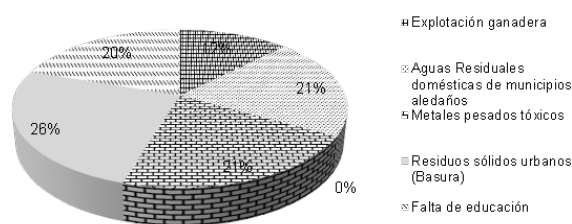


Figura 6. A la pregunta ¿A qué le atribuye la contaminación del Nicuro que vive en el río Bogotá?

metales pesados en Nicuro, las 180 encuestas realizadas se presentan como porcentajes en la figura 5.

Los sedimentos analizados mostraron concentraciones menores a 0,45 mg/kg del mercurio total y según el análisis de caracterización nutricional (tabla 2) se establece que son suelos viables para cultivos debido a una alta CICE de 34,69 cmol(+)/kg. Sin embargo, el proceso de crecimiento de las plantas depende de un ciclo de nutrientes que incluye elementos traza, desde el suelo a la planta y las plantas pueden actuar como una vía muy importante de captación y entrada de mercurio que está en el suelo, por lo tanto, el mercurio presente en el suelo podría bioacumularse en los tejidos de las plantas (23).

Respecto a la percepción que tiene los habitantes ribereños encuetados acerca de la contaminación por mercurio, se deduce que la gran mayoría conoce sobre la contaminación que existe en el río Bogotá con un 87 %, (Figura 5A), igualmente un 68% dice tener conocimiento de la contaminación de peces por metales pesados tóxicos presentes en el Río Bogotá, y por eso tienen la idea que este tipo de contaminación es una de las causas de la disminución de los peces por esas zonas, a pesar de que un 86% contestó no haber recibido ninguna capacitación o información sobre esta problemática (Figura 5C). Estos resultados son consistentes con la percepción que el principal contaminante del río son las basuras, los residuos industriales que contienen mercurio y las aguas servidas que recoge el río (Figura 6).

En conclusión, aunque la concentración más alta encontrada de mercurio en *Pimelodus clarias* no alcance los límites aceptados internacionalmente de 0,5 µg/g para considerarlos como peces no aptos para el consumo humano, se debe disminuir la pesca en esta zona y el consumo de alimentos contaminados con mercurio ya que puede bioacumularse en ciertos órganos del cuerpo humano generando con el tiempo, graves problemas de salud. Además, consideramos que lo más importante de este estudio no son las concentraciones, sino haber determinado la presencia de este metal altamente tóxico para el ser humano lo que puede llegar a convertirse en un problema de salud pública en la región por el consumo de peces contaminados. Por otra parte, se concluye que las personas que se encuentran influenciadas por esta zona de confluencia conocen acerca de la contaminación del río Bogotá y consigo la de las especies ícticas, como es en este caso el Nicuro, especie de gran consumo en la región.

Agradecimientos

En primer lugar, damos agradecimientos a la Universidad de Cundinamarca quien fue la base de este estudio. También nuestro reconocimiento al Biólogo Jack Fran García por su incondicional apoyo en el desarrollo de este trabajo.

Bibliografía

1. Rajeshkumar, S., & Munuswamy, N. (2011). Impact of metals on histopathology and expression of HSP 70 in different tissues of Milk fish (Chanos chanos) of Kaattuppalli Island, South East Coast, India. *Chemosphere*, 415.
2. PNUMA. (2002). Evaluación mundial sobre el mercurio. Obtenido de Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente: <http://www.chem.unep.ch/mercury/GMA%20in%20F%20and%20S/final-assessment-report-Nov05-Spanish.pdf>
3. Preciado, A. P. (s.f.). El problema del río Bogotá. Sociedad GeoFigura de Colombia. Fallo del consejo de estado, del 28 de marzo de 2014. Disponible en: https://sogeocol.edu.co/documentos/mp20150101_río_bta.pdf
4. Instituto Nacional de Salud, Grupo de Evaluación de Riesgos. (2015). Evaluación de riesgo de mercurio en Peces. Bogotá, D. C.
5. E.U.E.C. (2006). Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Obtenido de <http://ec.europa.eu>
6. Trujillo, F., Lasso, C., Diazgranados, M. C., Farina, O., Pérez, L., Barbarino, A., & González, M. (s.f.). Evaluación de la contaminación por mercurio en peces de interés comercial y de la concentración de organoclorados y organofosforados en el agua y sedimentos de la orinoquia. *Biodiversidad De La Cuenca Del Orinoco*, 1.
7. Marrugo-Negrete, J., Benitez, L., & Olivero-Verbel, J. (2008). Distribution of mercury in several environmental compartments in an aquatic ecosystem impacted by gold mining in Northern Colombia. *Arch Environ Contam Toxicol*, 55.
8. Arroyave, C., Araque, P., & Pelaez, C. A. (2010). Evaluación de la bioacumulación y toxicidad de cadmio y mercurio en pasto Llanero (*Brachiaria dictyoneura*). *VITAE*, 17(1).
9. Sánchez, A., López, M., & Nadal, J. (2007). Bioaccumulation of lead, mercury, and cadmium in the greater white-toothed shrew, *Crocidura russula*, from the Ebro Delta (NE Spain): sex- and age-dependent variation. *Environ Pollut*, 7.
10. Jewett, S., & LK., D. (2007). Mercury in fishes of Alaska, with emphasis on subsistence species. *Science of the Total*, 3.
11. Hasan, M., Ahmed, M., Akhand, A., Ahsan, N., & Islam, M. (2010). Toxicological Effects and Molecular Changes Due to Mercury Toxicity in Freshwater Snakehead. *Int. J. Environ*, 91.
12. Labanowski, J., Monna, F., Bermond, A., Cambier, P., Fernandez, C., & Lamy, I. (2008). Kinetic extractions to assess mobilization of Zn, Pb, Cu, and Cd in a metal-contaminated soil: EDTA vs. citrate. *Environ Pollut*, 152(3):693.
13. Prieto Méndez, J., González Ramírez, C. A., Román Gutiérrez, A. D., & Prieto García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1):3.
14. Kabata-Pendias, A. (2000). Trace elements in soils and plants. CRC Press, 3.
15. Adriano, D. C. (1986). Elements in the terrestrial Environment. Springer Verlag.
16. Lasat, M. (2000). The use of plants for the removal of toxic metals from contaminated soil. American Association for the Advancement of Science, Environmental Protection Agency (EPA), 4.
17. Tadeo, F., & Gómez-Cadenas, A. (2008). Fisiología de las plantas y el estrés. *Fundamentos de fisiología vegetal*, 577.
18. Fitzgerald, W., & Clarkson, T. (2006). Mercury and monomethylmercury: present and future concerns. *Environmental Health Perspectives*.
19. EFSA. (2012). Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. *EFSA Journal*.
20. US-EPA. (07 de 07 de 2012). Environmental Protection Agency. Obtenido de <http://www.epa.gov/hg/exposure.htm>
21. Rodríguez, N. J., & León, R. Á. (2006). Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 1(1):9.
22. Castaño, C. F., Álzate, C. M., & González, M. S. (2003). Mercurio: implicaciones en la salud y el medio ambiente. *Revista de Toxicología en Línea*, 4-6.
23. Millhollen, A., Gustin, M., & Obrist, D. (2006). Foliar Mercury Accumulation and Exchange for Three Tree Species. *Environ Sci Technol*, 40.