



Estimating the health risk assessment of the consumption of *Oreochromis niloticus*, tap water, surface water and prey sediments, contaminated with heavy metals in communities close to a copper mine and to Adolfo Ruiz Cortines dam, in Sonora, Mexico.

Estimación del riesgo a la salud por consumo de *Oreochromis niloticus*, agua de grifo, agua superficial y sedimentos de presa, contaminados con metales pesados en comunidades cercanas a una mina de cobre y a la presa Adolfo Ruiz Cortines, Sonora, México.

Balderrama-Carmona A. P.^{1*}, Bisher-Álvarez Y.¹, Silva-Beltrán N. P.²,
Ayala-Parra P. A.¹, Felipe-Ortega-Fonseca X.¹

¹Universidad de Sonora, Departamento de Ciencias Químico Biológicas y Agropecuarias, Unidad Regional Sur, Navojoa, Sonora, México.

²Universidad de Sonora. Campus Cajeme. Departamento de Ciencias de la Salud, Cajeme, Sonora, México.

Cite this paper/Como citar este artículo: Balderrama-Carmona A. P., Bisher-Álvarez Y., Silva-Beltrán N. P., Ayala-Parra P. A., Felipe-Ortega-Fonseca X. (2019). Health risk assessment of the consumption of *Oreochromis niloticus*, tap water, surface water and prey sediment contaminated with heavy metals in communities close to a copper mine and to Adolfo Ruiz Cortines dam, in Sonora, Mexico. *Revista Bio Ciencias* 6(nesp): e522. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.06.nesp.e522>



ABSTRACT

Food chain alteration with heavy metals is one of the most important concerns in public health and food safety. This research reports the first monitoring of heavy metals in the Adolfo Ruiz Cortines dam in Alamos, municipality of Sonora, Mexico. Concentrations of Arsenic (As), Lead (Pb), Mercury (Hg) and Copper (Cu) were analyzed by atomic absorption spectrophotometry coupled to the hydride generation system. A health risk assessment was carried out calculating cumulative doses of As and Pb in tap water, *Oreochromis niloticus* (known as tilapia) and dam sediments. The results of this research reveal that the

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: June 06th 2018. .

Accepted/Aceptado: October 01st 2018.

Available on line/Publicado: December 06th 2018.

RESUMEN

La contaminación de la cadena alimenticia con metales pesados es una de las preocupaciones más importantes en salud pública e inocuidad alimentaria. Esta investigación reporta el primer monitoreo de metales pesados en la presa Adolfo Ruiz Cortines perteneciente al municipio de Álamos, Sonora, México. Las concentraciones de Arsénico (As), Plomo (Pb), Mercurio (Hg) y Cobre (Cu) se analizaron mediante espectrofotometría de absorción atómica acoplada a generador de hidruros. Se realizó una evaluación de riesgos a la salud calculando las dosis de As y Pb cumulativas en agua de grifo, *Oreochromis niloticus* y sedimentos costeros. Los resultados de esta investigación revelan que la fuente más importante de arsénico es *Oreochromis niloticus* y de plomo es el consumo de agua de grifo. La población más afectada son los niños, alcanzando un índice de riesgo cumulativo por exposición a Pb de Hlc= 3.302388 y para As de Hlc=7.351969. En

*Corresponding Author:

Ana Paola Balderrama Carmona. Universidad de Sonora, Blvd. Lázaro Cárdenas 100, Colonia Francisco Villa C.P. 85880, Navojoa, Sonora, México. Phone: +52(642) 425 9969. E-mail: pabal@navojoa.uson.mx

most important source of arsenic in humans is *Oreochromis niloticus* and for lead it is the consumption of tap water. Children are the most affected population, reaching a cumulative risk index for exposure to Pb of Hlc = 3.30 and for As of Hlc = 7.35. This study estimated that communities close to Adolfo Ruiz Cortines dam, present a potential health risk due to the consumption of *O. niloticus*, tap water and dam sediments contaminated with Pb and As.

KEY WORDS

Heavy metals, mining pollution, arsenic, lead, tilapia.

Introduction

Heavy metals are contaminants that may affect the health of human beings, animal and vegetal species due to their toxicity, persistence and bioaccumulation properties (Yi *et al.*, 2011). Contamination of the food chain is the most relevant route of exposure in individuals (Ratul *et al.*, 2018), which is why the removal of heavy metals in food and water is one of the main challenges for food safety (WHO, 2013).

Mining activities, manufacturing processes, combustion and pesticides are the main sources generating significant concentrations of heavy metals. These pollutants are discharged in water bodies, which are biomagnified (Wuana & Okiyeimen, 2011; Liu *et al.*, 2018), in turn, these metals can be deposited in sediments and stored in riverbeds, and also infiltrated in underground water (Yi *et al.*, 2011; Wongsasuluk *et al.*, 2014).

Locations close to mines have been reported in worldwide scientific literature to contain metals at levels exceeding criteria for potable and surface water (Calla & Cabrera, 2010; Yi *et al.*, 2011; Wongsasuluk *et al.*, 2014; Modoi *et al.*, 2014). High concentrations of metals in the organism of living beings affect the biochemical and physiological processes producing diverse pathologies. Chronic exposition to heavy metals can produce lesions in skin, neurological disorders, diabetes, cardiovascular problems and cancers (Tchounwou *et al.*, 2012).

Adolfo Ruiz Cortines dam is located in the southern of Sonora, is also known as "El Mocúzarit," whose waters

este estudio se estimó que en las comunidades cercanas a la presa Adolfo Ruiz Cortines existe un riesgo potencial a la salud por consumo de *O. niloticus*, agua de grifo y sedimentos costeros contaminados con Pb y As.

PALABRAS CLAVE

Metales pesados, contaminación minera, arsénico, plomo, tilapia.

Introducción

Los metales pesados son contaminantes que debido a su toxicidad, persistencia y propiedad de bioacumulación pueden afectar la salud del ser humano y de especies vegetales y animales (Yi *et al.*, 2011). La contaminación de la cadena alimenticia es la ruta de exposición más importante en las personas (Ratul *et al.*, 2018), por lo que la eliminación de metales pesados de alimentos y agua es uno de los principales retos de la inocuidad alimentaria (WHO, 2013).

Las actividades mineras, procesos de fabricación, combustión y plaguicidas son las principales fuentes encargadas de generar considerables concentraciones de metales pesados que son descargados en los cuerpos de agua los cuales son biomagnificados (Wuana & Okiyeimen, 2011; Liu *et al.*, 2018), a su vez éstos metales pueden sedimentarse y ser almacenados en lechos de ríos, también pueden infiltrarse en el agua subterránea (Yi *et al.*, 2011; Wongsasuluk *et al.*, 2014).

A nivel mundial se ha reportado en literatura científica que los sitios localizados cerca de minas contienen metales a niveles que exceden los criterios de agua potable y superficial (Calla & Cabrera, 2010; Yi *et al.*, 2011; Wongsasuluk *et al.*, 2014; Modoi *et al.*, 2014). Altas concentraciones de metales en el organismo de los seres vivos afectan los procesos bioquímicos y fisiológicos produciendo diversas patologías. La exposición crónica a metales pesados puede producir lesiones en la piel, trastornos neurológicos, diabetes, problemas cardiovasculares y cáncer (Tchounwou *et al.*, 2012).

En el sur del estado de Sonora se encuentra la presa Adolfo Ruiz Cortines también conocida como "El Mocúzarit", cuyas aguas se utilizan para irrigación en todo el Valle del Mayo e incluso parte de este cuerpo de agua es utilizado en la potabilizadora del municipio de Huatabampo. A escasos

are used for irrigation of crops of Valle del Mayo region. Part of this water reserve is even used in the water-treatment plant of Huatabampo municipality. At scarce meters from this dam, a private copper mine is installed, providing jobs to hundreds of habitants from Álamos and Navojoa municipalities. Communities of less than 400 people live in adjacent places to the dam and the mine, and also drink water from wells and consume fish from dam areas near to the copper mine.

In this study are detailed results of heavy metal analysis (As, Pb, Hg, and Cu) in surface water, dam sediment and *Oreochromis niloticus* (tilapia) from the Alfredo Ruiz Cortines dam and from tap water of Piedras Verdes and Conicárit communities nearby the dam and the copper mine. The objective of this research study was to assess human health risks for consuming *O. niloticus*, tap water and costal sediments contaminated with heavy metals in communities adjacent to a copper mine and to Adolfo Ruiz Cortines dam in Alamos, Sonora, Mexico.

Materials and Methods

Geographic location

In this study, heavy metals monitoring was performed for 9 months (including rainy and dry seasons) with a two-month frequency of As, Cu, Hg, Pb in surface water, tap water, sediment and fish in Adolfo Ruiz Cortines dam since May 2017 until March 2018. All the samples were collected in five strategic points: tap water was sampled in Conicárit and Piedras Verdes communities and surface water and dam sediments were sampled from the site where water is discharged from the mine, from the dock of fishermen's barges and from the area of cattle breeding (Figure 1).

Studied population

A total of 686 habitants was estimated to live in Conicárit and Piedras Verdes populations. Population size was assessed with a margin of error of 10 % and a confidence level of 90 % using statistic software Epi Info 7.2 with the purpose of performing a transversal study by means of consumption, health and symptomatology surveys (age, weight, sex, diseases, etc.) in these localities to estimate patterns of water and food consumption (size of portions and frequency of food intake).

metros de esta presa se encuentra instalada una mina de cobre particular que provee de trabajo a cientos de personas de los municipios de Álamos y Navojoa. Vecinos a la presa y a la mina se encuentran comunidades de menos de 400 personas, las cuales ingieren agua de pozos cercanos a la presa y consumen pescado de la misma.

En este artículo, se detallan los resultados de los análisis de metales pesados (As, Pb, Hg, y Cu) en agua superficial, sedimento costero y *Oreochromis niloticus* (tilapia) de la presa Adolfo Ruiz Cortines y de agua de grifo de las comunidades de Piedras Verdes y Conicárit cercanas a la presa y a la mina de cobre. El objetivo de esta investigación fue evaluar los riesgos a la salud humana por consumo de *O. niloticus*, agua de grifo y sedimentos costeros contaminados con metales pesados en comunidades vecinas a una mina de cobre y a la presa Adolfo Ruiz Cortines de Álamos, Sonora, México.

Materiales y Métodos

Ubicación geográfica

En este estudio se llevó a cabo un monitoreo durante 9 meses (los cuales incluyen temporada de lluvias y secas) con una frecuencia bimestral de As, Cu, Hg, Pb en agua superficial, agua de grifo, sedimento y pescado en la Presa Adolfo Ruiz Cortines desde mayo de 2017 hasta marzo de 2018. Todas las muestras fueron colectadas en 5 puntos estratégicos: el agua de grifo se recogió en las comunidades de Conicárit y Piedras Verdes y las muestras de agua superficial y de sedimentos costeros se tomaron del sitio de desemboque de escorrentías de la mina, del muelle de pangas de pescadores y del área de cría de ganado (Figura 1).

Población de estudio

Se estimó un total 686 personas viviendo en las poblaciones de Conicárit y Piedras Verdes. Se evaluó el tamaño de la población con un margen de error del 10 % y nivel de confianza del 90 % usando el software estadístico Epi Info 7.2 con la finalidad de realizar un estudio transversal mediante encuestas de consumo, salud y sintomatología (edad, peso, sexo, enfermedades, etc.) en las localidades, para estimar patrones de consumo de agua y alimentos (tamaños de las porciones y la frecuencia de ingesta).

Recolección de las muestras

Las muestras de agua y sedimentos fueron colectadas en frascos de polietileno lavados previamente

Sampling

Water and sediment were sampled in polyethylene bottles, previously washed with concentrated nitric acid and distilled water (1:1). Regarding water, samples (tap water and surface water), they were sampled from the surface, taking care of not incorporating soil, next were added after sampling 0.5 mL of nitric acid free of metals (Omnitrace), for preservation. The sediments were collected from the marine surface riverbed (20 cm) and for fish being the highest sale and consumption; tilapia (*O. niloticus*) samples were bought in the area of anglers' barges, the fishes were saved in polyethylene bags with zipper until reaching the laboratory. Samples were kept refrigerated until its analysis in the Biochemistry and Toxicology laboratory (BTL) of the University of Sonora, south regional campus.

Heavy metals analysis

Samples were transported in an icebox until reached BTL. Samples were digested by wet chemistry analysis with nitric acid at 70 %. Atomic absorption spectrophotometry coupled to a hydride generation system (DOF, 2018) was used to quantify heavy metals. The

con ácido nítrico concentrado y agua destilada (1:1). En cuanto a las muestras de agua (de grifo y superficial) fueron tomadas de la superficie cuidando no incorporar suelo, inmediatamente después de la toma de muestra se adicionaron 0.5 mL de ácido nítrico libre de metales (Omnitrace) para su preservación. El sedimento fue tomado de lecho marino superficial (20 cm); y finalmente por ser el pescado de mayor venta y consumo, fueron compradas en el área de pangas las muestras de tilapia (*O. niloticus*), las cuales fueron colectadas en bolsas de polietileno con cierre hasta el laboratorio. Las muestras fueron almacenadas en refrigeración hasta su análisis en el laboratorio de Bioquímica y Toxicología de la Universidad de Sonora, Unidad Regional Sur.

Análisis de las muestras

Las muestras fueron trasladadas en hielera hasta el laboratorio de Toxicología Ambiental en el Instituto Tecnológico de Sonora donde fueron digeridas vía húmeda con ácido nítrico al 70 %, analizándose por duplicado y con sus respectivos reactivos blancos y soluciones estándar como control de calidad y procesadas de acuerdo con la norma NMX-AA-051-SCFI-2016, utilizando

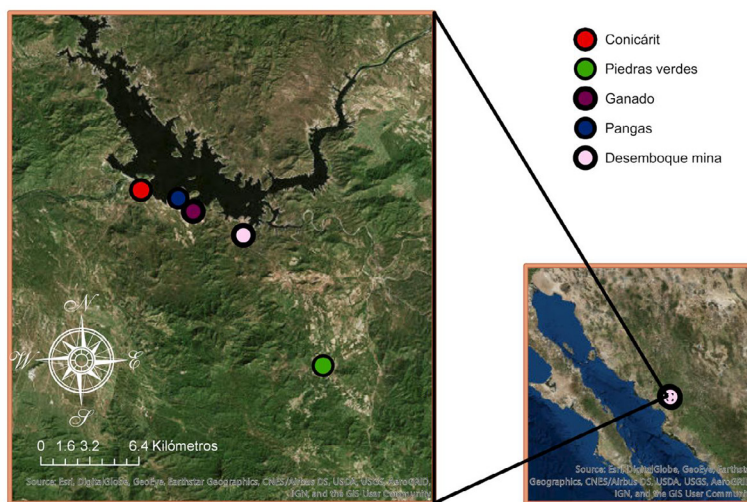


Figure 1. Satellite image of the location of the 5 sample points next to Adolfo Ruiz Cortines Dam (ArcGIS Pro, 2017).

Figura 1. Imagen satelital de la ubicación de los 5 puntos de muestreo aledaños Presa Adolfo Ruiz Cortines (ArcGIS Pro, 2017).

Analysis was performed by duplicates and with its respective blank reagents and standard solutions as quality control, processed according to the NMX-AA-051-SCFI-2016 standard. Detection limits of the method were the following ($\mu\text{g metal/L}$): Pb (200), Cu (4), Hg (1.27) and As (0.92). In Figure 1 the strategic sampling points are illustrated.

Health risk assessment

To assess health risk, an Exposure Assessment Model was implemented (US EPA, 2009) for AS, Cu, Hg and Pb consumption in *O. niloticus*, surface water, tap water, coastal sediments. To calculate the dose for each source, the following formula was used (US EPA, 1989; CIDA, 2009):

$$\text{Dose (water, sediments, fish)} = \frac{C \times I \times AF \times Th \times Td \times Tw}{Pc \times 16 \times 365}$$

Where: C (mg kg^{-1} ó mg L^{-1}), is heavy metal concentration in sediments or in water (calculation is done in both sources using the highest determined concentration); I (kg or L per day), is the water or sediment intake in children and adults; AF, is the absorption factor in the gastrointestinal tract (a value of 1 is used); Th (hours), hours of exposure per day (0-16); Td, days of exposure in a week (0-7); Tw, weeks of exposure in a year (0-52); Pc (kg), individual body weight. The dose is the quantity of heavy metals ingested per kilograms of body weight in a day ($\text{mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$).

Cumulative Risk Index (Hlc) was calculated according to the following equation:

$$\text{Hlc} = \frac{\sum \text{Dose}}{\text{RfD}}$$

Reference dose RfD in $\text{mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ was 0.0035 for lead, 0.0003 for arsenic, 0.04 for copper and 0.0003 for mercury (HC, 2012; WHO, 2017, US EPA, 2017). A potential health risk was considered when Hlc was higher than 0.2 (HC, 2012).

Data analysis

Surveys were analyzed using the statistic software Epi Info 7.2. Averages and geometrical means were obtained using Excel, 2017. Risk analysis was performed using Risk Calculation Tools software (CIDA, 2009).

espectrofotometría de absorción atómica acoplada a generador de hidruros (DOF, 2018). Los límites de detección del método fueron los siguientes: $200 \mu\text{g Pb/L}$, $4 \mu\text{g Cu/L}$, $1.27 \mu\text{g Hg/L}$ y $0.92 \mu\text{g As/L}$.

Evaluación de los riesgos a la salud

Para evaluar el riesgo a la salud se implementó el modelo de evaluación de la exposición (US EPA, 2009) por consumo de As, Cu, Hg, Pb en *O. niloticus*, agua superficial, agua de grifo, sedimentos costeros. Para el cálculo de la dosis por cada fuente se utilizó la siguiente fórmula (US EPA, 1989; CIDA, 2009):

$$\text{Dosis (agua, sedimentos, pescado)} = \frac{C \times I \times AF \times Th \times Td \times Tw}{Pc \times 16 \times 365}$$

Donde: C (mg kg^{-1} ó L^{-1}), es la concentración de metales pesados en sedimentos o en agua (se produce el cálculo en ambas fuentes utilizando la máxima concentración determinada); I (kg ó L por día), es la ingesta de agua o sedimento en niños o adultos; AF, es el factor de absorción en el tracto gastrointestinal (se utiliza el valor de 1); Th (horas), horas de exposición por día (0-16); Td, días de exposición durante una semana (0-7); Tw, semanas de exposición en un año (0-52); Pc (kg), peso corporal del individuo. La dosis es la cantidad de metales pesados ingeridos por kilogramo de peso corporal al día ($\text{mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$).

El índice de riesgo acumulativo (Hlc) se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Hlc} = \frac{\sum \text{Dosis}}{\text{RfD}}$$

La dosis de referencia RfD en $\text{mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ son de 0.0035 para plomo, 0.0003 para arsénico, 0.04 para cobre y 0.0003 para mercurio (HC, 2012; WHO, 2017; US EPA, 2017). Se considera que existe un riesgo potencial a la salud humano cuando se calcula un HI mayor a 0.2 (HC, 2012).

Análisis de los datos

Las encuestas fueron analizadas usando el software estadístico Epi Info 7.2. Los promedios y medias geométricas se obtuvieron utilizando Excel, 2017. El análisis de riesgo se llevó a cabo utilizando el software Risk Calculation Tools (CIDA, 2009).

Resultados y Discusión

Esta investigación es resultado del primer monitoreo de metales pesados en la presa Adolfo Ruiz

Results and Discussion

This work results from the first monitoring of heavy metals in Adolfo Ruiz Cortines "El Mocúzarit" dam. In the transversal study performed in Piedras Verdes and Conicárit (n=85), survey respondents were 42 % men and 58 % women, which ranged between 3 and 65 years (mothers responded to surveys for their minor children). Surveys indicated that tilapia fished in the dam is the highest consumed food; which is consumed at least three times a week (97 %); water intake in men, women and children, survey respondents declared they consume 2, 1.2 and 0.7 liters of tap water per day, respectively. As well, surveys asserted that families use the dam for recreational activities; among the visited families the main economic activity of householders is fishing (60 %).

Monitoring results indicate values in tap water from 0.0155 to 45.81 ppm of Pb, 0.00092 to 0.0302 ppm of As and for Hg and Cu, values were below detection limit <0.00127 and <0.004 ppm, respectively. Regarding values reported in *O. niloticus*, results ranged between 0.2 and 27.5 ppm of Pb, 0.181 to 1.187 ppm of As, in these samples values of Hg and Cu were also below detection limit. Concentrations in sediments for Pb were from 0.115 to 81.5 ppm, for As 0.6695 to 3.958 ppm, for Cu 3.95 to 78.05 ppm and for mercury below detection limit of the equipment. Concentrations in surface water for Pb ranged between 0.075 and 2.62 ppm, for As 0.00092 to 0.0302 ppm and Hg and Cu were below the detection limit. Averages and geometrical means of results are shown in Table 1.

According to Mexican standard (NOM-127-SSA1-1994), the permissible limit (PL) of Pb is 0.01 ppm or mg.L⁻¹ in potable water, results in this study are higher than PL in 100% of the analyzed samples. Regarding As levels, results were higher than PL of 0.025 ppm, in May and October 2017. Hg and Cu PL were 0.001 and 2 ppm, respectively in potable water, which were not exceeded at the monitoring, performed in the current research (DOF, 2018b).

In previous studies in regions close to those studied in this research (around 250 km), values of 0.05-0.12 ppm of Pb and of 0.002-0.305 ppm of As were calculated in potable water, similar results were given for arsenic in the current research; however, lead concentrations

Cortines "El Mocúzarit". El estudio transversal fue realizado en Piedras Verdes y Conicárit (n=85), los encuestados fueron 42 % hombres y 58 % mujeres los cuales oscilaron entre los 3 a los 65 años (las encuestas de los menores fueron respondidas por sus madres). Indicaron que el alimento de mayor consumo es la tilapia, pescada en la presa; la cual, según los entrevistados, consumen al menos 3 veces por semana (97 %); en cuanto a la ingesta de agua, en hombres, mujeres y niños; los participantes declararon que consumen 2, 1.2 y 0.7 litros de agua de grifo, respectivamente por día. También en las encuestas, se afirmó que las familias utilizan la presa para actividades recreativas, entre las familias visitadas la principal actividad económica de los jefes de familia es la pesca (60 %).

Los resultados del monitoreo indican valores en agua de grifo de 0.0155 a 45.81 ppm de Pb, 0.00092 a 0.0302 ppm de As y para Hg y Cu los valores estuvieron por debajo de los límites de detección <0.00127 y <0.004, respectivamente. En cuanto a los valores reportados en *O. niloticus*, los resultados oscilaron entre 0.2 a 27.5 ppm de Pb, 0.181 a 1.187 ppm de As, en éstas muestras los valores de Hg y Cu también estuvieron por debajo de los límites. Las concentraciones en sedimentos pesqueros para Pb fueron de 0.115 a 81.5 ppm, para As 0.6695 a 3.958 ppm, Cu 3.95 a 78.05 ppm y mercurio por debajo de la detección del equipo. En agua superficial el Pb estuvo entre 0.075 a 2.62 ppm, As de 0.00092 a 0.0302 ppm y Hg y Cu por debajo de los límites de detección. Los promedios y medias geométricas de los resultados se pueden observar en la Tabla 1.

Según la normatividad mexicana (NOM-127-SSA1-1994), el límite permisible (PL) de Pb es 0.01 ppm ó mg L⁻¹ en agua potable, los resultados en este estudio son mayores a éste en el 100 % de las muestras analizadas. En cuanto a los niveles de As en los meses de mayo y octubre de 2017 donde los resultados fueron mayores al PL de 0.025 ppm. Los PL de Hg y Cu son 0.001 y 2 ppm, respectivamente en agua potable los cuales no fueron rebasados en el monitoreo llevado a cabo en la presente investigación (DOF, 2018b).

En estudios anteriores en regiones cercanas a este estudio (alrededor de 250 km) se calcularon valores de 0.05–0.12 ppm de Pb y de 0.002–0.305 ppm de As en agua potable, resultados similares se dieron para arsénico en la presente investigación, sin embargo, las concentraciones de plomo fueron mayores en el presente estudio (Wyatt *et al.*, 1998). En sedimentos costeros, en el Río San Pedro, Sonora, se reportaron niveles de Pb de 40-60 ppm (Gómez-Alvarez *et al.*, 2007), los cuales fueron superiores a los encontrados, en promedio, en el presente estudio.

Table 1.
Heavy metals (Pb, As, Hg and Cu) concentrations (in ppm) of surface and tap water, coastal sediment and *Oreochromis niloticus*.

Tabla 1.
Concentraciones (ppm) de metales pesados (Pb, As, Hg y Cu) en agua superficial, de grifo, sedimentos costeros y *Oreochromis niloticus*.

PPM		Dam water	Tap water	Sediment	<i>O. niloticus</i>
Pb	AV	0.4955	5.837	18.847	9.295
	MG	0.268	0.188	2.397	1.006
As	AV	0.01164	0.01108	2.469	1.0361
	MG	0.0064	0.0041	2.1809	0.7096
Hg	AV	0.00127	0.00127	0.00127	0.00127
	MG	0.00127	0.00127	0.00127	0.00127
Cu	AV	0.004	0.004	38.783	0.004
	MG	0.004	0.004	21.959	0.004

AV: average; MG: geometric mean. Numbers in bold represent averages above Mexican standard (NOM-127-SSA1-1994; NOM-001-SEMARNAT-1996).

AV: promedio; MG: media geométrica. Los números en negritas representan a los promedios que se encuentran por arriba de la normatividad mexicana (NOM-127-SSA1-1994; NOM-001-SEMARNAT-1996).

were higher in the current research (Wyatt *et al.*, 1998). In coastal sediments, in San Pedro river, Sonora, Pb levels of 40-60 ppm were reported (Gómez-Álvarez *et al.*, 2004), which were higher than those found, in average, in the current study.

To assess health risk in communities, exposure variables have to be established, which are presented in Table 2; moreover, it was taken into account that people consume tilapia three times a week and absorption factors considered for As and Pb were 0.03 and 0.006, respectively (HC, 2012). Children were considered to play and bathe on the shore of the dam and householders fishermen's hands were considered to be in contact with coastal sediments at least 24 days per year. Three different scenarios were assessed: risk in children and adults, the last ones differentiated by gender (men and women), no distinction was made among adults' age.

Risk index was calculated only for As and Pb, for the reasons previously mentioned. In Figures 1 and 3, risk index was observed on each one of the samples where, according to the resulting calculations, the main source of arsenic is fish consumption and the main source of lead is tap water intake, children being the most affected population.

Para llevar a cabo una estimación de los riesgos a la salud en las comunidades fue necesario establecer los parámetros de exposición, los cuales, se encuentran en la Tabla 2; además se tomó en cuenta que el consumo de tilapia es 3 veces por semana y el factor de absorción considerado para As es 0.03 y para Pb de 0.006 (HC, 2012). Se toma en cuenta que al menos 24 días al año los niños juegan y se bañan a la orilla de las aguas de la presa y que las manos de los pescadores jefes de familia están en contacto con los sedimentos costeros. Se evaluaron tres escenarios diferentes: riesgo en niños y adultos, los últimos diferenciados por género (hombres y mujeres), no se hizo distinción entre la edad de los adultos.

Se calculó el índice de riesgo únicamente para As y Pb, por las razones mencionadas anteriormente. En las figuras 1 y 3 se observa el índice de riesgo en cada una de las muestras, donde según los cálculos obtenidos en este estudio, la principal fuente de arsénico es el consumo de pescado y de plomo es la ingesta de agua de grifo, siendo los niños la población más afectada.

En una evaluación de riesgos anteriormente llevada a cabo en el sur de Sonora por Meza-Montenegro *et al.*, (2012), se probó que existe una alta probabilidad de que la exposición de suelo agrícola contaminado con As y Pb produzca efectos

Table 2.
Considered variables for health risk assessment of heavy metal consumption and exposure (Pb and As).

Tabla 2.
Parámetros considerados para la estimación de riesgos a la salud en metales pesados (Pb y As).

Assumptions	Children	Women	Men
Water consumption (L/day)* ¹	0.7	1.2	2
Costal sediment consumption (g/day) ²	8x10 ⁻⁴	2x10 ⁻⁴	2x10 ⁻⁴
Dermic contact with sediment (cm ²)* ³	3620	890	N/A
<i>O. niloticus</i> consumption (g)* ⁴	50	100	150
Body weight (kg)* ⁵	15	60	75

*1,4 and 5 Variables from the transversal study.

*2 Exposure factors handbook (US EPA, 2011).

*3 PQRA 2004 model from Canadian Minister of Health.

*1,4 y 5 Parámetros del estudio transversal.

*2 Manual de exposición (US EPA, 2011).

*3 Ministerio de salud de Canadá modelo PQRA 2004.

A previous health risk assessment conducted in southern Sonora by Meza-Montenegro *et al.*, (2012) demonstrated that there is a high probability for exposure to agricultural soil contaminated with As and Pb to produce adverse effects on health, this result supporting results of the present study, where a potential effect on health was found by consumption of tap water and *O. niloticus* contaminated with As and Pb; besides in both studies, children were shown to present the highest risk index. It has to be emphasized that other studies report similar findings: Monroy *et al.*, (2002) informed that in blood samples of children from San Luis Potosí, Mexico, heavy metals are bioavailable; besides, similar risk assessments to the present study reported that there is a higher health risk of contamination by heavy metals in children than in adults (Giri & Singh, 2015; Liu *et al.*, 2018).

Although Hlc in children is the highest among the assessed populations, this index might be underestimated, due to the fact that, according to recent studies from World Health Organization (2017), acute exposure to lead is more significant in children, since their brain and nervous system can take up 4 to 5 times more Pb than adults. In research studies, a higher health risk is reported in men than in women, due to occupational and consumption issues, men from those communities are specifically more exposed to heavy metal sources. However, women are physiologically more vulnerable than men since they naturally accumulate a higher quantity of

adversos a la salud, éste resultado respalda los resultados en esta investigación en donde se encontró un potencial efecto a la salud por el consumo de agua de grifo y *O. niloticus* contaminados con As y Pb además en ambos estudios se calculó que los niños son los que tienen mayor índice de riesgo. Hay que recalcar que otros estudios reportan hallazgos similares: Monroy *et al.* (2002) informaron que, en muestras sanguíneas de niños de San Luis Potosí, México, los metales pesados están biodisponibles; por otro lado, en evaluaciones de riesgos similares a este estudio han reportado que es mayor el riesgo a la salud por metales pesados en niños que en adultos (Giri & Singh, 2015; Liu *et al.*, 2018).

A pesar que el HI en niños es el mayor entre las poblaciones evaluadas, éste índice puede estar subestimado debido a que según estudios recientes de la Organización Mundial de la Salud (2017), la exposición aguda a plomo es más notable en niños, porque su cerebro y sistema nervioso puede absorber de 4 a 5 veces más Pb que los adultos. En investigación se reporta un riesgo a la salud mayor en hombres que en mujeres, esto se debe a que por cuestiones ocupacionales y de consumo, los varones de estas comunidades específicamente están más expuestos a las fuentes de metales pesados. No obstante, las mujeres son fisiológicamente más vulnerables que los hombres debido a que naturalmente acumulan mayor cantidad de grasa corporal, lo que aumenta la bioacumulación (Karastergiou *et al.*, 2012; Park & Lee, 2013).

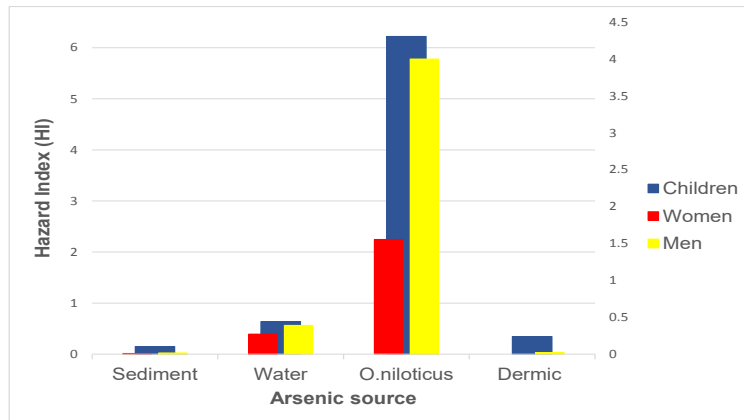


Figure 2. Risk index of contamination by Arsenic source in: children, men and women living close to Adolfo Ruiz Cortines dam.

Figura 2. Índice de riesgo por fuente de Arsénico en: niños, hombres y mujeres que viven cerca de la presa Adolfo Ruiz Cortines.

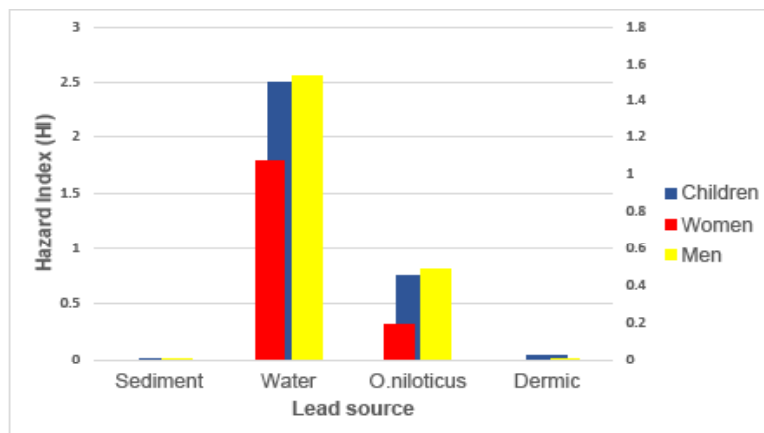


Figure 3. Risk index of contamination by Lead source in: children, men and women living close to Adolfo Ruiz Cortines dam.

Figura 3. Índice de riesgo por fuente de plomo en: niños, hombres y mujeres que viven cerca de la presa Adolfo Ruiz Cortines.

body fat, increasing bioaccumulation (Karastergiou *et al.*, 2012; Park & Lee, 2013).

Calculations of cumulative risk index are based on the sum of doses per heavy metal source (Table 3). Estimated Hlc for arsenic and lead were higher than 0.2 in all the assessed scenarios; therefore, in this research study a potential health risk for exposure to arsenic and lead was reported in Piedras Verdes and Conicárit communities was reported.

Los cálculos del índice de riesgo acumulativo están basados en la sumatoria de las dosis por fuente de metales pesados (Tabla 3). El Hlc para arsénico y plomo estimado fue mayor a 0.2 en todos los escenarios evaluados, por lo que en esta investigación se reporta que tanto para hombres, mujeres y niños en las comunidades de Piedras Verdes y Conicárit existe un riesgo potencial a la salud por exposición a arsénico y plomo.

Table 3.
Doses and cumulative risk index (Hlc) in children, women and men from Piedras Verdes and Conicárit.

Tabla 3.
Dosis e índice de riesgo cumulativo (Hlc) en niños, mujeres y hombres originarios de Piedras Verdes y Conicárit.

Doses (mg kg ⁻¹ day ⁻¹)	Children		Women		Men	
	Pb	As	Pb	As	Pb	As
Sediment	4.9035E-05	4.4614E-05	3.0647E-06	2.7884E-06	5.2537E-06	4.7801E-06
water	0.00874930	0.00019081	0.00374970	8.1775E-05	0.00535671	0.00011682
<i>O. niloticus</i>	0.00264592	0.00186635	0.00066148	0.00046659	0.00170095	0.00119979
Dermic	0.00011411	0.00010382			6.0117E-06	5.4697E-06
Total	0.01155836	0.00220559	0.00441424	0.00055115	0.00706892	0.00132687
Hlc*	3.302388	7.351969	1.261212	1.837166	2.019692	4.422883

*Ratio of total dose per heavy metal source to reference dose (RfD), where RfD (Pb)= 0.0035, RfD (As)= 0.0003.

*Cociente de la dosis total por fuente entre la dosis de referencia (Rfd). Donde Rfd (Pb)= 0.0035, Rfd (As)= 0.0003.

Conclusions

There is a potential human health risk for exposure to As and Pb in communities living close to Adolfo Ruiz Cortines dam. Monitoring of water flow from the dam is recommended, mainly because it sustains 3+300 channel which provides potable water to Huatabampo municipality, Sonora. An evaluation of whether assessed health risks for As and Pb are originated by mining activities is required.

Acknowledgements

This research study was founded by Mayo River Irrigation District. We thank engineer José Manuel Delgado for his collaboration in sampling. As well, we thank the Environmental Toxicology laboratory for its support in sample analysis, especially to engineer Claudia Lucía Osorio Rosas.

References

- Calla, L. H. & Cabrera, C. C. (2010). Calidad del agua en la cuenca del río Rímac, sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras. *Revista del Instituto de Investigaciones de la facultad de Geología, Minas, Metalurgia y ciencia Geográficas*, 13 (25): 87-94. <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/399>

Conclusiones

Existe un riesgo potencial a la salud humana por exposición a As y Pb en las comunidades que viven cerca de la Presa Adolfo Ruiz Cortines. Se recomienda monitorear el recorrido de las aguas de la presa, sobre todo porque estas alimentan el canal 3+300 que es el que provee de agua potable al municipio de Huatabampo, Sonora. Es necesario evaluar si los riesgos a la salud estimados para As y Pb son originados por la actividad minera.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por el Distrito de Riego del Río Mayo. Se agradece al Ing. José Manuel Delgado por su colaboración en la recolección de las muestras. También se reconoce al laboratorio de Toxicología Ambiental por su apoyo en el análisis de las muestras, especialmente a la Ing. Claudia Lucía Osorio Rosas.

- CIDA (Canadian International Development Agency). (2009). Risk Calculation Tools. Canada: The World Bank.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). (2018). NMX-AA-051-SCFI-2016. Análisis De Agua: Medición de Metales por Absorción Atómica en Aguas Naturales, Potables, Residuales y Residuales Tratadas- Método de Prueba. Diario Oficial de la Federación. (2016).
- DOF (Diario Oficial de la Federación). (2018b). NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Diario Oficial de la Federación. (2014).
- Giri, S. & Singh, A. K. (2015). Human health risk assessment via drinking water pathway due to metal contamination in the groundwater of Subarnarekha River Basin, India. *Environmental Monitoring Assessment*, 187: 63. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4265-4>
- Gómez-Álvarez, A., Valenzuela-García, J. L., Aguayo-Salinas, S., Meza-Figueroa, D., Ramírez-Hernández, J. and Ochoa-Ortega, G. (2007). Chemical partitioning of sediment contamination by heavy metals in the San Pedro River, Sonora, Mexico. *Chemical Speciation & Bioavailability*, 19 (1): 25-35. <https://doi.org/10.3184/095422907X198013>
- HC (Health Canada). (2012). Federal Contaminated Site Risk Assessment in Canada, Part I: Guidance on Human Health Preliminary Quantitative Risk Assessment (PQRA), Version 2.0. http://hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contam/site/part-partie_i/index-eng.php
- Karastergiou, K., Smith, S. R., Greenberg, A. S. and Fried, S. K. (2012). Sex differences in human adipose tissues – the biology of pear shape. *Biology of sex differences*, 3: 1-12. <https://doi.org/10.1186/2042-6410-3-13>
- Liu, S., Tian, S., Li, K., Wang, L. and Liang, T. (2018). Heavy metal bioaccessibility and health risks in the contaminated soil of an abandoned, small-scale lead and zinc mine. *Environmental Science and Pollution Research*, 25: 15044-15056. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1660-8>
- Meza-Montenegro, M. M., Gandolfi, A. J., Santana-Alcántar, M. E., Klimecki, W. T., Aguilar-Apodaca, M. G., Del Río-Salas, R., De la O-Villanueva, M., Gómez-Álvarez, A., Mendivil-Quijada, H., Valencia, M. and Meza-Figueroa, D. (2012). Metals in residential soils and cumulative risk assessment in Yaqui and Mayo agricultural valleys, northern Mexico. *Science of The Total Environment*, 433: 472-481. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.06.083>
- Modoi, O. C., Roba, C., Török Z. and Ozunu A. (2014). Environmental Risks Due to Heavy Metal Pollution of Water Resulted from Mining Wastes in Nw Romania. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13 (9): 2325-2336. http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/pdfs/vol13/no9/full/26_348_Modoi_14.pdf
- Monroy, M., Diaz-Barriga, F., Razo, I. and Carrizales L. (2002). Evaluación de la contaminación por arsénico y metales pesados (Pb, Cu, Zn) y análisis de riesgo en salud en Villa de la Paz-Matehuala, S.L.P. Tesis maestría Instituto de Metalurgia U.A.S.S.L.P. <http://ambiental.uaslp.mx/docs/fdbymmf-020701-notacontvpmat.pdf>
- Park, S. & Lee, B. K. (2013). Body Fat Percentage and Hemoglobin Levels Are Related to Blood Lead, Cadmium, and Mercury Concentrations in a Korean Adult Population (KNHANES 2008–2010). *Biological Trace Elements Research*, 151: 315-323. <https://doi.org/10.1007/s12011-012-9566-7>
- Ratul, A. K., Hassan, M., Uddin, M. K., Sultana, M. S., Akbor, M. A. and Ahsan, M. A. (2018). Potential health risk of heavy metals accumulation in vegetables irrigated with polluted river water. *International Food Research Journal*, 25(1): 329-338. [http://www.ifrj.upm.edu.my/25%20\(01\)%202018/\(44\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/25%20(01)%202018/(44).pdf)
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K. and Sutton, D. J. (2012) Heavy Metal Toxicity and the Environment. In: Luch A. (eds) Molecular, Clinical and Environmental Toxicology. *Experientia Supplementum*, 101: 133-164. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6
- US EPA. (United States Environmental Protection Agency). (1989). Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I Human Health Evaluation Manual. Cincinnati (OH): USEPA. EPA/540/1-89/002. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/rags_a.pdf
- US EPA. (United States Environmental Protection Agency). (2009). Human-Health Assessment Scoping Document in Support of Registration Review: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Prevention, Pesticides, and Toxic Substances, Office of Pesticide Programs, U.S. Government Printing Office: Washington, DC.
- US EPA. (United States Environmental Protection Agency). (2011). Exposure Factors Handbook: 2011 Edition. Washington DC:EPA/600/R-09/052F)
- US EPA. (U.S. Environmental Protection Agency). (2017). Glyphosate; CASRN 1071-83-6. <https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/>

- [iris_documents/documents/subst/0057_summary.pdf](#)
- WHO (World Health Organization). (2013). Guidelines for drinking-water quality (4th ed.). http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/9789241548151_toc.pdf
- WHO (World Health Organization). (2017). Fact sheet: Lead poisoning and health. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/en/>
- Wongsasuluk, P., Chotpantarat, S., Siriwong, W. and Robson, M. (2013). Heavy metal contamination and human health risk assessment in drinking water from shallow groundwater wells in an agricultural area in Ubon Ratchathani province, Thailand. *Environ Geochem Health*, 36: 169-182. <https://doi.org/10.1007/s10653-013-9537-8>
- Wuana, R. A. & Okieimen, F. E. (2011). Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. International Scholarly Research Network, 2011: 20. <http://doi.org/10.5402/2011/402647>
- Wyatt, C. J., Fimbres, C., Romo, L., Méndez, R. O. and Grijalva, M. (1998). Incidence of Heavy Metal Contamination in Water Supplies in Northern Mexico. *Environmental Research*, 76: 114-119. <https://doi.org/10.1006/enrs.1997.3795>
- Yi, Y., Yang, Z. and Zhang, S. (2011). Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. *Environmental Pollution*, 159: 2575-2585. <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.06.011>