

# Evaluación eco-toxicológica de mercurio en aguas afectadas por la actividad minera en El Palmar Municipio Padre Pedro Chien, estado Bolívar, Venezuela

Fernando José Méndez Pereira<sup>\*1</sup>, Carlos Enrique Rondón<sup>1</sup>, Carlos Daniel Ayala Montilla<sup>1</sup>, Clifford Dennis Peña Guillén<sup>2</sup>, Wilmer Antonio Díaz Pérez<sup>3</sup>, José David Hernández Briceño<sup>2</sup>, Andrea Celeste Rojas Pernía<sup>2</sup>, Eylhen's Andrea Rangel Uzcategui<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>) Laboratorio de Espectroscopia Molecular, Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes, Mérida 5101, Venezuela

<sup>2</sup>) Laboratorio de Química Agrícola, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Universidad de los Andes, Mérida 5101, Venezuela

<sup>3</sup>) Herbario Regional de Guyana, Ciudad Bolívar

(\*) [mendezpfj@gmail.com](mailto:mendezpfj@gmail.com)

Recibido: 14/02/2022

Revisado: 25/03/2022

Aceptado: 01/04/2022

## Resumen

En la minería se utilizan sustancias tóxicas como el mercurio, usado de forma incorrecta, afecta al medio ambiente, por ende se realiza una evaluación eco-toxicológica en muestras de agua del Río Grande, y las minas de oro inactivas localizadas en el Estado Bolívar, Venezuela (Este: 650318; Norte: 896020). Para ello, se utilizó un método de absorción atómica (AAS) con vapor frío, arrojó características analíticas adecuadas para el análisis propuesto, el límite de detección es 0,15 µg/L, límite de cuantificación 0,5 µg/L, intervalo lineal de trabajo entre 0,5-8,0 µg/L. Se analizaron 70 muestras de agua y se detectó mercurio en un 59% de las muestras.

**Palabras claves:** absorción atómica; agua; contaminación; mercurio.

## Abstract

**Eco-toxicological evaluation of mercury in waters affected by mining activity in El Palmar, Padre Pedro Chien Municipality, Bolívar state, Venezuela.** In mining, toxic substances such as mercury are used, used incorrectly, it affects the environment, therefore an ecotoxicological evaluation is carried out in water samples from the Rio Grande, and the inactive gold mines located in the Bolívar State, Venezuela (East: 650318; North: 896020) of the State of Bolívar (Venezuela). To do this, an atomic absorption method (AAS) with cold vapor was used, the same yield adequate analytical characteristics for the proposed analysis, the detection limit is 0.15 µg/L, quantification limit 0.5 µg/L, linear working interval between 0.5-8.0 µg/L. 70 water samples were analyzed; mercury was detected in 59% of the samples.

**Keywords:** Atomic absorption; Water; Contamination; Mercury.

## Introducción

La región suroriental de Venezuela se ha caracterizado por poseer un alto potencial en el desarrollo de actividades mineras, lo que ha traído como consecuencia la contaminación ambiental por metales pesados, debido a la liberación de sustancias tóxicas que son utilizados para la extracción de minerales a largo plazo, luego estos son desechados en aguas de la zona, alterando las condiciones del medio ambiente y de los habitantes cercanos a estos sitios. Entre las sustancias tóxicas más utilizadas en la actividad minera, es conocido el mercurio, debido a que una vez agregado al agua, lavan el suelo para generar una amalgama, que luego se quema para finalmente obtener el mineral.

Es por esto que existe una acumulación de mercurio en los ríos y océanos<sup>1-2</sup>, así como también en la atmósfera depositándose

lejos de su fuente original, donde las bacterias lo absorben y lo convierten en una forma muy tóxica, el metilmercurio, que se abre camino en la cadena alimentaria hasta llegar a los seres humanos<sup>3-5</sup>.

Las formas en las que se encuentra el mercurio más comúnmente en la naturaleza son el inorgánico ( $Hg^{2+}$ )<sup>6</sup>, orgánico como metilmercurio  $CH_3Hg^+$  ( $MeHg^+$ )<sup>7-8</sup>, y la forma pura metálico o elemental  $Hg^0$  el cual es líquido a temperatura ambiente<sup>9</sup>, aunque tiende a evaporarse lentamente. Cada una de estas especies químicas de mercurio posee espectros diferentes de toxicidad<sup>10-11</sup>.

Un factor muy importante en la acumulación del metilmercurio, es que se absorbe más que otras formas<sup>12-13</sup>, a pesar de ello el mercurio inorgánico también puede ser absorbido pero por lo general en menores cantidades y con menor eficiencia que el

metilmercurio<sup>14</sup>. Esto conlleva que la Organización Mundial de la Salud (OMS) establezca en sus guías como concentración máxima que no sea perjudicial para la salud ni el medio ambiente un total de 0,2 µg/L de mercurio en agua de consumo humano<sup>15</sup>.

Por esta razón se realiza una evaluación eco-toxicológica, con el fin de observar el comportamiento del mercurio en aguas de las zonas que fueron afectadas por la actividad minera en el Estado Bolívar, y proponer la fito-remediación en los sitios con mayor acumulación de mercurio, para la posterior extracción y eliminación de estos contaminantes.

## Parte experimental

En este trabajo se utilizó para tomar las medidas de absorbancia un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin – Elmer modelo 3100 Norwalk Ct USA, controlado mediante un programa Perkin – Elmer, modelo 3100 Enhanced Data System. Como unidad de atomización se utilizó una celda de cuarzo en forma de 'T', y como fuente de radiación una lámpara de cátodo hueco de mercurio marca Perkin Elmer. La longitud de onda empleada fue de 253,7 nm para el elemento en estudio (Hg), con un ancho de rendija para todas las medidas de 0,7 nm. Los experimentos fueron realizados utilizando un sistema de flujo continuo, utilizando un separador de fases de 7 cm de longitud x 2 cm de diámetro interno, con 22 mL de capacidad, hecho de vidrio en el laboratorio.

Todas las soluciones fueron preparadas con reactivos de la más alta pureza disponible y de grado analítico. Se utilizó ácido clorhídrico de (Riedel-de Haen con un 37% de pureza, Alemania), borohidruro de sodio de (Sigma con un 98% de pureza, Alemania), hidróxido de sodio de (Riedel-de Haen, Alemania) El agua empleada para la preparación de soluciones y lavado de material de laboratorio, fue desionizada con resistividad específica de (18 MΩ/cm), obtenida en un sistema (Milli-Q plus U.S.A). Se preparó una solución estándar de (1000 mg/L de Hg<sup>2+</sup>) a partir de óxido de mercurio (II) HgO de (Merck, U.S.A).

En la planificación del muestreo se consideraron (02) dos minas inactivas llamadas El Arenal y Puente Roto, adicional a las cercanías del Río Grande, el cual distribuye el agua en estas dos zonas. En cuanto a las lagunas escogidas se realizó el muestreo de forma aleatoria, debido a la accesibilidad de la zona, por otra parte en el caso del Río Grande se realizó en los alrededores del afluente, en una parte cercana a la comunidad debido a que, se considera que los habitantes que se encuentran en los alrededores consumen agua de este sitio, en cuanto a los mapas temáticos de distribución de concentración de mercurio se realizó un análisis de interpolación de los datos a evaluar mediante el método de interpolación lineal usando el software QGIS, versión 2.18.

Los experimentos fueron realizados utilizando el sistema de flujo continuo mostrado en la figura 1, realizados mediante un procedimiento del Laboratorio de Espectroscopia Molecular<sup>16</sup>,

utilizando el sistema de flujo continuo. Las soluciones de los patrones o la muestra (flujo 6,0 mL/min) se acidifican con HCl 1M y luego esta se combina con el agente reductor NaBH<sub>4</sub> 0,5% m/v y NaOH 0,25% m/v, para pasar por los serpentines de mezclado y reacción L1 (5 cm de longitud) y L2 (5 cm de longitud), para la generación de las especies volátiles de mercurio. Luego de esto las especies MeHg y HgO generadas son separadas de la fase líquida y transportadas con la ayuda del gas de arrastre (nitrógeno, 150 mL/min) hacia la celda de cuarzo, para luego medir la absorbancia de los átomos del analito.

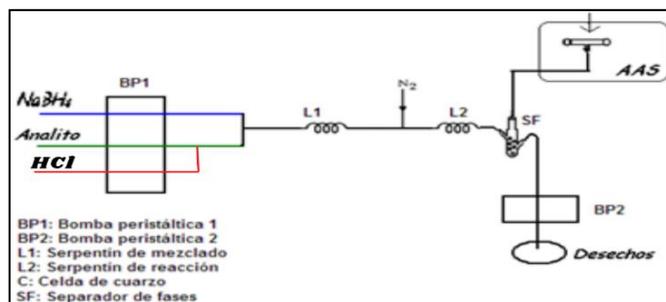


Fig. 1: Sistema de flujo continuo empleado en los experimentos realizados.

## Discusión de resultados

Se presenta la tabla 1 con los resultados de la curva de calibración sencilla y adición estándar realizada para las 6 diferentes concentraciones en ppb (0,5; 1; 2; 4; 6 y 8 µg/L).

Tabla 1. Resultados de curva de calibración sencilla y curva de adición estándar.

	Curva de calibración sencilla	Curva de adición estándar
Pendiente (m)	0,00996±0,00008	0,0108±0,0001
Corte (b)	0,0010±0,0003	0,0049±0,0005
Coef. de correlación lineal (r <sup>2</sup> )	0,9996	0,9992

Se realizó una prueba de diluciones para determinar el límite de detección de forma experimental, donde se observó que, para concentraciones menores de 0,15 µg/L no existen señales para mercurio en estudio. Por ende el límite de detección es de 0,15 µg/L y aplicando la fórmula  $LC=10DS$ , el límite de cuantificación es de 0,5 µg/L. En cuanto al intervalo lineal del mercurio está comprendido entre los valores de 0,5-8 µg/L.

Se estudió por triplicado con la metodología anteriormente descrita con la misma muestra, durante 10 días para un total de 30 réplicas con el fin de evaluar la precisión intermedia. Allí se observa que los porcentajes de recuperación promedio del mercurio en agua se encuentran entre el 103% y 104%, con una desviación estándar de 3 y 2.

Con el fin de evaluar la exactitud del método analítico utilizado se procedió a analizar una ampolla certificada "Standard Reference Material 1641b Mercury in water" a tres distintas concentraciones 2, 4 y 6 µg/L. Se realizó el proceso de medida por

triplicado con el método antes mencionado, donde se observa los porcentajes de recuperación promedio del mercurio en agua, los cuales oscilan entre el 103% y 104%, con una desviación estándar de 1 y 2. Claramente se puede observar que el método que se está utilizando para la cuantificación de mercurio en agua es exacto y preciso.

Así mismo, se llevó a cabo un estudio estadístico con el fin de comparar la pendiente entre la curva de calibración sencilla y la curva de adición estándar. El estadístico “t” de Student, se utiliza para monitorear los estudios estadísticos como comparación de dos coeficientes de regresión o pendientes para estimar con un 95 % de confianza<sup>17</sup>. Una vez aplicado la prueba estadística se tiene que la zona de aceptación (ZA) para la hipótesis nula de igualdad de las pendientes<sup>18</sup>:  $ZA: \{0,068 < 2,12\}$  Debido a que el valor de “t” calculado es menor que el “t” teórico, se acepta la hipótesis nula indicando que no existe diferencia significativa entre las pendientes bajo evaluación, por lo tanto se puede indicar que el método propuesto está libre de interferencias de tipo físico y químico por parte de la matriz.

Por otra parte, se presenta en la figura 2 el mapa de los puntos muestreados en la laguna 1 Sección 1, 2 y la laguna 2 de la mina inactiva El Arenal, laguna 1 de la mina inactiva Puente Roto y el Rio Grande, indicando la ubicación en coordenadas geográficas, incluido el país y Sudamérica.

En los resultados de la tabla 2, se puede apreciar concentraciones de mercurio en nueve muestras de las 14 que se encuentran en la sección 1 de la mina inactiva el Arenal, lo cual representa el 64% de las muestras en un intervalo de concentración máximo para el mercurio se encuentra entre  $[1,00; 1,10] \mu\text{g/L}$ . En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos en la sección 2 de la laguna 1 de la mina inactiva El Arenal.

*Análisis del contenido de mercurio en las muestras de agua en las minas inactivas de Puente Roto y El Arenal.*

A continuación, se presentan los resultados de determinación de mercurio en la laguna 1 sección 1, muestreada en la mina inactiva El Arenal.

**Tabla 2.** Resultados obtenidos de la presencia de mercurio en muestras de agua de la laguna 1 sección 1 de la Mina inactiva El Arenal.

Código	IC ( $\mu\text{g/L}$ )	Código	I ( $\mu\text{g/L}$ )	Código	IC ( $\mu\text{g/L}$ )
MEA1A01	0,10; 0,20	MEA1A06	0,40; 0,60	MEA1A11	0,60; 0,70
MEA1A02	ND	MEA1A07	ND	MEA1A12	0,50; 0,70
MEA1A03	ND	MEA1A08	0,10; 0,30	MEA1A13	0,20; 0,30
MEA1A04	1,00; 1,10	MEA1A09	ND	MEA1A14	ND
MEA1A05	0,10; 0,30	MEA1A10	0,80; 0,90		

IC: Intervalo de concentración [Valor mínimo promedio; valor máximo promedio]. ND: No detectable por el método utilizado.

**Tabla 3.** Resultados obtenidos de la presencia de mercurio en muestras de agua de la laguna 1 sección 2, de la mina inactiva El Arenal.

Código	IC ( $\mu\text{g/L}$ )	Código	IC ( $\mu\text{g/L}$ )	Código	IC ( $\mu\text{g/L}$ )
MEA1A15	0,20; 0,40	MEA1A20	ND	MEA1A25	0,40; 0,50
MEA1A16	ND	MEA1A21	0,40; 0,60	MEA1A26	ND
MEA1A17	0,20; 0,40	MEA1A22	0,10; 0,30	MEA1A27	ND
MEA1A18	0,10; 0,30	MEA1A23	0,30; 0,40		
MEA1A19	0,20; 0,40	MEA1A24	0,40; 0,50		

IC: Intervalo de concentración [Valor mínimo promedio; valor máximo promedio]. ND: No detectable por el método utilizado.



**Fig. 2:** Mapa de ubicación de los puntos muestreados en la laguna 1 Sección 1, 2 y la laguna 2 de la mina inactiva El Arenal, laguna 1 de la mina inactiva Puente Roto, y el Rio Grande.

De los resultados de la tabla anteriormente mencionada, se puede detallar concentraciones de mercurio en nueve muestras de las trece que se encuentran en la sección 2 de la mina inactiva el Arenal, lo cual representa el 69% de las muestras, el intervalo de concentración máximo para el mercurio se encuentra entre

**Tabla 4.** Resultados obtenidos de la presencia de mercurio en muestras de agua de la laguna 2 de la mina inactiva El Arenal.

Código	IC (µg/L)	Código	IC (µg/L)
MEA2A01	5,92; 6,42	MEA2A04	5,11; 5,52
MEA2A02	4,81; 5,11	MEA2A05	5,01; 5,42
MEA2A03	6,52; 6,72	MEA2A06	4,41; 4,61

IC: Intervalo de concentración [Valor mínimo promedio; valor máximo promedio]. ND: No detectable por el método utilizado.

[0,40; 0,60] µg/L. En la siguiente tabla se presentan los resultados de las determinaciones de mercurio en la Laguna 2 muestreada en la mina inactiva El Arenal.

En la tabla 4, se representan los resultados de las concentraciones de mercurio en la laguna 2 de la mina inactiva El Arenal, allí se puede valorar que en el 100% de las muestras recolectadas, se encuentra una concentración considerable de mercurio. El intervalo de concentración máximo para el mercurio se encuentra para este grupo de muestras entre [6,52; 6,72] µg/L. Seguidamente se presenta en la siguiente tabla los resultados de las determinaciones de mercurio en las muestras de agua de la laguna muestreada en la mina inactiva Puente Roto.

**Tabla 5.** Resultados obtenidos de la presencia de mercurio en muestras de agua en la mina inactiva Puente Roto.

Código	IC (µg/L)	Código	IC (µg/L)	Código	IC (µg/L)
MPR1A01	ND	MPR1A11	ND	MPR1A21	0,40; 0,60
MPR1A02	0,30; 0,50	MPR1A12	ND	MPR1A22	0,30; 0,40
MPR1A03	0,40; 0,60	MPR1A13	ND	MPR1A23	ND
MPR1A04	ND	MPR1A14	0,10; 0,20	MPR1A24	ND
MPR1A05	0,40; 0,60	MPR1A15	ND	MPR1A25	ND
MPR1A06	0,10; 0,20	MPR1A16	ND	MPR1A26	ND
MPR1A07	0,10; 0,20	MPR1A17	0,30; 0,50	MPR1A27	0,60; 0,70
MPR1A08	0,20; 0,40	MPR1A18	0,10; 0,30	MPR1A28	0,20; 0,40
MPR1A09	ND	MPR1A19	0,50; 0,70	MPR1A29	ND
MPR1A10	ND	MPR1A20	ND	MPR1A30	0,10; 0,20

IC: Intervalo de concentración [Valor mínimo promedio; valor máximo promedio]. ND: No detectable por el método utilizado.

De los resultados de la tabla 5, referidos a la laguna de la mina inactiva Puente Roto, se puede encontrar concentraciones de mercurio en quince muestras de treinta que fueron recolectadas, lo cual representa un 50% de aparición del mercurio. El intervalo de concentración máximo para el mercurio se encuentra entre [0,60; 0,70] µg/L. Para finalizar se presentan los resultados de una serie de muestras de agua recolectadas en los alrededores del Río Grande.

**Tabla 6.** Resultados obtenidos de la presencia de mercurio en muestras de agua del Río Grande.

Código	IC (µg/L)	Código	IC (µg/L)
RG1A01	ND	RG1A05	ND
RG1A02	ND	RG1A06	0,10; 0,20
RG1A03	ND	RG1A07	0,50; 0,60
RG1A04	ND		

IC: Intervalo de concentración [Valor mínimo promedio; valor máximo promedio]. ND: No detectable por el método utilizado.

De los resultados obtenidos en la tabla anteriormente mencionada, se puede deducir que en las muestras recolectadas en el Río Grande se observa concentración de mercurio en dos de siete muestras lo que representa un 29%, donde el intervalo de concentración máximo para el mercurio se encuentra entre [0,50; 0,60] µg/L. Para determinar la situación general respecto a la presencia de mercurio en las zonas de estudio, se realiza la sumatoria de la presencia de mercurio en cada uno de los sectores. Los resultados se detallan en la tabla 7.

**Tabla 7.** Porcentaje de aparición total del mercurio en las muestras de agua.

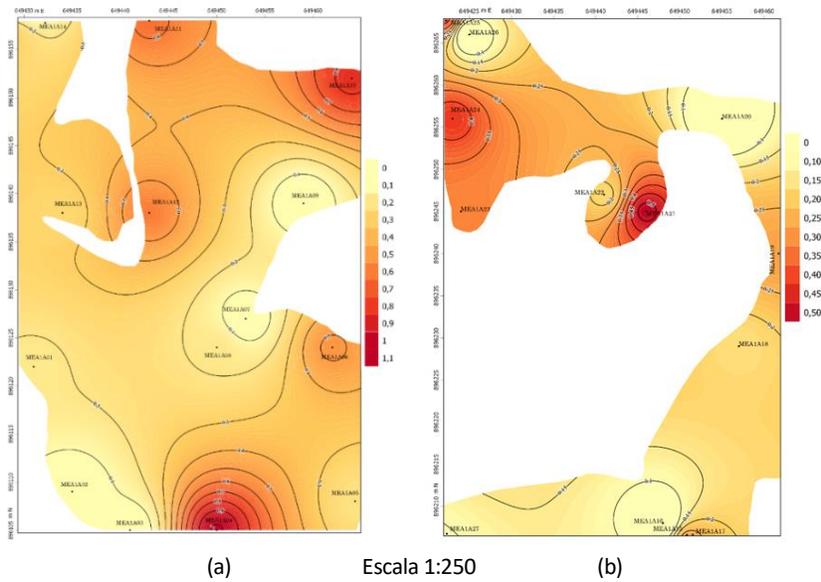
Zonas de estudio	Nº de muestras con mercurio en agua	Porcentajes (%)
MEA2	6	100
MEA1	27	69
MPR1	30	50
RG1	7	29

MEA1; laguna 1 mina inactiva El Arenal, MEA2; laguna 2 mina inactiva El Arenal, MPR1; mina inactiva Puente Roto, RG1; Río Grande.

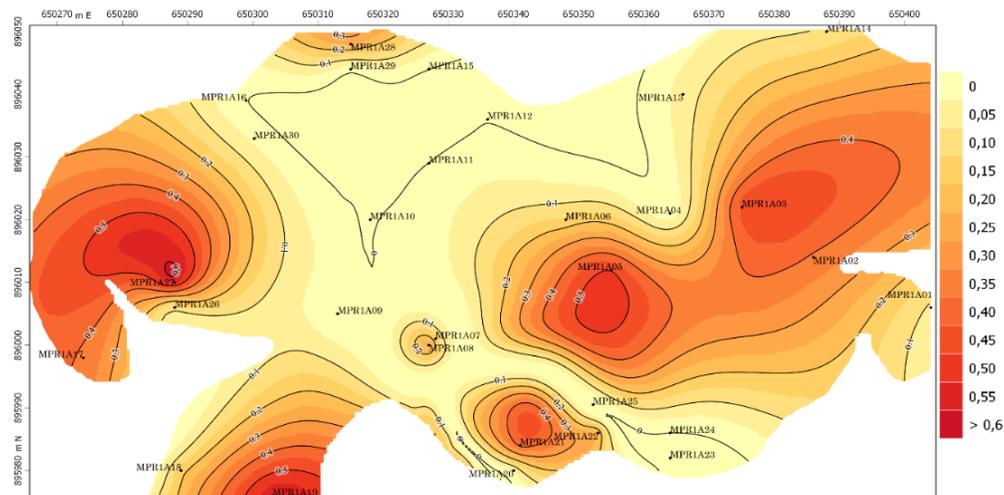
La información desplegada en la tabla 7, indica que el mayor porcentaje de mercurio se encuentra en la laguna 2 de la mina inactiva El Arenal con un 100% de aparición lo que es indicativo de que en esta zona fue inactivada recientemente, seguidamente tenemos la Laguna 1 de la mina inactiva El Arenal con un 69 % de mercurio lo que es indicativo de que este se está degradando, por mayor tiempo en el agua al igual que la mina inactiva Puente Roto con un porcentaje de 50%, finalmente se logra observar en el Río grande un 29 % de mercurio, esto es debido al uso de este río como desecho de todas las minas activas de la zona. A continuación, se presenta una serie de gráficos de los resultados de mercurio por zonas de muestreo.

La representación gráfica de los resultados anteriores de las concentraciones de mercurio en agua para la laguna 1 y 2 de la mina inactiva El Arenal así como también de la laguna de la mina Puente Roto, se presentan en los siguientes mapas temáticos, donde se puede visualizar la aparición de cada una de las concentraciones espacialmente.

En las figuras 3, 4 y 5 se puede observar la distribución de las concentraciones de mercurio en un mapa temático donde los puntos con altas concentraciones de mercurio, se encuentran coloreados con mayor intensidad que el resto, mostrando así los puntos MEA1A04, MEA1A06, MEA1A10, MEA1A11, MEA1A12 en la laguna 1 Sección 1 de la mina inactiva El Arenal, los puntos MEA1A21, MEA1A23, MEA1A24, MEA1A25 en la laguna 1 Sección 2 de la mina inactiva El Arenal, finalmente los puntos MPR1A03, MPR1A05, MPR1A17, MPR1A19, MPR1A21 y MPR1A27 para la laguna de la mina inactiva Puente Roto, siendo indicativo de que posiblemente en estas zonas se encontraban los desagües de la maquinaria utilizada para la minería, adicional a esto se puede observar cierta distribución y dispersión de las concentraciones de mercurio la cual se puede detallar con colores menos intensos, esto debido



**Fig. 3:** (a) Concentraciones de mercurio en muestras de agua laguna 1 Sección 1(µg/L) y (b) en muestras de agua laguna 1 Sección 2 (µg/L). Esc. 1: 250



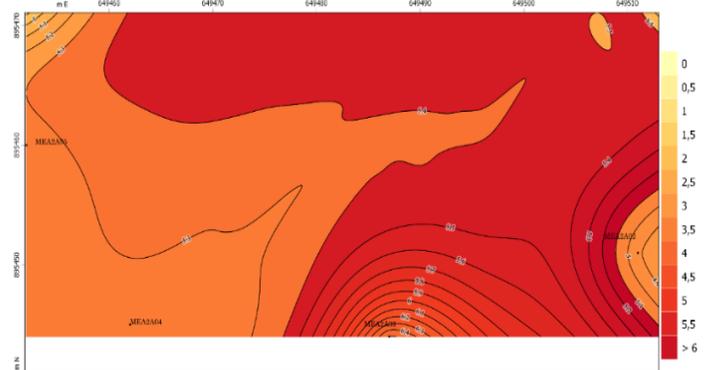
**Fig. 4:** Concentraciones de mercurio en muestras de agua de laguna en la mina inactiva Puente Roto (µg/L). Esc. 1: 360

a que el mercurio probablemente se esté depositando en el suelo y posteriormente en las plantas.

A continuación, se presenta la figura 5, el cual posee la representación de las concentraciones de mercurio en las muestras de agua de la Laguna 2 de la mina inactiva El Arenal. Donde se observa que la totalidad de las muestras presenta concentraciones altas de mercurio evidenciando su pronta inactividad con respecto a las otras lagunas, estas poseen un tiempo de inactividad no mayor a 2 años por el contrario las demás lagunas poseen un tiempo de inactividad de 8-10 años, lo que demuestra que con el pasar el tiempo disminuye la concentración de mercurio en el agua, posiblemente al ciclo biogeoquímico del mismo en el ambiente.

Es importante destacar que las altas concentraciones de mercurio encontradas en las lagunas y ríos de la zona en estudio producto de la actividad minera, entran en el ciclo biogeoquímico

del mercurio, el cual esta mediado por procesos geológicos y biológicos ampliamente distribuidos en los que el metal sufre diversas transformaciones físicas y químicas<sup>19</sup>.



**Fig. 5:** Concentraciones de mercurio en muestras de agua laguna 2 de la mina inactiva El Arenal (µg/L). Esc. 1:215

Este proceso inicia en el momento en que la actividad minera, deposita el mercurio elemental ( $Hg^0$ ) en las lagunas y ríos, donde una pequeña fracción del metal oxidado puede unirse a partículas sólidas, las cuales se depositan en la superficie del sedimento, donde ayudado de microorganismos se convierte en metilmercurio, y por su parte la otra fracción se mantiene en mercurio elemental la cual se evapora y se libera en la atmósfe-

ra hasta que la lluvia precipita el metal inorgánico y renueva el ciclo en los sistemas acuáticos<sup>20-21</sup>.

Así pues, el mercurio se libera al ambiente entrando a la cadena trófica, y más eficientemente en el agua, este se acumula en los peces en un proceso denominado biomagnificación en el que ocurre envenenamiento de quienes consuman los pescados<sup>22</sup>. En la figura 7(a) se puede apreciar el 52 % (14) de las muestras de agua en la laguna 1 de la mina inactiva El Arenal, en la figura 7(b) se puede detallar que el 100% (6) de las muestras de agua en la laguna 2 de la mina inactiva El Arenal, por otra parte en la figura 7(c) se observa un 33% (10) de las muestras de agua en la laguna de la mina inactiva Puente Roto y finalmente en la figura 7(d) se observa un 14 % (01) muestra de agua del Río Grande superan el valor establecido por la Organización Mundial de la Salud<sup>15</sup>, evidenciando en todas las zonas estudiadas la gran contaminación existente las cuales son perjudiciales para el medio ambiente y los seres humanos.

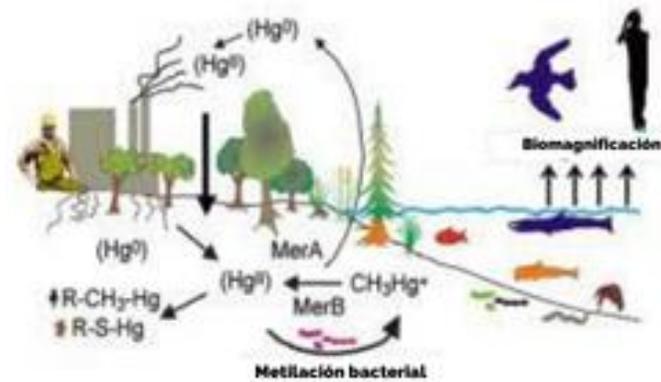
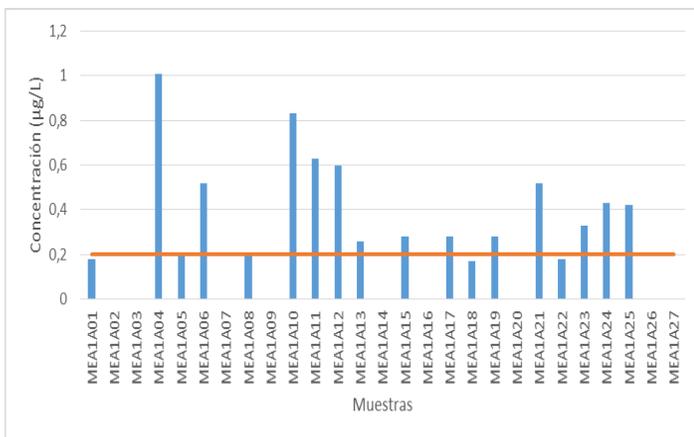
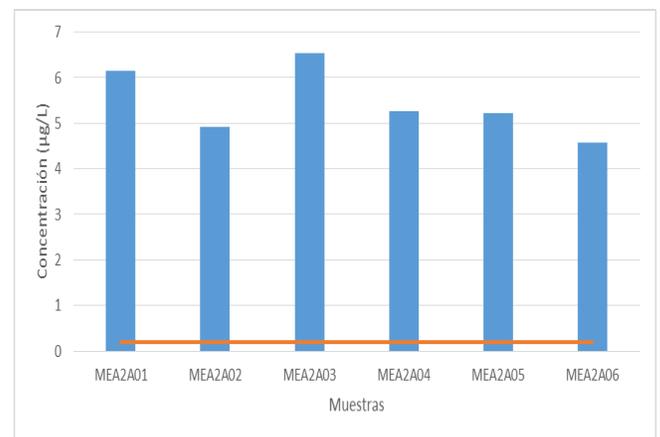


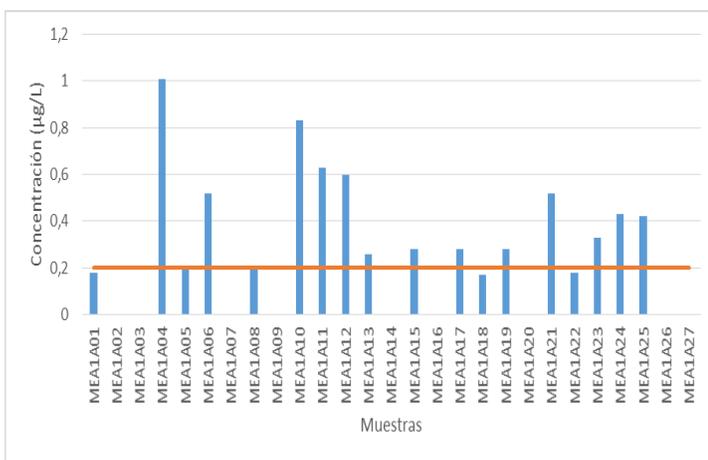
Fig. 6: Ciclo biogeoquímico del mercurio<sup>19</sup>.



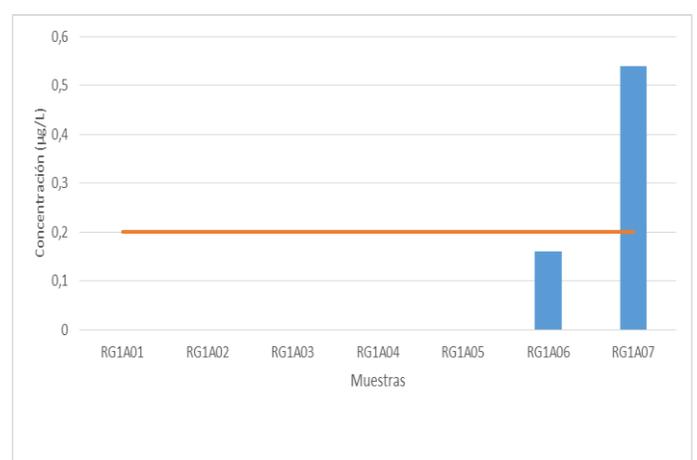
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 7: Concentraciones de mercurio en muestras de agua de (a) la laguna 1 de la mina inactiva El Arenal; (b) la laguna 2 de la mina inactiva El Arenal; (c) la laguna de la mina inactiva Puente Roto; (d) Río Grande

## Conclusiones

Las muestras de agua analizadas proporcionan evidencia de que los mineros del Municipio Padre Pedro Chien, utilizaron mercurio en las zonas afectadas por la explotación de oro, donde el sesenta y un por ciento, lo que equivale a veinte de las muestras en las lagunas de las minas inactivas de El Arenal, superan el valor establecido por la OMS, siendo indicativo que estas son perjudiciales para el medio ambiente y los habitantes de la zona. Adicionalmente el treinta por ciento, equivalente a once de las muestras en las minas inactiva Puente Roto y el Río grande, también supera el valor máximo establecido por la OMS para aguas perjudiciales con mercurio, encontrándose dentro del ciclo biogeoquímico del mercurio y por ende en las cadenas tróficas. Es por ello que se recomienda utilizar metodologías de fitoremediación en dichas zonas, ya que estas son amigables con el ambiente y posee la finalidad de recolectar el mercurio regresando el bosque a su estado natural, lo cual disminuiría de forma progresiva la contaminación del medio ambiente y de los mineros de la zona.

## Agradecimientos

El presente trabajo fue realizado con fondos del Proyecto de Ordenación Forestal Sustentable y Conservación de Bosques en la Perspectiva Ecosocial (GCP/VEN/0011/GFF), aportados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura en Venezuela.

## Referencias

1. C Ardila. Determinación de mercurio en organismos marinos de interés comercial y su relación con los niveles de la población de pescadores en algunas zonas del Pacífico colombiano. Trabajo especial de grado, Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones (2003).
2. S Paz, A Burgos, A Gutiérrez, C Hernández, G Lozano, C Rubio *et al.* El mercurio: contaminante marino y alimentario. **Ars Clínica Académica**, **3(3)**, 5-11 (2017).
3. N Sarmiento, P Nohelia. Determinación de los niveles de mercurio en los pescados de mayor consumo comercializados en los mercados de Tacna, 2017. Trabajo especial de grado de Químico Farmacéutico, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú (2020).
4. L Moncada. Estudio de Dieta Total: Estimación de la Ingesta de Mercurio en la Población Valdiviana. Trabajo especial de grado de Licenciado en Ciencias de los Alimentos, Universidad Austral de Chile (2008).
5. Grupo de trabajo Mercurio Cero (ZMWG). Contaminación por mercurio, exposición y riesgo. <https://www.ecologistasenaccion.org/25804/contaminacion-por-mercurio-exposicion-y-riesgo/> Consultado: 16/07/2021.
6. S Cano. Contaminación con mercurio por la actividad minera. **Revista Biomédica**, **32(3)**, 1-4 (2012).
7. O Díaz, F Encina, L Chuecas, J Becerra, J Cabello, A Figueroa *et al.* Influencia de variables estacionales, espaciales, biológicas y ambientales en la bioacumulación de mercurio total y metilmercurio en *Tagelus dombeii*. **Revista de Biología Marina y Oceanografía**, **36 (1)**, 15-29 (2001).
8. M Álvarez, J Mateos, M Peinado, M Capo. Capacidad bioindicadora de contaminación de agua por metilmercurio. **Observatorio Medioambiental**, **(9)**, 111 (2006).
9. J Guerrero, Z Ortiz. Biorremediación de la contaminación por mercurio en minería informal. **Revista Academia**, 1-7 (2013).
10. G Futsaeter, S Wilson. Evaluación mundial del mercurio del PNUMA: Fuentes, emisiones y transporte. En: E3S Web de Conferencias EDP Ciencias, (1), 36001 (2013).
11. M Posada, M Arroyave. Efectos del mercurio sobre algunas plantas acuáticas tropicales. **Revista EIA**, **(6)**, 57-67 (2006).
12. A Ramírez. Intoxicación ocupacional por mercurio. **Revista Anales de la Facultad de Medicina (UNMSM)**, **69(1)**, 46-51 (2008).
13. A Cabañero. Acumulación-interacción de especies de mercurio y selenio en tejidos animales desarrollo de nuevas metodologías de análisis. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones, España (2006).
14. A Gómez. Evaluación de la contaminación por vertimiento de mercurio en la zona minera, Pacarní-San Luis, Departamento del Huila. **Revista de Tecnología**, **12(1)**, 91-98 (2013).
15. Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2018. Licencia: CC-BY-NC-SA 3.0 IGO. Consultado: 16/07/2021.
16. A Vielma, P Carrero, C Rondón, M Medina. Comparación del contenido de minerales y elementos trazas en la harina de lombriz de tierra (*Eisenia foetida*) utilizando dos métodos de secado. **Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente**, **19(1)**, 83-89, (2007).
17. A Crespo. Métodos estadísticos: Ejercicios Resueltos y teoría. Editorial Universitat Politècnica de València, pags. 25-27 (2017). ISBN 978-84-9048-667-2.
18. M Badii, A Guillen, J Abreu. Nested ANOVA Application in Scientific Research. **Daena: International Journal of Good Science**, **9(2)**, 12-17 (2014).
19. C Marcela, G Castillo. Resistencia a la contaminación por mercurio-microorganismos y mecanismos moleculares asociados. Trabajo especial de grado, UNIANDES, Venezuela (2005).
20. P Carriquiriborde. Biomagnificación del mercurio en las redes tróficas del Río Uruguay y su implicancia sobre la aptitud para el consumo de especies de interés comercial y deportivo. Informe del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas (CONICET), Argentina (2018).
21. A Arcentales. Análisis de mercurio en agua y sedimento en un tramo del río Tenguel del Cantón Ponce Enríquez, Provincia Del Azuay. Trabajo especial de grado, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Ecuador (2021).

22. O Montaña. Contaminación fluvial de la minería aurífera y sus efectos en peces de consumo local y comercial en la desembocadura del Río Santiago, Provincia de Esmeraldas, Año 2012. Plan de manejo socioambiental. Trabajo especial de grado, Quevedo: UTEQ, Ecuador (2014).