
Metales pesados en el agua y en caracoles del género Pomacea del lago de Güija, Metapán, Santa Ana

Heavy metals in water and in snails of the genus Pomacea from lake Güija, Metapán, Santa Ana

Mildred Amparo Sandoval de Avelar

Licenciada en Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador (UES)

Investigadora de la Universidad Autónoma de Santa Ana (UNASA)

mildred.sandoval@unasa.edu.sv

<https://orcid.org/0000-0001-8509-2335>

Resumen

Esta investigación cuantificó las concentraciones de cadmio, arsénico, plomo y mercurio, en el agua, sedimento y el músculo de ejemplares de la especie *Pomacea flagellata* del lago de Güüja. Estos elementos son metales pesados que se encuentran naturalmente en cuerpos lacustres cuyo lecho tiene un origen volcánico y se consideran xenobióticos cuando son introducidos en cantidades adicionales por actividades humanas aumentando su biodisponibilidad para los organismos acuáticos. *Pomacea flagellata*, es un caracol que es capturado con fines de consumo y comercio en la zona. Fue una investigación de tipo y alcance descriptivo con diseño longitudinal abarcando la época seca y lluviosa de 2020; los metales pesados se analizaron por espectrofotometría de absorción atómica con llama, horno de grafito y generador de hidruros. Se observó un comportamiento inverso entre los niveles de metales durante la época seca y lluviosa, en muestras de agua y sedimento. Se evidenció bioacumulación de metales pesados en el músculo de caracol en el siguiente orden: As > Pb > Cd > Hg, por lo que es importante su monitoreo periódico, especialmente considerando que durante la época seca se observaron las mayores concentraciones de metales en las muestras y esto coincide con la temporada alta de captura de estos ejemplares en el lago de Güüja.

Palabras clave: metales pesados, *Pomacea flagellata*, sedimento, caracol manzana, lago de Güüja.

Abstract

This investigation quantified the concentrations of cadmium, arsenic, lead and mercury, in the water, sediment and the muscle of *Pomacea flagellata* from Güüja lake. These elements are heavy metals that are naturally found in lake bodies whose bed has a volcanic origin and are considered xenobiotic when they are introduced in additional quantities by human activities, increasing their bioavailability for aquatic organisms.

Pomacea flagellata, is a snail that is captured for consumption and trade in the area. It was an investigation of type and descriptive scope with longitudinal design covering the dry and rainy season of 2020, heavy metals were analyzed by flame absorption spectrophotometry, graphite furnace and hydride generator. An inverse behavior was observed between the metal levels during the dry and rainy season, in water and sediment samples. There is bioaccumulation of heavy metals in the snail muscle in the following order $As > Pb > Cd > Hg$, so its periodic monitoring is important, especially considering that during the dry season the highest concentrations of metals were observed in the samples and this coincides with the high season of capture of this species in the lake of Güija.

Key words: Heavy metals, *Pomacea flagellata*, sediment, apple snail, Güija lake

1. Introducción

Existen especies químicas consideradas como xenobióticos, término que expresa que una sustancia no pertenece a un ambiente determinado, este es el caso de los metales pesados, entre los que se encuentran el cadmio, arsénico, plomo y mercurio. Aunque naturalmente forman parte de los suelos de origen volcánico, se consideran sustancias xenobióticas cuando son introducidos en cantidades adicionales por actividades humanas, aumentando su concentración en los ambientes acuáticos, por lo que se incrementa el riesgo de biodisponibilidad de estos metales para los organismos acuáticos, y a su vez, el consumir alimentos con altas concentraciones de estos metales, podría perjudicar la salud si se consumen en grandes cantidades,

especialmente porque los metales pesados dañan los riñones al bioacumularse en ese órgano, provocando incluso, insuficiencia renal (Londoño, Londoño y Muñoz-García, 2016).

Las actividades mineras, procesos de fabricación, combustión y la aplicación de plaguicidas, son las principales fuentes de metales pesados descargados a los cuerpos de agua, provocando problemas de salud pública. Barrenechea (2009). Este es el caso del lago de Güija, un importante recurso hídrico del occidente del país, que forma parte del Humedal Complejo Güija, declarado como sitio Ramsar en 2010. Es un lago binacional compartido con Guatemala, y de sus 45 km², el 74% le corresponde a El Salvador

(Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales, 2013).

Desde hace varios años, se han realizado investigaciones sobre la contaminación del lago con residuos de minería, según Luna, Cosillo, Gordillo, Vendrel y Solís (2013), el principal contaminante encontrado en el agua del lago ha sido el arsénico, entre 2012 y 2015, el Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales (MARN), realizó una evaluación de elementos tóxicos del lago y sus ríos tributarios Angue, Ostúa y Cusmapa, determinando que los elementos cianuro, cobre, cinc, níquel, mercurio, aluminio, plomo, arsénico y cadmio se encontraban en niveles fuera de la normativa canadiense para la protección de vida acuática en el período evaluado, asimismo, los ríos Angue y Ostúa trasladaban metales pesados al lago y luego al río Desagüe, el cual trasladaba estos contaminantes al río Güajoyo, y posteriormente, eran vaciados al río Lempa, afectando la calidad de agua de consumo humano de muchos salvadoreños; no obstante lo anterior, no se encontró evidencia que el MARN u otro organismo hubiera realizado estudios sobre niveles de metales pesados en especies de interés alimentario en el lago, como es el caso de *Pomacea flagellata*, comúnmente conocido como caracol manzana o caracol chino (MARN, 2016).

El caracol manzana (*Pomacea flagellata*,

Lamarck, 1801), ha sido descrito por Jiménez-Pérez (2008), como una especie que habita el lago de Güija y que es capturado con fines de comercio y alimentación por pescadores de la zona. Según datos de Centro de Desarrollo de la Pesca y Acuicultura (2018), esta especie, fue introducida al país en 1998, por la misión técnica de Taiwán como parte de la cooperación agrícola del gobierno de ese país para contribuir a la seguridad alimentaria nacional como parte del proyecto “Fomento al Desarrollo de la Acuicultura en El Salvador”. De acuerdo a información brindada por algunos pescadores, actualmente en el lago de Güija, el promedio de captura de esta especie ronda las 25 libras semanales en temporada alta, las cuales se venden al detalle por un precio estimado de \$3.50 a \$4.00 por libra, la mayoría se comercializan en la zona occidental y otra parte se transporta en lancha hasta Guatemala para su posterior comercio y distribución en el vecino país.

Estos caracoles tienen la característica de ser omnívoros, su función en la naturaleza es la de limpiar los cuerpos de agua del sobre crecimiento de algas y detritus de plantas menores, restos de peces y otras especies vegetales y animales, incluyendo los mismos caracoles muertos, llegando a presentar canibalismo (Benavides, Chacón y Portillo, 2012). Según Fleita (2017), nutricionalmente, los caracoles son importantes fuentes de

minerales, ya que acumulan metales como el hierro, cobalto, cinc y otros en su músculo, y por esta característica pueden servir como bioindicadores de contaminación ambiental al tener la capacidad de almacenar metales pesados en su organismo (Benavides et al., 2012).

La importancia del monitoreo de estos elementos para la salud pública, radica en que por su persistencia en el ambiente participan en la génesis y progresión de la enfermedad renal, por el daño tubular que causan al riñón cuando ingresan al organismo. Franco (2017), reporta que en El Salvador, la Enfermedad Renal (ER), ha figurado entre las diez primeras causas de morbilidad desde el año 2000, por lo que considerando que tanto el agua y el sedimento del lago de Güija contienen metales pesados, que esta especie de caracoles viven en ese ecosistema, y que no se dispone de información sobre la seguridad del consumo de *Pomacea flagellata*, la realización de este estudio se consideró pertinente y durante 2020, se ejecutó una investigación de tipo y alcance descriptivo, con diseño longitudinal, cuantificando los niveles de metales pesados en muestras de agua, sedimento y tejido muscular de *Pomacea flagellata* por espectrofotometría de Absorción Atómica (AA) con llama, horno de grafito y generador de hidruros, para determinar la magnitud de la contaminación por estos elementos,

especialmente al tratarse de una zona protegida por la convención de humedales de importancia internacional Ramsar.

2. Metodología

Se realizó una investigación de tipo y alcance descriptivo con diseño longitudinal, durante el año 2020 (época seca-lluviosa) para cuantificar la concentración de metales pesados en muestras de agua, sedimento y ejemplares de *Pomacea flagellata* del lago, con el fin de detectar posibles variaciones de estos elementos en ambos períodos.

Las muestras de agua fueron recolectadas a 0.5 m de profundidad utilizando un automuestreador y se almacenaron en envases de polietileno previamente lavados con ácido nítrico al 10%, y abundante agua desionizada. El pH de las muestras se ajustó a valores menores o iguales a 2 con ácido nítrico concentrado para su preservación y posterior análisis.

Las muestras de sedimento fueron extraídas del fondo con una draga Ekkman y se recolectaron en bolsas de polietileno resistentes con autocierre y bandas de escritura.

Las muestras de caracoles se compraron a personas de las comunidades pesqueras del lago, según la disponibilidad en las fechas que se realizó dicho procedimiento.

Posteriormente, los caracoles se sacrificaron mediante la técnica de aturdimiento o sacrificio por hipotermia, procedimiento avalado por la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE), colocándolos en una hielera que contenía agua con hielo a 1 grado Celsius respectivamente.

Tras la aplicación del proceso anterior, las muestras se embalaron y transportaron en hieleras para su análisis. El muestreo fue por conveniencia y quedó finalmente constituido según la descripción de la Tabla 1, mientras que la distribución espacial y georreferencia de los puntos del muestreo seleccionados se detallan en la figura 1.

Tabla 1.

Muestra final y sitios de muestreo

Sitio de muestreo	Las Conchas	La Barra	El Roble	El Centro	Azacualpa	El Jicarito	El Estero	Total
Tipo de Muestra								
Agua	2 U	2 U	2 U	2 U	2 U	2 U	2U	14 U
Sedimento	2 U	2 U	2 U	2 U	2 U	2 U	2U	14 U
<i>Pomacea flagellata</i>	-	-	-	-	2 Kg	2 Kg	2 Kg	6 Kg

Nota: la tabla muestra las unidades tomadas en cada punto de muestreo.
Fuente: elaboración propia a través de los resultados de la investigación.



Figura 1. Sitios de muestreo en el lago de Güija, 1: El Desagüe: 14°24'56.6"N y 89°29'02.4"W; 2. El Centro: 14°24'43.2"N y 89°30'32.8"W; 3. El Roble: 14°24'27.8"N y 89°29'48.0"W; 4. La Barra: 14°28'40.9"N y 89°31'44.0"W; 5. Las Conchas:

14°29'56.9"N y 89°30'45.8"W, ▲: puntos de recolección de *Pomacea flagellata*.

Fuente: elaboración propia a partir de mapa tomado de Google maps.

Google. (s.f.). [Lago de Güija]. Recuperado el 9 de septiembre de 2021
<https://www.google.com/maps/place/Lago+de+G%C3%BCija/@14.2665292,-89.5622698,10508m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x8f62f88be6188671:0xc59354aba0df3b2d!8m2!3d14.2681978!4d-89.5261707>

Los metales pesados se cuantificaron por Espectrofotometría de Absorción Atómica (AA) con llama, horno de grafito y generador de hidruros, utilizando un espectrofotómetro marca Thermoscientific ICE 3500 en muestras

de agua, sedimento del fondo y tejido muscular de *Pomacea flagellata*, realizando la respectiva curva de calibración para cada matriz, con estándares certificados según las condiciones descritas en la Tabla 2.

Tabla 2.*Parámetros analíticos*

Elemento	Longitud de onda (λ) nm	Estándares curva ($\mu\text{g/L}$)	Fórmula ajuste
Arsénico (As)	193.7	5.00, 10.00, 15.00, 25.00 y 50.00	Y= 0.00432x + 0.0165 (1) Y= 0.00427x + 0.0110 (2)
Cadmio (Cd)	228.8	1.00, 3.000, 5.00 y 10.00	Y= -0.000452 x ² + 0.03128x + 0.0034 (1) Y= -0.001084 x ² + 0.03471x + 0.0053 (2)
Plomo (Pb)	217.0	5.00, 10.00, 15.00 y 25.00	Y= 0.02361x + 0.0100 (1) Y= 0.01608x + 0.0095 (2)
Mercurio (Hg)	253.7	1.00, 3.00 y 5.00	Y= -0.000361 x ² + 0.00923x + 0.0002 (1) Y= -0.000294 x ² + 0.00872x + 0.0005 (2)

Nota: la tabla incluye las condiciones analíticas para las lecturas, los números entre paréntesis indican la formula obtenida para los muestreos realizados en cada época.

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de la investigación.

Para asegurar la precisión de la cuantificación de metales pesados, se realizó el cálculo de desviación estándar residual (RSD%), considerándose aceptable, si se encontraba por debajo del criterio de aceptación del 10%.

3. Resultados

La cuantificación de metales pesados en los diferentes tipos de muestra durante la época seca y lluviosa se presentan en la Tabla 3.

Para el caso del sedimento, el plomo y el arsénico superaron incluso los máximos valores de la curva de calibración.

De acuerdo a los hallazgos, durante la época seca se evidencia un aumento de arsénico y mercurio en el agua y el sedimento.

Se pudo evidenciar que *Pomacea flagellata*, concentra en el músculo, cantidades variables de metales pesados, pero en la época lluviosa, se da una mayor concentración de arsénico y plomo.

Tabla 3.*Metales pesados en muestras de Pomacea flagellata, agua y sedimento del lago*

Época	Tipo de muestra	As µg/L ± % RSD	Cd µg/L± % RSD	Pb µg/L± % RSD	Hg µg/L± % RSD
Lluviosa	<i>Pomacea</i>	15.16 ± 3.5	2.32 ± 6.7	7.78 ± 1.1	0.64 ± 7.5
Seca	<i>flagellata</i>	3.98 ± 3.0	1.29 ± 0.3	1.13 ± 2.0	1.13 ± 2.0
Lluviosa	Agua	3.01 ± 9.8	0.18 ± 5.4	0.17 ± 9.1	0.22 ± 4.8
Seca		3.77 ± 2.6	0.12 ± 6.0	2.39 ± 1.8	0.17 ± 5.8
Lluviosa	Sedimento	81.57 ± 2.5	0.83 ± 2.4	72.0 ± 5.7	4.37 ± 3.3
Seca		82.42 ± 1.9	1.42 ± 1.7	102.30 ± 1.5	0.43 ± 5.1

Nota: µg/L ±%RSD, los valores en rojo corresponden a aquellos que sobrepasan el estándar de mayor concentración en curva.

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de la investigación.

Ninguno de los valores descritos en la Tabla 3 sobrepasaron los criterios de calidad del agua para la protección de vida acuática de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA).

En el caso del sedimento, la concentración de plomo superó tanto en época seca como lluviosa el valor del nivel de bajo efecto (NBE) (72.0 y 102.3 ppm vs 31 pmm), pero no el nivel de efecto severo (NES, 250 pmm), descritos en las Normas para la Protección y el Manejo de Sedimentos Acuáticos de Ontario, Canadá.

4. Discusión

Según el análisis de los resultados de la cuantificación de metales pesados, los cuatro elementos incluidos en este estudio están presentes en todas las muestras analizadas, en cantidades fluctuantes, según la época del año,

manifestándose un comportamiento inverso entre los niveles de arsénico, cadmio y plomo durante la época seca y la lluviosa. Sin embargo, aunque están presentes, ningún elemento sobrepasó los valores permisibles establecidos en la normativa correspondiente para Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor (NSO 13.49.01:09). En la época seca aumentan los niveles de arsénico y plomo lo cual puede indicar la entrada de estas sustancias desde otras fuentes; sin embargo, tampoco sobrepasaron los niveles máximos recomendados por la US EPA, por lo que convendría ampliar el estudio al monitoreo de metales en el agua de los ríos tributarios del lago en un ciclo hidrológico completo, para observar su comportamiento actual.

Se encontraron cantidades importantes de arsénico, plomo y cadmio, en agua y sedimento, lo cual coincide con los hallazgos de una investigación realizada por el MARN

(MARN, 2016), lo cual indica que la situación reportada en ese monitoreo se mantiene a la fecha, por lo que en esta situación pueden estar involucrados el vulcanismo circumpacífico, la erosión y otras actividades antrópicas que acontecen en los alrededores del lago, así como la entrada de residuos generados por la industria minera, pues según el mismo estudio, los ríos Angue y Ostúa transportaban ambos elementos en sus aguas y su lecho también estaba contaminado con plomo y arsénico (MARN, 2016), por lo que se evidencia que esta situación persiste hasta la fecha. Con base en estos hallazgos, conviene determinar el factor de enriquecimiento del sedimento para distinguir objetivamente entre origen natural o antropogénico de estos metales, asimismo el índice de geo acumulación para evaluar el grado de contaminación por metales pesados.

En cuanto al análisis de sedimento, El Salvador no cuenta con una normativa propia para sedimentos de cuerpos lacustres, solamente incluye a los metales pesados como análisis complementarios de sustancias peligrosas de lodos especiales, en el Reglamento Técnico Salvadoreño (RTS13.05.01:18), con la indicación de reportar la cantidad en mg/Kg o ppm, por lo tanto se tomó como parámetros de comparación, los criterios de uso de la tierra y texturas de suelo incluidos en las tablas de *Canadian Soil Quality Guidelines for The Protection of Environmental and Human*

Health y de acuerdo a los hallazgos, ninguno sobrepasa los límites establecidos, sin embargo la mayor concentración en época seca, puede deberse a la precipitación en el fondo del lago al cesar las lluvias.

El incremento de la concentración de metales pesados en *Pomacea flagellata* durante la época lluviosa, posiblemente esté relacionada con una mayor disponibilidad del metal disuelto en el agua, lo cual coincide con los hallazgos de Ramírez (2016) para cadmio en músculo de caracol. Por otra parte, el mercurio, se encuentra más elevado durante la época seca, lo cual posiblemente se relacione con una bioacumulación posterior a la metilación de este metal, por lo que conviene continuar la investigación en esta y otras especies dulceacuícolas en el lago con la cuantificación de metil mercurio.

5. Conclusiones

La cuantificación de metales pesados indica que los cuatro elementos analizados están presentes tanto en agua, sedimento como en caracoles, en concentraciones que fluctúan a lo largo del ciclo hidrológico, sin embargo, se tuvo la limitante de no tener disponible una normativa específica para contenido de metales en caracoles dulceacuícolas para establecer una mejor comparación, asimismo, el confinamiento de 2020 incidió en las fechas de muestreo originalmente programadas.

Pomacea flagellata es un buen biomonitor del estado del agua del lago de Güija, especialmente en lo referente a la contaminación por metales pesados en ese ecosistema.

Existe bioacumulación de metales pesados en el músculo de caracol, por lo que es importante su monitoreo periódico, especialmente considerando que durante la época seca se observaron las mayores concentraciones de metales en las muestras y esto coincide con la temporada alta de captura de esta especie en el lago de Güija, lo cual estaría conllevando a una mayor ingesta del metal por parte de quienes los consumen.

La mayor concentración de metales pesados en músculo de caracol correspondió al arsénico (15.16 ug/L) y la menor fue de 0.64 ug/L para el mercurio en ese tipo de muestra.

La mayor concentración de plomo se encontró en muestras de sedimento durante la época seca (102.3 ug/L), seguido del arsénico (82.42 ug/L) en ese mismo período.

En muestras de agua, la mayor concentración para metales también correspondió al arsénico en la época seca (3.77 ug/L) y la menor correspondió a mercurio (0.17 ug/L), tanto en caracoles como en agua se observó el mismo comportamiento.

No se recomienda la ingesta frecuente de *Pomacea flagellata* capturado en el lago, debido a que se demostró con base en los resultados, que tiende a acumular metales en su organismo, sin embargo, pueden preferirse los de menor tamaño, para que su consumo no represente un riesgo a la salud del consumidor.

Conviene ampliar el monitoreo de metales pesados a la detección de metil mercurio en esta y otras especies de interés alimentario en el lago, ya que este elemento puede sufrir metilación y bioacumularse en los organismos acuáticos alcanzando al hombre a través de la cadena alimenticia provocando daño tubular al riñón.

Agradecimientos

Los investigadores agradecen al señor Marcelo Hernández Aldana por el apoyo recibido para la logística en la toma de muestras en el lago.

Referencias bibliográficas

Barrenechea, A. (2009). *Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua*. Capítulo 1. Recuperado de

<http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoI/uno.pdf>.

Benavides, J., Chacón, M., Portillo, N. (2012). *Evaluación bioeconómica de alojamientos y densidades de siembra para el cultivo de caracoles de agua dulce (*Pomacea flagellata*)*.

Universidad de El Salvador. Recuperado de:

<http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2203/1/13101311.pdf>

Centro de Desarrollo la Pesca y Acuicultura (2018). *Base de datos del Lago de Güija, Metapán, Santa Ana. División de Fomento y Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura, Departamento de Desarrollo y Producción Acuícola. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Santa Tecla, La Libertad, El Salvador*.

Londoño, L. Londoño, P. Muñoz, F. (2016). *Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal*. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14 (2), 145-153.

Luna, J. Cosillo, A. Gordillo, C. Vendrel, P. Solís, L. Navichoque, G. Contreras, L. (2013). *Análisis de la información en la cuenca Ostúa-Güija, con énfasis en la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, y la incidencia del proyecto minero Cerro Blanco* (1). Centro de Estudios Superiores de Ingeniería y Minas de la Universidad San Carlos de Guatemala. Recuperado de <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2013/02/INFORME-FINAL-ANALISIS-CUENCA-OSTUA-GÜIJA-10-DE-JUNIO.pdf>.

Fleta, J. (2017). *El caracol como alimento y como terapia*. Scribd. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/398428778/DialnetElCaracolComoAlimentoYComoTerapia-6407242>.

Franco, V. (2017). *Mortalidad de personas con insuficiencia renal crónica en el Instituto Salvadoreño del Seguro Social 2000-2016*. Rev Alerta. Recuperado de <http://alerta.salud.gob.sv/?p=1972>.

Misterio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2013). *Complejo Guija*. Recuperado de <https://marn.gob.sv/complejo-Güija/>.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). *Evaluación de elementos tóxicos en el lago de Güija y sus efluentes ríos Angue, Ostúa y Cusmapa (mayo 2012-octubre 2015)*. Recuperado de <http://www.marn.gob.sv/descargas/Menu/Temas/Recurso%20Hidrico/Calidad%20de%20Agua/Calidad%20de%20Agua%20Güija%202015.pdf>.

Ramírez, N. (2016). *Determinación de Cadmio en los ríos Guayas, Daule y Babahoyo mediante el estudio de Concentraciones en Agua, Sedimento y en el Caracol Manzana Pomacea canaliculata (Lamarck, 1822) (Caenogastropoda: Ampullariidae)*. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/12113>.