

Determinación de contaminación por mercurio en cuerpos hídricos dentro del área de influencia de los rellenos sanitarios de la provincia de Sucumbíos

Averos Josselyn¹

lblg2017016@uea.edu.ec

Ramírez Dayana¹

lblg2017095@uea.edu.ec

Bravo Luis, M.Sc²

lbravo@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Biología (1)

Resumen

El presente estudio se desarrolló en la provincia de Sucumbíos, para determinar la contaminación por mercurio en cuerpos hídricos dentro del área de influencia de los rellenos sanitarios de cada cantón, para ello se realizó un diagnóstico de la situación actual de los mismos aplicando una entrevista semiestructurada al personal encargado y a la población aledaña. Se realizaron análisis en muestras de agua para conocer las concentraciones de mercurio en los cuerpos hídricos cercanos a la descarga de lixiviados, y se establecieron recomendaciones a partir de la técnica juicio de expertos. Se evidenció en las muestras analizadas que las concentraciones de mercurio a nivel de provincia tiene una media de 0,0040 mg/L encontrándose sobre los límites permisibles en la Normativa Ecuatoriana, además se ha identificado que el punto de descarga de lixiviados es el punto más alto en su concentración de mercurio con una media de 0,00245 mg/L, teniendo como resultado al relleno sanitario del cantón Cascales con una concentración mínima de 0,00056 mg/L y el relleno sanitario del cantón Lago Agrio con una concentración máxima de 0,0098 mg/L. Se determinó que existen diferentes focos de contaminación y problemas de salud en la población, por ende, se plantearon alternativas para un correcto manejo y disposición de los residuos sólidos que contienen mercurio. En conclusión, este estudio se llevó a cabo, con la finalidad de contribuir a la provincia debido a que existen pocos estudios realizados en la zona y dar lugar a la realización de futuras investigaciones.

Palabras Clave: Mercurio, rellenos sanitarios, biorremediación, medio ambiente

Abstract

This study was carried out in the province of Sucumbíos to determine mercury contamination in water bodies within the area of influence of the sanitary landfills in each canton. To this end, a diagnosis of the current situation was made by applying a semi-structured interview with the personnel in charge and the surrounding population, water samples were analyzed to determine the mercury concentrations in water bodies near the leachate discharge, and recommendations were established based on the expert judgment technique. The samples analyzed showed that mercury concentrations at the provincial level averaged 0.0040 mg/L, which is above the permissible limits set by Ecuadorian regulations. It was also identified that the leachate discharge point is the highest mercury concentration point with an average of 0.00245 mg/L, with a minimum concentration of 0.00056 mg/L at the Cascales canton sanitary landfill and a maximum concentration of 0.0098 mg/L at the Lago Agrio canton sanitary landfill. It was determined that there are different sources of contamination and health problems in the population; therefore, alternatives for proper management and disposal of solid waste containing mercury were proposed. In conclusion, this study was carried out, with the purpose of contributing to the province due to the fact that there are few studies carried out in the area and to give rise to future research.

Keywords: Mercury, landfills, bioremediation, environment.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial los altos índices de contaminación por mercurio en cuerpos hídricos continentales y subterráneos han provocado graves consecuencias para el medio natural y la salud, debido a esto se han implementado protocolos, tratados y medidas de prevención para controlar las emisiones y liberaciones de mercurio, siendo ocasionadas por actividades antropogénicas (Zhou et al., 2020).

Desde el año 2008 en Ecuador se le ha dado mayor importancia a la contaminación que genera el mercurio en los ecosistemas, debido a esto se implementó el Plan Cero Mercurio, con la finalidad de reducir de manera gradual el uso de mercurio que es utilizado en una amplia gama de productos y procesos, así como las emisiones, liberaciones y generación de desechos, con el programa de Tratamiento de residuos y remediación, a



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
Trabajo de Integración Curricular

partir del Convenio de Minamata el cual busca reducir o eliminar el uso de mercurio (Ministerio del Ambiente y Agua, 2020).

La provincia de Sucumbíos cuenta con relleno sanitario en cada cantón y con su respectiva licencia ambiental para su funcionamiento (Guerra y Paredes, 2019). Hasta el año 2012 se suscitaban diversos inconvenientes con el manejo de desechos de residuos sólidos, debido a que se colocaban en botaderos a cielo abierto y en celdas sin tratamiento previo a su lixiviación. Esto ha causado graves problemas de contaminación en ecosistemas acuáticos y terrestres, alteración en la calidad de agua, aire y suelo, considerándose un alto riesgo en la salud pública. En la actualidad, se han tomado medidas que ayudan a reducir el impacto ambiental, teniendo en cuenta el tipo de relleno sanitario que se ejecute dentro de cada cantón, donde se busca colocar los residuos sólidos sin provocar alteraciones en el ambiente o problemas en la salud.

Para esta investigación se ha establecido como área de estudio los rellenos sanitarios de la provincia de Sucumbíos, considerándose un tema de gran interés en el ámbito social, ambiental y de salud. Existen pocos estudios desarrollados en esta zona y una falta de información en los Planes de Manejo Ambiental sobre los análisis en metales tóxicos, entre estos el mercurio, el cual ha sido seleccionado para determinar su concentración siendo de igual importancia que los demás metales se consideró este metal debido a los costos de estudio, cuyo elemento dentro del ambiente se considera altamente tóxico y se acumula en el organismo de los seres humanos causando graves daños en la salud, en cuanto a los ecosistemas afecta a la flora y fauna.

Debido a esto la presente investigación se enfoca en analizar las concentraciones de mercurio en cuerpos hídricos para posteriormente establecer recomendaciones en cuanto a la gestión de productos que contienen mercurio en su composición. Los cuerpos hídricos que se encuentran dentro del área de influencia de los rellenos sanitarios son de gran importancia para las comunidades cercanas, debido a que son fuente de abastecimiento para el consumo humano y el desarrollo de diversas actividades agroproductivas. Por lo cual, es necesario controlar agentes contaminantes que ingresen a estos ecosistemas acuáticos, que ocasionan problemas en la salud de la población y el medio ambiente.

Esta investigación tiene como objetivo principal determinar la contaminación por mercurio en cuerpos hídricos dentro del área de influencia de los rellenos sanitarios en la

provincia de Sucumbíos. Para lograr el objetivo propuesto, se realizó un diagnóstico de la situación en la que se encuentra cada relleno sanitario, se analizó los resultados obtenidos de las concentraciones de mercurio en muestras representativas de los cuerpos hídricos principales, en base a la Normativa Ecuatoriana vigente, y se desarrolló una infografía con recomendaciones que permitan mejorar el funcionamiento de los rellenos sanitarios para disminuir la contaminación por mercurio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio

La zona de estudio se localiza en la provincia de Sucumbíos en la Amazonia ecuatoriana, el área de estudio comprende de 18.059,78 Km² (GAD Sucumbios, 2015). La provincia se encuentra dividida en siete cantones: Putumayo, Cuyabeno, Shushufindi, Lago Agrio, Cascales, Gonzalo Pizarro y Sucumbíos. Los puntos de muestreo se ubicaron en el relleno sanitario de cada cantón de la provincia de Sucumbíos (Tabla 1 y Figura 1).

Tabla 1 Punto de muestreo georreferenciadas en cada cantón de la provincia de Sucumbíos.

Puntos de muestreo	Cantón	Coordenadas
Relleno sanitario 1	Lago Agrio	0.062565, -76.826970
Relleno sanitario 2	Shushufindi	-0.208160, -76.656873
Relleno sanitario 3	Cascales	0.094732, -77.207697
Relleno sanitario 4	Gonzalo Pizarro	0.039212, -77.377934
Relleno sanitario 5	Putumayo	0.097511, -75.856797
Relleno sanitario 6	Cuyabeno	-0.121710, -76.425216
Relleno sanitario 7	Sucumbíos	0.647190, -77.538289

Fuente: (Google Earth, 2021)

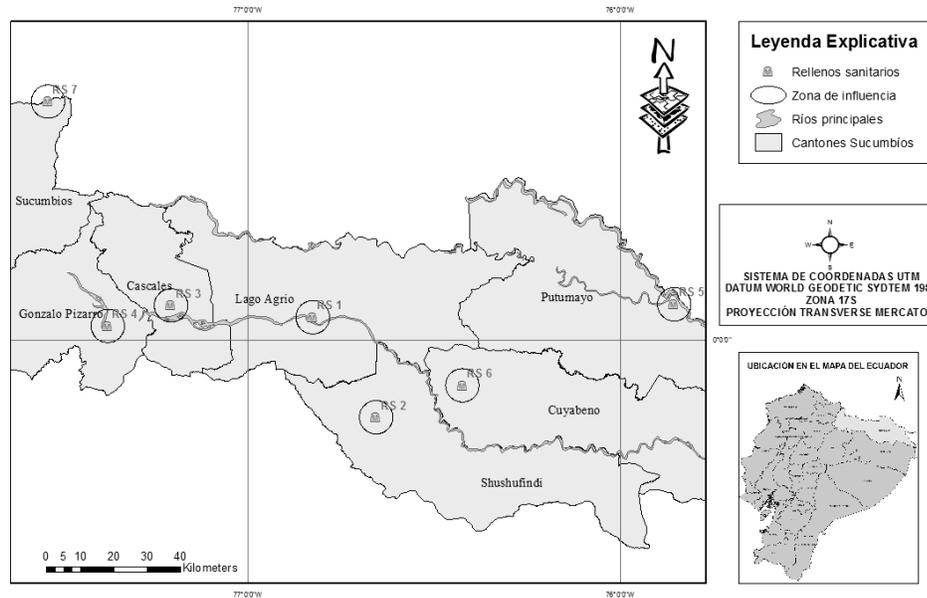


Figura 1: *Rellenos sanitarios de la provincia de Sucumbíos*

Para dar respuesta al objeto de estudio, la metodología se dividió en tres apartados que son: diagnóstico de los rellenos sanitarios, análisis de los resultados de las muestras de agua y, establecimiento de recomendaciones.

2.2. Diagnóstico de los rellenos sanitarios

En esta primera sección, se realizó un diagnóstico de la situación de cada relleno sanitario de la provincia de Sucumbíos. Se aplicó una entrevista semiestructurada con la participación de actores clave de los rellenos sanitarios. La fortaleza de la herramienta utilizada fue su capacidad para descubrir una amplia variedad de factores políticos, socio-ambientales potencialmente relacionados a situaciones no observables, información detallada, debido a que no presenta limitaciones en cuanto a espacio y tiempo (Díaz et al., 2013). La mayoría de los entrevistados son personas aledañas al área de influencia directa de los rellenos sanitarios. Se realizaron entrevistas a un total de 54 personas, entre técnicos, personal encargado de cada relleno sanitario y a la población aledaña (**Tabla 4**). Además, se realizaron observaciones de campo en las áreas visitadas. Esta importante información recopilada ayudó a identificar la situación actual de los rellenos sanitarios, enfocándose en aspectos como la pérdida de medios de vida, población aledaña, problemas presencia de vectores, los impactos en la salud y ambientales.

El análisis de la información que se obtuvo se realizó un análisis cualitativo conjuntamente con los Planes de Manejo Ambiental y la Normativa Ecuatoriana, lo cual

permitió determinar la situación de manejo de residuos sólidos que contienen mercurio y un análisis socio-ambiental de cada relleno sanitario.

2.3. Análisis de muestras

La toma de muestras de aguas se realizó en dos fases, la primera consta de la recolección de muestras en cuerpos hídricos y área de influencia de cada relleno sanitario de la provincia de Sucumbíos, y en la segunda fase se ejecutó el análisis de las muestras en el laboratorio certificado ANAVANLAB, ubicado en la ciudad de Quito, posteriormente se aplicó estadística descriptiva a los resultados de las muestras que se recolectaron.

Fase 1. Recolección de muestras

Para ejecutar esta fase se establecieron zonas de muestreo en el relleno sanitario de cada cantón. Se seleccionaron tres puntos de muestreo en el cuerpo hídrico principal a la descarga de lixiviados, cada punto tuvo una distancia de 50 metros para evitar la interferencia de otros componentes y obtener una muestra representativa, se tomó la muestra 1 en la pre-descarga de lixiviados, la muestra 2 en el punto de descarga de lixiviados y la muestra 3 en la post-descarga de lixiviados (Autoridad Nacional del Agua-ANA, 2011). La representación gráfica del diseño de muestreo se puede observar en la Figura 2.

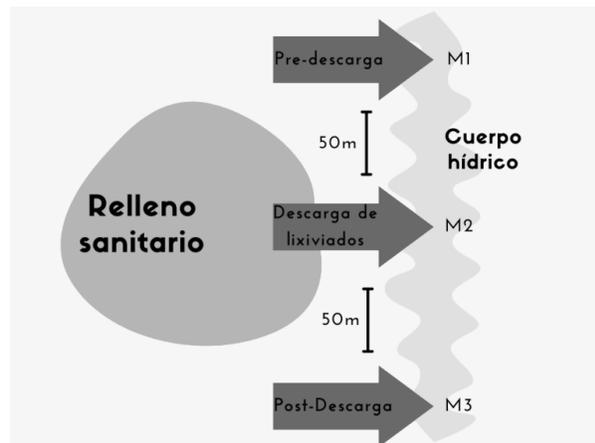


Figura 2: *Diseño de muestreo*

El muestreo se lo realizó en el mes de enero de 2022, siguiendo un protocolo de trabajo, seguridad y conservación de las muestras representativas a coleccionar, bajo las recomendaciones de la Norma Técnica Ecuatoriana, y el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013a, 2013b; MAE-TULSMA, 2017).



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

Trabajo de Integración Curricular

Se tomó una muestra por punto de muestreo en cada relleno sanitario, obtuvieron 21 muestras en total para los siete rellenos sanitarios. La muestra tomada fue de tipo simple, debido a que se tomó en cada punto de muestreo determinado y una sola vez (Autoridad Nacional del Agua-ANA, 2011). Una vez colectada la muestra, el agua fue colocada en un recipiente de vidrio ámbar que reduce las actividades fotosensitivas considerablemente, evitando el uso de recipientes de borosilicato o los de sodio-cal que pueden incrementar niveles significativos de metales tóxicos (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013a). Previamente, los recipientes fueron lavados con una solución de ácido nítrico al 1% de acuerdo al protocolo de muestreo seguido de Mullisaca-Contreras (2013). Para que la muestra se conserve se añadió 2 ml de ácido nítrico por cada 100 ml de muestra (Cabrera-Vique, Ruiz-López, and Javier, 2007).

Se registró una cadena de custodia de la toma de muestra y se colocó etiquetas adhesivas en cada recipiente que contenían la siguiente información: número de muestra, nombre del colector, fecha, hora, coordenadas y preservación realizada. Las muestras colectadas se conservaron con precaución para evitar derrames y contaminación. La muestra conservó las características de la muestra original en el transcurso del envío y para que no exista alteración al momento de su análisis en el laboratorio (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013b). Se transportó en una caja térmica con bolsas de hidrogel que permitió mantener la temperatura de 4°C durante el transcurso del viaje (Capparelli et al., 2020).

Fase 2: Análisis de muestras en laboratorio

Esta fase se desarrolló en el laboratorio ANAVANLAB en la ciudad de Quito, con su Certificado de Acreditación N°. OAE LE C 13-006, bajo la Resolución N°. SAE-ACR-0024-2017 del Servicio de Acreditación Ecuatoriano.

El método de ensayo que aplicó el laboratorio se encuentra en los Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (APHA, AWWA, and WPCF, 1992). Para el análisis de mercurio en muestras de los cuerpos hídricos se aplicó el método espectrométrico de absorción atómica de vapor frío según los métodos normalizados APHA 3112B, con un rango de sensibilidad de 0,005 a 10 de Hg mg/l.

2.4. Análisis estadístico

A los resultados que se obtuvieron de los análisis en laboratorio, se aplicó estadística descriptiva que proporcionó datos que permitieron identificar el relleno sanitario que tiene un mayor y menor índice de contaminación debido a que varían las muestras entre cada sitio de muestreo. Todo el análisis estadístico se realizó mediante el programa IBM SPSS Statistics con la versión 25.0. Posteriormente, los resultados fueron comparados con los lineamientos de calidad de agua establecidos por la legislación ecuatoriana, Normativa Técnica Ecuatoriana (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013b, 2013a; MAE-TULSMA, 2017).

2.5. Establecimiento de recomendaciones

En este apartado se aplicó la técnica de juicio de expertos, la cual es una técnica empleada para obtener datos cualitativos de distintos expertos relacionados al tema de interés, se valoraron las opiniones y los criterios en base a la experiencia de cada participante (Hamui-Sutton and Varela-Ruiz, 2013). Como resultado de esta sección, se desarrolló una infografía con recomendaciones que permitan mejorar el funcionamiento de los rellenos sanitarios para disminuir la contaminación por mercurio, que afectan de manera directa e indirecta a los cuerpos hídricos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez establecido el objeto a alcanzar sobre la contaminación por mercurio dentro del área de influencia de los rellenos sanitarios, junto con el proceso metodológico expuesto en el apartado anterior, se pudo dar respuesta a los objetivos, lo que dio origen a los resultados que se presentan a continuación. Para una mejor comprensión, se describen aspectos administrativos, manejo de los rellenos sanitarios, efectos que han sido evidenciados tanto en el ambiente como en la población, aspectos ambientales, análisis de la concentración de mercurio en cuerpos hídricos de cada relleno sanitario. Finalmente, se dieron recomendaciones que contribuyeron a la mejora del manejo de residuos sólidos que contienen mercurio y la disminución de las concentraciones sobre la base de los Criterios de calidad admisibles para la prevención de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarios, que se encuentran en el Libro VI, Anexo 1, Tabla 3 del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente.

3.1. Diagnóstico de los rellenos sanitarios.



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
Trabajo de Integración Curricular

En la actualidad cada relleno sanitario de la provincia de Sucumbíos realizan un reciclaje convencional en donde se aplica separar los residuos orgánicos e inorgánicos, siendo de vital importancia implementar un método de separación de residuos sólidos que contienen mercurio en su composición como baterías, interruptores, lámparas fluorescentes compactas y lineales, lámparas de vapor de mercurio a alta presión, cosméticos, plaguicidas, biosidas, antisépticos de uso tópico, amalgamas, barómetros, higrómetros, manómetros, termómetros y esfigmomanómetros, deben llevar un proceso adecuado para su reciclaje debido a lo volátil que es el mercurio y los efectos que produce al ingresar en contacto con el medio natural y la salud humana. Muchos de estos productos se encuentran con restricciones en Ecuador en base al Convenio de Minamata, de acuerdo a su Art 4. En entrevistas, con técnicos encargados de los rellenos sanitarios y la población aledaña, manifestaron la situación actual en la que se encuentra cada cantón.

En el cantón Sucumbíos se evidenció que no cuenta aún con un relleno sanitario mecanizado debido a que se encuentra en proceso de aprobación para su construcción, pero existen celdas emergentes donde se acumulan los residuos sólidos recolectados y realizan un proceso para la descarga de lixiviados. Un aspecto negativo es que no cuenta con un Plan de Manejo, lo cual, dificulta conocer cómo llevan el proceso dentro del relleno sanitario, aspectos administrativos, un inventario de flora y fauna de las especies que se encuentran en el área de influencia directa, pero sí se contrastaron los datos sobre análisis de mercurio realizados recientemente. Además, se evidenció un porcentaje nulo de población cercana al relleno sanitario, siendo un aspecto positivo que disminuye las posibilidades de efectos en la salud de las personas. Pero al no contar con un relleno sanitario y todas las medidas necesarias para un buen manejo podría afectar de forma directa e indirecta al medio natural al momento de realizar el proceso de lixiviación.

En el cantón Gonzalo Pizarro por parte de la población se ha evidenciado los problemas de contaminación que ha causado el relleno sanitario tanto en cuerpos hídricos como en el ambiente, provocando de forma directa la muerte de ganado y caballos debido a que se realiza la descarga de lixiviados a un cuerpo hídrico que atraviesa propiedades privadas, ha afectado cultivos de guanábana, malos olores frecuentes, además, la presencia de vectores en el área de influencia ha provocado casos de enfermedades constantes en la población. Se ha podido determinar que los habitantes conocen los efectos que ocasiona el

mercurio y existe preocupación debido a que las autoridades no han tomado medidas pertinentes para mejorar dicha situación.

En el cantón Cascales se ha podido evidenciar que existe una buena disposición por parte de los técnicos encargados y se han realizado las auditorías pertinentes en cuanto a análisis de metales pesados y el Plan de Manejo del relleno sanitario, pero existen problemas que manifiesta la población aledaña como la muerte de animales por peste, los malos olores constantes, enfermedades constantes como diarreas, rotavirus, alergias debido a la presencia de vectores en el área. Se concluyó que los habitantes tienen un alto conocimiento sobre el peligro de la exposición al mercurio, donde mencionaron que se encuentran informados sobre los efectos en el medioambiente y la salud humana, debido a que se desarrollan constantes actividades mineras en el cantón.

En el cantón Shushufindi no se ha podido conocer el Plan de Manejo de su relleno sanitario, lo cual dificulta conocer aspectos administrativos sobre su manejo y los análisis que han realizado de metales pesados, pero por parte de la población cercana han dado a conocer que hace unos meses la descarga de lixiviados fue de manera directa a un cuerpo hídrico y cuerpo lacustre que atraviesan algunas propiedades privadas provocando de forma directa la muerte de ganado, además mencionan que sufren de problemas de salud constantes y la presencia de vectores como moscas y roedores.

En el cantón Cuyabeno se ha podido evidenciar la disposición de los técnicos para llevar un mejor manejo del relleno sanitario y se ha podido contrastar los datos de análisis de mercurio que realizan en las auditorías bianuales. Uno de los problemas que han manifestado los habitantes es la presencia de vectores como las moscas provocando enfermedades constantes en niños y niñas.

En el cantón Putumayo el Plan de Manejo del relleno sanitario no se encuentra actualizado hace varios años, por lo tanto lleva un atraso en las auditorías que deben realizarse cada cierto plazo establecido, esto se debe al bajo presupuesto para su realización. Los habitantes del área de influencia directa han manifestado varios problemas evidentes de contaminación que ha provocado el relleno sanitario, enfermedades frecuentes como rotavirus en niños y niñas, la presencia de vectores como las moscas en especial en época de invierno.



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
Trabajo de Integración Curricular

En el cantón Lago Agrio se ha podido conocer cómo el relleno sanitario realiza el reciclaje de residuos sólidos que contienen metales pesados, los cuales entregan a una empresa que se encarga de su proceso, sin embargo, existe un factor que dificulta que este procedimiento se lo realice a cabalidad, al ser cabecera cantonal y ser uno de los cantones con mayor demografía poblacional hay un mayor índice de generación de residuos que ingresan lo cual es negativo y obstaculiza que se pueda llevar a cabo este reciclaje. Los habitantes mencionan algunos problemas evidentes que ha provocado de forma directa el relleno sanitario como la muerte de ganado debido a que atraviesa cuerpos hídricos por áreas privadas, la presencia de vectores como las moscas en ciertas temporadas.

3.2. Impactos ambientales

En general, el impacto más significativo causado por el mercurio proveniente de la descarga de lixiviados de los rellenos sanitarios es en cuerpos hídricos que se encuentran en el área de influencia directa. Esto puede ocurrir debido al vertido inadecuado o por la naturaleza del elemento que es muy volátil al momento de ser expuesto y no llevar un correcto manejo puede provocar que se transforme en mercurio orgánico o en sales de mercurio, siendo estas captadas por especies acuáticas y terrestres que bioacumulan provocando graves efectos en la flora y fauna (Zhou et al., 2020). En ocasiones, no se han aplicado medidas de remediación después del proceso de descarga de lixiviados, quedando charcos de agua contaminada expuesto al aire libre, evidenciando algunos problemas antes mencionados por parte de la comunidad local. El mercurio presente de forma orgánica en los cuerpos hídricos puede provocar la acumulación de metilmercurio en peces, briofitas, microorganismos acuáticos que pueden llegar acumular concentraciones perjudiciales y biomagnificarse en la cadena alimentaria, provocando efecto toxicológico en las personas y el medio natural (Mojiri et al., 2021). Otro impacto relacionado al mercurio es la degradación de suelos agrícolas provocando efectos negativos en los cultivos que se encuentran cerca del área de influencia directa de los rellenos sanitarios debido a que riegan los mismos con el agua de los cuerpos hídricos donde se realizan la descarga de lixiviados y estos atraviesan zonas de cultivo privadas.

3.3. Análisis de concentraciones

En la Tabla 2 se evidencia que las concentraciones de mercurio en la Pre-descarga de lixiviados en los rellenos sanitarios de cada cantón se encuentran bajo los límites

permisibles $< 0,0002$ mg/L según los Criterios de calidad admisibles para la prevención de la vida acuática y silvestre en aguas dulces del TULMAS (MAE-TULSMA, 2017).

En el punto de Descarga de lixiviados se puede observar que existe una variación en las concentraciones de mercurio en cada sitio de muestreo, en el sitio RS 1 cantón Sucumbíos se encuentra con una concentración de $0,0017$ mg/L sobre los límites permisibles, esto se debe a que este cantón no cuenta con un relleno sanitario, sino solo una celda para compactación donde no se realiza de manera adecuada el tratamiento de lixiviados provocando que se encuentre sobre los límites y afecte al cuerpo hídrico. En el sitio RS 2 cantón Gonzalo Pizarro se encuentra con una concentración de $0,00067$ mg/L, en el sitio RS 3 cantón Cascales tiene una concentración de $0,00056$ mg/L y el sitio RS 6 cantón Putumayo se encuentra con una concentración de $0,00058$ mg/L, estos sitios de muestreo se encuentran con un 4% aproximado sobre los límites permisibles, donde aplicando métodos para disminuir las concentraciones se puede llegar al máximo permisible en la Normativa Ecuatoriana.

En el sitio RS 4 cantón Shushufindi tiene una concentración de $0,0027$ mg/L encontrándose sobre los límites permisibles y generando contaminación para las especies acuáticas, este relleno en los últimos meses ha tenido algunos inconvenientes con la descarga de lixiviados realizando de manera directa al cuerpo hídrico sin un tratamiento previo, lo cual ha provocado graves problemas en el medio natural y la muerte de mamíferos grandes.

El sitio RS 5 cantón Cuyabeno tiene una concentración de $0,0012$ mg/L superando el máximo permisible, indicando claramente que hay contaminación en el cuerpo hídrico siendo perjudicial para la fauna y flora, por ende, provoca que este metal se acumule en las poblaciones de organismos que se encuentra en la zona afectada. El sitio RS 7 cantón Lago Agrio se evidencia una concentración de $0,0098$ mg/L produciendo un lixiviado que está contaminando casi al 100% sobre el límite permisible, esta alta concentración se debe a que este relleno sanitario se encuentra en la cabera cantonal de la provincia generando una mayor cantidad de residuos sólidos a diferencia de los otros cantones, por lo cual es necesario tomar medidas de manera inmediata para solucionar este problema que afecta de manera directa a los organismos acuáticos y la salud de la población que se encuentra en el área de influencia.



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
Trabajo de Integración Curricular

En el punto de Post-descarga se evidencia en la Tabla 2 que los sitios RS 2, RS 3, RS 5 y RS 6 se encuentran con una concentración de $< 0,0002$ mg/L, es decir, bajo los límites permisibles esto se debe que la acumulación de mercurio se encuentra en el área donde se realiza la descarga de lixiviados teniendo una concentración mayor en esa zona. En cambio, el sitio RS 1 tiene una concentración de $0,0013$ mg/L, el sitio RS 4 tiene una concentración de $0,0003$ mg/L y el sitio RS 7 tiene una concentración de $0,0073$ mg/L, estos sitios superan el máximo permisible debido a la alta concentración de mercurio en el punto de descarga de lixiviados alcanzando un área mayor de contaminación afectando gran parte de las poblaciones de organismos acuáticos, el cuerpo hídrico superficial y la salud humana.

Tabla 2 Concentraciones de mercurio en cuerpos hídricos (mg/L)

Cantones	Sites	Pre-descarga lixiviados	Descarga lixiviados	Post-descarga lixiviados
Sucumbíos	RS1	$< 0,0002$	$0,0017$	$0,0013$
Gonzalo Pizarro	RS2	$< 0,0002$	$0,00067$	$< 0,0002$
Cascales	RS3	$< 0,0002$	$0,00056$	$< 0,0002$
Shushufindi	RS4	$< 0,0002$	$0,0027$	$0,0003$
Cuyabeno	RS5	$< 0,0002$	$0,0012$	$< 0,0002$
Putumayo	RS6	$< 0,0002$	$0,00058$	$< 0,0002$
Lago Agrio	RS7	$< 0,0002$	$0,0098$	$0,0073$

Los resultados obtenidos se analizaron en el laboratorio ANAVANLAB, en base a los Criterios de calidad del agua para la protección de la vida acuática (TULSMA, 2017).

3.4. Análisis estadístico de las concentraciones

Las concentraciones de mercurio en el punto de descarga de lixiviados está por encima de los límites permitidos para la protección de la vida acuática con una media de $0,0024586$ mg/L (Tabla 3) que se han encontrado en los cuerpos hídricos en los siete cantones de la provincia de Sucumbíos como se lo puede observar en el Gráfico 1, en este punto se ha evidenciado su valor mínimo de $0,00056$ mg/L en el RS3 y su valor máximo de $0,0098$ mg/L en el RS7 (Tabla 3).

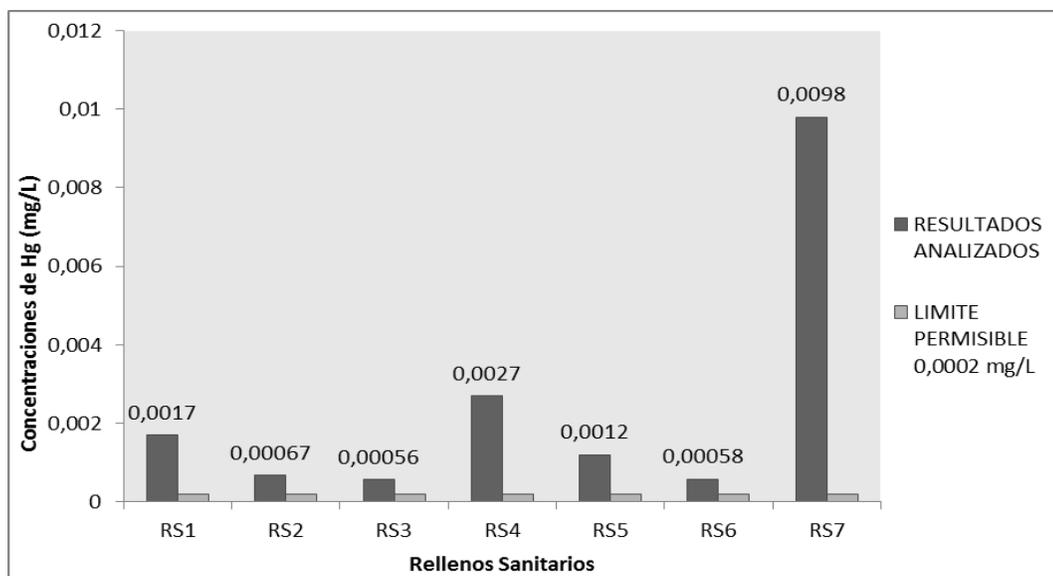


Gráfico 1 Concentraciones de mercurio en cuerpos hídricos de cada relleno sanitario

Las altas concentraciones de mercurio observadas en el presente estudio se deben probablemente a un manejo inadecuado de los residuos que contienen metales tóxicos o los rellenos sanitarios no cuentan con el procedimiento adecuado y funcional para el procedimiento de los mismos. Los análisis realizados demuestran un alto grado de contaminación con una media de 0,0040 mg/L a nivel de provincia en todos los puntos de muestreo en los cuerpos hídricos principales (Tabla 3).

Tabla 3 Estadística descriptiva puntos de muestreo

	N	Media	Desviación	Mínimo	Máximo
Pre-descarga lixiviados	7	0,000200	0,0000000	-	-
Descarga lixiviados	7	0,0024586	0,00332783	0,00056	0,0098
Post-descarga lixiviados	7	0,0013857	0,00263908	-	-

3.5. Recomendaciones para disminuir la concentración de mercurio

Se recomienda emplear métodos y técnicas que permitan llevar a cabo una biorremediación para disminuir la contaminación tanto en el cuerpo hídrico, como en organismos acuáticos y terrestres en los puntos de descarga de lixiviados donde se encuentra con altos niveles de mercurio. Existen alternativas que se pueden implementar en



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
Trabajo de Integración Curricular

los Planes de Manejo en cada relleno sanitario donde se incluya un apartado para residuos sólidos que contengan metales pesados, entre estos el mercurio, siendo de vital importancia prestar talleres e información a la población sobre la forma correcta para su reciclaje, además dar a conocer los riesgos que ocasiona el mercurio en el medio natural como en la salud humana.

Algunas alternativas para un reciclaje amigable con el medio ambiente, son; separar los residuos sólidos que contienen mercurio al momento de su recolección previo a la descarga en las celdas activas en las cuales se encuentran otros residuos (Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea, 2011); es necesario notificar a las industrias y a la población sobre la importancia de separar los desechos que contengan mercurio; implementar en cada relleno sanitario un punto de recepción de residuos que contengan metales pesados para un mejor control.

En el área de estudio es importante emplear distintas metodologías para el tratamiento de cuerpos hídricos contaminados con mercurio, algunas de estas técnicas intervienen organismos, para la fitorremediación, la eliminación de mercurio mediante algas, la reducción microbiana y los humedales construidos (Liuwei Wang et al., 2020). Otra alternativa es el uso de la bacteria *Pseudomona aeruginosa* ya que resulta tener una alta capacidad de detección y absorción de mercurio, contribuyendo en la descontaminación de áreas expuestas a metales pesados (Luján, 2019).

Una propuesta para reducir las concentraciones de mercurio en los rellenos sanitarios es implementar instalaciones térmicas para el almacenamiento de residuos sólidos, los hornos de calcinación sellados al vacío (Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea, 2011) resultan una estrategia eficaz para evitar la dispersión en suelo, aire y agua.

4. CONCLUSIONES

En la provincia de Sucumbíos se ha podido evidenciar un déficit en el manejo de los rellenos sanitarios que ha generado problemas de contaminación ambiental y en la salud de la población aledaña, quienes manifiestan preocupación por la falta de interés por parte de las autoridades. Por lo tanto, es necesario que el personal encargado identifique estos problemas y proponga una solución, con la finalidad de reducir diferentes focos de contaminación en el medio natural y los efectos ocasionados a la población.

Las altas concentraciones de mercurio en los cuerpos hídricos principales de los rellenos sanitarios a nivel de provincia, han provocado graves consecuencias como bioacumulación en organismos acuáticos, decesos de mamíferos, degradación de suelos, contaminación hídrica y enfermedades en la población cercana.

Para un mejor funcionamiento de los rellenos sanitarios y disminuir la contaminación generada por mercurio, se han planteado diferentes técnicas y recomendaciones, con la finalidad, de aportar a la provincia debido a que existen pocos estudios realizados en la zona, por lo tanto, el presente estudio contribuirá a la realización de futuras investigaciones.

5. REFERENCIAS

- APHA, AWWA, & WPCF. (1992). *Metodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales* (S. A. Diaz De Santos (ed.); 17 edition).
- ATSDR. (1999). ATSDR - Resumen de Salud Pública: Mercurio. *División de Toxicología y Ciencias de La Salud*, 8. www.atsdr.cdc.gov/es
- Protocolo De Monitoreo De La Calidad De Los Recursos Hidricos Autoridad Nacional Del Agua, Ministerio de Agricultura Perú 1 (2011). https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/2011-protocolo-anaperu.pdf
- Aziz, S. (2012). *Tratamiento de lixiviados de vertederos mediante el proceso de reactor discontinuo de secuenciación aumentada de carbón activado en polvo (SBR)*. Universiti Sains Malaysia, Malasia.
- Brightbill, R. a, Riva-murray, K., Bilger, M. D., Byrnes, J. D., Report, W. I., & Survey, U. S. G. (2004). Total Mercury and Methylmercury in Fish Fillets , Water , and Bed Sediments from Selected Streams in the Delaware River Basin , New Jersey , New York , and Pennsylvania , 1998 – 2001. In *Director*. <https://pubs.usgs.gov/wri/wri03-4183/>
- Cabrera-Vique, C., Ruiz-López, & Javier, F. (2007). Mercurio en aguas del sureste de España: Posibles fuentes de contaminación. *Ars Pharmaceutica*, 48(1), 37–53.
- Capparelli, M. V., Moulatlet, G. M., Abessa, D. M. de S., Lucas-Solis, O., Rosero, B., Galarza, E., Tuba, D., Carpintero, N., Ochoa-Herrera, V., & Cipriani-Avila, I. (2020). An integrative approach to identify the impacts of multiple metal contamination sources on the Eastern Andean foothills of the Ecuadorian Amazonia. *Science of the Total Environment*, 709, 136088. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136088>
- Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea. (2011). *Directrices técnicas para el manejo ambiental racional de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este*.
- Díaz, L., Torruco, U., Martínez, M., & Varela, M. (2013). La Entrevista, recurso flexible y dinámico. *Investigación En Educación Médica*, 2(7), 162–167. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-50572013000300009&script=sci_arttext
- EPA. (2021). *Información básica sobre el mercurio*. Agencia de Protección Ambiental de



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

Trabajo de Integración Curricular

- Estados Unidos. <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-el-mercurio>
- Feng, X., Meng, B., Yan, H., Fu, X., Yao, H., & Shang, L. (2017). Biogeochemical cycle of mercury in reservoir systems in wujiang river basin, southwest China. In *Biogeochemical Cycle of Mercury in Reservoir Systems in Wujiang River Basin, Southwest China*. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-6719-8>
- GAD Sucumbios. (2015). PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS. In *Actualización PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL*. <https://multimedia.planificacion.gob.ec/PDOT/descargas.html>
- Google Earth. (2021). Provincia de Sucumbios. In *Google Earth Pro (7.3.3.7786)*. Google.
- Guerra, A., & Paredes, C. (2019). *Proyecto: K009 MAE-Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (MAE-PNGIDS)*.
- Hamui-Sutton, A., & Varela-Ruiz, M. (2013). La técnica de grupos focales. *Investigación En Educación Médica*, 2(5), 55–60. [https://doi.org/10.1016/s2007-5057\(13\)72683-8](https://doi.org/10.1016/s2007-5057(13)72683-8)
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169: 2013 Agua, Calidad de agua, Muestreo Manejo y Conservación de Muestras., Pub. L. No. 1, Instituto Ecuatoriano De Normalización 26 (2013). <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACIÓN-DE-MUESTRAS.pdf>
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2266 : 2013 Primera revisión: AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. DISEÑO DE LOS PROGRAMAS DE MUESTREO, First Edit 1 (2013).
- Jaramillo, J. (2002). Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. In Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (Ed.), *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente*. OPS/CEPIS. <http://cdam.minam.gob.pe:8080/handle/123456789/294>
- Luján, D. (2019). Uso de Pseudomonas aeruginosa en biorremediación. *Biotecnología*, 23(1), 32–42.
- Madeddu, R. B. G. (2005). *Estudio de la influencia del cadmio sobre el medio ambiente y el organismo humano: perspectivas experimentales , epidemiológicas y morfofuncionales en el hombre y en los animales de experimentación* [Universidad de Granada]. <http://digibug.ugr.es/bitstream/10481/728/1/15518231.pdf>
- Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, TULSMA, Registro Oficial Edición Especial 2 de 31-mar.-2003 407 (2017). www.lexis.com.ec
- MAE. (2012). *Licencia Ambiental Relleno Sanitario del Cantón Lago Agrio*.
- Márquez-Benavides, L. (2011). *Residuos sólidos Volumen 1: Vol. I* (A. Piña, A. Gallardo, E. Moreno, F. Robles, F. Colomer, G. Román, G. Monrós, I. Mercante, J. Sánchez, L. Beltrán, & M. Szantó (eds.); I, Issue December). Amertown International S.A. https://www.researchgate.net/publication/308057682_Residuos_Solidos_Un_enfoque_multidisciplinario_Vol_I
- Martínez, X. (2004). El mercurio como contaminante global: Desarrollo de metodologías para su determinación en suelos contaminados y estrategias para la reducción de su liberación al medio ambiente [Universidad Autónoma de Barcelona]. In *Universitat Autònoma de Barcelona* (Vol. 0). <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/3174/xgm1de1.pdf>

- Mehana, E. S. E., Khafaga, A. F., Elblehi, S. S., Abd El-Hack, M. E., Naiel, M. A. E., Bin-Jumah, M., Othman, S. I., & Allam, A. A. (2020). Biomonitoring of heavy metal pollution using acanthocephalans parasite in ecosystem: An updated overview. *Animals*, *10*(5). <https://doi.org/10.3390/ani10050811>
- Méndez, P., Ramírez, G., César, A., Gutiérrez, R., Alma, D., & García, P. (2009). Plant Contamination and Phytotoxicity Due To Heavy Metals From Soil and Water. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *10*(1), 29–44. <https://doi.org/https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>
- MINAM. (2008). *Guía de: Diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado*. Ministerio del Ambiente Perú.
- Ministerio del Ambiente y Agua. (2020). *Plan de Accion Nacional sobre el uso de Mercurio en la Minería Artesanal y de Pequeña Escala de Oro en Ecuador, Conforme la Convención de Minamata sobre Mercurio*. 128. <http://www.mercuryconvention.org/Paises/Partes/PlanesdeAcciónNacionales/tabid/7968/language/es-CO/Default.aspx>
- Mojiri, A., Zhou, J. L., Ratnaweera, H., Ohashi, A., Ozaki, N., Kindaichi, T., & Asakura, H. (2021). Treatment of landfill leachate with different techniques: an overview. *Journal of Water Reuse and Desalination*, *11*(1), 66–96. <https://doi.org/10.2166/wrd.2020.079>
- Mojiri, A., Ziyang, L., Tajuddin, R. M., Farraji, H., & Alifar, N. (2016). Co-treatment of landfill leachate and municipal wastewater using the ZELIAC/zeolite constructed wetland system. *Journal of Environmental Management*, *166*, 124–130. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.10.020>
- Mullisaca-Contreras, E. (2013). Assessment of mercury in water and sediments in the rio azángaro. *Revista Científica “Investigación Andina,”* *11*(1), 41–45. <http://repositorio.uancv.edu.pe/bitstream/handle/UANCV/2631/VOL11N1%282013%295.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Orem, W. H., Krabbenhoft, D. P., Poulin, B. A., & Aiken, G. R. (2019). *Aquatic Cycling of Mercury BT - Mercury and the Everglades. A Synthesis and Model for Complex Ecosystem Restoration: Volume II – Aquatic Mercury Cycling and Bioaccumulation in the Everglades* (D. G. Rumbold, C. D. Pollman, & D. M. Axelrad (eds.); pp. 1–12). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32057-7_1
- Oroná, C. E. (2012). *Caracterización limnológica de un sistema agua salada de una cuenca endorreica* [Universidade Da Coruña]. https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/10327/Orona_ClaudiaE_TD_2012.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Röben, E. (2002). *Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales* (DED/ Ilustre Municipalidad de Loja (ed.)).
- Rodríguez-Heredia, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *Medisan*, *21*(12), 3372–3385. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192017001200012
- Rondón, E., Szantó, M., Pacheco, J., Contreras, E., & Gálvez, A. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Manual de la CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/40407-guia-general-la-gestion-residuos-solidos-domiciliarios>
- Ruiz Chaves, I. (2016). Metodologías analíticas utilizadas actualmente para la



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

Trabajo de Integración Curricular

- determinación de mercurio en músculo de pescado. *Pensamiento Actual*, 16(26), 113–122. <https://doi.org/10.15517/pa.v16i26.25187>
- Solíz, M. (2011). Análisis del impacto en salud ocasionado por basurales en Ecuador . Informe 1 : botadero a cielo abierto del cantón Lago Agrio. *Alerta Naranja*, abril 2011, 51. [http://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/4971/1/Soliz%2C F-CON032-Analisis Lago Agrio.pdf](http://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/4971/1/Soliz%2C%20F-CON032-Analisis%20Lago%20Agrio.pdf)
- Tchounwou, P. B., Ayensu, W. K., Ninashvili, N., & Sutton, D. (2003). Environmental exposure to mercury and its toxicopathologic implications for public health. *Environmental Toxicology*, 18(3), 149–175. <https://doi.org/10.1002/tox.10116>
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. *Experientia Supplementum* (2012), 101, 133–164. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6
- Torri, S. (2017, September). ¿Qué es un relleno sanitario? *ResearchGate*, 1(May), 1–8. <http://www.ingenierosinc.com/2008/07/31/que-es-un-relleno-sanitario/>
- Mercury Study Report to Congress Volume III: Fate and Transport of Mercury in the Environment, Pub. L. No. EPA-452/R-97-005, 376 (1997). <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/volume3.pdf>
- Vaccari, M., Tudor, T., & Vinti, G. (2019). Characteristics of leachate from landfills and dumpsites in Asia, Africa and Latin America: an overview. *Waste Management*, 95, 416–431. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.032>
- Villamil, S., Rodríguez, J., & Rivas, E. (2020). REVIEW OF THE APPLICATION OF NEW TECHNOLOGIES FOR THE DISPOSITION OF SANITARY FILLINGS IN LATIN AMERICA. *Journal of Xi'an University of Architecture & Technology*, XII(IV), 4909–4915. <http://www.xajzkjdx.cn/gallery/477-april2020.pdf>
- Wang, L., & D'Odorico, P. (2013). Decomposition and Mineralization. In B. B. T.-E. of E. (Second E. Fath (Ed.), *Enciclopedia de Ecología* (pp. 280–285). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.00688-6>
- Wang, Liuwei, Hou, D., Cao, Y., Ok, Y. S., Tack, F. M. G., Rinklebe, J., & O'Connor, D. (2020). Remediation of mercury contaminated soil, water, and air: A review of emerging materials and innovative technologies. *Environment International*, 134, 105281. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105281>
- Zhou, Q., Yang, N., Li, Y., Ren, B., Ding, X., Bian, H., & Yao, X. (2020). Total concentrations and sources of heavy metal pollution in global river and lake water bodies from 1972 to 2017. *Global Ecology and Conservation*, 22, e00925. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00925>

6. ANEXOS

Anexo 1: Fundamentación Teórica

Antecedentes

Considerando el inadecuado manejo que tienen los rellenos sanitarios frente a los residuos sólidos que contienen mercurio, constituye un grave problema que deteriora los ecosistemas que se encuentran dentro del área de influencia, como los cuerpos hídricos, y degrada la calidad de vida de las comunidades que se encuentran cercanas a la zona de descarga de lixiviados.

El origen de la eliminación de residuos sólidos se da en Creta-Grecia alrededor de 3000 años a.C, donde procedían a enterrar los residuos sólidos urbanos y aguas residuales (Márquez-Benavides, 2011), debido a que la demografía crecía se generaba mayor cantidad de desechos, produciendo contaminación ambiental y el mal olor en las ciudades. Hasta el siglo pasado se realizaban incineraciones masivas y trituración de residuos sólidos.

Este método se implementó con la finalidad de controlar olores y algunos vectores, a causa de la acumulación de residuos en espacios a cielo abierto afectando a las zonas aledañas. Una ventaja de su implementación es que permite concentrar en un solo lugar los residuos de una localidad (Torri, 2017).

En la provincia de Sucumbíos hasta el año 2009 ninguno de sus cantones contaba con un relleno sanitario disponiendo los residuos en botaderos a cielo abierto y en celdas sin un tratamiento previo provocando graves problemas ambientales. Para el año 2010 se realizó una proyección de habitantes en el Cantón Lago Agrio evidenciándose un crecimiento poblacional acelerado, producto de la inmigración interna, el desarrollo del comercio y de la industria, trayendo consigo diversidad de problemas como la recolección, transporte y disposición final de los residuos sólidos (Solíz, 2011). Posteriormente, para el año 2012 se otorga la licencia ambiental y el permiso de funcionamiento para el relleno sanitario del cantón Lago Agrio (MAE, 2012).

Relleno sanitario

Relleno sanitario se denomina a un espacio que ha sido destinado para la disposición final de los residuos sólidos. Son instalaciones especialmente diseñadas para no causar riesgo en la salud o la seguridad pública, ni perjudicar al ambiente durante su operación o después de su clausura (Torri, 2017). Es un método muy utilizado a nivel



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
Trabajo de Integración Curricular

global, aunque actualmente se fomenta el reciclaje, el compostaje y la incineración. Una desventaja importante en la aplicación de esta metodología para el proceso de gestión de residuos, es la generación de lixiviados que provoca una contaminación ecológica y problemas de salud (Mojiri et al., 2021).

Tipos de relleno sanitario

Existen tres tipos de rellenos sanitarios que se emplean dependiendo de la cantidad de generación de residuos sólidos.

Relleno sanitario mecanizado

El relleno sanitario mecanizado ha sido diseñado para grandes ciudades y poblaciones que generan más de 40 toneladas diarias (Jaramillo, 2002; MINAM, 2008; Rondón et al., 2016). Es un proyecto bastante complejo, debido a que es necesario evaluar algunas variables, en cuanto a la cantidad, tipos de residuos, el diseño, la infraestructura, maquinaria especializada para todo el proceso de ejecución del relleno.

Relleno sanitario semimecanizado

El relleno sanitario semimecanizado se emplea cuando la población genera entre 16 y 40 toneladas diarias de residuos (Jaramillo, 2002; Röben, 2002; Rondón et al., 2016). En este tipo de relleno se utiliza cierta maquinaria pesada como un cucharón o rodillo, que ayuda al trabajo manual, que permite tener una buena compactación de los residuos y dar una mayor vida útil al relleno.

Relleno sanitario manual

Este tipo de relleno sanitario es para pequeñas poblaciones que generan 15 toneladas al día (Jaramillo, 2002; Rondón et al., 2016). Se debe a que sus condiciones económicas, no dan la capacidad para adquirir maquinaria especializada para el mantenimiento del relleno. Por lo cual, el trabajo de compactación y acumulación se ejecuta con el apoyo de un grupo de personas y empleando ciertas herramientas manuales.

Lixiviado

Los residuos sólidos sufren una serie de transformaciones biológicas y fisicoquímicas, después del proceso de transformación se vierten, produciendo de esta manera aguas residuales consideradas extremadamente contaminadas a las que se denomina lixiviados. Estas aguas residuales pueden contaminar grandes áreas como cuerpos hídricos subterráneos y superficiales. El lixiviado de un relleno sanitario se

caracteriza por una alta demanda química y biológica de oxígeno (DQO, DBO) sus siglas respectivamente. A menudo, consiste de altas concentraciones de contaminantes como metales pesados, materiales tóxicos, materiales orgánicos e inorgánicos (Aziz, 2012; Mojiri et al., 2021).

El lixiviado se forma al momento que el agua penetra en los residuos acumulados y transfiere ciertas formas de contaminantes. Se puede clasificar en cuatro grupos clave, como, contaminantes orgánicos e inorgánicos, metales pesados, sólidos disueltos totales (TDS) y color (Mojiri et al., 2016; Villamil, Rodríguez, and Rivas, 2020).

Según la edad del relleno sanitario, se puede dividir en tres grupos, jóvenes, maduros y ancianos. Aziz (2012); Vaccari, Tudor, and Vinti (2019) afirman que en rellenos sanitarios jóvenes, el lixiviado se caracteriza por niveles bajos de pH, altas concentraciones de ácidos volátiles y materia orgánica simplemente degradada. Mientras que los rellenos sanitarios maduros la producción de metano lixiviado y el pH son altos, y los materiales orgánicos presentes son principalmente fracciones húmicas y fúlvicas (Mojiri et al., 2021).

Ecosistemas acuáticos

Los ecosistemas acuáticos tanto continentales como marinos, son una variedad de masas de agua naturales que albergan una gran diversidad de especies de flora y fauna. Wang and D'Odorico (2013) manifiestan que los ecosistemas acuáticos comprenden la mayor parte de la biosfera e incluyen tanto ecosistemas de agua dulce como marinos. Las fuentes de materia orgánica en estos sistemas pueden ser tanto internas (autóctonas) como externas (alóctonas).

Dentro de los ecosistemas acuáticos continentales existen dos tipos de sistemas, son: los sistemas lóticos que hace referencia al agua corriente como de ríos o arroyos, y los sistemas lenticos son aguas generalmente estancadas como de pantanos, lagos o lagunas (Oroná, 2012).

Metales presentes en cuerpos de agua

Desde el punto biológico, los metales pesados se clasifican en dos grupos: (i) metales esenciales e imprescindibles para el metabolismo de seres bióticos, y los (ii) no esenciales, que hacen referencia a un elemento químico que posee un elevado peso atómico y son potencialmente tóxicos aún en concentraciones muy bajas (Madeddu, 2005; Mehana et al., 2020; Rodríguez-Heredia, 2017). Se emplean en la industria, la combustión, la



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
Trabajo de Integración Curricular

minería y en otras actividades (Méndez et al., 2009). Poseen características de bioacumulación, toxicidad, persistencia por largos periodos dentro de los ecosistemas (Rodríguez-Heredia, 2017). Dentro de los elementos más característicos por ser tóxicos a la biota y ocasionar enfermedades, están el cadmio, el mercurio, el plomo, el aluminio y el zinc (Madeddu, 2005).

Los metales pesados pueden ingresar a un cuerpo de agua terrestre o subterráneo por medio de la minería legal e ilegal, incineración de residuos industriales peligrosos, domésticos y biológicos infecciosos, que son vertidos sin un previo tratamiento en ríos, lagos o sistemas acuíferos (Capparelli et al., 2020; Méndez et al., 2009; Rodríguez-Heredia, 2017).

Mercurio

El mercurio se denomina como un metal pesado que se encuentra de manera natural en la corteza terrestre y de varias formas (ATSDR, 1999; EPA, 2021). En la tabla periódica, tiene el símbolo Hg y el número atómico es 80. Existe en diversas formas como: metilmercurio, mercurio elemental, compuestos de mercurio orgánicos e inorgánicos (EPA, 2021).

El metilmercurio (MeHg) es uno de los compuestos más comunes en el medio ambiente y se forma cuando el mercurio ingresa a ecosistemas acuáticos y los microorganismos lo convierten a un tipo de mercurio orgánico (EPA, 2021). La metilación es preocupante debido a la fácil absorción en la cadena alimentaria (United States Environmental Protection Agency, 1997). El MeHg atraviesa de manera fácil las membranas biológicas de los organismos bióticos y se puede llegar acumular en concentraciones perjudiciales y biomagnificarse en la cadena alimentaria, provocando un efecto toxicológico para los seres humanos y la fauna (Brightbill et al., 2004).

El mercurio es un elemento tóxico y un contaminante ambiental que induce a graves alteraciones en los tejidos corporales y causa una amplia gama de efectos adversos para la salud, tanto de los seres humanos como los animales que están expuestos a diversas formas químicas de mercurio en el medio ambiente (Tchounwou et al., 2012). En los seres humanos puede ingresar por medio de los alimentos como metilmercurio y mediante la inhalación de vapores que contengan mercurio. Esto produce efectos tóxicos a la salud

provocando temblores, gingivitis, alteraciones psicológicas y aborto espontáneo (Rodríguez-Heredia, 2017).

Los efectos ecológicos que puede provocar el ingreso de metilmercurio en animales es: la reproducción reducida, crecimiento y desarrollo más lento, comportamiento anormal y la muerte (EPA, 2021). Los efectos que puede ocasionar en microorganismos y plantas acuáticas es la inhibición en su crecimiento, en invertebrados acuáticos provoca toxicidad aguda y en peces la acumulación de mercurio en sus tejidos (Martínez, 2004).

Residuos sólidos que contienen mercurio en su composición

El mercurio es uno de los compuestos tóxicos y que generan una gran afectación a los ecosistemas, Tchounwou et al. (2003, 2012) mencionan que el mercurio es utilizado en la industria eléctrica como en interruptores, baterías, termostatos, pilas, en la odontología en amalgamas dentales, en la producción de la sosa cáustica, en el proceso de la madera, en la conservación de medicamentos, en plaguicidas, pinturas y entre otros compuestos, que son desechados como residuos comunes en los rellenos sanitarios sin un previo análisis, generando contaminación a otros residuos y a los ecosistemas que se encuentran dentro del área de influencia.

Ciclo del mercurio en ecosistemas acuáticos

El mercurio ingresa con un estado de oxidación Hg^{2+} siendo muy soluble y disolviéndose fácilmente en cuerpos de agua superficiales. La materia orgánica presente u otros iones generan que el mercurio forme rápidamente sustancias con estos complejos. La reducción fotoquímica de Hg^{2+} a $\text{Hg}^{(0)}$ es un proceso importante dentro de los ecosistemas acuáticos. Donde puede dar lugar a ciclos diurnos de reducción de Hg^{2+} a $\text{Hg}^{(0)}$ y volatilización del $\text{Hg}^{(0)}$ durante el día, y de oxidación de $\text{Hg}^{(0)}$ a Hg^{2+} durante los periodos de baja intensidad de luz (Feng et al., 2017; Orem et al., 2019).

Las tasas de reducción de Hg^{2+} a $\text{Hg}^{(0)}$ se ven afectadas por factores como la intensidad de la luz y el contenido de materia orgánica disuelta que absorbe la luz solar y puede limitar la entrada de la luz en el cuerpo de agua. La fotólisis de la materia orgánica disuelta puede producir radicales libres que también influyen en la oxidación del $\text{Hg}^{(0)}$ a Hg^{2+} . La pérdida de $\text{Hg}^{(0)}$ de las aguas superficiales por volatilización puede ser de gran importancia para la concentración ambiental de Hg^{2+} como el nicho de sedimentos y la producción de MeHg (Feng et al., 2017; Orem et al., 2019). Ver Figura 3.

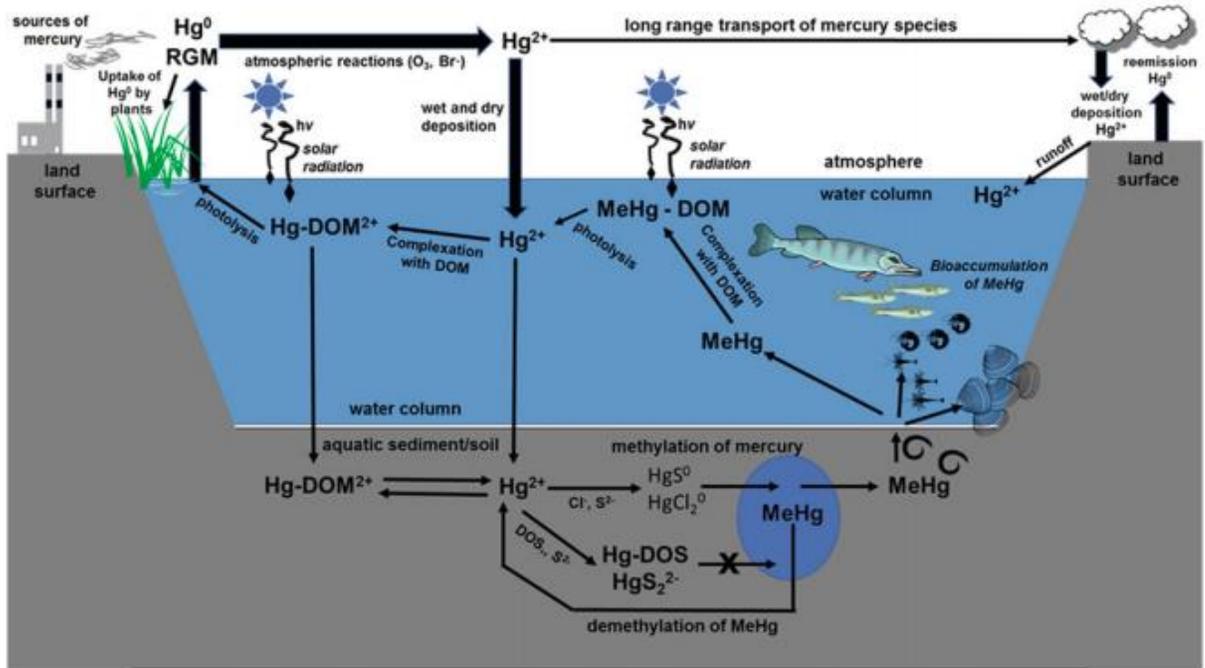


Figura 3. Diagrama conceptual del ciclo biogeoquímico del mercurio (Orem et al., 2019)

Determinación de metales

Se han desarrollado técnicas analíticas sensibles y fiables para determinar el contenido de mercurio, debido a los efectos tóxicos que ocasiona en los seres humanos y en el medio biótico. Las técnicas más usadas en la actualidad, son la espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS), plasma acoplado inductivamente espectrometría de emisión óptica (ICP-OES), espectrometría de absorción atómica electrotérmica (ET AAS), Espectrometría de fluorescencia atómica (CV-AFS) (Ruiz Chaves, 2016).

Anexo 2

Tabla 4. Participantes y preguntas clave para entender la situación actual de cada relleno sanitario de la provincia de Sucumbíos.

Participante	Preguntas
Población aledaña (47 personas entrevistadas)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Cómo afecta vivir cerca del relleno sanitario a su vida diaria? 2. ¿Cree usted que ha tenido problemas de salud a causa de factores proveniente del relleno sanitario? 3. ¿Considera usted que el relleno sanitario afecta a los cuerpos hídricos cercanos? 4. ¿Cree usted que el relleno sanitario ha provocado

	<p>afectación a la fauna que se encuentra en la zona?</p> <p>5. ¿Conoce usted los riesgos de contaminación por metales pesados?</p> <p>6. Sabía usted, ¿que los desechos sólidos que llegan al relleno sanitario, contienen metales pesados entre estos, mercurio?</p> <p>7. ¿Conoce usted los efectos secundarios del mercurio en la salud de las personas y la vida silvestre?</p> <p>8. ¿Conoce usted las medidas adecuadas para el reciclaje de los residuos sólidos que contienen metales tóxicos?</p> <p>9. Ha recibido capacitaciones por parte de las autoridades o instituciones encargadas del tema con respecto a medidas preventivas en cuanto a contaminación.</p>
<p>Técnicos de cada relleno sanitario (7 personas entrevistadas)</p>	<p>1. ¿Existen estudios previos en cuanto a análisis de concentraciones de mercurio en los rellenos sanitarios de la provincia?</p> <p>2. ¿Cada que tiempo se realizan los controles de calidad en cuanto a metales pesados?</p> <p>3. ¿Bajo qué normativa se rigen para llevar a cabo los procesos de reciclaje?</p> <p>4. ¿Se ha socializado mediante talleres a la población aledaña acerca del nivel de contaminación al que están expuestos?</p> <p>5. ¿Desde su perspectiva, qué medidas se puede tomar para evitar las emisiones de mercurio en los rellenos sanitarios?</p> <p>6. ¿Se considera realizar un manejo especializado en cuanto al reciclaje de residuos sólidos que contengan metales pesados?</p> <p>7. ¿Se consideraría importante incrementar en el plan de manejo anual, análisis de concentraciones de mercurio en los cuerpos hídricos y el área de influencia de los rellenos sanitarios?</p>

Anexo 2: Infografía del estudio.

DETERMINACIÓN DE CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN CUERPOS HÍDRICOS DENTRO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LOS RELLENOS SANITARIOS DE LA PROVINCIA DE SUCUMBÍOS

Autores: Averos Josselyn y Ramírez Dayana

OBJETIVO

Determinar la contaminación por mercurio en cuerpos hídricos dentro del área de influencia de los rellenos sanitarios en la provincia de Sucumbios



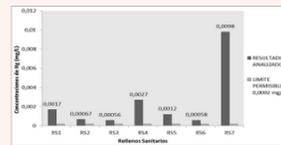
ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se localiza en la provincia de Sucumbios en la Amazonia ecuatoriana, el área de estudio comprende de 18.059,78 Km² (GAD Sucumbios, 2015).

Para dar respuesta al objeto de estudio, la metodología se dividió en tres apartados que son: diagnóstico de los rellenos sanitarios, análisis de los resultados de las muestras de agua y, establecimiento de recomendaciones

Resultados

En la provincia de Sucumbios se ha podido evidenciar un déficit en el manejo de los rellenos sanitarios que ha generado problemas de contaminación ambiental y en la salud de la población oledaña, quienes manifiestan preocupación por la falta de interés por parte de las autoridades. Por lo tanto, es necesario que el personal encargado identifique estos problemas y proponga una solución, con la finalidad de reducir diferentes focos de contaminación en el medio natural y los efectos ocasionados a la población.



Se evidenció en las muestras analizadas que las concentraciones de mercurio a nivel de provincia tiene una media de 0,0040 mg/L encontrándose sobre los límites permisibles en la Normativa Ecuatoriana, además se ha identificado que el punto de descarga de lixiviados es el punto más alto en su concentración de mercurio con una media de 0,00245 mg/L, teniendo como resultado al relleno sanitario del cantón Cascales con una concentración mínima de 0,00056 mg/L y el relleno sanitario del cantón Lago Agrio con una concentración máxima de 0,0098 mg/L.

RECOMENDACIONES

Emplear métodos y técnicas que permitan llevar a cabo una biorremediación para disminuir la contaminación tanto en el cuerpo hídrico, como en organismos acuáticos y terrestres en los puntos de descarga de lixiviados donde se encuentra con altos niveles de mercurio. Existen alternativas que se pueden implementar en los Planes de Manejo en cada relleno sanitario donde se incluya un apartado para residuos sólidos que contengan metales pesados, entre estos el mercurio, siendo de vital importancia prestar talleres e información a la población sobre la forma correcta para su reciclaje, además dar a conocer los riesgos que ocasiona el mercurio en el medio natural como en la salud humana.

Algunas alternativas para un reciclaje amigable con el medio ambiente, son: separar los residuos sólidos que contienen mercurio al momento de su recolección previa a la descarga en las celdas activas en las cuales se encuentran otros residuos

En el área de estudio es importante emplear distintas metodologías para el tratamiento de cuerpos hídricos contaminados con mercurio, algunas de estas técnicas intervienen organismos, para la fitorremediación, la eliminación de mercurio mediante algas, la reducción microbiana y los humedales construidos

Una propuesta para reducir las concentraciones de mercurio en los rellenos sanitarios es implementar instalaciones térmicas para el almacenamiento de residuos sólidos, los hornos de calcinación sellados al vacío (Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea, 2011) resultan una estrategia eficaz para evitar la dispersión en suelo, aire y agua.