



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

**“Valoración de metales pesados y cianuro del agua proveniente del
proceso de lixiviación mediante filtros con zeolita.”**

Trabajo previo a la obtención del grado académico de:

INGENIERO EN MINAS

Autores:

VERONICA ISABEL JAYA CASTRO

GUIDO SEBÁSTIAN MACAS ORDÓÑEZ

Director:

ING. ERNESTO PATRICIO FEIJOO CALLE

CUENCA - ECUADOR

2024

Verónica Isabel Jaya Castro

Guido Sebastián Macas Ordóñez

Trabajo de titulación

Ing. Ernesto Patricio Feijoo Calle

Junio, 2024

**“Valoración de metales pesados y cianuro del agua proveniente del proceso de
lixiviación mediante filtros con zeolita.”**

DEDICATORIAS:

Este trabajo de titulación va dedicado principalmente a mis abuelos Fausto Castro y Zoila Castro, quienes estuvieron en cada paso de mi formación académica siendo mi apoyo incondicional, a mi madre Ruth Castro quien es la mujer mas importante de mi vida y mi ejemplo a seguir, a mi padre Carlos Jaya que todos los días me impulsa a seguir adelante. A mis hermanos, a mis tíos, a mis primos, a mi pareja y a mis mejores amigos por estar en cada etapa apoyándome para alcanzar mis metas y sobre todo mis sueños.

Veronica Isabel Jaya Castro.

Este trabajo de titulación va dedicado principalmente a mi abuelita, quien fue y será la mujer mas importante en mi vida quien siempre supo apoyarme, guiarme en cada momento de mi vida, a mis padres quienes incondicionalmente siempre me han apoyado y motivado a no dejar mi formación de lado, a mi esposa e hija quienes llegaron al final de mi carrera y han sido mi mayor motivación.

Guido Sebastian Macas Ordóñez.

AGRADECIMIENTOS:

En primer lugar, queremos agradecer a Dios por haber permitido llegáramos hasta este día, por bendecirnos y darnos la sabiduría necesaria para poder llevar nuestros estudios de la mejor manera y el habernos dado la posibilidad de culminar un logro tan importante para nuestras vidas.

A nuestra familia, por ser un apoyo incondicional, por habernos impulsado a seguir adelante en nuestra vida académica brindándonos las posibilidades de abrirnos camino. Su comprensión y amor fueron el pilar fundamental para lograr este éxito.

De igual forma a quienes fueron nuestros docentes a lo largo de toda la carrera, en especial al Ing. Eduardo Luna que a mas de un maestro fue un gran amigo, ya que gracias a todos ellos hemos adquirido los mejores conocimientos para poder desarrollarnos en el ámbito profesional.

A nuestros mejores amigos Deiby y Francisco que desde el día uno, compartimos aula en la universidad, pero sobre todo llegamos a formar una familia y supimos brindarnos apoyo mutuo para sobrellevar nuestra carrera universitaria.

Veronica Isabel Jaya Castro.

Guido Sebastian Macas Ordóñez.

RESUMEN:

El presente trabajo de titulación, tuvo como objetivo principal reducir la presencia de plomo, arsénico y cianuro del agua proveniente del proceso de lixiviación de una planta de tratamiento, mediante la construcción de filtros elaborados a partir de zeolita cálcica, Para la realización de este proyecto se recolectó y analizó el agua, posteriormente se construyeron 6 filtros que contenían grava, arena (previamente tamizada) y zeolita en iguales distribuciones es decir de 500 gramos, así también a cada filtro se le colocó 2000 ml de agua y se los dejó filtrar por 45 días. Una vez que el agua se filtró, se recolectó una muestra de cada filtro y se procedió a analizar en un laboratorio especializado. Los resultados de la remoción que tuvieron los metales pesados y el cianuro en el agua del proceso de lixiviación en cada uno de los filtros, determinaron que la mejor variación se dio en el filtro No. 5, ya que este redujo en su totalidad el plomo y arsénico, mientras que el cianuro se redujo de 1200 ppm a 100 ppm. Y la menor variación se dieron en los filtros No. 3 y 4, ya que estos redujeron en su totalidad el plomo y arsénico, sin embargo, el cianuro se redujo de 1200 ppm a 350 ppm.

Palabras claves: agua lixiviada, filtro, zeolita, metales pesados, variación.

ABSTRACT:

The main objective of this thesis was to reduce the presence of lead, arsenic, and cyanide in the water from the leaching process of a treatment plant by constructing filters made from calcium zeolite. For the execution of this project, water was collected and analyzed, and subsequently, 6 filters were constructed containing gravel, sand (previously sieved), and zeolite in equal distributions, that is, 500 grams each. Additionally, 2000 ml of water was placed in each filter and left to filter for 45 days. Once the water was filtered, a sample from each filter was collected and analyzed in a specialized laboratory. The results of the removal of heavy metals and cyanide in the leaching process water in each of the filters determined that the best variation was achieved in filter No. 5, as it completely reduced lead and arsenic, while cyanide was reduced from 1200 ppm to 100 ppm. The smallest variation was observed in filters No. 3 and 4, as they completely reduced lead and arsenic; however, cyanide was reduced from 1200 ppm to 350 ppm.

Keywords: leached water, filter, zeolite, heavy metals, variation.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIAS:	iii
AGRADECIMIENTOS:	iv
RESUMEN:	v
ABSTRACT:	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 ASPECTOS GENERALES Y MARCO TEÓRICO	3
1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	3
1.1. Antecedentes	3
1.1.1. Geología local	4
1.2. Marco teórico	8
1.2.1. Zeolita	8
1.2.2. Metales pesados	8
1.2.3. Contaminación por metales pesados	9
1.2.4. Plomo	9
1.2.5. Arsénico	9
1.2.6. Cianuro	10

1.2.7. Contaminación por cianuro.....	10
1.2.8. Clasificación del cianuro.....	11
1.2.9. Filtración.....	11
1.2.10. Tipos de filtración.....	12
1.2.11. Operaciones de filtración.....	13
1.2.12. Tipos de filtros y orientación durante el filtrado.....	14
1.2.13. Presión actuante en la filtración.....	16
1.2.13.1. Filtros de gravedad.....	16
1.2.13.2. Filtros a presión.....	16
CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA Y ENSAYO EXPERIMENTAL.....	17
2.1. Metodología aplicada.....	17
2.1.1. Recolección de la muestra.....	17
2.1.2. Caracterización de los metales pesados y el cianuro.....	18
2.1.3. Dispositivos y materiales.....	18
2.1.4. Obtención de la grava y arena para los filtros.....	19
2.1.5. Obtención de la zeolita.....	20
2.1.6. Diseño de los filtros.....	20
2.1.7. Construcción de los filtros.....	21
2.1.7.1. Pesaje de los materiales.....	22
2.1.7.2. Armado de los filtros.....	22
2.1.8. Colocación del agua proveniente de la planta.....	23
2.1.9. Monitoreo y toma de muestras.....	24
CAPÍTULO 3 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	26
3.1. Resultados conseguidos.....	26

3.1.1. Resultados del análisis de la muestra inicial tomada en planta	26
3.1.2. Resultados del análisis de las muestras finales	26
3.1.3. Análisis y discusión de resultados	28
CONCLUSIONES	30
RECOMENDACIONES	31
LISTA DE REFERENCIAS	32
ANEXOS.....	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Categorización de los filtros basada en diferentes criterios.....	13
Tabla 2 Cantidad de zinc, plomo, arsénico y cianuro presentes en el agua de la planta del cantón Portovelo.....	26
Tabla 3 Cantidad de plomo, arsénico y cianuro presentes en el agua de los filtros.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ortofoto del cantón Portovelo	3
Figura 2 Ubicación geográfica cantón Portovelo	7
Figura 3 Tipos y configuración de medios filtrantes	15
Figura 4 Muestra inicial del agua proveniente de la planta de procesamiento.	17
Figura 5 Esquema de los tamices con su respectiva malla y tamaño en milímetros ..	19
Figura 6 Saco de zeolita.....	20
Figura 7 Esquema de las combinaciones de cada filtro	21
Figura 8 Pesaje de la arena, grava y zeolita.....	22
Figura 9 Armado de filtros.....	22
Figura 10 Filtros armados.....	23
Figura 11 Colocación del agua.	24
Figura 12 Monitoreo de los filtros.....	24
Figura 13 Recolección de las muestras de agua filtrada.....	25
Figura 14 Variación del plomo.....	27
Figura 15 Variación del arsénico.....	27
Figura 16 Variación del cianuro.....	28

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Recolección de materiales.	34
Anexo 2: Tamices usados para la clasificación de los materiales.	34
Anexo 3: Tamizaje de los materiales.....	35
Anexo 4: Materiales para la construcción de filtros.....	35
Anexo 5: Arena y grava tamizada.	36
Anexo 6: Pesaje de los materiales.	36
Anexo 7: Armado de los filtros.	37
Anexo 8: Colación de los materiales en los filtros.....	37
Anexo 9: Colación de agua en los filtros.....	38
Anexo 10: Filtros armados del 1 al 3.....	38
Anexo 11: Filtros armados del 4 al 6.....	39
Anexo 12: Recolección de las muestras de agua filtradas.....	39
Anexo 13: Embalaje de las muestras.....	40
Anexo 14: Muestras de agua de cada filtro.	40
Anexo 15: Informe del laboratorio de la primera muestra de agua de mina.	41
Anexo 16: Informe de laboratorio de las muestras de agua filtrada.....	42

INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad que se desarrolla en varias etapas hasta llegar a obtener un producto final, implicando una serie de procesos complejos que van desde la trituración y molienda inicial hasta la recuperación de los minerales de interés. En este sentido, se emplean diversas técnicas, como la conminución, concentración gravimétrica y la cianuración. Sin embargo, uno de los desafíos más significativos de esta industria es el manejo adecuado del agua, que es utilizada en estos procesos de recuperación.

En Ecuador existen varias plantas de tratamiento mineral de las cuales un cierto porcentaje se encuentran ubicadas en el cantón Portovelo, provincia de El Oro que principalmente se han caracterizado por desalojar el agua proveniente de los procesos de lixiviación en relaveras. Sin embargo, el agua proveniente de las plantas de beneficio frecuentemente contiene concentraciones de metales pesados y una gran cantidad de cianuro. Esta contaminación dificulta su tratamiento, lo que subraya la necesidad de encontrar soluciones efectivas para disminuir la presencia de estos elementos contaminantes.

En este contexto, se decidió recolectar muestras de agua proveniente de una planta de procesamiento mineral del cantón Portovelo para posteriormente realizar seis filtros con presencia de grava, arena y zeolita a diferentes combinaciones, los cuales se encargaron de absorber los metales pesados y el cianuro presente en las muestras de agua; buscando determinar el mejor filtro con su dosificación respectiva.

Los filtros se elaboraron a escala de laboratorio, usando baldes de 3.78 litros y un tamaño de partícula para la grava pasante malla 80 y para la arena pasante malla 100; además de hacer seis combinaciones distintas de 500gramos con cada uno de estos materiales.

Una vez que se obtuvieron los resultados, se desarrolló un análisis para determinar cuál fue el filtro donde hubo una mayor variación tanto en los metales pesados como del

cianuro y de esta forma, poder aplicar este método para futuros sistemas de filtrado de agua en plantas de procesamiento.

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES Y MARCO TEÓRICO

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El agua que se utilizó fue recolectada de una de las plantas de procesamiento mineral del cantón Portovelo, en la cual se realiza recuperación de oro mediante el proceso de cianuración. Este cantón se encuentra ubicado en la provincia de El Oro y cuenta con 56 plantas que se dedican al proceso de beneficio de minerales.

Figura 1

Ortofoto del cantón Portovelo



Fuente: (Google Earth, 2024)

1.1.1. Geología local

Desde una perspectiva geológico-estructural, el cantón de Portovelo se compone de una secuencia volcánico-alcalina dominada por andesitas (conocida como Unidad Portovelo), que integra parte del Grupo Saraguro. Este grupo está formado principalmente por tobas dacíticas a riolíticas del Terciario Medio (Oligoceno) y está atravesado por intrusiones subvolcánicas de riolitas y cuerpos de granodiorita del Oligoceno Tardío y Mioceno Temprano. La estructura geológica distintiva de la región es la Falla Piñas-Portovelo, la cual separa el Grupo Saraguro del Complejo Metamórfico El Oro (Gad Municipal de Portovelo, 2019).

En él se pueden distinguir 6 dominios fisiográficos:

- **Grupo Tahuín. Unidad el tigre (Paleozoico. |Tt)**

Conformado por capas de cuarcitas y esquistos con un bajo grado de metamorfismo, estos se diferencian notablemente del conjunto Las Piedras debido a su estratificación visible que se inclina hacia el noroeste.

El grupo Tahuín está localizado tanto al sureste como al suroeste del cantón, abarcando la parte alta de la parroquia Salatí. Además, se encuentra al oeste de la cabecera cantonal. Cubre una extensión de 9452,45 hectáreas, lo que equivale al 33,27% de la superficie del cantón. Este grupo está compuesto por arenisca, lutita, limolita, cuarcita, filita y esquisto, además de esquistos sericíticos de grano fino, cuarcitas sericíticas y cuarcitas (Gad Municipal de Portovelo, 2019).

- **Grupo Saraguro (Oligoceno tardío - Mioceno temprano. EOs)**

Durante el Oligoceno tardío y el Mioceno temprano, la formación Saraguro se destaca como la formación volcánica más extensa en la región austral del país. Se extiende longitudinalmente 220 km de norte a sur, desde Riobamba hasta el poblado de Saraguro, atravesando la cordillera occidental hacia el oeste y hasta la cordillera Real en el este de los

Andes. Sus potencias varían entre 500 y 2000 metros, y se superpone de manera discordante con los volcanes Cretácicos a Paleógenos de la cordillera Occidental, que incluyen las formaciones Macuchi, Pallatanga y Celica. La formación Saraguro está compuesta por depósitos piroclásticos con una composición que varía de ácida a intermedia. En su base se encuentran tobas dacíticas y flujos de lava, mientras que la parte superior se caracteriza principalmente por extensos horizontes de ignimbritas riolíticas, que presentan enfriamiento columnar y, en ocasiones, texturas de flujos piroclásticos soldados.

Litológicamente, está constituida por piroclastos, que incluyen tobas y aglomerados gruesos con bloques de lava, así como lavas alternantes de andesitas porfíricas. En el cantón Portovelo, esta formación se encuentra al norte, extendiéndose de este a oeste y ocupando un total de 12,539.56 hectáreas, lo que representa el 44.13% de la superficie del cantón (Gad Municipal de Portovelo, 2019).

- **Otros (Unidad la Bocana)**

En el cantón Portovelo, se encuentra una clasificación geológica identificada como "Otros". Esta clasificación, respaldada por el mapa geológico de Ecuador publicado en 2017 y reimpresso en 2019, sugiere que la región corresponde a la Unidad La Bocana. Esta unidad se caracteriza por su litología compuesta de granodioritas, migmatitas y paragénesis.

Abarcando una superficie de 4811,69 hectáreas, lo que representa el 16,93% de la extensión del cantón. la unidad se localiza al sur y al este del cantón Portovelo, Su litología está compuesta por granito, granodiorita, tonalita, diorita y cuarzodiorita (Gad Municipal de Portovelo, 2019).

- **Depósitos de Ladera (coluvial)**

Se los conoce también como depósitos acumulaciones gravitacionales, suelen estar compuestos por una matriz de limo que contiene bloques de roca, gravas, y cantos en su interior. Este tipo de formaciones geológicas se caracterizan por su origen gravitacional,

resultado de la acción de la gravedad sobre materiales sueltos en pendientes pronunciadas o áreas inestables.

Estos depósitos se encuentran principalmente en la parroquia Morales y al sur y norte de la cabecera parroquial de Curtincapac. Abarcan una superficie de 800,81 hectáreas, lo que constituye el 2,82% de la superficie del cantón. Presentan una mezcla heterogénea de materiales finos y fragmentos rocosos angulares de diversos tamaños (Gad Municipal de Portovelo, 2019).

- **Depósitos Coluvio Aluviales**

De edad Cuaternaria en los depósitos coluvio-aluviales se destacan por su composición heterogénea, compuesta principalmente por clastos redondeados a subredondeados de composición polimíctica, en una matriz mayormente arenosa. Estos materiales ocupan los valles esculpidos por los ríos y forman parte de las cuencas hidrográficas. Su formación está estrechamente vinculada a los procesos de erosión y sedimentación en las áreas montañosas y fluviales, desempeñando un papel crucial en la evolución geomorfológica de las zonas circundantes. se destacan por su composición heterogénea, compuesta principalmente por clastos redondeados a subredondeados de composición polimíctica, en una matriz mayormente arenosa. Estos materiales ocupan los valles esculpidos por los ríos y forman parte de las cuencas hidrográficas. Su formación está estrechamente vinculada a los procesos de erosión y sedimentación en las áreas montañosas y fluviales, desempeñando un papel crucial en la evolución geomorfológica de las zonas circundantes.

Estos depósitos abarcan una extensión de 321,35 hectáreas, lo que representa aproximadamente el 1,13% del territorio cantonal. Se ubican principalmente en áreas adyacentes a las vertientes externas de los ríos Amarillo, Luis, Pindo, Ambocas y Salati en el cantón Portovelo. Esta distribución geográfica sugiere una relación estrecha con la red

hidrográfica local, donde los procesos fluviales han desempeñado un papel importante en la formación y distribución de estos depósitos, Incluyen cantos subredondeados de dimensiones que van desde centimétricas hasta decimétricas, con presencia de limos y una variedad de granos que abarcan desde arenas finas hasta gruesas, así como limos, arcillas, gravas y bloques (Gad Municipal de Portovelo, 2019).

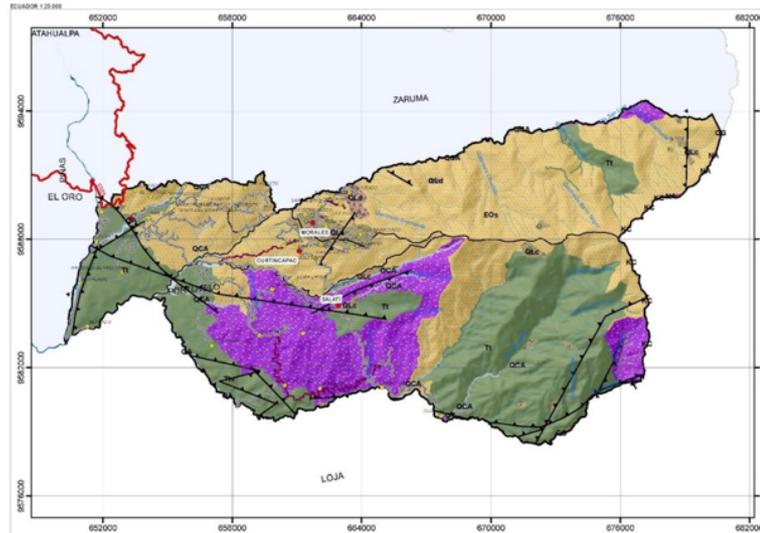
- **Depósitos Aluviales**

Son formaciones de edad Cuaternaria que consisten principalmente en cantos rodados y gravas de tamaño medio a grueso, derivados principalmente de rocas volcánicas e intrusivas. Sin embargo, la composición específica de cada depósito varía según las características de las rocas circundantes de las cuales se originaron. Estos depósitos se distribuyen por todo el cantón, conformando valles y terrazas aluviales, que se formaron a través de los procesos de drenaje en la región.

Los depósitos están ubicados a lo largo de las orillas de la red hídrica del río Amarillo, así como en los afluentes del Luis y Pindo. Estos depósitos contienen una variedad de materiales que incluyen arenas, limos, arcillas y conglomerados. Se extienden sobre una superficie de 284,86 hectáreas, lo que representa el 1,00% del área total del cantón (Gad Municipal de Portovelo, 2019).

Figura 2

Ubicación geográfica cantón Portovelo



Fuente: (Gad Municipal de Portovelo, 2019)

1.2. Marco teórico

1.2.1. Zeolita

La zeolita, un aluminosilicato hidratado cristalino (también conocido como arcilla), exhibe estructuras tridimensionales. Su capacidad para retener y liberar agua, así como intercambiar iones sin modificar su estructura atómica, es notable. Puede intercambiar cationes como Ca^+ , Mg^{++} , K^+ y NH_4^+ , además de diversos compuestos de fosfatos, amonio y materia orgánica. Esta capacidad se debe a su estructura tridimensional rígida, similar a un panal de abejas, compuesta por una red de túneles interconectados. Esta red proporciona una amplia área superficial idónea para realizar intercambio catiónico, lo que facilita la adsorción (Chica y otros, 2006).

1.2.2. Metales pesados

Los metales pesados, como el mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd), cromo (Cr), arsénico (As), cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc (Zn), níquel (Ni) y plata (Ag), son aquellos que, debido a su alto potencial tóxico y su amplia dispersión, pueden representar un riesgo al acumularse en organismos como animales o plantas, lo que los hace tener relevancia biológica (Neira y otros, 2021).

1.2.3. Contaminación por metales pesados

El incremento en la contaminación por metales pesados se atribuye a la correlación entre el desarrollo industrial y el aumento de los niveles de estos elementos en suelos y agua. Las principales fuentes de esta contaminación incluyen la minería, la metalurgia, la agricultura y la contaminación causada por el tráfico vehicular (Neira y otros, 2021).

La contaminación está estrechamente ligada a la explotación de recursos no renovables, siendo el mercurio y el plomo dos de los principales contaminantes. Estos metales son comúnmente utilizados en la industria minera, la cual se enfrenta a problemas debido a su insuficiente regulación. En Ecuador, la minería también contribuye significativamente a la contaminación, especialmente por la presencia de plomo en los ríos de la provincia de El Oro (Neira y otros, 2021).

1.2.4. Plomo

Según (Ferrer, 2003) El plomo, un metal pesado gris y blando, está ampliamente distribuido en la corteza terrestre. Se encuentra en la naturaleza como una mezcla de tres isótopos, siendo su forma más abundante el sulfuro de plomo (PbS). En los últimos años ha surgido una preocupación significativa sobre el impacto ambiental derivado de la exposición al plomo, especialmente en entornos laborales. Esta exposición se manifiesta principalmente en sectores como la minería, las fundiciones y la fabricación, así como en el uso de productos cotidianos como pinturas, baterías, tuberías, plaguicidas y envases con soldaduras de plomo.

1.2.5. Arsénico

El arsénico (As) se encuentra en la tabla periódica entre el fósforo (P) y el antimonio (Sb). Es clasificado como un metaloide, lo que implica que tiene propiedades intermedias entre los metales y los no metales. Esto significa que puede formar aleaciones con metales y enlaces covalentes con elementos como el carbono, el hidrógeno y el oxígeno. Además,

puede generar una amplia variedad de compuestos, tanto inorgánicos trivalentes (como el trióxido arsenioso y el arsenito de sodio) como orgánicos (como la arsfenamina), así como compuestos inorgánicos pentavalentes (como el pentaóxido de arsénico, el arseniato de plomo y el ácido arsénico). En la naturaleza, se encuentra ampliamente distribuido en una variedad de minerales, incluyendo compuestos de cobre, níquel, hierro, y sulfuro y óxido de arsénico. En el agua, suele encontrarse en forma de arsenato o arsenito, ambas muy hidrosolubles (Ferrer, 2003).

1.2.6. Cianuro

Uno de los compuestos más usados en la recuperación de minerales como lixiviante es el cianuro debido a su gran afinidad con el oro y la plata. El cianuro es el compuesto más utilizado en la industria metalúrgica. Este compuesto también se encuentra en productos químicos empleados en el revelado de fotografías, así como en la fabricación de papel, textiles y plásticos. Por tanto, estas industrias además de ser grandes consumidores de cianuro, son fuente de contaminación ambiental por la utilización de este compuesto (Marín Giraldo y otros, 2020).

1.2.7. Contaminación por cianuro

Para Argota, Espinoza, Iannacone (2015) El cianuro se encuentra naturalmente en el aire y el agua desde una perspectiva ambiental, y debido a su toxicidad para los seres humanos, se considera un contaminante a escala global. En el aire, el cianuro se presenta principalmente en forma de gas (HCN), con concentraciones que varían entre 0,15 y 0,17 ppb. A pesar de esto, una vez que ingresan al organismo, las propiedades toxicológicas del HCN y las sales cianúricas no muestran diferencias significativas. Por lo tanto, es esencial abordar la toxicología del HCN y las sales cianúricas de manera conjunta.

A todos los productos que contienen cianuro y liberan fácilmente dicho compuesto o tienen un comportamiento similar se les aplican todos los aspectos relacionados con el

mecanismo de acción y la terapia. Depende en gran medida de cómo se introduce, la rapidez con la que el envenenamiento por cianuro afecta al cuerpo humano o a los animales. La vía más rápida de intoxicación es la inhalación del gas de HCN, aunque los síntomas de envenenamiento pueden manifestarse en cuestión de minutos o incluso segundos.

Aunque se reconoce que el cianuro es altamente tóxico, puede someterse a degradación química, natural o biológica para reducir su poder contaminante (Argota y otros, 2015).

1.2.8. Clasificación del cianuro

El cianuro puede manifestarse en dos modalidades, las cuales están determinadas por el PH del entorno donde se encuentre. En un medio con pH alcalino, prevalece la forma soluble del cianuro, mientras que en un medio con pH neutro o ácido, predomina la forma gaseosa: el ácido cianhídrico (Argota y otros, 2015).

En los monitoreos ambientales, se requieren con mayor frecuencia las tres clasificaciones del cianuro que se estudian, definidas por un método de análisis químico: Cianuro total, Cianuro disociable en ácido débil (WAD) y Cianuro libre. (Argota y otros, 2015).

La transformación química que tiene lugar durante el proceso de cianuración es:

- $2 \text{ Au} + 4 \text{ NaCN} + \text{O} + \text{H}_2\text{O} = 2 \text{ AuNa}(\text{CN})_2 + 2 \text{ NaOH}$ (proceso de lixiviación)
- $\text{NaAu}(\text{CN})_2 + 2 \text{ NaCN} + \text{Zn} + \text{H}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{Zn}(\text{CN})_4 + \text{Au} + \text{H} + \text{NaOH}$ (proceso de precipitación)

1.2.9. Filtración

La filtración, como técnica empleada en los procesos de tratamiento de aguas, ha surgido en tiempos relativamente recientes. En la actualidad, su uso es bastante extendido, especialmente para mejorar la eliminación de sólidos en suspensión de los efluentes resultantes de procesos de tratamiento biológicos y químicos. Puede ser aplicada como una

etapa única para separar sólidos en suspensión o como parte de un proceso más amplio que involucre coagulación y floculación, lo que facilita la separación de partículas de menor tamaño y materia coloidal. El propósito principal de los filtros es separar partículas y microorganismos no deseados que no fueron retenidos en etapas anteriores de coagulación y sedimentación. Por lo tanto, la eficacia del trabajo realizado por los filtros depende directamente de la eficacia de los procesos preparatorios (Otero, 2009).

1.2.10. Tipos de filtración

La filtración puede llevarse a cabo de diversas formas: mediante baja carga superficial, conocida como filtros lentos, o alta carga superficial, que se conoce como filtros rápidos. Además, puede realizarse en medios porosos, como pastas arcillosas o papel de filtro, o en medios granulares, tales como arena, antracita, granate o combinaciones de estos. El flujo puede ser ascendente, descendente o mixto, que combina ambas direcciones (ascendente y descendente). No obstante, el filtro puede trabajar a presión o por gravedad, según sea la magnitud de la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante (Otero, 2009).

Tabla 1*Categorización de los filtros basada en diferentes criterios.*

VELOCIDAD DE FILTRACIÓN	MEDIO FILTRANTE USADO	CARGA SOBRE EL LECHO
Rápidos: 120-360 m ³ / (m ² día)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Arena: 2. Antracita: 3. Mixtos: Antracita (35-50 cm) Arena (20-35 cm) 4. Mixtos: Arena, Antracita, Granate 	Por gravedad Por gravedad Por presión Por presión
Lentos: 7-14 m ³ / (m ² día)	Arena (h= 60-100 cm)	Por gravedad

Fuente: (Otero, 2009).

Los filtros de acción lenta permiten que el agua fluya gravitacionalmente a través de la arena a baja velocidad. Durante este proceso, las partículas sólidas se separan al pasar el agua por los poros de la capa filtrante, donde se adhieren a los granos de arena. Después de un período prolongado, los poros de la capa de arena se obstruyen y necesitan limpieza. Este tipo de filtros se utiliza comúnmente para el tratamiento de aguas potables.

Los filtros de arena de acción rápida con superficie libre permiten que el agua descienda por gravedad dentro del lecho de arena a una velocidad considerable. Se utilizan para tratar los efluentes de aguas residuales provenientes de un tratamiento secundario, y es fundamental realizar un pretratamiento con un coagulante para eliminar la mayor parte de las partículas en suspensión mediante el proceso de sedimentación. Estos filtros se limpian con una corriente de agua en dirección contraria, la cual expande y lava la arena, separando así los sólidos acumulados (Otero, 2009).

1.2.11. Operaciones de filtración

El proceso completo de filtración comprende dos etapas: la filtración propiamente dicha y el lavado o regeneración. Aunque la descripción de los fenómenos durante la fase de

filtración es prácticamente la misma para todos los sistemas utilizados en el tratamiento de aguas residuales, la fase de lavado difiere considerablemente según si el filtro opera de manera continua o semicontinua (Otero, 2009).

- **Operaciones de filtración semicontinuas:** En estas operaciones, tanto de filtración como el lavado representan fases consecutivas e interrelacionadas. Durante la fase de filtración, que involucra la eliminación de partículas sólidas, el agua fluye a través de un lecho granular, ya sea con o sin la adición de reactivos químicos. El ciclo de filtración finaliza cuando la concentración de sólidos en el efluente alcanza un nivel aceptable máximo o cuando se detecta una pérdida de carga predeterminada en la circulación a través del lecho. Idealmente, estas condiciones coinciden. Una vez que se alcanza cualquiera de estos puntos de referencia, se concluye la fase de filtración y se procede al lavado del filtro en sentido contrario al flujo para eliminar los materiales acumulados en el lecho granular. Para este fin, se utiliza un caudal de agua de lavado adecuado para arrastrar los residuos. A menudo, se emplea una combinación de agua y aire para facilitar esta operación de lavado. Por lo general, el agua utilizada en el proceso de lavado se devuelve a las instalaciones de sedimentación primaria o al proceso de tratamiento biológico (Otero, 2009).
- **Operaciones de filtración continua:** En el proceso continuo, las etapas de filtración y lavado se realizan simultáneamente. Cuando se utilizan estos filtros, no se aplican los conceptos de turbidez límite en el efluente ni de pérdida de carga máxima permitida en la circulación a través del lecho (Otero, 2009).

1.2.12. Tipos de filtros y orientación durante el filtrado

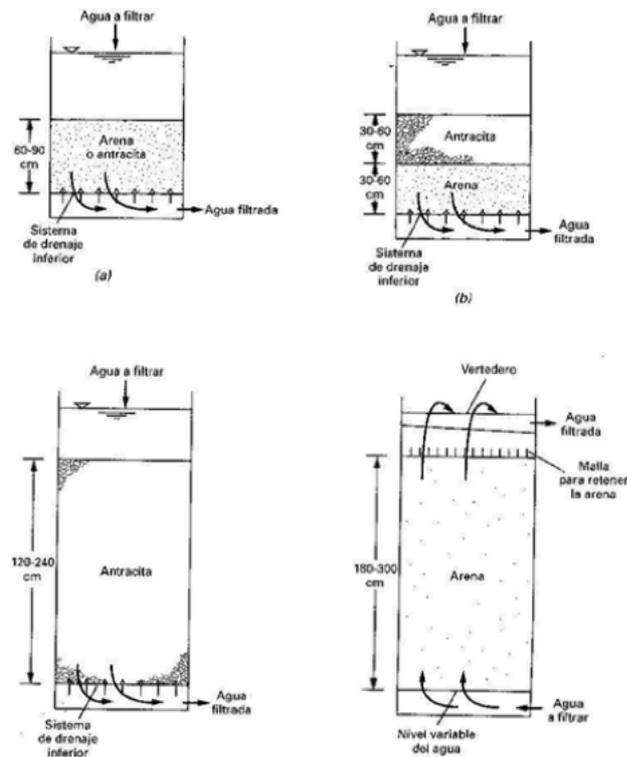
Actualmente, los principales tipos utilizados para la filtración de aguas se muestran en la Figura 3 y se clasifican según el número de capas de material filtrante. Esto da lugar a los filtros de una sola capa, los de doble capa y los filtros multicapa (Otero, 2009).

Entre los tipos y configuraciones de medios filtrantes podemos encontrar cuatro ejemplares:

- a) Filtro convencional, monocapa, flujo descendente
- b) Filtro convencional, bicapa, flujo descendente
- c) Filtro convencional, monocapa, de lecho profundo, flujo descendente
- d) Filtro de lecho profundo y flujo ascendente

Figura 3

Tipos y configuración de medios filtrantes



Fuente: (Otero, 2009)

Después del lavado a contracorriente en los filtros de flujo descendente convencionales, los tamaños de los granos de cada capa se distribuyen de menor a mayor. En los sistemas de filtración con múltiples capas, el nivel de integración entre los materiales de las distintas capas está determinado por la densidad y la disparidad en el tamaño de los granos de cada material que compone las capas. El tipo más comúnmente utilizado de filtros se

clasifican en filtros de flujo descendente y filtros de flujo ascendente, siendo el de flujo descendente el más común (Otero, 2009).

1.2.13. Presión actuante en la filtración

Debido a que tanto la fuerza gravitacional como la presión aplicada pueden superar la resistencia por fricción generada por el flujo que atraviesa el lecho filtrante, los filtros pueden clasificarse como de gravedad o a presión (Otero, 2009).

1.2.13.1. Filtros de gravedad

La fuerza de la gravedad y la presión aplicada pueden utilizarse para superar la resistencia por fricción generada por el flujo que atraviesa el lecho filtrante (Otero, 2009).

1.2.13.2. Filtros a presión

Estos filtros operan de manera similar a los de gravedad, pero se diferencian en que la operación de filtrado ocurre en un depósito cerrado, bajo presión generada por bombeo. Estos filtros suelen tener mayores pérdidas de carga máximas permitidas, lo que resulta en ciclos de filtración más prolongados y menores necesidades de mantenimiento (Otero, 2009).

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA Y ENSAYO EXPERIMENTAL

2.1. Metodología aplicada

La metodología que se aplicó en este proyecto constó principalmente en filtrar agua proveniente del proceso de lixiviación de una planta de tratamiento mineral, la cual contenía una cierta cantidad de cianuro, así como plomo y arsénico, para esto se construyeron filtros con las mismas cantidades y distintas combinaciones de arena, grava y zeolita con la finalidad de reducir la presencia tanto del plomo y el arsénico como del cianuro.

2.1.1. Recolección de la muestra.

El agua lixiviada que se utilizó para realizar este estudio es proveniente de una planta de procesamiento mineral del cantón Portovelo. La muestra fue adquirida cuando se estaba haciendo el desalojo del agua de los tanques de lixiviación, recolectando aproximadamente 20 litros de agua.

Una vez que la muestra fue envasada y sellada, ésta fue trasladada a los laboratorios de la escuela de Ingeniería en Minas de la Universidad del Azuay.

Figura 4

Muestra inicial del agua proveniente de la planta de procesamiento.



Fuente: Elaboración propia.

2.1.2. Caracterización de los metales pesados y el cianuro.

Después de haber recolectado el agua proveniente de la planta de tratamiento, se sacó una muestra de 200 ml y se mandó a analizar la presencia de metales pesados especialmente de arsénico, plomo y zinc, y de igual forma la cantidad de cianuro que tenía esta agua procesada. Cabe destacar que el zinc no es un metal pesado por lo que no se tomó en consideración en este proyecto; únicamente se lo analizó para hechos de estudio.

Los análisis fueron realizados en el Laboratorio Químico Metalúrgico Oscar Reyes, LAB - METALOR, un laboratorio certificado del cantón de Portovelo.

2.1.3. Dispositivos y materiales.

Los dispositivos y materiales que se emplearon para el ensayo experimental fueron todos aquellos que aportaron a la elaboración del proyecto de titulación, los cuales serán detallados a continuación:

- **Balanza.** Se utilizó para medir el peso de los diferentes materiales que iban a ir en cada filtro.

- **Bandejas.** Estas fueron utilizadas para colocar la arena y la grava tamizada de pasante malla 8 y malla $\frac{3}{8}$ respectivamente.
- **Baldes.** Fueron utilizadas para construir los filtros de los cuales cada uno tenían la misma cantidad de arena, grava y zeolita en diferentes ubicaciones.
- **Materiales complementarios.** Estos se usaron para recolectar la muestra de agua que pasó por cada filtro.

2.1.4. Obtención de la grava y arena para los filtros

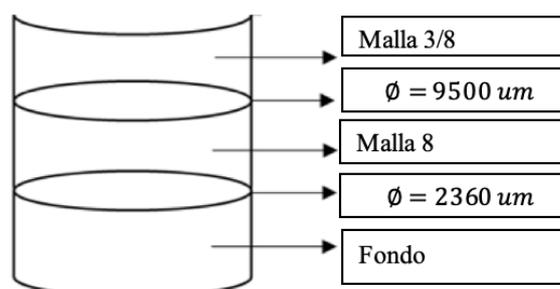
Estos materiales se obtuvieron de una cantera de áridos, donde se obtuvo una cantidad aproximada de 10 kg de arena y 10 kg de grava fina. Al no ser estos materiales de un tamaño único se procedió a tamizar cada uno de los materiales para obtener una granulometría única tanto para la arena como para la grava.

Los materiales para este ensayo experimental cumplieron con los siguientes tamaños:

- Para la grava, el tamaño requerido fue una granulometría pasante malla $\frac{3}{8}$, es decir, 9.5 mm de espesor.
- Para la arena, el tamaño requerido fue una granulometría pasante malla 8, es decir, 2.36 mm de espesor.

Figura 5

Esquema de los tamices con su respectiva malla y tamaño en milímetros



Fuente: Elaboración propia.

2.1.5. Obtención de la zeolita

Se realizó la adquisición del material llamado zeolita tipo cálcica a la empresa Ecuaminerales - MINMETEC.

Figura 6

Saco de zeolita



Fuente: Elaboración propia.

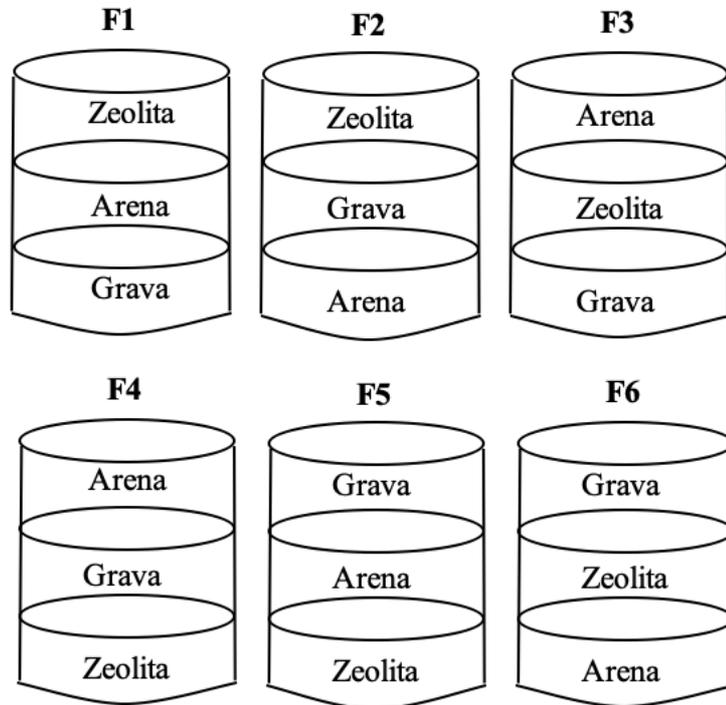
2.1.6. Diseño de los filtros.

En este proyecto se optó por realizar 6 filtros de los cuales todos iban a tener la misma cantidad de arena, grava y zeolita, así mismo igual cantidad de agua lixiviada; sin embargo, en lo único que se diferenciaban fueron en las combinaciones que se realizaron en el material, llegando a darnos seis combinaciones que se detallan a continuación:

- Filtro 1: Zeolita / Arena / Grava
- Filtro 2: Zeolita / Grava / Arena
- Filtro 3: Arena / Zeolita / Grava
- Filtro 4: Arena / Grava / Zeolita
- Filtro 5: Grava / Arena / Zeolita
- Filtro 6: Grava / Zeolita / Arena

Figura 7

Esquema de las combinaciones de cada filtro



Fuente: Elaboración propia.

2.1.7. Construcción de los filtros

Este proyecto se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio de la escuela de minas de la universidad y este se mantuvo ahí durante el periodo de un mes debido a que había que esperar que se filtre en su totalidad el agua y que la zeolita absorba la mayor cantidad de metales pesados y reduzca la concentración de cianuro.

2.1.7.1. Pesaje de los materiales.

Se pesaron 500 gr de arena, grava y zeolita para cada filtro respectivamente.

Figura 8

Pesaje de la arena, grava y zeolita.



Fuente: Elaboración propia.

2.1.7.2. Armado de los filtros

Se colocaron en cada balde las iguales cantidades de arena, grava y zeolita en las combinaciones correspondientes a la figura 5, quedándonos 6 filtros. Cabe destacar que no se mezclaron los materiales únicamente se colocó uno encima de otro.

Figura 9

Armado de filtros.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10

Filtros armados.



Fuente: Elaboración propia.

2.1.8. Colocación del agua proveniente de la planta.

Ya con los filtros armados únicamente se colocó 2000 ml del agua que habíamos recolectado de la planta de tratamiento mineral. Luego se tapó cada balde haciéndole huecos a la tapa para un mejor resultado.

Figura 11

Colocación del agua.



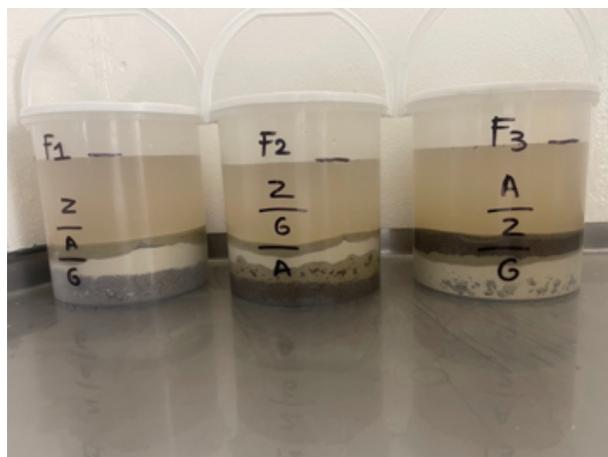
Fuente: Elaboración propia.

2.1.9. Monitoreo y toma de muestras.

Una vez que construyeron los filtros y se dejó que el agua filtre a temperatura ambiente, para esto se realizaba una inspección cada 10 días para ver la cantidad de agua que había descendido, dejando un total de 45 días para hacer la recolección de las muestras finales.

Figura 12

Monitoreo de los filtros.

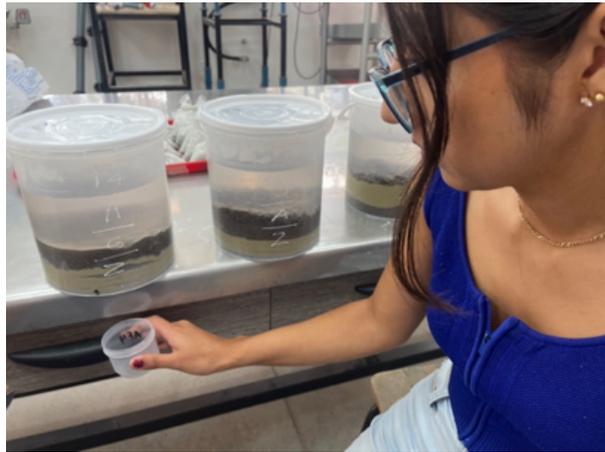


Fuente: Elaboración propia.

Al momento de la toma de las muestras del agua de cada uno de los filtros, se realizó un agujero en la parte inferior del balde, recolectando 100 ml de agua de cada filtro; los cuales fueron sellados y etiquetados, para posteriormente ser enviados a analizar la variación que tuvieron los metales pesados, así como el cianuro presente en el agua.

Figura 13

Recolección de las muestras de agua filtrada.



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Resultados conseguidos

Una vez que se realizó el proceso de fase experimental, se llegó a obtener los resultados finales de este sistema de filtración.

3.1.1. Resultados del análisis de la muestra inicial tomada en planta

Tabla 2

Cantidad de zinc, plomo, arsénico y cianuro presentes en el agua de la planta del cantón Portovelo.

Parámetro	Solución	Unidad
Zinc (Zn)	3.12	ppm
Plomo (Pb)	0.03	ppm
Arsénico (As)	1.75	ppm
Cianuro libre (CN)	120	ppm
	0	

Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Resultados del análisis de las muestras finales

Tabla 3

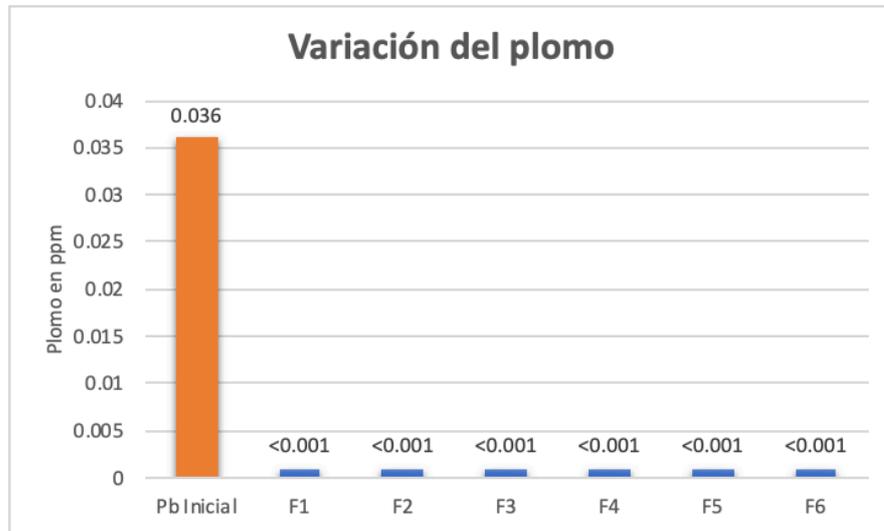
Cantidad de plomo, arsénico y cianuro presentes en el agua de los filtros

Muestra	Plomo (Pb)	Arsénico (As)	Cianuro libre (CN)
#	ppm	ppm	ppm
F1	< 0.001	< 0.001	300
F2	< 0.001	< 0.001	150
F3	< 0.001	< 0.001	350
F4	< 0.001	< 0.001	350
F5	< 0.001	< 0.001	100
F6	< 0.001	< 0.001	300

Fuente: Elaboración propia

Figura 14

Variación del plomo.



Fuente: Elaboración propia

Analizada la variación que se obtuvo en el plomo, se pudo observar que esta se redujo casi en su totalidad en los seis filtros, dando un excelente resultado.

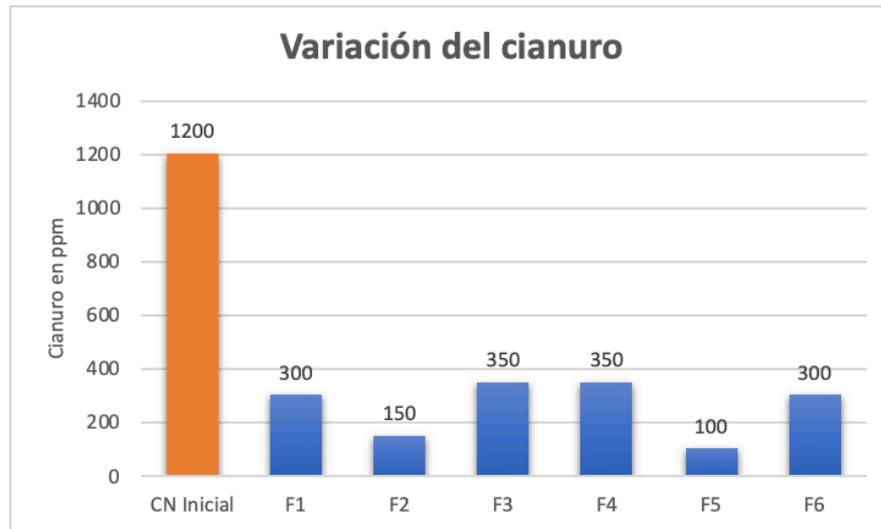
Figura 15

Variación del arsénico.



Fuente: Elaboración propia

Al igual que el plomo, una vez que analizamos la variación que se obtuvo en el arsénico, se pudo observar que esta se redujo casi en su totalidad en los seis filtros, dando un excelente resultado.

Figura 16*Variación del cianuro.***Fuente:** Elaboración propia

Analizada la variación que se obtuvo en el cianuro, se pudo observar que esta también se redujo considerablemente, denotando que en el filtro cinco (F5), fue donde hubo la mayor variación, mientras que en los filtros tres y cuatro (F3 y F4) hubo una variación, pero esta fue la que se consideró menor.

3.1.3. Análisis y discusión de resultados

El objetivo de este proyecto consistió en reducir la presencia de plomo, arsénico y cianuro del agua proveniente del proceso de lixiviación de una planta de tratamiento del cantón Portovelo. Tomando en cuenta que la parte experimental del proyecto consistió en construir filtros y en ellos hacer distintas combinaciones de arena, grava y zeolita. Los metales pesados analizados fueron: plomo y arsénico. Las granulometrías utilizadas fueron: arena pasante malla 8, grava pasante malla $\frac{3}{8}$ y la zeolita con la misma granulometría que viene de fábrica. La cantidad de agua que se usó para cada filtro fue: 2 litros (2000 ml). Y una vez analizada la variación que tuvieron los metales pesados y el cianuro en el agua del proceso de lixiviación en cada uno de los filtros, se determinó que la mejor variación se dio

en el filtro No. 5 donde la combinación de los materiales fue grava / arena / zeolita, ya que este redujo un considerable porcentaje tanto en el plomo como en el arsénico y el cianuro. Y la menor variación se dieron en los filtros No. 3 y 4 donde las combinaciones de los materiales fueron arena / zeolita / grava y arena / grava / zeolita respectivamente, ya que estos fueron los que redujeron el menor porcentaje tanto en el plomo como en el arsénico y el cianuro.

Los parámetros que se mantuvieron constantes en cada filtro que se construyeron para este proyecto fueron:

- **Capacidad del balde:** 4 litros
- **Granulometría:** Pasante malla 8 para la arena y pasante malla $\frac{3}{8}$ para la grava
- **Cantidad de agua:** 2 litros
- **Cantidad de material:** 500 gr de grava, arena y zeolita
- **Temperatura:** Ambiente (15°C-21°C)
- **Tiempo de filtración:** 45 días

CONCLUSIONES

Una vez culminado el trabajo de titulación, se pudo llegar a las siguientes conclusiones:

- La mejor variación del plomo, arsénico y cianuro se dio en el filtro No. 5 debido a que este redujo en su totalidad el plomo y arsénico, mientras que el cianuro se redujo de 1200 ppm a 100 ppm.
- La menor variación del plomo, arsénico y cianuro se dieron en los filtros No. 3 y 4, a diferencia del filtro No. 5 estos redujeron en su totalidad el plomo y arsénico, sin embargo, el cianuro se redujo de 1200 ppm a 350 ppm.
- La utilización de diferentes combinaciones de los materiales (arena, grava y zeolita), influyeron en la variación. Por ejemplo, en el filtro donde se puso al fondo zeolita hubo una mejor variación.
- Se determinó que la mejor combinación de materiales para la construcción de los filtros debe ser grava / arena / zeolita.
- El tiempo de filtrado también fue uno de los factores que influyó directamente en el resultado, debido a que la zeolita tuvo un mayor tiempo para absorber metales pesados y cianuro.
- El presente trabajo cumplió con el objetivo principal que fue reducir la presencia de plomo, arsénico y cianuro del agua proveniente del proceso de lixiviación de una planta de tratamiento del cantón Portovelo. Consiguiendo reducir en un 99% el arsénico y plomo y un 70% hasta el 90% el cianuro en los filtros.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar diferentes variaciones en la cantidad de materiales que se usaron en los filtros con el fin de obtener un mejor resultado en cada uno de los filtros.
- Utilizar otro tipo de materiales para la construcción de los filtros para tener otras alternativas a mas de la arena y la grava.
- Tener en cuenta el tiempo de filtrado y prolongarlo a mas de los 45 días, para llegar a ver si la zeolita pierde sus componentes de absorción.
- Se recomienda para la realización de futuros trabajos de investigación, realizar el sistema de filtración de modo que el agua pueda recircular para poder obtener un mejor resultado, ya que podríamos realizar una recirculación de esa agua para la misma planta.

LISTA DE REFERENCIAS

- Gad Municipal de Portovelo. (2019). *GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE PORTOVELO*. Retrieved 17 de Mayo de 2024, from GAD DE PORTOVELO: https://www.portovelo.gob.ec/wp-content/uploads/2021/05/PDYOT_GADMP_PORTOVELO_2014-2019_15-04-2016.pdf
- Neira, C., Rojas, J. M., & Rodas, C. (2021). METALES PESADOS. *UDA AKADEM*, 73-77. <https://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/coloquio/article/download/429/634/997>
- Ferrer, A. (2003). Intoxicación por metales. *Annales del Sistema Sanitario de Navarra*, 26(1), 141-153. <https://scielo.isciii.es/pdf/asisna/v26s1/ocho.pdf>
- Marín Giraldo, Y., Jaramillo Salazar, M. T., & Ocampo Serna, D. M. (2020). *El cianuro en la minería: efectos sobre las plantas acuáticas* (1 ed., Vol. 74). Sello Editorial Universidad de Caldas. <https://books.google.es/books?id=VRQoEAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Argota, G., Espinoza, N., & Iannacone, J. (17 de Marzo de 2015). Evaluación de la toxicidad letal media por exposición a cianuro libre en efluentes y relaves mineros utilizando los biomodelos *Brachydanio erio* Y *Eisenia andrei*. *Cátedra Villarreal*, 3(1), 83-88. <https://revistas.unfv.edu.pe/RCV/article/download/47/47/5130>
- Otero, N. (2009). *Filtración de aguas residuales para reutilización*. Servicio de Publicaciones, Universidad de la Laguna. <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/10239/cp273.pdf?sequence=1&is>

Chica, F. d., Londoño, L. M., & Álvarez, M. I. (1 de enero-junio de 2006). La zeolita en la mitigación ambiental. *Revista Lasallista de Investigación*, 3(1), 30-34.

<https://www.redalyc.org/pdf/695/69530106.pdf>

ANEXOS

Anexo 1: *Recolección de materiales.*



Anexo 2: *Tamices usados para la clasificación de los materiales.*



Anexo 3: *Tamizaje de los materiales.*



Anexo 4: *Materiales para la construcción de filtros.*



Anexo 5: *Arena y grava tamizada.*



Anexo 6: *Pesaje de los materiales.*



Anexo 7: *Armado de los filtros.*



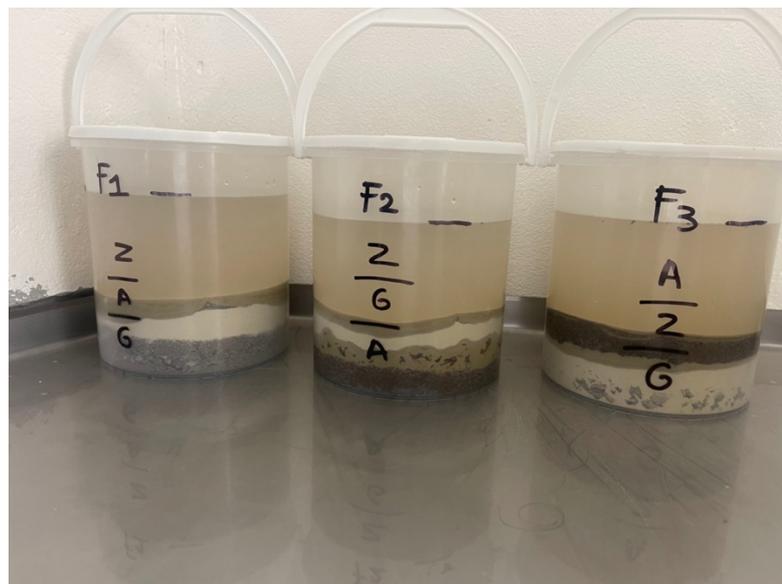
Anexo 8: *Colación de los materiales en los filtros.*



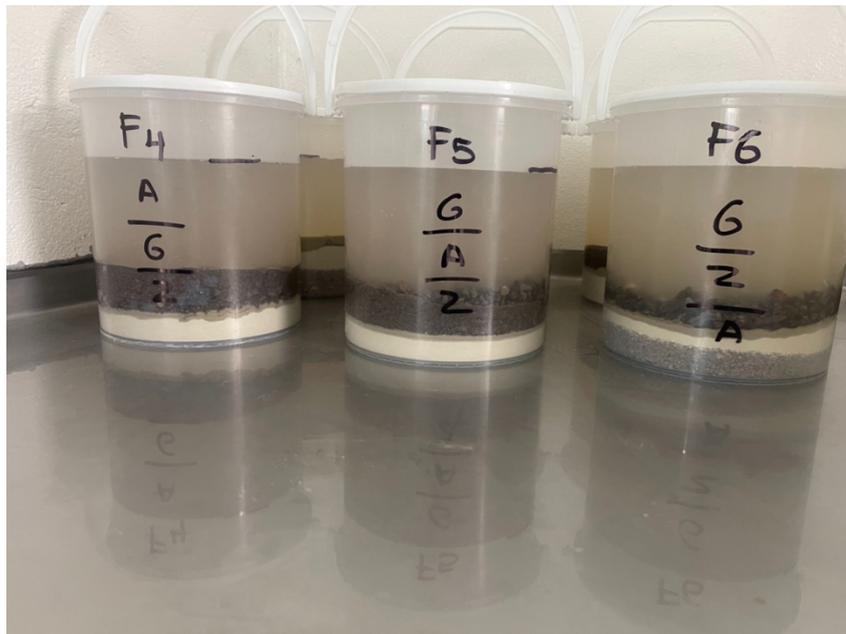
Anexo 9: Colación de agua en los filtros.



Anexo 10: Filtros armados del 1 al 3.



Anexo 11: *Filtros armados del 4 al 6.*



Anexo 12: *Recolección de las muestras de agua filtradas.*



Anexo 13: *Embalaje de las muestras.*



Anexo 14: *Muestras de agua de cada filtro.*



Anexo 15: Informe del laboratorio de la primera muestra de agua de mina.



LAB – METALOR

Laboratorio Químico Metalúrgico Oscar Reyes

Email: reyesosc@yahoo.es Celular: 099 – 445 – 7753

INFORME DE ANÁLISIS METALÚRGICO No: 03 – 1816

DATOS INFORMATIVOS:

Lugar de recepción de la muestra:	Zaruma, sector El Pache a 150 metros de la Gasolinera "Pioneros TAC" en la vía Pache – Portovelo	No. de muestras
Lugar de origen de la muestra:	Azuay – Cuenca	1
Fecha de recepción:	jueves, 7 de diciembre de 2023	
Solicitado Por:	Sr. Guido Macas	
Cliente:	Empresa Minera: Investigador	Fecha emisión
	Dirección: Azuay – Cuenca	
		2023-12-07

RESULTADOS:

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		
Parámetro	Solución (Muestra de Agua de Proceso)	Unidad
Cianuro Libre (CN)	1200	ppm
Arsénico (As)	1,750	ppm
Zinc (Zn)	3,128	ppm
Plomo (Pb)	0,036	ppm

DETALLES:

1. La muestra he información fue proporcionada por el cliente, LAB – METALOR no se responsabiliza de esta información.
2. Los resultados aplican a la muestra sometida a ensayo tal como se recibió.
3. Los Remanentes o testigos se guardarán por un periodo máximo de quince (15) días, plazo en el cual los dueños pueden solicitarlos.
4. La información entregada o generada por este servicio se mantendrá en absoluta confidencialidad.

MÉTODO:

1. CN; LAB-METALOR-013 Determinación de cianuro por el método de volumetría.
2. Cu, Pb, Zn, As, Fe, Sb, Mn, Cd, Ca, K; LAB-METALOR-014 Determinación de elementos por lectura directa con absorción atómica.

NOTAS:



Ing. Pg. Dip. Mgs. Eng.
Jefe de Laboratorio

Fin del informe

SE PROHÍBE LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DEL INFORME

Email: reyesosc@yahoo.es

Celular: 099 – 445 – 7753



LAB – METALOR

Contribuye Ecológicamente

Con la Reducción de consumo de papel
"Salvar árboles, salva el planeta"

Anexo 16: Informe de laboratorio de las muestras de agua filtrada.



LAB – METALOR

Laboratorio Químico Metalúrgico Oscar Reyes

Email: reyesosc@yahoo.es Celular: 099 – 445 – 7753

INFORME DE ANÁLISIS METALÚRGICO No: 03 – 1892

DATOS INFORMATIVOS:

Lugar de recepción de la muestra:	Zaruma, sector El Pache a 150 metros de la Gasolinera "Pioneros TAC" en la vía Pache – Portovelo	No. de muestras
Lugar de origen de la muestra:	Azuay – Cuenca	6
Fecha de recepción:	lunes, 29 de enero de 2024	
Solicitado Por:	Sr. Guido Macas	
Ciente:	Empresa Minera: Investigador	Fecha emisión
	Dirección: Azuay – Cuenca	Teléfono: 093 – 976 – 3997

RESULTADOS			
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	Plomo (Pb) ppm	Arsénico (As) ppm	Cianuro libre (CN-) ppm
F1	< 0,001	< 0,001	300
F2	< 0,001	< 0,001	150
F3	< 0,001	< 0,001	350
F4	< 0,001	< 0,001	350
F5	< 0,001	< 0,001	100
F6	< 0,001	< 0,001	300

DETALLES:

1. La muestra he información fue proporcionada por el cliente, LAB – METALOR no se responsabiliza de esta información.
2. Los resultados aplican a la muestra sometida a ensayo tal como se recibió.
3. Los Remanentes o testigos se guardarán por un periodo máximo de quince (15) días, plazo en el cual los dueños pueden solicitarlos.
4. La información entregada o generada por este servicio se mantendrá en absoluta confidencialidad.

MÉTODO:

1. Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As, Fe, Sb, Mn, Cd, Ca, K; LAB-METALOR-014 Determinación de elementos por lectura directa con absorción atómica.

NOTAS:



Ing. Pg. Dip. Mgs. Eng.
Jefe de Laboratorio

Fin del informe

SE PROHÍBE LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DEL INFORME

Email: reyesosc@yahoo.es

Celular: 099 – 445 – 7753



LAB – METALOR
Contribuye Ecológicamente
Con la Reducción de consumo de papel
"Salvar árboles, salva el planeta"