



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

**Remoción de metales pesados de los drenajes de la mina Ecuaba concesión
minera El Guayabo mediante neutralización y precipitación química**

**PERERO REY JESUS STEEVEN
INGENIERO QUIMICO**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

**Remoción de metales pesados de los drenajes de la mina Ecuaba
concesión minera El Guayabo mediante neutralización y
precipitación química**

**PERERO REY JESUS STEEVEN
INGENIERO QUIMICO**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

TRABAJOS EXPERIMENTALES

**Remoción de metales pesados de los drenajes de la mina Ecuaba
concesión minera El Guayabo mediante neutralización y
precipitación química**

**PERERO REY JESUS STEEVEN
INGENIERO QUIMICO**

ESPINOZA RAMON WASHINGTON OMAR

**MACHALA
2023**

REMOCIÓN DE METALES PESADOS DE LOS DRENAJES DE LA MINA ECUABA CONCESIÓN MINERA EL GUAYABO MEDIANTE NEUTRALIZACIÓN Y PRECIPITACIÓN QUÍMICA

por Jesus Steeven Perero Rey

Fecha de entrega: 11-oct-2023 06:25p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2192626373

Nombre del archivo: TESIS_FINAL_JESUS_PERERO_PARA_TURNITIN.pdf (1.16M)

Total de palabras: 10402

Total de caracteres: 51753

REMOCIÓN DE METALES PESADOS DE LOS DRENAJES DE LA MINA ECUABA CONCESIÓN MINERA EL GUAYABO MEDIANTE NEUTRALIZACIÓN Y PRECIPITACIÓN QUÍMICA

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

10%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	scielo.senescyt.gob.ec Fuente de Internet	1%
3	1library.co Fuente de Internet	1%
4	core.ac.uk Fuente de Internet	1%
5	publicaciones.defensa.gob.es Fuente de Internet	1%
6	www.ambiente.gob.ec Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Técnica de Machala Trabajo del estudiante	1%
8	www.scielo.org.co Fuente de Internet	<1%

9	repositorio.cuc.edu.co Fuente de Internet	<1 %
10	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
11	biblioteca.espam.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
12	www.guayas.gob.ec Fuente de Internet	<1 %
13	Submitted to Universidad Catolica De Cuenca Trabajo del estudiante	<1 %
14	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	<1 %
15	sites.google.com Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
17	ri-ng.uaq.mx Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas Activo
Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 15 words

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

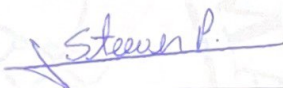
El que suscribe, PERERO REY JESUS STEEVEN, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Remoción de metales pesados de los drenajes de la mina Ecuaba concesión minera El Guayabo mediante neutralización y precipitación química, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



PERERO REY JESUS STEEVEN

0705840270

DEDICATORIA

Quiero dedicar el presente trabajo a mi madre por haberme dado la vida y acompañarme hasta este momento tan importante de mi formación profesional, además, por ser la pieza fundamental de mi vida y por demostrarme su cariño y apoyo incondicional, sin importar los obstáculos que se presenten, no cabe duda que Dios me regaló a una persona maravillosa que siempre ha velado por el bien de sus hijos y su familia, por siempre estar ahí cuando más la he necesitado, ha sabido escucharme en mis momentos más difíciles y aconsejarme sin juzgarme de ninguna manera, evidentemente que sin su presencia quizás no hubiera logrado el éxito que cosecho día a día ya que es la persona que me da las fuerzas de seguir adelante y poder obtener logros que hacen que se sienta orgullosa de tenerme como hijo, ya que eso me inspira a seguir adelante.

Jesus Steeven Perero Rey

AGRADECIMIENTO

Le agradezco primeramente a Dios por hacer posible que esté con salud y darme fuerzas y conocimiento para haber podido llegar hasta aquí y esté conquistando todas mis metas y objetivos propuestos, le agradezco a mi familia por ser un apoyo incondicional en todo este largo proceso, en el cuál ya sea directa o indirectamente estuvieron ahí apoyándome y dándome la mano cuando más lo necesitaba, en especial a mi madre, que siempre estuvo ahí conmigo en las partes buenas y malas de este proceso y siempre me apoyó y aconsejó en todas las decisiones que tomé. Darle las gracias especialmente a mi hermano Tulio, ya que gracias a él pude adquirir conocimientos adicionales, siempre me ayudó cuando era necesario y despejaba algunas dudas sobre la carrera, además de permitirme crear amistad y vínculo social que me servirá en el ámbito laboral.

A mi tutor de tesis el Ing. Washington Espinoza, por sus conocimientos compartidos, por su guía y paciencia durante este proceso de titulación. También agradecerle a la empresa municipal EMAPA S.R. por permitirme realizar mi proyecto de titulación en la Planta de Tratamiento de Agua Potable, en especial al Dr. Fernando Ortega jefe de la Planta de Agua, que me ayudó y me asistió al momento de elaborar mi tesis.

Por último, pero no menos importante, agradecerles a mis amigos que conocí en esta etapa universitaria como son mis compañeros Edison Bermeo, Andrea Maldonado, Edwin Torres, Michael Ordoñez y Nicole Barreno que siempre estuvieron brindándome su apoyo y sin duda alguna se convirtieron en una segunda familia e hicieron más fácil esta etapa.

Jesus Steeven Perero Rey

RESUMEN

Los recursos hídricos son de gran importancia económica, social y ambiental para las comunidades. Sin embargo, en las últimas décadas hemos sido testigos de un deterioro progresivo en la calidad de los afluentes, abarcando aspectos físicos, químicos y microbiológicos. Este fenómeno plantea desafíos significativos.

La importancia de la remoción de metales pesados en la desembocadura de la mina de la concesión minera El Guayabo Código 225, es debido a que es un afluente a la quebrada El Panteón, que está localizada en la parroquia Torata dentro del cantón Santa Rosa, lo cual afecta directamente la salud de los residentes locales, así como la biodiversidad y la vegetación circundante.

El motivo de este trabajo experimental es remover los metales pesados presentes en los drenajes de la mina Ecuaba en la concesión minera El Guayabo código 225, mediante neutralización y precipitación química, para cumplir con los criterios establecidos en el anexo 1 del texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al recurso agua. Por el cual se han tenido en cuenta diversos aspectos, como la selección de los puntos de muestreo, parámetros con los que serán analizados, la frecuencia del muestreo, y el método del muestreo. Además de poder observar sus actividades antrópicas, las muestras fueron recolectadas en un recipiente de 3 L, en la cual se dividieron en 5 muestras de 500 mL.

El proceso realizado fue mediante titulación al agregar la solución de hidróxido de sodio 0,1 N, hasta obtener los pH 4,5,6,7,8 respectivamente para cada muestra, los resultados obtenidos en la muestra inicial pudieron evidenciar que se presencia una concentración de pH de 2,62 lo cual es un pH ácido y una conductividad eléctrica de 2,23 mS/cm. En los análisis de metales pesados, 5 mg/L de Cu; 0,05 mg/L de Cr; + 5 mg/L de Hierro; 0,0261 mg/L Pb, y 1,0869 mg/L de As.

Para las demás muestras se realizó precipitación y neutralización con hidróxido de sodio, en la cual se obtuvo una variación de concentración de pH progresiva, desde un pH 4 hasta 8, en las muestras N°1 hasta la N°5 y con ello, una reducción progresiva de los análisis fisicoquímicos y de concentración de metales pesados.

En la muestra N°5, se evidencio una reducción significativa de concentraciones de metales pesados, los cuales cumplen con el Anexo 1 del TULSMA, obteniendo una concentración de Cu de 0,14 mg/L, Cr de 0,002, Fe de 0,32 mg/L, el Pb se removió totalmente en la precipitación y, el As solo disminuyó su concentración hasta 0,3636 mg/L, por lo cual este parámetro no cumple con los criterios de calidad del Anexo 1 del TULSMA.

Palabras Claves: Fuentes Hídricas, Precipitación, TULSMA, Metales Pesados, Contaminación Ambiental.

ABSTRACT

Water resources are of great economic, social and environmental importance for communities. However, in recent decades we have witnessed a progressive deterioration in the quality of water resources, covering physical, chemical and microbiological aspects. This phenomenon poses significant challenges.

The importance of heavy metal removal at the mine mouth of the El Guayabo Code 225 mining concession is due to the fact that it is a tributary to the El Panteón stream, which is located in the Torata parish within the Santa Rosa canton, which directly affects the health of local residents, as well as the biodiversity and surrounding vegetation.

The purpose of this experimental work is to remove the heavy metals present in the drainage of the Ecuaba mine in the mining concession El Guayabo code 225, by means of neutralisation and chemical precipitation, in order to comply with the criteria established in Annex 1 of the unified text of secondary legislation of the Ministry of Environment: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al recurso agua. For which various aspects have been taken into account, such as the selection of the sampling points, the parameters with which they will be analysed, the frequency of sampling, and the sampling method. In addition to observing the anthropogenic activities, the samples were collected in a 3 L container, in which they were divided into 5 samples of 500 mL.

The process was carried out by titration by adding 0,1 N sodium hydroxide solution, until obtaining pH 4,5,6,7,8 respectively for each sample. The results obtained in the initial sample showed a pH concentration of 2,62, which is an acid pH, and an electrical conductivity of 2,23 mS/cm. In the analysis of heavy metals, 5 mg/L Cu; 0,05 mg/L Cr; + 5 mg/L Iron; 0,0261 mg/L Pb, and 1,0869 mg/L As.

For the other samples, precipitation and neutralisation with sodium hydroxide was carried out, in which a progressive variation of pH concentration was obtained, from pH 4 to 8, from sample N°1 to N°5. In this way, it was possible to obtain a progressive reduction in the physico-chemical analysis and in the concentration of heavy metals.

It was shown by means of physicochemical analysis and heavy metal measurement that there was a significant reduction in heavy metal concentrations, which comply with Annex 1 of the TULSMA. A concentration of Cu of 0,14 mg/L, Cr of 0,002, Fe of 0,32 mg/L, and Pb was completely removed in the precipitation. As only decreased its concentration to 0,3636 mg/L, so the concentration does not meet the quality criteria of Annex 1 of the TULSMA.

Keywords: Water Sources, Precipitation, TULSMA, Heavy Metals, Environmental Pollution.

INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
RESUMEN	3
ABSTRACT.....	5
INDICE GENERAL	7
INDICE DE TABLAS	10
INDICE DE FIGURAS	11
INTRODUCCIÓN	13
OBJETIVOS	15
Objetivo General	15
Objetivos Específicos.....	15
1. MARCO TEORICO	16
1.1 Agua.....	16
<i>1.1.1 Contaminación del Agua.</i>	<i>16</i>
1.2 Minería en el Ecuador	17
<i>1.2.1 Minería en la Provincia de El Oro.</i>	<i>19</i>
1.3 Metales Pesados	19
<i>1.3.1 Contaminación por Metales Pesados.</i>	<i>20</i>
<i>1.3.2 Metales Pesados presentes en medios acuíferos.</i>	<i>21</i>
<i>1.3.3 Arsénico.</i>	<i>21</i>
<i>1.3.4 Cadmio.</i>	<i>22</i>
<i>1.3.5 Mercurio.</i>	<i>22</i>
1.4 Técnicas de Remoción de Metales Pesados	22
<i>1.4.1 Precipitación Química.</i>	<i>23</i>

1.4.2	<i>Precipitación Química con Hidróxidos.</i>	24
1.4.3	<i>Neutralización.</i>	24
1.5	TULSMA	25
1.5.1	<i>Aguas de Drenajes de Mina.</i>	25
2.	METODOLOGÍA	28
2.1	Tipo de Investigación	28
2.2	Ubicación Geográfica	28
2.3	Equipos y Materiales	29
2.4	Plan de Muestreo	29
2.5	Toma de Muestras	29
2.6	Precipitación-Neutralización Química con diferencias de pH	30
2.7	Análisis de parámetros fisicoquímicos	31
2.8	Análisis de Concentración de Metales Pesados	31
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
3.1	Análisis Fisicoquímicos	33
3.1.1	<i>Medición de pH.</i>	33
3.1.2	<i>Medición de Conductividad Eléctrica.</i>	34
3.1.3	<i>Turbiedad presente.</i>	35
3.2	Concentraciones de Metales pesados	37
3.2.1	<i>Concentración de Cobre (mg/L).</i>	37
	TABLA 9. <i>Concentración del Cobre en comparación al límite máximo permitido por el TULSMA de las diferentes muestras.</i>	37
3.2.2	<i>Concentración de Cromo (mg/L).</i>	39
3.2.3	<i>Concentración de Hierro total (mg/L).</i>	41
3.2.4	<i>Concentración de Plomo (mg/L).</i>	43
3.2.5	<i>Concentración de Arsénico (mg/L).</i>	45

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
4.1 Conclusiones	47
4.2 Recomendaciones.....	49
BIBLIOGRAFIA	50
ANEXO A.....	59
ANEXO B.....	60
ANEXO C.....	61
ANEXO D.....	62

INDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. Detección del metal, según su origen de contaminación	20
TABLA 2. Límites de descarga a un cuerpo de agua.....	26
TABLA 3. Reactivos, Materiales y Equipos	29
TABLA 4. Coordenadas de Desembocadura de Bocamina	30
TABLA 5. Cantidad de NaOH utilizada para cada una de las muestras.....	33
TABLA 6. Medición de la Conductividad Eléctrica para cada una de las muestras	34
TABLA 7. Turbiedad presente en cada una de las muestras.....	35
TABLA 8. Concentración del Cobre en comparación al límite máximo permitido por el TULSMA de las diferentes muestras.....	37
TABLA 9. Concentración del Cromo en comparación con el límite máximo permisible por el TULSMA.....	39
TABLA 10. Concentración de Hierro en comparación al límite máximo permitido por el TULSMA.....	41
TABLA 11. Concentración de Plomo en comparación al límite permitido por el TULSMA.....	43
TABLA 12. Concentración de Arsénico en comparación a los permitido por el TULSMA	45

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Ubicación de la mina Ecuaba.....	28
FIGURA 2. Conductividad Eléctrica presente en las diferentes muestras.	34
FIGURA 3. Turbiedad en relación al pH de las muestras	36
FIGURA 4. Comparativa entre la Concentración de Cobre y el pH de cada muestra... 38	38
FIGURA 5. Comparativa entre la concentración del Cromo y el pH de cada muestra . 40	40
FIGURA 6. Comparativa entre la concentración de pH y la concentración de Hierro . 42	42
FIGURA 7. Comparativa entre la concentración de pH y la concentración de Plomo . 44	44
FIGURA 8. Comparativa entre la concentración de pH y la concentración de Arsénico.	45

LISTADO DE ABREVIATURAS

TULSMA: Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

NaOH: Hidróxido de sodio

DAM: Drenaje ácido de mina

ppm: Partes por millón

OMS: Organización Mundial de la Salud

EMAPA-SR: Empresa municipal de agua potable y alcantarillado de Santa Rosa

INTRODUCCIÓN

Como es de conocimiento, el recurso hídrico es un bien de gran importancia económica, social y ambiental para las comunidades. Sin embargo, desde las últimas décadas tanto la calidad física, química y también microbiológica de los afluentes ha presentado lo que se conoce como un deterioro progresivo, esto a consecuencia del crecimiento demográfico, la sobreexplotación de los recursos y la utilización de las fuentes como medios receptores directos o indirectos de desechos de diferentes actividades antrópicas¹.

La contaminación de las fuentes hídricas de los drenajes que son dados por desembocadura de mina, cada día es mayor, ha aumentado la exposición para los seres humanos y las demás formas de vida, al incrementar la probabilidad de quedar expuestos a los metales presentes en este tipo de aguas².

La importancia de la eliminación de metales pesados en la desembocadura de mina de la concesión minera El Guayabo Código 225, es porque es un afluente a la quebrada El Panteón, que está localizada en la parroquia Torata dentro del cantón Santa Rosa, se lo realiza cuyas aguas tienen contacto directo entre el recurso hídrico y los seres humanos, animales, y producciones agrícolas del sector y cercanos a ellos, esto es una preocupación, ya que estos metales pesados contienen una concentración elevada, y pueden causar daños por su alta toxicidad.

Las técnicas de remoción de metales pesados que están con concentraciones relativamente bajas de iones metálicos deben ser de alta sensibilidad y gran eficacia. Los tratamientos aplicados a la remoción de metales pesados son técnicas químicas y/o físicas, por ejemplo, las técnicas de precipitación química y de neutralización.

Los metales pesados se introducen en el cuerpo humano, a través de la piel, la inhalación y se vuelven peligrosos cuando no son metabolizados por el organismo, y a consecuencia, se acumulan en los tejidos blandos del ser humano. Los niveles altos de cadmio y arsénico pueden causar daños a la piel, pulmón e hígado; niveles altos de mercurio dañan el sistema neurológico y riñones³.

La toxicidad de los metales pesados, se sujetan de su circulación en el medio que se encuentran, que también depende de la especiación química y bioacumulación química.

La industria minera ha tolerado que altas concentraciones de algunos metales pesados que son muy tóxicos se dejen emitir a la atmósfera y ser traspasados en los ambientes acuáticos⁴.

Las aplicaciones de técnicas de tratamiento de metales pesados en la quebrada del río, corresponden a procesos innovadores y referentemente para que se lo pueda aplicar dependiendo las necesidades o características del agua.

La precipitación química, es una de las técnicas más utilizadas porque es fácil de operar, económica y selectiva en su proceso. Uno de los métodos de precipitación química más usados, está la precipitación por hidróxidos, debido a que su funcionamiento tiene costos mínimos, que forma un sólido insoluble del metal, seguido, los agentes químicos adicionados a la solución hacen que haya una modificación de el pH para así poder hacer que el precipitado no se disuelva en la solución, después de eso se le hace el proceso de sedimentación, estos precipitados se los deja de lado y lo restante se lo utiliza para otros propósitos³.

OBJETIVOS

Objetivo General

Remover los metales pesados presentes en los drenajes de la mina Ecuaba en la concesión minera El Guayabo Código 225, mediante neutralización y precipitación química, para cumplir con los criterios establecidos en el Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua.

Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico de la calidad del agua del drenaje de la mina Ecuaba concesión minera el Guayabo Código 225 para su posterior tratamiento.
- Realizar los tratamientos de remoción de los metales pesados: cobre, cromo, hierro, plomo, arsénico, utilizando las técnicas de neutralización y precipitación química, para reducir los niveles de concentración de estos metales pesados.
- Comparar la concentración de los metales pesados después del tratamiento aplicado, según los criterios de calidad que se encuentra en la Tabla 9 de la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua en el anexo 1 del TULSMA.
- Evaluar la eficiencia del proceso de las técnicas de neutralización y precipitación química en relación a los resultados obtenidos.

1. MARCO TEORICO

1.1 Agua

El agua es un recurso de vida que no se puede debatir o negar y debe ser irremplazable, esto en todos los ámbitos, más aún para realizar actividades de alto rendimiento, también en ellas está la elaboración de productos alimenticios y el normal funcionamiento de muchas industrias que generan socioeconomía en el país, ya sea el turismo, en el sector industrial y de producción energética, entre otros.

El agua tiene un valor que es propio, en lo cual este valor abarca en el ámbito social y ambiental, el recurso hídrico es un derecho humano, además de ser una necesidad humana, en tanto es indispensable y ayuda a que se protejan o que se aseguren otros derechos, pues su existencia es única para lograr tener un balance de los ecosistemas naturales⁵.

El agua es totalmente vital para realizar muchas actividades, comenzando por la más valiosa, el desarrollo de la vida de una persona y como es conocida en nuestro planeta. Además, tiene el desempeño de un rol que es importante en muchas actividades sociales y económicas, destinadas que las personas pueden hacer con normalidad sus necesidades básicas del día a día (ya sea comer, producción de alimento, o higiene personal) y otras relacionadas con el desarrollo, como ayuda en la producción de energía eléctrica, fabricación de productos elaborados, actividades de ocio, etcétera. En todas estas áreas es un recurso que no puede faltar, y que se puede emplear en mayor o menor cantidad teniendo a cabo una producción adecuada o inadecuada, pero no hay otra cosa que pueda sustituir el uso del agua⁶.

1.1.1 Contaminación del Agua. Hoy en día, uno de los problemas más importantes en todo lo que es la sociedad es la contaminación de este recurso, debido a que este produce un alto peligro a la reservación de ecosistemas acuáticos y terrestres, que viene perjudicando a todo lo que tiene que ver con la salud de las personas⁷.

La contaminación del agua en todos los ámbitos ha sido un grave problema que siempre ha estado presente a causa de que las industrias han hecho un abuso por parte de las industrias y de las empresas, la creciente baja, problemas en el organismo, el desgaste de pozos receptores y el poco apoyo de fuentes de disminución de fuentes de suministro de agua potable que es dada al análisis de parámetros cualitativos y cuantitativos⁸.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), nos dice que el agua contaminada nos puede dar a nosotros las personas, mediante transmisión directa, las enfermedades como diarrea, cólera, disentería, hepatitis A, esquistosomiasis, fiebre tifoidea y la poliomielitis. Consecuentemente, en una investigación realizada se evidenció que con el agua contaminada hay más de 502.000 muertes por diarrea cada año, sin embargo, más que cerca de 2.000 millones de personas tienen contacto o ingieren agua contaminada y por ello conlleva a que se intoxiquen o se enfermen⁹.

Respecto a Ecuador, durante muchos años el manejo del agua se ha centrado en iniciativas para mejorar el aprovisionamiento, más no su calidad. Esta problemática es agravada por la baja disponibilidad de los recursos económicos para la conservación de fuentes primarias y la falta de un buen criterio de manejo¹⁰.

1.2 Minería en el Ecuador

La minería de procesos ha sido en estos últimos siglos un nuevo instructivo que debe ser investigado, porque se beneficia de técnicas e implementos las cuales nos ayudan a poder conocer los cimientos organizacionales, poder descubrir y poder seguir el paso, para ayudar a tener eficiencia en este tipo de procesos que son reales, para así poder ver cuál es la mejor manera de aplicarlos, y aun así extraer la información que es relevante de los registros de eventos que están disponibles para recolección de información¹¹.

En Ecuador, ha habido mucho crecimiento en lo que es la minería artesanal, y esto ha hecho que se dé la contaminación en estas zonas y más aún por metales pesados dados en la provincia de El Oro.

La extracción de oro y plata, se da mediante dos partes, la primera parte requiere la extracción del mineral de la mina que se recolecta, y la segunda etapa es cuando estos metales que fueron recogidos se someten a procesos aptos para el procesamiento¹².

Según el art. 21 de la Ley Minera del Ecuador, el estado tiene la ejecución de sus actividades mineras por intermedio de la Empresa Nacional Minera ya que es posible que se establezcan empresas de economía mixta. Las actividades mineras públicas, comunitarios o autogestión, que están protegidas por garantías iguales y merecen protección del Estado, según siga las normas de la ley vigente¹³.

La minería en el Ecuador se ha dado en abundancia, los mineros artesanales que trabajan en los ríos, lo mínimo que se obtiene son tres gramos de oro al día. Todo este tipo de minería artesanal hace que se contamine el agua, ya que usan otros reactivos u otros contaminantes como el cianuro y mercurio.

Los afectados son las mismas personas que manipulan esos metales, en este caso son los mineros, ya que ellos tienen en sus manos el mercurio sin ninguna protección ni cuidado, esto hace que tengan problemas de salud en un futuro, todo esto debido a que mucho de ellos no son estudiados o tienen un conocimiento del daño que causa ese tipo de minería, o que simplemente no quieren de dejar esa técnica que por años han sido enseñados a utilizarla¹⁴.

Ecuador es muy bendecido, ya que este cuenta con una gran ubicación por sus montañas y también por su climatología, porque este hace que se pueda dar con más facilidad las actividades económicas, por eso la minería es de gran riqueza en este país, más que nada en la Provincia de El Oro, cuenta con vertederos minerales que tienen gran abundancia de metales que son económicamente favorables para su recolección, el oro, plata y demás son claros ejemplos. Entre las principales provincias del país que se puede encontrar gran cantidad de estos metales son las provincias de Pichincha, Bolívar, Esmeraldas, Imbabura, Zamora Chinchipe, Napo y Sucumbíos¹⁵.

La constitución ecuatoriana tiene una evidente delimitación hacia lo que es la actividad minera, así requiriendo especialmente la sostenibilidad. En general, en la constitución podemos encontrar artículos que hacen que la población tenga algo de que protegerse hacia la sostenibilidad (Art. 14); también la producción en general que debe de ser guiada por los principios de sostenibilidad (Art. 320); y lo propio sucede en el caso de la seguridad social (Art. 368). Cuando se vea que se quiere atentar hacia los derechos medioambientales o de la naturaleza, el Estado tomara rigor de la ley hacia ellos¹⁴.

1.2.1 Minería en la Provincia de El Oro. La provincia de El Oro se identifica por lograr ser extractora de oro de forma artesanal, y pese a que ya se encuentran procesos de refinamiento amplios, aún se considera que es a pequeña escala. Se cuenta con alrededor de 6000 mineros que aún hacen trabajos con mercurio y cianuro de manipulación directa. Las plantas de procesamientos de la provincia de El Oro son consideradas aún a pequeña escala, pero se ha evidenciado que ha habido un mejoramiento de sus procesos y equipos desde la última década, hasta ahora.¹⁶.

En la Provincia de El Oro, la minería artesanal se ha logrado consolidar en lo que es la parte más alta de la cuenca del río Puyango (Zaruma y Portovelo)¹².

En el cantón Portovelo, perteneciente a la provincia de El Oro, hay el mayor número de labores artesanales en minería, en los últimos registros se ha evidenciado que los obreros han cumplido en su mayor parte el acuerdo de la explotación responsable de materiales mineros, pero hay algunas restricciones para los que deseen asociarse y formar parte de la minería artesanal en el Ecuador¹⁷.

1.3 Metales Pesados

Los metales pesados son elementos químicos caracterizados por su elevada densidad (superior a 4 g/cm³), así como por su masa y peso atómico que sobrepasan el valor de 20. Estos metales son tóxicos incluso en concentraciones bajas¹⁸.

La existencia de metales pesados y compuestos orgánicos complejos en los recursos hídricos ha sido la causa de numerosos incidentes que han tenido un impacto significativo en los ecosistemas acuáticos y en la salud pública en general^{19,20}. En la actualidad, el término "metal pesado" se emplea en un sentido general para describir aquellos metales o elementos metaloides que tienen el potencial de causar problemas de toxicidad²¹.

En su estado natural, los metales pesados existen en el medio ambiente en cantidades mínimas que, por lo general, no representan una amenaza para las distintas formas de vida. Los metales pesados son sustancias que no pueden ser descompuestas o eliminadas, pero pueden ser solubilizadas por factores físicos y químicos, así como transportadas a través del proceso de lixiviación en el entorno²².

1.3.1 Contaminación por Metales Pesados. Este tipo de contaminación por metales pesados se ha elevado en los últimos años, debido a que existe una estrecha relación entre el desarrollo del sector industrial con la eficiencia de los niveles de estos elementos en suelos y agua²³. Esta contaminación se da más en el sector minero, metalúrgico, por el tráfico y contaminación de agricultura por pesticidas²².

En América Latina, la polución está estrechamente relacionada con la extracción de recursos no renovables, lo que ha ocasionado daños en la calidad de los suelos, el agua y la atmósfera. Dos de los principales contaminantes en esta región son el mercurio y el plomo, los cuales se utilizan en la industria minera. Esta actividad industrial se ha vuelto problemática debido a la escasa regulación que la rige.²².

TABLA 1. Detección del metal, según su origen de contaminación

Origen De Contaminación	Metal pesado involucrado
Natural, que es proveniente del suelo	Cadmio, Bromo, Flúor, Cobre
Uso de insecticidas, desinfectantes y medicamentos	Arsénico, Cobre, Plomo, Mercurio
Del suelo arenoso y envase de vidrio	Silicio
Por el equipo de procesamiento	Cobre, Hierro, Niquel, Estaño, Plomo, Zinc
Debido al almacenamiento	Hierro, Niquel, Estaño, Plomo, Cadmio, Estroncio
Por oxidación en el envase	Hierro y Cobre
Debido al procesamiento	Cobre, Cadmio, Arsénico
Suplementos alimenticios en dietas de animales	Cobre, Cadmio, Hierro, Zinc, Arsénico

Fuente: ²²

1.3.2 Metales Pesados presentes en medios acuíferos. Los metales pesados se dan en presencia de medios acuíferos cuando se dan procesos de forma geoquímica o cuando hay actividades antropogénicas en los que se utiliza este recurso²⁴.

Cuando se realiza un proceso de obtención de metales pesados se da la contaminación cuando hay un traspaso de efluente directo, este se puede dar de forma intencionada para mejorar el proceso, pero aumenta la contaminación, pero también se da por forma accidental, en el cuál provocan la contaminación de estas aguas y también de lo subterráneos²⁵.

1.3.3 Arsénico. El arsénico (As) se presenta ante nosotros como un elemento difícil de que lo podamos encontrar de forma aislada, es decir, siempre se encuentra en conjunto de otros metales, por lo cual es necesario utilizar otros aditivos para su separación, además su identificación es difícil, ya que existen diferentes compuestos del mismo que puede ser trivalente As (III) o pentavalente As (V) y, los cuales están ampliamente distribuidos en la naturaleza²⁵.

El arsénico en los últimos años, se ha dado con mucha frecuencia en aguas que son de consumo humano, los cuales generan una problemática de manera global, porque debe de haber una regulación de este elemento estas aguas, el arsénico se presenta de manera abundante es porque está presente en la corteza terrestre, y cuando hay procesos como la explosión química para recolección de minerales, o cuando se disuelven para obtener otros metales, hacen que sea peligroso y se encuentre dentro de este recurso hídrico, puede estar presente hasta en los plaguicida u otros materiales que el ser humano mismo crea o modifica.

Cuando tenemos arsénico en concentraciones muy elevadas o más de lo permisible para que no sea dañino para el ser humano, estas altas concentraciones hacen que se den efectos graves en la salud, dependiendo de que cantidad y que concentración de este metal ha sido ingerido o manipulado es la consideración del daño causado, pueden llegar a ser desde toxicidades leves o agudas, hasta crónicas como la arsenicosis y daño a lo pulmones²⁵.

1.3.4 Cadmio. Es relativamente raro en la naturaleza. Es de color blanco ligeramente azulado, de peso atómico 112 y densidad relativa 8. Tiene 8 isótopos estables y presenta 11 radioisótopos inestables de tipo artificial²². Se acumula en plantas, suelo y sedimentos. Las formas de exposición de la población son por vía oral y por inhalación²².

El cadmio posee una amplia toxicidad para todas las formas de vida ya que se acumula en los tejidos de los organismos y lesiona principalmente a los mecanismos que controlan la concentración de los iones, además de afectar las funciones respiratorias o nerviosas²⁵.

1.3.5 Mercurio. El mercurio es un líquido blanco plateado a temperatura ambiente. El mercurio forma amalgamas entre los metales oro, plata, platino, uranio, cobre, plomo, sodio y potasio, se encuentra comúnmente como sulfuro, también como rojo de cinabrio, en menor abundancia metal cinabrio negro y el menos común cloruro de mercurio.

Los principales efectos por envenenamiento de mercurio son trastornos neurológicos y renales, así como el deterioro de la función pulmonar. Aunque en los países desarrollados se ha prohibido el uso de mercurio metálico en la extracción del oro, mineros de todo el mundo continúan usándolo en dichos procesos a pequeña escala en las mineras artesanales²⁶.

1.4 Técnicas de Remoción de Metales Pesados

El efluente que deja algunos residuos industriales en los ríos y lagos, hace que se creen contaminantes en los sedimentos del agua de río. Aquí se encuentran los metales pesados, los cuáles son los que de cierto modo ponen en peligro la salud y son tóxicos en elevadas concentraciones, ya sea de contacto directo o indirecto, o de uso para procesamiento alimentario²⁷.

Estos metales pesados no se pueden deshacer de forma normal o por degradación biológica, lo contrario de los contaminantes orgánicos que si se pueden degradar de manera biológica. Cuando los metales pesados en cantidades desmedidas son tóxicos a través de la acción directa del metal o de sus sales inorgánicas. La exhibición a distintos metales se puede producir de manera muy común, más aún en lo que es residuos industriales o mineros²⁷.

Esta dificultad hacia la contaminación por metales pesados en efluentes de ríos, hace que se pretenda un seguimiento y vigilancia, a que estos metales pesados no se degradan y se pueden biomagnificar en lo que es la cadena alimentaria o de contacto directo²⁸. Por eso existen técnicas de remoción de metales pesados, para poder eliminar o bajar las concentraciones, de la manera más efectiva posible²⁹.

Hoy en día existen varias técnicas las cuáles son practicadas y examinadas para la remoción de metales pesados, hay técnicas que incluyen lo que son procesos biológicos (el uso de hongos y bacterias), lo que son las técnicas de lixiviación química (utilización de ácidos orgánicos, ácidos inorgánicos, y lixiviantes alcalinos en los cuales se incluyen operaciones unitarias tales como la precipitación química, coagulación, intercambio iónico, entre otros), procesos térmicos (los cuales pueden ser combustión, fundición, entre otros)³⁰.

1.4.1 Precipitación Química. El método de precipitación química es una técnica muy utilizada para aplicaciones industriales, esto debido a su sencillez y bajo costo y su efectividad para la degradación de metales pesados³¹. Esta técnica tiene como función el formar un precipitado de metales, en el cual se forma añadiendo sustancias químicas que puedan alterar el pH, y se debe evitar que el precipitado se diluya en dicha solución³².

Los precipitados por lo general son partículas finas, y se deben utilizar algunos precipitantes químicos y coagulantes, para que así se pueda aumentar el tamaño de la partícula, y por último poder eliminarlas como lodos, cuando estos metales están precipitados y conformados en sólidos, es muy fácil de eliminarlos³³.

La remoción de iones metálicos se mejora a niveles óptimos cambiando parámetros con la temperatura, pH, entre otros³⁴.

Por ejemplo, cuando agregamos cal en el efluente de río, se liberan iones hidróxido en la solución, haciendo así un aumento del pH del agua acida, como se lo observa en la ecuación 1.



Así entonces, se precipitan los metales que están disueltos, como lo es el caso del hierro, que el ion ferroso+2 debe oxidarse para formar Fe+3 y así precipitarse como se lo observa en la ecuación 2.



Entonces, el ion ferroso se presenta de manera estable en condiciones de pH bajo, y el ion férrico es precipitado en condiciones básicas, como se muestra en la ecuación 3.



1.4.2 Precipitación Química con Hidróxidos. La precipitación de hidróxidos, se considera uno de los métodos más factibles cuando se refieren a remoción de metales pesados. Este método se da en la modificación de pH con los hidróxidos metálicos, diferentes tipos de precipitantes como cal, hidróxido de calcio, hidróxido de sodio pueden crear precipitados de hidróxido para la eliminación de metales pesados. La cal y la piedra caliza se los utiliza con mucha frecuencia ya que es muy fácil de conseguir y es muy barato en la industria³².

1.4.3 Neutralización. La neutralización como técnica de remoción de metales pesados se define como un tratamiento ácido-base³⁵, por lo cual tiene como objetivo equilibrar el pH del efluente a tratar³². Tiene como principal destino el estrechar las concentraciones de los iones que son H⁺ y OH⁻³⁶, y así poder lograr llegar a lo que son valores próximos a los que contiene el agua, se considera que el líquido está neutralizado cuando su valor de pH está entre 7 a 9. Si la actividad industrial del caso genera desechos tanto ácidos como alcalinos, se deben utilizar tanto la acidez como la alcalinidad excedente para producir un efluente neutro³⁷.

1.5 TULSMA

El Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente es el documento en el cual se establecen políticas básicas ambientales del Ecuador para promover el desarrollo hacia la sustentabilidad³⁸.

1.5.1 Aguas de Drenajes de Mina. En el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Medio Ambiente, existe una norma que rige las aguas de drenajes de mina, con la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes, la cual tiene como objetivo principal el proteger la calidad del recurso de agua y así preservar los usos del mismo, además de salvaguardar la integridad de las personas y los ecosistemas en el ambiente en general.

Su principio básico se da en el controlar que el recurso hídrico no sea contaminado, también en el poder hacer que se mantenga la calidad del agua de agua, y así mismo el cumplir con la norma de calidad³⁸.

Con respecto al control de la contaminación de los cuerpos de agua de cualquier tipo, se debe desarrollar el Plan de Manejo Ambiental, con el cuál se incluya el tratamiento de sus efluentes previo a la descarga y además actividades que permitan prevenir y controlar posibles impactos ambientales, para lo cual se deben cumplir los criterios indicados en la tabla 2:

TABLA 2. Límites de descarga a un cuerpo de agua

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. Carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real ¹	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Total de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles	mg/l	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005

TABLA 2.1. (Continuación).

Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados	mg/l	0,05
Organoclorados	totales		
Compuestos Organofosforados	Organofosforados	mg/l	0,1
Organofosforados	totales		
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH	mg/l	6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO ₄	mg/l	1000
Sulfuros	S ²⁻	mg/l	0,5
Temperatura	°C	mg/l	Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida

Fuente: ³⁹

2. METODOLOGÍA

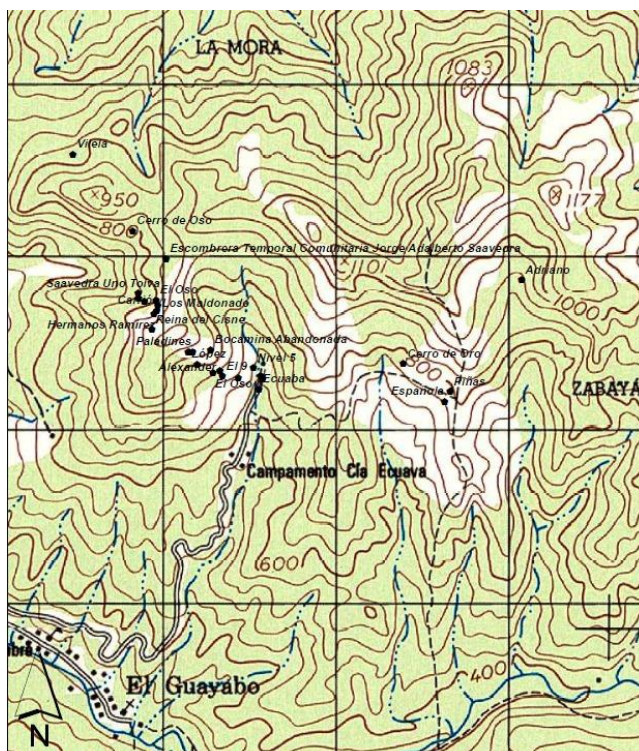
2.1 Tipo de Investigación

La investigación fue realizada de tipo experimental, de campo y analítica, ya que se realizarán análisis a los afluentes de río.

2.2 Ubicación Geográfica

La toma de muestra se desarrollará en los drenajes de mina Ecuaba, concesión minera el Guayabo, la cual está ubicada en la parroquia Torata del cantón Santa Rosa. Con ayuda de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del cantón Santa Rosa EMAPASR-EP.

FIGURA 1. Ubicación de la mina Ecuaba.



Fuente: Elaboración propia

2.3 Equipos y Materiales

TABLA 3. Reactivos, Materiales y Equipos

Reactivos	Materiales	Equipos
Hidróxido de Sodio 0.1 N	Frasco de Vidrios Ámbar	GPS
Floculante (polímero)	Fundas de Plásticos	Multiparámetro
Agua destilada	Balde de recepción	Balanza de Precisión,
Agua de Bocamina	Frascos de Poliestireno	marca Sartouris
Solución estándar de pH y conductividad	Frascos estériles	Potenciómetro
	Bureta	Agitador Magnético
	Vasos de Precipitación	Espectrofotómetro Portátil
	Pipetas	Turbidímetro HACH

Fuente: Elaboración propia

2.4 Plan de Muestreo

La bocamina de la mina Ecuaba tiene un afluente que conecta directamente con el río Torata, donde se consideró como parámetros: los puntos de muestreo, concentraciones, la frecuencia y método del muestreo. Además de poder observar sus actividades antrópicas.

2.5 Toma de Muestras

La toma de muestras se realizó en conjunto con la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPA-SR), donde se realizó la visita de campo a la concesión minera El Guayabo-Código 225, situada en la parroquia Torata, que queda dentro del cantón Santa Rosa en la provincia de El Oro, en donde se tomó una muestra simple en la desembocadura de la bocamina, antes de que el agua sea tratada y pase por los diferentes procesos que actualmente se rigen en la concesión minera, las muestras fueron recolectadas en un recipiente de 3 L, donde fue denominada como muestra inicial.

TABLA 4. Coordenadas de Desembocadura de Bocamina

<i>Recipiente N°0 Inicial</i>	<i>Coordenadas</i>	
	<i>X</i>	<i>Y</i>
	627489	9604971

Fuente: Elaboración Propia

Para la toma de muestras, nos regimos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:2013 “AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO⁴⁰” Donde:

Primero se identificó el punto de muestreo seleccionado y nos ubicamos para realizar la toma de la muestra.

Se lavó el recipiente unas dos veces con la misma agua de la bocamina.

Después se empieza el llenado sumergiendo el recipiente sin tocar el fondo, para así evitar que se eleven los sedimentos y así no pueda interferir en la muestra.

Una vez llenado el recipiente, se lo tapa herméticamente y se procede a etiquetarlos, en este caso se lo conoció como “Muestra inicial”.

Para finalizar se guardó la muestra en refrigeración, para después realizar los análisis correspondientes⁴⁰.

2.6 Precipitación-Neutralización Química con diferencias de pH

Para la experimentación de precipitación-neutralización se tomaron 2.5 L de drenaje ácido de mina de la bocamina, en la cual se dividieron en 5 muestras de 500 mL. Se colocaron los 500 mL de drenaje ácido de mina en vasos de precipitación de 500 mL para realizar los ensayos. Los cuales fueron constituidos para concentrarse en pH de 4,5,6,7,8 respectivamente⁴¹.

Se utilizó como reactivo el hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N que fue otorgado por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPA-SR), para poder aumentar el pH de cada muestra.

Las pruebas de precipitación-neutralización fueron llevadas a cabo con un agitador magnético a un vaso de vidrio de precipitación que contenía 500 mL de drenaje ácido de mina. El proceso realizado fue mediante titulación al agregar la solución de hidróxido de sodio 0.1N poco a poco a nuestra muestra para poder obtener los pH 4,5,6,7,8 respectivamente para cada muestra, para esto nos ayudamos con un multiparámetro marca HACH HQ40d en donde se podía registrar el pH que se requería, la temperatura de la solución, y la conductividad eléctrica⁴².

Una vez obtenido el pH deseado en cada una de las muestras, se deja reposar la muestra con el reactivo por alrededor de unas 2 horas, para que pueda formarse el precipitado en la parte inferior de la solución. Después de haber transcurrido ese tiempo, se obtiene el agua que se encuentra en la parte superior (sobrenadante), para después realizar los análisis respectivos.

2.7 Análisis de parámetros fisicoquímicos

Para el análisis de pH, conductividad eléctrica (mS/cm), y temperatura (°C) se utilizó un multiparámetro marca HACH HQ4d tanto en el campo como en el laboratorio, previamente fueron calibradas las sondas con soluciones estándar de pH 4,7,10 respectivamente, y una solución de 100 mS/cm para la conductividad eléctrica⁴³.

Para determinar la turbiedad, se utilizó un Turbidímetro con lámpara de tungsteno TL2300 marca HACH (cantidades en NTU). Los cuales fueron facilitados por EMAPA.SR.

2.8 Análisis de Concentración de Metales Pesados

La medición de concentración de metales pesados como el cobre, cromo y hierro total, fueron analizados por un espectrofotómetro portátil de registro de datos marca HACH DR/2010 en el cual se necesitaban reactivos Ampul AccuVac de Hach dependiendo del metal que se quiera obtener la concentración, los parámetros de detección se dan en mg/L (ppm). Este equipo fue facilitado por EMAPA.SR.

Para la medición de plomo y arsénico, se dio por medio de determinación de elementos por digestión con ácidos concentrados, previo a lectura por absorción atómica, el cual las muestras se tuvieron que enviar a LAB-METALOR el cuál es un laboratorio químico Metalúrgico para su análisis.

Para la tabulación de datos y elaboración de las figuras, se utilizó el programa estadístico Origin.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis Fisicoquímicos

3.1.1 *Medición de pH.* En la Tabla 5, se observa la cantidad de NaOH en mL que fue añadido mediante titulación y agitación a las 5 muestras, para así obtener las diferentes concentraciones de pH y realizar las precipitaciones de metales pesados progresivamente.

TABLA 5. Cantidad de NaOH utilizada para cada una de las muestras

Código muestra	Cantidad de NaOH utilizado (mL)	pH
N° 0 inicial	0	2,62
N° 1	6,8	4,01
N°2	7,9	5,04
N°3	9,9	6,02
N°4	10,7	7,35
N°5	11,4	8,11

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5 podemos evidenciar que al aumentar de cantidad de NaOH, la concentración de pH es directamente proporcional, en el cual se puede observar en la muestra N°1 al agregar 6,8 mL de NaOH se obtiene un pH de 4,01, y al agregar en la muestra N°2 7,9 mL de NaOH la concentración de pH aumentó a 5,04, por lo cual en estos resultados obtenidos se puede evidenciar que existe un incremento en relación a la concentración de pH dependiendo a la cantidad de NaOH que fueron agregados a cada una de las muestras.

3.1.2 Medición de Conductividad Eléctrica.

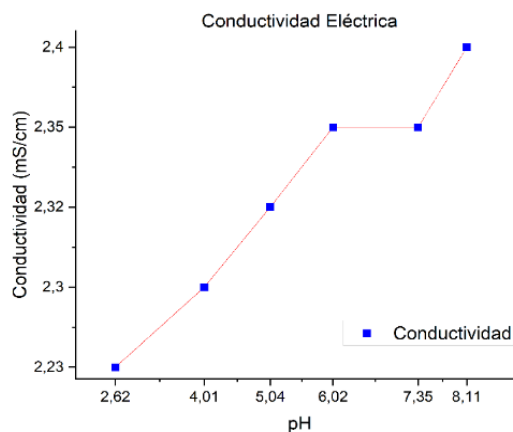
TABLA 6. Medición de la Conductividad Eléctrica para cada una de las muestras

Código muestra	pH	Conductividad Eléctrica (mS/cm)
N° 0 inicial	2,62	2,23
N° 1	4,01	2,3
N°2	5,04	2,32
N°3	6,02	2,35
N°4	7,35	2,35
N°5	8,11	2,4

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 6, se observa la conductividad eléctrica que fue leída en el multiparámetro marca HACH HQ4d en las medidas de mS/cm, se midió en la muestra inicial la cuál es la de salida de bocamina, y en las otras 5 muestras, que fueron tratadas con NaOH a diferentes concentraciones de pH.

FIGURA 2. Conductividad Eléctrica presente en las diferentes muestras.



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 2 se puede observar el incremento de la conductividad eléctrica en cada una de las muestras y, podemos evidenciar que mientras va aumentando la concentración de pH en cada muestra, la conductividad eléctrica también aumenta, el aumento más significativo se da en la muestra inicial y la muestra N°1 ya que aumenta de 2,23 mS/cm a 2,3 mS/cm, mientras que en las demás muestras no varía mucho el incremento de la conductividad eléctrica. En la muestra N°3 y N°4 no varía, la cual nos hace observar que al tener un pH de 6 y 7 respectivamente, no hay variación de conductividad eléctrica.

3.1.3 Turbiedad presente.

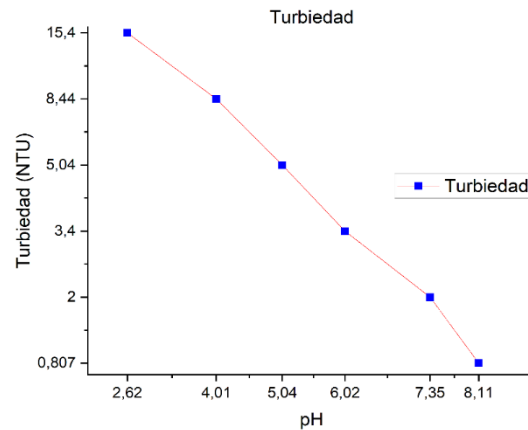
TABLA 7. Turbiedad presente en cada una de las muestras

Código muestra	pH	Turbiedad (NTU)
N° 0 inicial	2,62	15,4
N° 1	4,01	8,44
N°2	5,04	5,04
N°3	6,02	3,4
N°4	7,35	2
N°5	8,11	0,807

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 7, se observa la turbiedad presente en cada una de las muestras, los datos fueron recolectados por un Turbidímetro marca HACH la cuál mide la turbiedad en unidades de NTU. Donde podemos observar que nuestra muestra inicial contenía una turbiedad de 15,4 NTU y la muestra N°5 que tiene un pH de 8,11 presentó una turbiedad de 0,807 NTU.

FIGURA 3. Turbiedad en relación al pH de las muestras



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3, se observa como la turbiedad es inversamente proporcional al pH de cada una de las muestras, es decir, mientras las concentraciones de pH aumentan la turbiedad en este caso disminuye, lo que hace que se obtenga una mayor cantidad de precipitado y, logre que la mayoría de los sólidos disueltos puedan precipitarse y quedar en la parte inferior de la muestra.

Entre la muestra inicial y la muestra N°5 de pH 8 se puede observar que hubo un 94,75% de eficiencia en la disminución de turbiedad. Según, (Lopes, V.S. et al, 2020) al utilizar aluminato sódico por un método no intrusivo, obtuvo la eliminación de turbidez del 93%⁴⁴, el cuál nos hace darnos cuenta de la solidez del tratamiento de la precipitación y como se elimina la mayoría de los sólidos disueltos en la muestra.

3.2 Concentraciones de Metales pesados

3.2.1 Concentración de Cobre (mg/L).

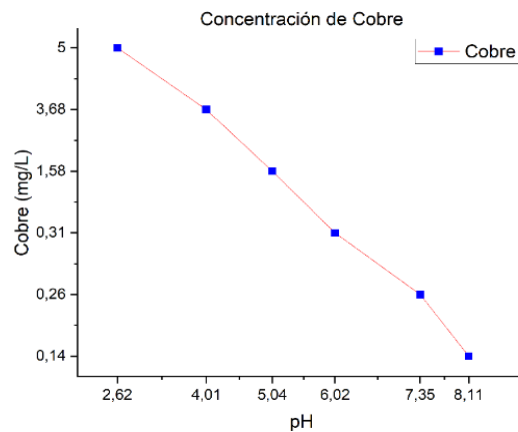
TABLA 8. Concentración del Cobre en comparación al límite máximo permitido por el TULSMA de las diferentes muestras.

Código muestra	pH	Cobre (mg/L)	Cobre máx. permitido en TULSMA (mg/L)
N° 0 inicial	2,62	5,00	1,0
N° 1	4,01	3,68	1,0
N°2	5,04	1,58	1,0
N°3	6,02	0,31	1,0
N°4	7,35	0,26	1,0
N°5	8,11	0,14	1,0

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 8, se observa la concentración de cobre que se encuentra en cada una de las muestras, y se la comparó con el límite máximo permisible del TULSMA, que está en unidades de mg/L. Como podemos observar, en la muestra N°3 que tiene 6,02 de pH tiene 0,31 mg/L de cobre, lo cual esa muestra estaría dentro del rango permitido por el TULSMA, y nos hace saber que el tratamiento de precipitación-neutralización química se está dando de manera correcta y eficaz.

FIGURA 4. Comparativa entre la Concentración de Cobre y el pH de cada muestra



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4, se puede observar como la concentración de pH de cada muestra es inversamente proporcional a la concentración de cobre, es decir, cada que el pH aumenta en cada muestra, la concentración de cobre disminuye, lo cual es algo favorable, debido a que está en los estándares permisibles del TULSMA.

Se puede observar que en la muestra inicial tiene una concentración de 5 mg/L, mientras que en la muestra N°5 tenemos una concentración de 0,14 mg/L, lo cual nos indica que tenemos una disminución del 97% de concentración de cobre. Según (Zamora, G. et al, 2018), la precipitación con lechada de cal, el cobre se presenta en concentraciones menores de 0,05 mg/L⁴⁵, por lo cual nos hace evidenciar que con el NaOH es una manera eficaz de precipitar estas aguas para reducir la concentración de cobre.

3.2.2 Concentración de Cromo (mg/L)

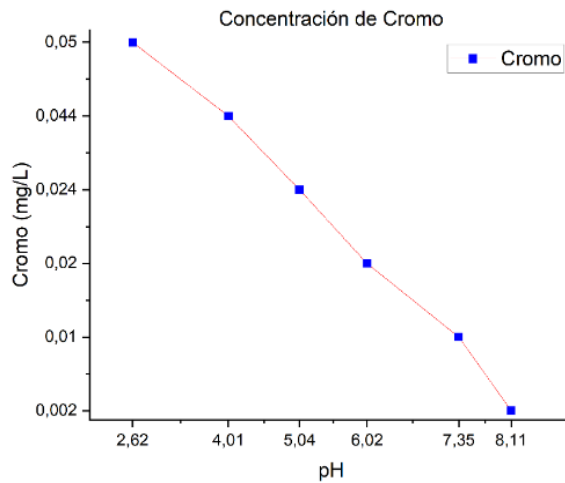
TABLA 9. Concentración del Cromo en comparación con el límite máximo permisible por el TULSMA.

Código muestra	pH	Cromo (mg/L)	Cromo máx. permitido en TULSMA (mg/L)
N° 0 inicial	2,62	0,05	0,5
N° 1	4,01	0,044	0,5
N°2	5,04	0,024	0,5
N°3	6,02	0,02	0,5
N°4	7,35	0,01	0,5
N°5	8,11	0,002	0,5

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 9, se observa la concentración de cromo, la cual se encuentra en cada una de las muestras, y se las comparó con el límite máximo permisible del TULSMA, que está en unidades de mg/L. Se puede observar que no existe mucha presencia de cromo en la muestra inicial, la cual si está dentro del rango permisible de la normativa. Pero se puede observar que cuando le agregamos las cantidades de NaOH a las diferentes muestras, se ve una reducción de la concentración de cromo.

FIGURA 5. Comparativa entre la concentración del Cromo y el pH de cada muestra



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5, se pudo observar de la misma manera que el cobre, que la concentración de pH es inversamente proporcional a la concentración de cromo, es decir, cuando aumenta la concentración de pH, la concentración de cromo disminuye, lo cual nos ayuda a poder mantener al cromo en esas concentraciones permisibles en la normativa TULSMA.

Se puede observar que desde la muestra inicial a la muestra N°5 hubo una reducción del 96% de concentración de cromo. Según (Meneses, Y.M. et al, 2018), al aplicarle un tratamiento físico de sedimentación primario, y después un tratamiento químico con adición de cal, obtuvieron una remoción del 99,6%⁴⁶, en la cual se puede evidenciar una verificación del procedimiento para la remoción de cromo en el drenaje ácido de mina.

3.2.3 Concentración de Hierro total (mg/L).

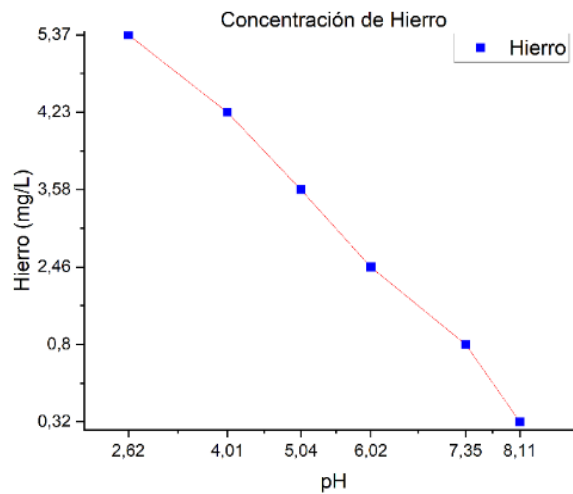
TABLA 10. Concentración de Hierro en comparación al límite máximo permitido por el TULSMA.

Código muestra	pH	Hierro (mg/L)	Hierro máx. permitido en TULSMA (mg/L)
N° 0 inicial	2,62	5,00	10
N° 1	4,01	4,00	10
N°2	5,04	3,00	10
N°3	6,02	2,46	10
N°4	7,35	0,80	10
N°5	8,11	0,32	10

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 10, se observa la concentración del hierro, que se encuentra en cada una de las muestras, estas fueron comparadas con el límite máximo permisible del TULSMA, la cual está en unidades de mg/L. Podemos observar que en la muestra N°5 con un pH de 8,11 tiene una concentración de 0,34 mg/L de hierro, la cual si está dentro del límite máximo permisible de la normativa. El cuál nos hace saber que este tratamiento de precipitación-neutralización con NaOH está siendo eficaz para remover hierro hasta que quede dentro del rango permisible.

FIGURA 6. Comparativa entre la concentración de pH y la concentración de Hierro



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6, pudimos observar de la misma forma anterior, que la concentración de pH es inversamente proporcional a la concentración de hierro, es decir que mientras más aumenta la concentración de pH, disminuye la concentración de hierro. Para estar dentro del rango permisible de la normativa TULSMA, se deberá tener una muestra de un pH de 8,11, en caso contrario no cumplirá con la normativa propuesta.

Tenemos que, de la muestra inicial, a la muestra N°5 existe una reducción del 93,6% de concentración de hierro. Según (Calderón, J.M. et al, 2021), con la precipitación añadiéndole cal al drenaje de mina se tiene una remoción de 92% de hierro⁴⁷, lo cual está acorde a nuestra precipitación que presenta el 93,6%.

3.2.4 Concentración de Plomo (mg/L).

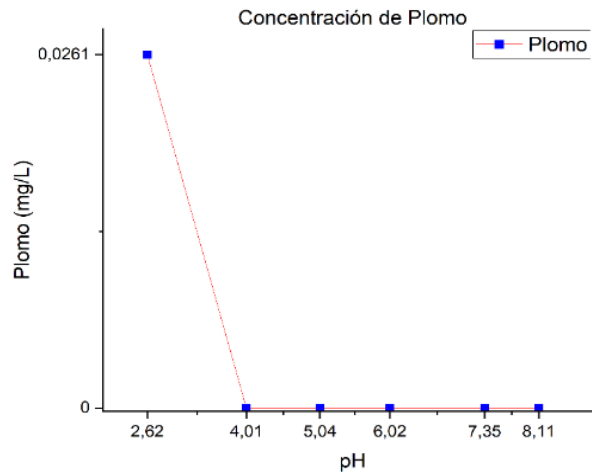
TABLA 11. Concentración de Plomo en comparación al límite permitido por el TULSMA

Código muestra	pH	Plomo (mg/L)	Plomo máx. permitido en TULSMA (mg/L)
N° 0 inicial	2,62	0,0261	0,2
N° 1	4,01	0	0,2
N°2	5,04	0	0,2
N°3	6,02	0	0,2
N°4	7,35	0	0,2
N°5	8,11	0	0,2

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 11, se observa la concentración del plomo, que se encuentra en cada una de las muestras, estas fueron comparadas con el límite máximo permisible del TULSMA, la cual está en unidades de mg/L. Podemos observar que en la muestra N°1 con un pH de 4,01 tiene una concentración de 0 mg/L de plomo, es decir que ya no contiene plomo esa muestra, esto debido a que la muestra inicial contenía bajo contenido de plomo y al agregarle la primera dosis de NaOH desapareció completamente de la muestra, en lo cual esa muestra si cumple con los requisitos mínimos de concentración de plomo.

FIGURA 7. Comparativa entre la concentración de pH y la concentración de Plomo



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 7, pudimos notar de la misma forma anterior, que la concentración de pH es inversamente proporcional a la concentración de plomo, es decir que mientras más aumenta la concentración de pH, disminuye la concentración de plomo. Para estar dentro del rango permisible de la normativa TULSMA, este caso en particular presenta que a la primera dosis de NaOH donde se consigue que la muestra tenga un pH de 4 ya se eliminó todo el plomo que contenía la muestra.

Hubo una reducción del 100% de reducción del plomo. Según (Aduvire O, 2019), al agregarle y tratar el drenaje de mina con cal, se obtiene una reducción del 97% de concentración de plomo⁴⁸. Para lo cual se puede evidenciar que con la precipitación-neutralización con NaOH se logra llegar a los rangos máximos permisibles.

3.2.5 Concentración de Arsénico (mg/L).

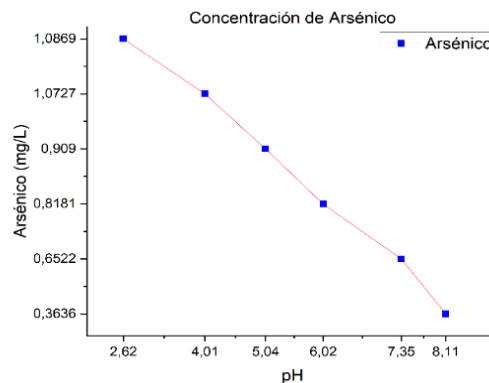
TABLA 12. Concentración de Arsénico en comparación a los permitido por el TULSMA

Código muestra	pH	Arsénico (mg/L)	Arsénico máx. permitido en TULSMA (mg/L)
N° 0 inicial	2,62	1,0869	0,1
N° 1	4,01	1,0727	0,1
N°2	5,04	0,9090	0,1
N°3	6,02	0,8181	0,1
N°4	7,35	0,6522	0,1
N°5	8,11	0,3636	0,1

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 12, se observa la concentración del arsénico, que se encuentra en cada una de las muestras, estas fueron comparadas con el límite máximo permisible del TULSMA, la cual está en unidades de mg/L. Podemos observar que, en ninguna muestra obtenida, baja al límite máximo permitido por el TULSMA. Esto quiere decir que se necesita otro proceso extra para poder eliminar el arsénico, o que la concentración de pH sea más alcalina. Para que así podamos cumplir con los requisitos mínimos de la normativa.

FIGURA 8. Comparativa entre la concentración de pH y la concentración de Arsénico.



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 8, pudimos notar de la misma forma anterior, que la concentración de pH es inversamente proporcional a la concentración de arsénico, es decir que mientras más aumenta la concentración de pH, disminuye la concentración de arsénico. Para estar dentro del rango permisible de la normativa TULSMA.

En esta ocasión podemos observar que en la muestra N°5 que tiene un pH de 8,11 no tiene una reducción de concentración de arsénico esperada o que cumpla con los requisitos mínimos en el cumplimiento de la normativa TULSMA. Se puede decir que se necesitará otro proceso aparte, como puede ser un proceso de absorción, intercambio iónico, entre otros. Pese a eso, hubo una reducción significativa de arsénico.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

En la presente investigación se pudieron analizar diferentes parámetros para así poder demostrar el efecto del hidróxido de sodio mediante precipitación y neutralización química en la remoción de metales pesados en los drenajes ácido de mina de la Concesión Minera El Guayabo Código 225, en el cual se pudo evidenciar que, si hubo efectos al emplear este método, debido a que realiza variaciones en las concentraciones de pH a las distintas muestras obtenidas.

A la muestra inicial la cuál sale de la desembocadura de la mina se le realizaron análisis fisicoquímicos y de concentración de metales pesados, en el cual se pudo evidenciar que se presencia una concentración de pH de 2,62 lo cual es una concentración ácida y una conductividad eléctrica de 2,23 mS/cm. En los análisis de metales pesados, se evidenció una concentración de 5 mg/L de Cu; 0,05 mg/L de Cr; + 5 mg/L de Hierro; 0,0261 mg/L Pb, y 1,0869 mg/L de As, en la cual todas esas concentraciones de metales pesados, están sobrepasando los límites máximos permisibles de la normativa del TULSMA en el que se encuentra dentro del anexo 1 de Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua en la Tabla 9.

Con las demás muestras se le realizó una precipitación y neutralización con hidróxido de sodio, en la cual se pudo tener una variación de concentración de pH progresiva, llevando desde pH 4 para la muestra N°1 y finalizar con un pH 8 para la muestra N°5, y así lograr una reducción progresiva el todo lo que son los análisis fisicoquímicos y también de concentración de metales pesados.

Se pudo evidenciar mediante análisis fisicoquímicos y de medición de metales pesados que hubo una reducción significativa de los niveles de concentración donde se ubican los metales pesados, para así poder cumplir con la concentración según los criterios de calidad que se encuentran en la Tabla 9 que está dentro del Anexo 1 del TULSMA.

Tenemos que en la concentración de Cu disminuyó hasta 0,14 mg/L, el Cr disminuyó hasta 0,002, el Fe disminuyó a 0,32 mg/L, y el Pb se removió totalmente en la precipitación, todas las concentraciones de estos metales pesados cumplen con el límite máximo permisible por la Tabla 9 del Anexo 1 del TULSMA. En cambio, el As solo disminuyó su concentración hasta 0,3636 mg/L en el cual la concentración no cumple con los criterios de calidad de la Tabla 9 dentro del Anexo 1 del TULSMA, por lo cual se recomienda que se realice un proceso posterior para la reducir aún más el As presente en la salida de drenaje de agua de bocamina de la Concesión Minera El Guayabo, o en su efecto hacer pruebas con elevaciones de pH aún más alcalinos.

4.2 Recomendaciones

Coordinar con la empresa de agua del cantón Santa Rosa la implementación de campañas de concientización para la población, sobre los efectos producidos por metales pesados y la preservación del medio ambiente.

Implementar un programa de monitoreo ambiental para evaluar constantemente la calidad del agua antes y después del tratamiento y garantizar los estándares ambientales.

Elegir los reactivos químicos adecuados para la precipitación ya que se puede usar sulfuros, hidróxidos o polímeros floculantes dependiendo los tipos de metales pesados presentes, y ajustar continuamente el pH durante el proceso de tratamiento para asegurar el rango adecuado para la precipitación de los metales.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Mauricio Paca Caicho, A. I.; Santiago Carrera Almendáriz, L. I.; Anahí Zabala Coronel III, L. Separación Magnética de Alto Gradiente Aplicada a La Remoción de Metales Pesados En. *Polo del Conocimiento* **2021**, 63 (11), 1352–1373 <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8219333>
- (2) Torres, M.; López, D.; Windevoxhel, R. Evaluación de Los Procedimientos de Remoción de Metales Pesados En Residuos de La DQO. *Revista Ingenieria UC* **2018**, 25 (316–6832), 61–68 <https://www.redalyc.org/journal/707/70757668008/html/>
- (3) Maftouh, A.; el Fatni, O.; el Hajjaji, S.; Jawish, M. W.; Sillanpää, M. Comparative Review of Different Adsorption Techniques Used in Heavy Metals Removal in Water. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. AMG Transcend Association August 15, **2023**. <https://doi.org/10.33263/BRIAC134.397>
- (4) Diego Ivan Caviedes Rubio; Ramiro Adolfo Muñoz Calderón; Alexandra Perdomo Gualtero; Daniel Rodríguez Acosta; Ivan Javier Sandoval Rojas. Vista de Tratamientos Para La Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes En Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. *Revista Ingeniería y Región* **2015**, 13, 73–90. <https://doi.org/https://doi.org/10.25054/22161325.710>
- (5) Antúnez Sánchez, A.; Guanoquiza Tello, L. L. La Contaminación Ambiental En Los Acuíferos de Ecuador. *Revista Visión Contable* **2018**, No. 19, 64–101. <https://doi.org/10.24142/rvc.n19a4>
- (6) Javier del Valle Melendo. El Agua, Un Recurso Cada Vez Más Estratégico. *Cuadernos de estrategia* **2017**, No. 1697–6924, 71–118 <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6115630>

- (7) Antonio, J. Remoción de Arsénico Con Biomosas Orgánicas. Una Revisión. Universidad Peruana Unión, Universidad Peruana Unión, Juliaca, **2020**. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3313/Jose_Trabajo_Bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- (8) Hidalgo Guevara, A. S.; Huayama Alverca, P. M. Evaluación de La Contaminación Del Agua Por Aceites y Grasas En y Propuestas de Solución,. Tesis, Universidad César Vallejo, Lima, **2022**. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/105072/Hidalgo_GAS-Huayama_APM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- (9) Organización Mundial de la Salud. *Agua para consumo humano*. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- (10) Terneus-Jácome, E.; Yánez, P. Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en Ecuador. *Granja* **2018**, 27 (1), 36–50. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.03>
- (11) Lenin Jonatan Pin García. La minería de procesos y su aplicación en Ecuador: Una revisión Sistemática. In *Espamciencia*; Jipijapa, **2019**; Vol. 10, pp 1–7 http://revistasespam.espam.edu.ec/index.php/Revista_ESPAMCIENCIA/article/view/177
- (12) Oviedo-Anchundia, R.; Moína-Quimí, E.; Naranjo-Morán, J.; Barcos-Arias, M. Contaminación Por Metales Pesados En El Sur Del Ecuador Asociada a La Actividad Minera. *Bionatura* **2017**, 2 (4), 437–441. <https://doi.org/10.21931/RB/2017.02.04.5>
- (13) Tribunal Constitucional del Ecuador. *Suplemento Del Registro Oficial*; Quito, **2009**. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Ley-de-Mineria.pdf>

- (14) Carrasco, M. V.; León, L. T. Minería En El Ecuador: Sostenibilidad y Licitud. *Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina* **2018**, 06, 83–103 http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-01322018000200006
- (15) Empresa Nacional Minera del Ecuador. *Ecuador Minero*; **2012**. <https://www.enamiep.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/07/Ecuador-Minero.pdf>
- (16) Manzur Loor, J. D. Análisis del sector minero en la provincia de El Oro: Período 2010-2017, Universidad De Especialidades Espíritu Santo, Samborondón, **2018**. <http://repositorio.uees.edu.ec/bitstream/123456789/2535/1/MANZUR%20LOOR%20JOSE%20SAID%20-%20AN%c3%80LISIS%20DEL%20SECTOR%20MINERO%20EN%20LA%20PROVINCIA%20DEL%20ORO%2c%20PER%c3%8cODO%202000%20%e2%80%93%202007.pdf>
- (17) Guerrero Cardenas Mary Carmen. Análisis de la explotación minera artesanal, leyes aplicadas al sector y su impacto ambiental en la provincia de el oro, Universidad Técnica de Machala, Machala, **2015**. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/3278>
- (18) S. E. Pabón; R. Benítez; R. A. Sarria-Villa; J. A. Gallo. Contaminación Del Agua Por Metales Pesados, Métodos de Análisis y Tecnologías de Remoción. Una Revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería* **2020**, 14 (1909–8367), 9–18. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-83672020000100009&script=sci_abstract&tlng=es

- (19) Javier Mancera-rodríguez, N.; Álvarez-león, R. *Estado Del Conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia*; **2006**; Vol. 11. https://www.researchgate.net/publication/284700732_Estado_del_conocimiento_de_las_concentraciones_de_mercurio_y_otros_metales_pesados_en_peces_dulceacuicolas_de_Colombia
- (20) León-Venegas, E.; Vilches-Arenas, L. F.; Fernández-Baco, C.; Arroyo-Torralvo, F. Potential for Water and Metal Recovery from Acid Mine Drainage by Combining Hybrid Membrane Processes with Selective Metal Precipitation. *Resour Conserv Recycl* **2023**, 188. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106629>
- (21) Covarrubias, S. A.; Peña Cabriales, J. J. Contaminación Ambiental Por Metales Pesados En México: Problemática y Estrategias de Fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental* **2017**, 33, 7–21. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>
- (22) Londoño Franco, L. F.; Londoño Muñoz, P. T.; Muñoz Garcia, F. G. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* **2016**, 14 (2), 145. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- (23) Ji, M.; Li, B.; Majdi, A.; Alkhalifah, T.; Alturise, F.; Ali, H. E. Application of Nano Remediation of Mine Polluted in Acid Mine Drainage Water Using Machine Learning Model. *Chemosphere* **2023**, 311, 136926. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136926>

- (24) Jiménez-Oyola, S.; Valverde-Armas, P. E.; Romero-Crespo, P.; Capa, D.; Valdivieso, A.; Coronel-León, J.; Guzmán-Martínez, F.; Chavez, E. Heavy Metal(Loid)s Contamination in Water and Sediments in a Mining Area in Ecuador: A Comprehensive Assessment for Drinking Water Quality and Human Health Risk. *Environ Geochem Health* **2023**, *45* (7), 4929–4949. <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01546-3>
- (25) Laura Georgina Calva B; María del Rocío Torres A. *Metales Pesados y Sus Efectos En Organismos;* **2003**. <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n51ne/metales.pdf>
- (26) María C. Domínguez; Sara Gómez S.; Alba N. Ardila A. Fitorremediación de Mercurio Presente En Aguas Residuales de La Industria Minera. *UGCiencia* **2016**, *22*, 227–237. <https://doi.org/https://doi.org/10.18634/ugcj.22v.1i.705>
- (27) Parmar, M.; Singh Thakur, L. Heavy metal cu, ni and zn: toxicity, health hazards and their removal techniques by low cost adsorbents: a short overview. *International Journal Of Plant, Animal And Environmetal Sciences* **2013**, *3* (3), 143–157 https://www.researchgate.net/publication/271281628_Heavy_metal_Cu_Ni_and_Zn_Toxicity_health_hazards_and_their_removal_techniques_by_low_cost_adsorbents_A_short_overview
- (28) Rojas-Villacís, C. A.; Zúñiga-Arrobo, C. A. Análisis de La Actividad de Carguío y Transporte En Minería Artesanal En “El Guayabo”, Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo* **2022**, *14* (2), 1–12. <https://doi.org/10.29166/revfig.v14i2.3854>
- (29) Zúñiga-Martínez, S.; Ibáñez-Hernández, O. F.; Salas Plata-Mendoza, J. A.; Flores-Tavizón, E.; Velázquez-Angulo, G. Vista de Métodos de Remoción de Metales En Aguas Para Consumo Humano_ Una Revisión. *Cultura Científica y Tecnológica* **2022**, *19* (2007–0411), 12–27. <https://doi.org/https://doi.org/10.20983/culcyt.2022.2.3.1>

- (30) Meer, I.; Nazir, R. Removal Techniques for Heavy Metals from Fly Ash. *J Mater Cycles Waste Manag* **2018**, *20* (2), 703–722. <https://doi.org/10.1007/s10163-017-0651-z>
- (31) Pancca, O.; Palomino, G. Remoción Del Fluoruro En Agua Potable Por Precipitación-Floculación Con Policloruro de Aluminio y Lechada de Cal. *Revista Ciencia Agraria* **2022**, *1*, 7–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.35622/j.rca.2022.02.001>
- (32) Carolin, C. F.; Kumar, P. S.; Saravanan, A.; Joshiba, G. J.; Naushad, M. Efficient Techniques for the Removal of Toxic Heavy Metals from Aquatic Environment: A Review. *J Environ Chem Eng* **2017**, *5* (3), 2782–2799. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.05.029>
- (33) Lei, L.; Wangyue, W.; Jie, L.; Xinrui, Y.; Liping, L.; Fuhua, S. Study on Cobalt Removal Process of PDC by Pressurized Chemical Precipitation Method. *Diam Relat Mater* **2023**, *139*. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2023.110368>
- (34) Gunatilake SK. Methods of Removing Heavy Metals from Industrial Wastewater. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies (JMESS)* **2015**, *1* (1), 2912–1309. https://www.researchgate.net/publication/287818349_Methods_of_Removing_Heavy_Metals_from_Industrial_Wastewater
- (35) Xu, Q.; Yang, C.; Wang, J.; Wang, X. Q.; Wang, S.; Gao, Y.; Chuai, X.; Liu, B.; Yue, Z. Evolution of Mineral Phase in the Chemical Neutralization Process of Mn Dominated Acid Mine Drainage under Different Aeration Conditions. *Journal of Hazardous Materials Advances* **2022**, *7*, 100090. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100090>
- (36) Ge, X.; Xie, M.; Chen, G.; Perera, S.; Zheng, C.; Huang, M. Minerals Recovery from a Rare Earth Extraction Wastewater by a Combined Chemical Precipitation and Membrane Distillation Process. *Sep Purif Technol* **2023**, *308*, 122899. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.122899>

- (37) Soriano, R. “Evaluación de la eficiencia en neutralización y remoción de metales pesados (Fe, Cu, Pb, Zn) del drenaje ácido de mina con lodos de baja densidad a nivel planta piloto de cía minera huancapeti-2016” tesis para optar el título profesional de: ingeniero ambiental, universidad nacional “Santiago Antúnez de Mayolo” Huaraz, **2018**.
<http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2828>
- (38) Ministerio del Ambiente. *Texto Unificado De Legislación Secundaria De Medio Ambiente*; **2018**. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/TEXTO-UNIFICADO-DE-LEGISLACION-SECUNDARIA-DE-MEDIO-AMBIENTE.pdf>
- (39) Lorena Tapia Núñez. *Registro Oficial Organo Del Gobierno Del Ecuador*; Quito, **2015**. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf
- (40) Instituto Ecuatoriano de Normalización. *Agua. Calidad Del Agua. Muestreo. Técnicas De*; Quito, **2013**.
https://gestionambiental.pastaza.gob.ec/biblioteca/legislacion-ambiental/patrimonio_natural/nte_inen_2176_1_agua_calidad_agua_muestreo_tecnicas_muestreo.pdf
- (41) Moreno Balseca, A. R.; Palacios Cabrera, T. Tratamiento de Drenaje Ácido de Mina Con El Uso de zeolita Natural a Escala Experimental. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo* **2017**, 2, 29–40.
<https://doi.org/https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.67>
- (42) Ascuña, V. B.; Zela, J. G.; Bolaños, H. G.; Mamani, P. L.; Huamani, R. P.; Huanca, P. K. Tratamiento de soluciones de cianuro y precipitación de metales cianicidas por reacción con peróxido de hidrógeno y soda caustica, el método perso; obtención de lodos económicamente útiles. *Revista Boliviana de Química* **2018**, 35 (5), 161–167
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602018000500005

- (43) Flores, C. M.; Del Angel, E.; Frías, D. M.; Gómez, A. L. Evaluation of Physicochemical Parameters and Heavy Metals in Water and Surface Sediment in the Ilusiones Lagoon, Tabasco, Mexico. *Tecnología y Ciencias del Agua* **2018**, 9 (2), 39–57. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-02-02>
- (44) Lopes, V. D. S.; Silva, L. M. de A.; Moruzzi, R. B.; de Oliveira, A. L. Study of Coagulation/Flocculation of Water with Moderate Turbidity in Sedimentation and Floating by Dissolved Air. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* **2020**, 25 (4), 567–572. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522020193514>
- (45) Gerardo, I.; Echenique, Z.; Melissa, I.; Alvarez, M.; Elvis, I.; Lunario, T. Propuesta técnica, económica y ambiental para el tratamiento de las aguas ácidas de la mina Huanuni mediante drenes anóxicos calizos y precipitación con cal en interior mina. *Revista de Medio Ambiente y Minería* **2018**, 3–17 http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522018000100001
- (46) Yeni Maritza, M. B.; Paula Andrea, P. M.; Jhon Freddy Betancur. Remoción de Cromo En Aguas Residuales Industriales Mediante El Uso de Biomasa de Spirulina Sp, Sedimentación Primaria y Precipitación Química. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* **2018**, 10, 141–152. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6756090>
- (47) Calderón de Alvarado, J. M.; Tuiro Salvador, M. C. Precipitación de Fierro y Manganeso Secuencial de Efluentes de Drenaje Ácidos. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas* **2021**, 24 (47), 41–46. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i47.20642>

- (48) Osvaldo Aduvire. Innovaciones técnicas en el tratamiento de aguas acidas de mina con de subproductos con valor económico. *Revista de Medio Ambiente Minero y Minería* **2019**, 4, 55–64
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2519-53522019000100006&lng=es&nrm=iss

ANEXO A

RECOLECCIÓN DE MUESTRA DE BOCAMINA

1. Indicación de lugar para recolección de muestra



Fuente: Elaboración Propia

2. Recolección de muestra



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO B

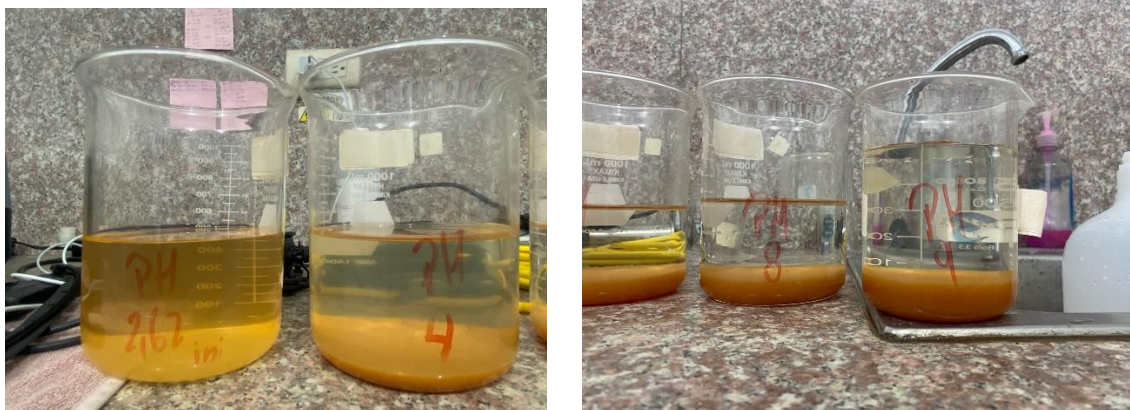
REALIZACIÓN DE PRECIPITACIÓN-NEUTRALIZACIÓN QUIMICA

1. Titulación de hidróxido de sodio a la muestra



Fuente: Elaboración Propia

2. Precipitado generado con NaOH de las muestras



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO C

ANÁLISIS PRESENTADOS EN EL LABORATORIO

1. Análisis de Concentración de Metales Pesados en Espectrofotómetro portátil



Fuente: Elaboración propia

2. Medición de turbiedad, utilizando el Turbidímetro HACH



Fuente: Elaboración propia

ANEXO D

ANÁLISIS DE CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS



LAB – METALOR

Laboratorio Químico Metalúrgico Oscar Reyes

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

INFORME DE ANÁLISIS METALÚRGICO No: 03 – 1733

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:	Mina Ecuaba, Concesión minera El Guayabo	6
Fecha de recepción:	lunes, 25 de septiembre de 2023	
Solicitado Por:	Sr. Jesús Perero	Fecha emisión
Cliente:	Unidad de Investigación: UTMACH	2023-09-25
	Dirección: Arenillas, Cda Las Américas	

RESULTADOS				
Código LM'OR	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	Arsénico (As) Total mg/l	Plomo (Pb) Total mg/l	FECHA DE EJECUCIÓN N
01 – 0242	Solución Inicial No1 pH 2,62	1,0869	0,0261	2023-09-25
01 – 0244	Solución No. 2 pH 4	1,0727	No Detectado	2023-09-25
01 – 0245	Solución No. 3 pH 5	0,9090	No Detectado	2023-09-25
01 – 0246	Solución No. 4 pH 6	0,8181	No Detectado	2023-09-25
01 – 0243	Solución No. 5 pH 7	0,6522	No Detectado	2023-09-25
01 – 0247	Solución No. 6 pH 8	0,3636	No Detectado	2023-09-25

DETALLES:

1. La muestra de 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. Cu, Pb, Zn, As, Fe, Sb, Mn, Cd, Ca, K; LAB-METALOR-02 Determinación de elementos por digestión con ácidos concentrados, previo a lectura por absorción atómica.

SUGERENCIAS:



Ing. Oscar Reyes R.
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"

Fuente: Elaboración Propia