



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LOS POZOS DE SEDIMENTACIÓN
MEDIANTE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO EN LA
MINA RÍO VILLA 1, CANTÓN CAMILO PONCE ENRÍQUEZ

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Ambiental

AUTOR: CARLOS STEWARD ARMIJOS BUSTAMANTE

TUTORA: ING. ESTEFANÍA CARIDAD AVILÉS SACOTO, Ph.D

Cuenca - Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUDITORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Carlos Steward Armijos Bustamante con documento de identificación N° 0105990675 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 24 de febrero del 2025

Atentamente,



Carlos Steward Armijos Bustamante

0105990675

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Carlos Steward Armijos Bustamante con documento de identificación N° 0105990675, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo experimental: “Caracterización del agua residual de los pozos de sedimentación mediante análisis físico químico y propuesta de tratamiento en la mina río villa 1, cantón Camilo Ponce Enríquez”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 24 de febrero del 2025

Atentamente,



Carlos Steward Armijos Bustamante

0105990675

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Estefanía Caridad Avilés Sacoto con documento de identificación N° 0104551395, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LOS POZOS DE SEDIMENTACIÓN MEDIANTE ANÁLISIS FÍSICO QUIMICO Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO EN LA MINA RÍO VILLA 1, CANTÓN CAMILO PONCE ENRÍQUEZ, realizado por Carlos Steward Armijos Bustamante con documento de identificación N° 0105990675, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 24 de febrero del 2025

Atentamente,



Ing. Estefanía Caridad Avilés Sacoto, PhD.

0104551395

DEDICATORIAS

A mis padres, quienes son y siempre serán mi mayor inspiración.

A ustedes, mamá y papá, dedico este logro con todo mi amor y gratitud. Por cada sacrificio que hicieron para que yo pudiera cumplir mis metas, por sus palabras llenas de sabiduría y por su apoyo incondicional en cada paso del camino.

Gracias, mamá, por ser un ejemplo de fortaleza y amor, y por enseñarme a creer en mí mismo.

Gracias, papá, por tu dedicación y por demostrarme que el esfuerzo y la perseverancia siempre rinden frutos.

Este logro es tan suyo como mío, porque cada paso que doy está guiado por sus enseñanzas.

Carlos Steward Armijos Bustamante

AGRADECIMIENTO

A mis padres, cuya guía y sacrificio me permitieron alcanzar este importante logro.

Gracias, mamá y papá, por cada consejo, cada abrazo y cada palabra de ánimo que me dieron a lo largo de este proceso. Sus esfuerzos son mi inspiración diaria.

A mis hermanas, por ser mi soporte emocional y mi lugar seguro. Sus palabras de aliento y su confianza en mí hicieron que nunca me sintiera solo en este camino.

Y, por último, agradezco a todas las personas que, de alguna forma, formaron parte de este viaje. A quienes creyeron en mí y me motivaron a seguir adelante, este logro también les pertenece.

Carlos Steward Armijos Bustamante

RESUMEN

En la minería, el agua desempeña un papel crucial en la exploración, explotación, concentración y lixiviación. Sin embargo, estos procesos generan efectos adversos en el ambiente debido a la toxicidad de los desechos, contaminando agua y afectando los ecosistemas, las plantas y los alimentos. Además, se produce la bioacumulación de metales pesados, cuya persistencia y falta de biodegradabilidad agravan el problema.

La asociación comunitaria minera Mina del Río Villa 1 se encuentra ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez perteneciente a la provincia del Azuay cuenta con 3 hectáreas de terreno y de ella se extrae el material aurífero, dentro de la boca mina existe escorrentía de agua misma que se filtra y llega a los pozos de sedimentación destinados para el agua resultante luego del proceso de extracción de los minerales, además, este proceso de escorrentía natural sucede todos los días las 24 horas mientras que la generación de aguas residuales por extracción solo es 2 horas al día y a su vez esta se contamina al unirse con el agua residual de los procesos de extracción que se dan en la boca mina.

Para tratar con los metales pesados presentes en el agua se propone el Tratamiento de Coagulación – Floculación para tratar al Cobre (Cu) y el Plomo (Pb) lo que con la ayuda del diseño de los tratamientos nos demostró que estos son eficientes.

Palabras clave: Metales Pesados, Plomo, Cobre, Floculación, Coagulación, Calidad del Agua, Tratamiento de aguas Residuales.

ABSTRACT

In mining, water plays a crucial role in exploration, exploitation, concentration, and leaching. However, these processes generate adverse environmental effects due to the toxicity of the waste, contaminating water and affecting ecosystems, plants, and food. Additionally, bioaccumulation of heavy metals occurs, whose persistence and lack of biodegradability exacerbate the problem.

The community mining association Mina del Río Villa 1 is located in the canton of Camilo Ponce Enríquez, belonging to the province of Azuay. It covers an area of 3 hectares, from which gold-bearing material is extracted. Inside the mine mouth, there is water runoff that filters through and reaches the sedimentation ponds designated for the water resulting from the mineral extraction process. Moreover, this natural runoff process occurs 24 hours a day, while the generation of wastewater from extraction occurs only 2 hours a day. This water becomes contaminated when it mixes with the residual water from the extraction processes taking place at the mine mouth. To address the heavy metals present in the water, a Coagulation-Flocculation Treatment combined with Chemical Precipitation is proposed to treat Copper (Cu) and Lead (Pb), which, with the help of the treatment designs, demonstrate efficiency.

Keywords: Heavy Metals, Lead, Copper, Flocculation, Coagulation, Chemical Precipitation, Water Quality, Wastewater Treatment.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo General.....	3
2.2. Objetivo Específico	3
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	3
7.15.1. Constitución de la república del Ecuador.....	10
7.15.2. Código Orgánico Ambiental	15
4. METODOLOGÍA	36
4.1. Toma de muestras	36
4.4. Modelo General de Diseño de Flocculación	38
4.5. Modelo General de Diseño de Coagulación.....	42
5. RESULTADOS	46
5.1. Valores Promedio de los Análisis de Agua.....	52
5.2. Diseño de Propuesta de Tratamiento	53
5.3. Diseño de Propuesta de Tratamiento de Cu y Pb con Coagulación.....	60
6. CONCLUSIONES.....	65
7. RECOMENDACIONES	66
8. BIBLIOGRAFÍA	67
9. ANEXOS.....	72

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Mapa de ubicación político administrativo	2
Ilustración 3: Floculador de Mezcla Lenta HAT-01 03 R 01	41
Ilustración 4: Dibujo del Floculador de Mezcla Lenta HAT-01 03 R 01	42
Ilustración 5: Agitador de Mezcla Rápida HDSP -02 02 P 02	45
Ilustración 6: Dibujo del Agitador de Mezcla Rápida HDSP -02 02 P 02	45
Ilustración 7: Mapa de Ubicación del Punto de Muestreo	47
Ilustración 8: Toma de muestra de agua (Desfogue Pozos de Sedimentación).....	52
Ilustración 9: Muestra de agua residual (Desfogue Pozos de Sedimentación)	52
Ilustración 10: Reconocimiento del Lugar sujeto de estudio.	72
Ilustración 11: Toma de Muestra en el Desfogue de los Pozos.....	72
Ilustración 12: Reconocimiento de los Pozos de Sedimentación.....	73
Ilustración 13: Análisis de la Calidad del Agua de la Mina del Río Villa 1.	73
Ilustración 14: Análisis de la Calidad del Agua de la Mina del Río Villa.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce.	34
Tabla 2: Modelo de Floclador.....	41
Tabla 3: Modelo de Agitador de Mezcla Rápida.	45
Tabla 4: Coordenadas del punto de Muestreo.....	47
Tabla 5: Resultados Monitoreo N°1	49
Tabla 6: Resultados Monitoreo N°2	50
Tabla 7: Resultados Monitoreo N°3	50
Tabla 8: Resultados Monitoreo N°4	51
Tabla 9: Resultados Monitoreo N°5	51
Tabla 10: Valores Promedio de los Análisis de Agua.....	52
Tabla 11: Datos para el Diseño de Floclación.....	53
Tabla 12: Datos para el Diseño de Floclación	54
Tabla 13: Datos para el Diseño de Floclación	55
Tabla 14: Datos para el Diseño de Floclación	56
Tabla 15: Datos para el Diseño de Floclación	58
Tabla 16: Datos para el Diseño de Coagulación	60
Tabla 17: Datos para el Diseño de Coagulación	63
Tabla 18: Datos para el Régimen	64

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Área de Palas	53
Ecuación 2: Velocidad Relativa Paleta - Agua	54
Ecuación 3: Potencia	55
Ecuación 4: Grandiente de Velocidad Media	55
Ecuación 5: Dimensiones del Tanque	56
Ecuación 6: Cálculo de la Potencia Unitaria Requerida	57
Ecuación 7: Elección de Flocculador	59
Ecuación 8: Volumen del Tanque.....	60
Ecuación 9: Geometría del Tanque.....	61
Ecuación 10: Sistema de agitación dpaletamin.....	62
Ecuación 11: Sistema de agitación dpaletamax	62
Ecuación 12: Potencia	63
Ecuación 13: Régimen.....	64
Ecuación 14: Peso Molar del Compuesto PM Na(OH).....	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 15: Peso Molar del Compuesto PM Cu(OH) ₂	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 16: Concentración de Hidróxido por RC Na (OH)	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 17: Cu eliminar.....	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 18: Cobre (Cu) Eliminado	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 19: Cu(OH) ₂ formado.....	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 20: Producción Cu(OH) ₂	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 21: Peso Molar del Compuesto PM Na(OH).....	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 22: Peso Molar del Compuesto PM Pb(OH) ₂	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 23: Concentración de Hidróxido por RC Na (OH)	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 24: Pb eliminar	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 25: Plomo (Pb) Eliminado	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 26: Pb(OH) ₂ formado	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 27: Producción Pb(OH) ₂	¡Error! Marcador no definido.

1. INTRODUCCIÓN

Los metales pesados poseen propiedades químicas que son eventualmente peligrosas para la salud de los seres vivos como para los ecosistemas siendo la industria minera la actividad económica que más produce estos metales por lo que es necesario buscar alternativas que favorezcan la reducción de estos en el ambiente (Salazar, 2021).

En el Ecuador se ha desarrollado desde tiempos históricos la pequeña minería metálica y aurífera, pero no fue hasta los años 70 que esta tuvo su boom, debido a los precios elevados del oro se desencadenó la actividad minera a pequeña escala en el país (Sandoval, 2001).

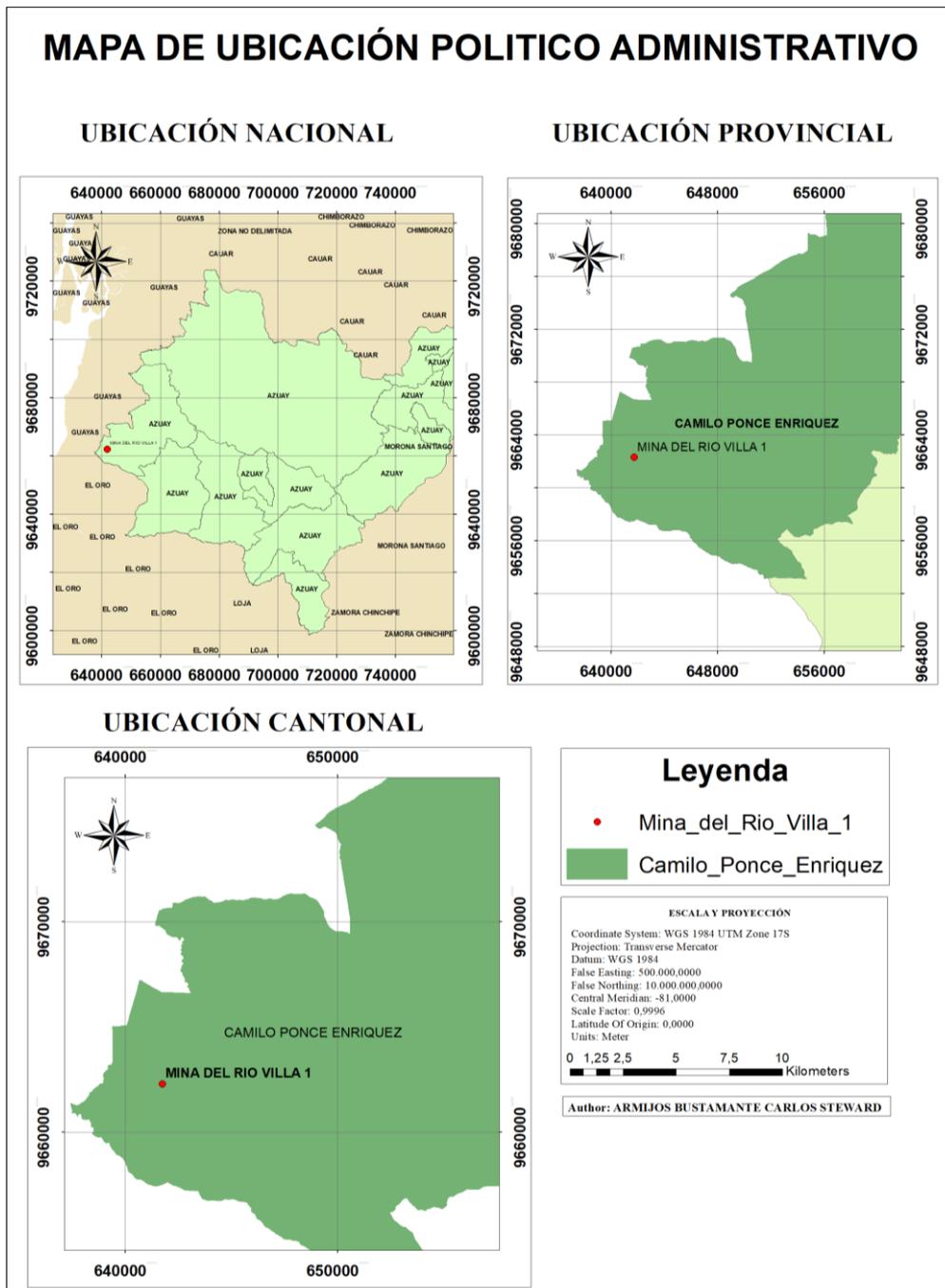
Específicamente en el Cantón agro minero Camilo Ponce Enríquez se desarrolló luego de los trabajos de exploración de ciertas empresas dedicadas a la minería que se desarrollaba en los años 70, es así como pequeños mineros lograron descubrir vetas auríferas lo que fue una determinante en la formación de asentamientos mineros descontrolados (Sandoval, 2001).

En la minería el agua es usada en los procesos de exploración, explotación, concentración y lixiviación (Martínez, 2021), estas generan impactos negativos al ambiente debido a la toxicidad de los residuos, de manera específica la contaminación del agua por lo que se ve afectado el ecosistema, las plantas y los alimentos, bioacumulación de metales pesados, persistencia y la no biodegradabilidad (Puga et al., 2006).

La asociación comunitaria minera Mina del Río Villa 1 se encuentra ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez perteneciente a la provincia del Azuay cuenta con 3 hectáreas de terreno y de ella se extrae el material aurífero, dentro de la boca mina existe escorrentía de agua misma que se filtra y llega a los pozos de sedimentación destinados

para el agua resultante luego del proceso de extracción de los minerales, además, este proceso de esorrentía natural sucede todos los días las 24 horas mientras que la generación de aguas residuales por extracción solo es 2 horas al día.

Ilustración 1: Mapa de ubicación político administrativo



Fuente: Autor

¿La propuesta de tratamiento elegida es eficaz para tratar las características del agua que se obtiene de los pozos de sedimentación en la Mina del Río Villa 1?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Caracterizar el agua residual de los pozos de sedimentación mediante análisis físico químico y propuesta para su tratamiento en la Mina Río Villa 1, Cantón Camilo Ponce Enríquez.

2.2. Objetivo Específico

- Reconocer los problemas que presenta la calidad del agua en los pozos de sedimentación.
- Analizar el agua residual de los pozos de sedimentación mediante la caracterización físico químico.
- Diseñar una propuesta de tratamiento para reducir los contaminantes presentes en el agua residual de la zona de estudio en base a los resultados obtenidos de su análisis.

Hipótesis

- El agua residual de los pozos de sedimentación de la Mina Río Villa 1 cumple con los criterios de calidad de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce.
- El agua residual de los pozos de sedimentación de la Mina Río Villa 1 no cumple con los criterios de calidad de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1. Minería a pequeña escala

La pequeña minería se considera como minería tradicional la cual se define como la explotación minera cuya propiedad es del estado y que no tienen ningún título (Güiza, 2013), además, esta actividad comprende labores de extracción y recuperación de

sustancias metálicas, no metálicas así como de materiales de construcción, del suelo y subsuelo, el cual lo desarrollan únicamente personas naturales o un conjunto de personas naturales, como también personas jurídicas conformadas por personas naturales (*LEY N°27651*, s. f.).

1.2. Exploración minera

La exploración minera son actividades que tienen como objetivo encontrar yacimientos de minerales en donde se pueden desarrollar casualmente futuras minas (Alvarez, 2015).

- Exploración en superficie (Alvarez, 2015)

En ocasiones los yacimientos suelen estar expuestos superficialmente o recubiertos por una capa fina de rocas, sedimentos, suelo o vegetación.

Cuando existen estos casos se realiza una primera exploración por medio de labores superficiales fáciles y económicas, estas consisten en pequeñas excavaciones que tienen forma de pozos que son pocos profundos denominadas calicatas o trincheras.

- Exploración subterránea (Alvarez, 2015)

Son pequeños pozos, calicatas o trincheras en los que solo se pueden identificar el mineral en dos dimensiones siempre y cuando este sea superficial.

El reconocimiento de la tercera dimensión o profundidad debe hacerse mediante métodos de exploración subterránea.

1.3. Yacimiento minero (Alvarez, 2015)

Es un cuerpo mineral que es extraído de una mina y se define como la concentración de un mineral en específico susceptible de ser aprovechada para obtener un beneficio.

1.4. Metales pesados

Los metales pesados son un conjunto de elementos que poseen propiedades metálicas, en ellos se encuentran metales de transición, ciertos sedimentales, lantánidos y actínidos. (Covarrubias & Cabriales, 2017).

Como metal pesado el autor (Alloway, 2013) manifiesta que este termino es usado para referirse de manera amplia a aquellos metales o metaloides con el potencial necesario para provocar toxicidad.

1.5. Contaminación del agua

Según (Raffino, 2021) la contaminación del agua, también conocida como contaminación hídrica tiene lugar cuando existe la presencia de sustancias químicas distintas a su composición y que llegan a modificar sus propiedades convirtiéndola en dañina e insalubre.

1.6. Calidad del agua

Según el artículo publicado por (instituto del agua es, 2024) la calidad del agua se entiende como los componentes y características que posee en su composición natural y a su vez como estas varían por los factores contaminantes y que nos permite conocer sobre el estado vital del líquido considerando los niveles de los contaminantes físicos-químicos y biológicos.

1.7. Parámetros físicos de la calidad del agua

Son un conjunto de análisis sobre sus características físicas que sirven para determinar la calidad del agua (Tito, 2020), a su vez los autores (Arellano & Guzmán, 2011) hacen referencia a que estos parámetros responden a los sentidos como la vista, tacto, gusto y olfato siendo estos los SS, Turbiedad, color, sabor, olor y temperatura.

1.8. Parámetros químicos de la calidad del agua

Los parámetros químicos de la calidad del agua se encuentran relacionados directamente con las capacidades de disolución siendo los SDT, alcalinidad, dureza, fluoruros, metales, materia orgánica y nutrientes los que poseen estas características (Arellano & Guzmán, 2011).

1.9. Escorrentía del agua

La escorrentía es aquella agua generada por una cuenca por medio de flujo superficial (Quiñones, 2017).

1.10. Agua Residual

Es aquella agua de composición variada que proviene del uso doméstico, industrial, comercial, agrícola, pecuario entre otras, esta puede ser pública o privada y que debido a esto haya sufrido degradación en su calidad original (TULSMA, 2017).

1.11. Agua Residual Industrial

Agua resultante de desechos generada en las operaciones de procesos industriales (TULSMA, 2017).

1.12. Tratamiento de Aguas Residuales

El tratamiento de aguas residuales es un proceso que consta de varias etapas cuya finalidad es eliminar los contaminantes y que esta pueda ser reutilizada al ambiente (TULSMA, 2017).

1.13. Tipos de Tratamiento de Aguas Residuales

Según (Lander Rodríguez, 2020) hace referencia a que existen tres tipos de tratamientos entre los cuales se citan dos necesarios para el desarrollo de este trabajo:

- **Tratamiento Físico**

Este tipo de tratamiento depende de las propiedades físicas de los contaminantes presentes en el agua, entre ellos están, tamizado, precipitación, separación y filtración de sólidos.

- **Tratamiento Químico**

Estos dependen netamente de las propiedades químicas del contaminante, entre ellos están, eliminación de hierro, oxígeno, eliminación de fosfatos y nitratos, coagulación, procesos electroquímicos, oxidación, intercambio iónico.

1.14. Etapas de Tratamiento de Aguas Residuales

- **Pretratamiento**

Es la etapa inicial del tratamiento para aguas residuales, aquí se regula y mide el flujo de aguas eliminando sólidos grandes, arena y grasa por medio de filtración, así mismo se aplica pre aireación con el fin de reducir compuestos orgánicos volátiles que pueden llegar a causar malos olores y que aumentan DQO en el agua (Lander Rodríguez, 2020).

- **Tratamiento Primario**

En esta etapa se logra eliminar sólidos suspendidos por medio de sedimentación gravitatoria con la adición de químicos ocupando métodos como decantadores primarios, flotadores por aire disuelto (Lander Rodríguez, 2020).

- **Tratamiento Secundario**

Aquí se busca eliminar materia orgánica disuelta y coloidal por medio de oxidación bioquímica. Aquí se utilizan procesos aeróbicos y anaeróbicos. Los métodos incluyen desde lodos activos. Filtros verdes, lagunas aireadas, lechos bacterianos y digestión anaerobia (Lander Rodríguez, 2020).

- **Tratamiento Terciario**

Esta etapa es la fase final en donde se busca eliminar los agentes patógenos tales como bacterias fecales para cumplir con los estándares de calidad antes de que el agua vuelva a su fuente natural (Lander Rodríguez, 2020).

- **Cobre (Cu)**

Este metal se lo puede encontrar en factores ambientales como agua, aire y suelo, a su vez se lo considera como un elemento fundamental para el desarrollo de la vida. Actualmente la concentración de este metal ha aumentado debido a su aplicación en el sector industrial, por otro lado, este metal se acumula en diferentes cadenas tróficas lo que genera problemas ambientales (Castañeda, 2017).

- **Remoción de Metales Pesados**

Las tecnologías propicias para la eliminación o remoción en efecto de estos metales son la coagulación – floculación, precipitación química, adsorción, intercambio iónico y biosorción (Gómez Ensastegui, 2019).

- **Coagulación**

Es la reducción de carga eléctrica de las partículas que se encuentran en suspensión, considerando que, si estas cargas eléctricas tienen similitud pueden generar fuerzas de repulsión que promueven la suspensión de dichas partículas (Henao & Isaza, 2004).

- **Floculación**

Trata sobre la unión de partículas para la formación de flóculos de mayor tamaño y estos a su vez dependen netamente de la temperatura y el pH del agua (Henao & Isaza, 2004).

- **Coagulación – Floculación**

Se lo conoce como un método de separación de material particulado de un líquido y que es comúnmente utilizado para tratar efluentes contaminados de distintas actividades industriales (Castañeda, 2017).

Según los autores (Henao & Isaza, 2004) expresan que la Coagulación – Floculación se lo llama un proceso de aglutinación de pequeñas masas que posean un peso específico mayor que el del agua que se los conoce comúnmente como flóculos.

- **Plomo**

Este compuesto químico es utilizado de manera desmedida en el campo industrial por lo que ha provocado afectaciones ambientales, es así que este metal pesado es considerado altamente toxico para la salud y el ambiente en general, la EPA lo ha catalogado como un probable carcinógeno humano (Gómez Ensastegui, 2019).

- **Coagulante**

Se considera a los coagulantes como sustancias químicas que producen reacciones en cadena al momento de que tienen contacto con los agentes químicos presentes en el agua, es por esto que se considera principalmente la alcalinidad del agua de tal modo que se puedan generar partículas que son precipitables voluminosas que mayoritariamente por el compuesto químico (coagulante) que se utiliza (Garcés Vinuesa, 2019).

Los contaminantes que se utilizan con frecuencia son:

- Cloruro Férrico (FeCl_3)
- Sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)
- Cloruro de Aluminio (AlCl_3)
- Aluminato de Sodio (NaAlO_2)
- Sulfato Ferroso (FeSO_4)
- Sulfato Férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$)

- Hidróxido (OH⁻)

Marco Legal

7.15.1. Constitución de la república del Ecuador

Basándome en la (Constitución de la República del Ecuador, 2008), se detalla los artículos aplicables a continuación.

Registro Oficial 449 de 20 octubre de 2008

TÍTULO II – DERECHOS

Capítulo Segundo – Derechos del Buen Vivir

Sección Segunda – Ambiente Sano

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos, y las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria

o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional.

Capítulo Séptimo – Derechos de la Naturaleza

Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda.

El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.

En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas.

Art. 73.- El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales.

Se prohíbe la introducción de organismos y material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva el patrimonio genético nacional.

Art. 74.- Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir.

Los servicios ambientales no serán susceptibles de apropiación; su producción, prestación, uso y aprovechamiento serán regulados por el Estado.

Capítulo Noveno – Responsabilidades

Art. 83.- Son deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la Constitución y la ley:

- Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.

TÍTULO VI – RÉGIMEN DE DESARROLLO

Capítulo Primero – Principios Generales

Art. 276.- El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos:

- Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.

Capítulo Noveno – Responsabilidades

Art. 83.- Son deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la Constitución y la ley:

- Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.

Capítulo Sexto – Trabajo y Producción

Sección Primera – Formas de organización de la producción y su gestión

Art. 319.- Se reconocen diversas formas de organización de la producción en la economía, entre otras las comunitarias, cooperativas, empresariales públicas o privadas, asociativas, familiares, domésticas, autónomas y mixtas.

El Estado promoverá las formas de producción que aseguren el buen vivir de la población y desincentivará aquellas que atenten contra sus derechos o los de la naturaleza; alentará la producción que satisfaga la demanda interna y garantice una activa participación del Ecuador en el contexto internacional.

Art. 320.- En las diversas formas de organización de los procesos de producción se estimulará una gestión participativa, transparente y eficiente.

La producción, en cualquiera de sus formas, se sujetará a principios y normas de calidad, sostenibilidad, productividad sistémica, valoración del trabajo y eficiencia económica y social.

TÍTULO VII – RÉGIMEN DEL BUEN VIVIR

Capítulo Segundo – Biodiversidad y Recursos Naturales

Sección Primera – Naturaleza y Ambiente

Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.

4. En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, éstas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza.

Art. 396.- El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño.

En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas.

La responsabilidad por daños ambientales es objetiva. Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas.

Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente. Las acciones legales para perseguir y sancionar por daños ambientales serán imprescriptibles.

Art. 397.- En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental.

Sección Segunda – Biodiversidad

Art. 400.- El Estado ejercerá la soberanía sobre la biodiversidad, cuya administración y gestión se realizará con responsabilidad intergeneracional.

Se declara de interés público la conservación de la biodiversidad y todos sus componentes, en particular la biodiversidad agrícola y silvestre y el patrimonio genético del país.

7.15.2. Código Orgánico Ambiental

En base al (Código Orgánico del Ambiente, 2017), a continuación se detallan los artículos que se aplican en este trabajo.

Registro Oficial Suplemento 983 de 12 de abril de 2017

TÍTULO I – OBJETO, AMBITO Y FINES

Art. 1.- Objeto. Este Código tiene por objeto garantizar el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como proteger los derechos de la naturaleza para la realización del buen vivir o sumak kawsay.

Las disposiciones de este Código regularán los derechos, deberes y garantías ambientales contenidos en la Constitución, así como los instrumentos que fortalecen su ejercicio, los que deberán asegurar la sostenibilidad, conservación, protección y restauración del ambiente, sin perjuicio de lo que establezcan otras leyes sobre la materia que garanticen los mismos fines.

Art. 3.- Fines. Son fines de este Código:

1. Regular los derechos, garantías y principios relacionados con el ambiente sano y la naturaleza, previstos en la Constitución y los instrumentos internacionales ratificados por el Estado;
2. Establecer los principios y lineamientos ambientales que orienten las políticas públicas del Estado. La política nacional ambiental deberá estar incorporada obligatoriamente en los

instrumentos y procesos de planificación, decisión y ejecución, a cargo de los organismos y entidades del sector público;

3. Establecer los instrumentos fundamentales del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental y la corresponsabilidad de la ciudadanía en su aplicación;

4. Establecer, implementar e incentivar los mecanismos e instrumentos para la conservación, uso sostenible y restauración de los ecosistemas, biodiversidad y sus componentes, patrimonio genético, Patrimonio Forestal Nacional, servicios ambientales, zona marino-costera y recursos naturales;

5. Regular las actividades que generen impacto y daño ambiental, a través de normas y parámetros que promuevan el respeto a la naturaleza, a la diversidad cultural, así como a los derechos de las generaciones presentes y futuras;

6. Regular y promover el bienestar y la protección animal, así como el manejo y gestión responsable del arbolado urbano;

7. Prevenir, minimizar, evitar y controlar los impactos ambientales, así como establecer las medidas de reparación y restauración de los espacios naturales degradados;

8. Garantizar la participación de las personas de manera equitativa en la conservación, protección, restauración y reparación integral de la naturaleza, así como en la generación de sus beneficios;

9. Establecer los mecanismos que promuevan y fomenten la generación de información ambiental, así como la articulación y coordinación de las entidades públicas, privadas y de la sociedad civil responsables de realizar actividades de gestión e investigación ambiental, de conformidad con los requerimientos y prioridades estatales;

11. Determinar las atribuciones de la Autoridad Ambiental Nacional como entidad rectora de la política ambiental nacional, las competencias ambientales de los Gobiernos Autónomos Descentralizados y la implementación del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental.

TÍTULO II – DE LOS DERECHOS, DEBERES Y PRINCIPIOS AMBIENTALES

Art. 5.- Derecho de la población a vivir en un ambiente sano. El derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado comprende:

- 1.** La conservación, manejo sostenible y recuperación del patrimonio natural, la biodiversidad y todos sus componentes, con respeto a los derechos de la naturaleza y a los derechos colectivos de las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades;
- 2.** El manejo sostenible de los ecosistemas, con especial atención a los ecosistemas frágiles y amenazados tales como páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos, manglares y ecosistemas marinos y marinos-costeros;
- 3.** La intangibilidad del Sistema Nacional de Areas Protegidas, en los términos establecidos en la Constitución y la ley;
- 4.** La conservación, preservación y recuperación de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico;
- 5.** La conservación y uso sostenible del suelo que prevenga la erosión, la degradación, la desertificación y permita su restauración;
- 6.** La prevención, control y reparación integral de los daños ambientales;
- 7.** La obligación de toda obra, proyecto o actividad, en todas sus fases, de sujetarse al procedimiento de evaluación de impacto ambiental;

8. El desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías alternativas no contaminantes, renovables, diversificadas y de bajo impacto ambiental;
9. El uso, experimentación y el desarrollo de la biotecnología y la comercialización de sus productos, bajo estrictas normas de bioseguridad, con sujeción a las prohibiciones establecidas en la Constitución y demás normativa vigente.
10. La participación en el marco de la ley de las personas, comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos, en toda actividad o decisión que pueda producir o que produzca impactos o daños ambientales;
11. La adopción de políticas públicas, medidas administrativas, normativas y jurisdiccionales que garanticen el ejercicio de este derecho; y,
12. La implementación de planes, programas, acciones y medidas de adaptación para aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad ambiental, social y económica frente a la variabilidad climática y a los impactos del cambio climático, así como la implementación de los mismos para mitigar sus causas.

LIBRO PRIMERO DEL REGIMEN INSTITUCIONAL

TÍTULO I – SISTEMA NACIONAL DESCENTRALIZADO DE GESTIÓN AMBIENTAL

Capítulo Segundo – Instrumentos del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental

Art. 19.- Sistema Único de Información Ambiental. El Sistema Único de Información Ambiental es el instrumento de carácter público y obligatorio que contendrá y articulará la información sobre el estado y conservación del ambiente, así como de los proyectos, obras y actividades que generan riesgo o impacto ambiental. Lo administrará la Autoridad Ambiental Nacional y a él contribuirán con su información los organismos y entidades del Sistema

Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental y del Estado en general, así como las personas, de conformidad con lo previsto en este Código y su normativa secundaria. El Sistema Único de Información Ambiental será la herramienta informática obligatoria para la regularización de las actividades a nivel nacional.

Este instrumento se articulará con el Sistema Nacional de Información. Su funcionamiento se organizará bajo los principios de celeridad, eficacia, transparencia y mejor tecnología disponible.

Los institutos de servicios e investigación de defensa nacional proveerán a dicho Sistema toda la información cartográfica que generen, con la finalidad de contribuir al mantenimiento, seguridad y garantía de la soberanía e integridad territorial

TÍTULO II – INSTITUCIONALIDAD Y ARTICULACIÓN DE LOS NIVELES DE GOBIERNO EN EL SISTEMA NACIONAL DESCENTRALIZADO DE GESTIÓN AMBIENTAL

Capítulo Primero – de las Facultades en Materia Ambiental de la Autoridad Ambiental Nacional

Art. 23.- Autoridad Ambiental Nacional. El Ministerio del Ambiente será la Autoridad Ambiental Nacional y en esa calidad le corresponde la rectoría, planificación, regulación, control, gestión y coordinación del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental.

LIBRO TERCERO DE LA CALIDAD AMBIENTAL

TÍTULO II – SISTEMA ÚNICO DE MANEJO AMBIENTAL

Capítulo I – Régimen Institucional

Art. 160.- Del Sistema Único de Manejo Ambiental. El Sistema Único de Manejo Ambiental determinará y regulará los principios, normas, procedimientos y mecanismos para la prevención, control, seguimiento y reparación de la contaminación ambiental.

Las instituciones del Estado con competencia ambiental deberán coordinar sus acciones, con un enfoque transectorial, a fin de garantizar que cumplan con sus funciones y de asegurar que se evite en el ejercicio de ellas superposiciones, omisiones, duplicidad, vacíos o conflictos.

La Autoridad Ambiental Nacional ejercerá la rectoría del Sistema Único de Manejo Ambiental, en los términos establecidos en la Constitución, este Código y demás normativa secundaria.

Las competencias ambientales a cargo de los Gobiernos Autónomos Descentralizados se ejercerán de forma coordinada y descentralizada, con sujeción a la política y normas nacionales de calidad ambiental.

Art. 162.- Obligatoriedad. Todo proyecto, obra o actividad, así como toda ampliación o modificación de los mismos, que pueda causar riesgo o impacto ambiental, deberá cumplir con las disposiciones y principios que rigen al Sistema Único de Manejo Ambiental, en concordancia con lo establecido en el presente Código.

Art. 163.- Acceso a la información. Se garantizará el acceso de la sociedad civil a la información ambiental de los proyectos, obras o actividades que se encuentran en proceso de regularización o que cuenten con la autorización administrativa respectiva, de conformidad con la ley.

Capítulo Tercero – De la Regularización Ambiental

Art. 172.- Objeto. La regularización ambiental tiene como objeto la autorización de la ejecución de los proyectos, obras y actividades públicas, privadas y mixtas, en función de las características particulares de estos y de la magnitud de sus impactos o riesgos ambientales.

Para dichos efectos, el impacto ambiental se clasificará como no significativo, bajo, mediano o alto. El Sistema Único de Información Ambiental determinará automáticamente el tipo de permiso ambiental a otorgarse.

Art. 173.- De las obligaciones del operador. El operador de un proyecto, obra y actividad, pública, privada o mixta, tendrá la obligación de prevenir, evitar, reducir y, en los casos que sea posible, eliminar los impactos y riesgos ambientales que pueda generar su actividad.

Cuando se produzca algún tipo de afectación al ambiente, el operador establecerá todos los mecanismos necesarios para su restauración.

El operador deberá promover en su actividad el uso de tecnologías ambientalmente limpias, energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto, prácticas que garanticen la transparencia y acceso a la información, así como la implementación de mejores prácticas ambientales en la producción y consumo.

Art. 174.- Catálogo de actividades. La Autoridad Ambiental Nacional elaborará y actualizará el catálogo de actividades, de los proyectos, obras o actividades existentes en el país que deban regularizarse, en función de la magnitud del impacto o riesgo ambiental que puedan generar. La periodicidad de las actualizaciones del catálogo de actividades se sujetará a criterios técnicos.

Mediante normativa secundaria se determinarán los tipos de permisos, sus procedimientos, estudios ambientales y autorizaciones administrativas.

Art. 175.- Intersección. Para el otorgamiento de autorizaciones administrativas se deberá obtener a través del Sistema Único de Información Ambiental el certificado de intersección

que determine si la obra, actividad o proyecto intersecta o no con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, Patrimonio Forestal Nacional y zonas intangibles.

En los casos de intersección con zonas intangibles, las medidas de regulación se coordinarán con la autoridad competente.

Cuarto Capítulo – De los Instrumentos para la Regularización Ambiental

Art. 177.- De la información de los proyectos, obras o actividades que puedan afectar al ambiente. La autorización administrativa emitida por la Autoridad Ambiental Competente deberá incorporarse inmediatamente al Sistema Único de Información Ambiental. Las autorizaciones emitidas por la Autoridad Ambiental Nacional son de acceso público, de conformidad con la ley.

Art. 178.- De las guías de buenas prácticas ambientales. Los operadores de actividades cuyo impacto no es significativo, no tendrán obligación de regularizarse. En este caso, la Autoridad Ambiental Nacional dictará guías de buenas prácticas. Los operadores de proyectos, obras o actividades de impacto ambiental bajo, para su regularización ambiental, requerirán de un plan de manejo ambiental específico para estas actividades, de conformidad con la normativa secundaria que se expida para el efecto.

Art. 179.- De los estudios de impacto ambiental. Los estudios de impacto ambiental deberán ser elaborados en aquellos proyectos, obras y actividades que causan mediano y alto impacto o riesgo ambiental para una adecuada y fundamentada evaluación, predicción, identificación e interpretación de dichos riesgos e impactos. Los estudios deberán contener la descripción de la actividad, obra o proyecto, área geográfica, compatibilidad con los usos de suelo próximos, ciclo de vida del proyecto, metodología, herramientas de análisis, plan de manejo ambiental, mecanismos de socialización y participación ciudadana, y demás aspectos previstos en la norma técnica.

En los casos en que la Autoridad Ambiental Competente determine que el estudio de impacto ambiental no satisface los requerimientos mínimos previstos en este Código, procederá a observarlo o improbarlo y comunicará esta decisión al operador mediante la resolución motivada correspondiente.

Art. 180.- Responsables de los estudios, planes de manejo y auditorías ambientales. La persona natural o jurídica que desea llevar a cabo una actividad, obra o proyecto, así como la que elabora el estudio de impacto, plan de manejo ambiental o la auditoría ambiental de dicha actividad, serán solidariamente responsables por la veracidad y exactitud de sus contenidos, y responderán de conformidad con la ley. Los consultores individuales o las empresas consultoras que realizan estudios, planes de manejo y auditorías ambientales, deberán estar acreditados ante la Autoridad Ambiental Competente y deberán registrarse en el Sistema Único de Información Ambiental. Dicho registro será actualizado periódicamente.

La Autoridad Ambiental Nacional dictará los estándares básicos y condiciones requeridas para la elaboración de los estudios, planes de manejo y auditorías ambientales.

Art. 181.- De los planes de manejo ambiental. El plan de manejo ambiental será el instrumento de cumplimiento obligatorio para el operador, el mismo que comprende varios subplanes, en función de las características del proyecto, obra o actividad. La finalidad del plan de manejo será establecer en detalle y orden cronológico, las acciones cuya ejecución se requiera para prevenir, evitar, controlar, mitigar, corregir, compensar, restaurar y reparar, según corresponda. Además, contendrá los programas, presupuestos, personas responsables de la ejecución, medios de verificación, cronograma y otros que determine la normativa secundaria.

Art. 183.- Del establecimiento de la póliza o garantía por responsabilidades ambientales. Las autorizaciones administrativas que requieran de un estudio de impacto ambiental exigirán

obligatoriamente al operador de un proyecto, obra o actividad contratar un seguro o presentar una garantía financiera. El seguro o garantía estará destinado de forma específica y exclusiva a cubrir las responsabilidades ambientales del operador que se deriven de su actividad económica o profesional.

La Autoridad Ambiental Nacional regulará mediante normativa técnica las características, condiciones, mecanismos y procedimientos para su establecimiento, así como el límite de los montos a ser asegurados en función de las actividades. El valor asegurado no afectará el cumplimiento total de las responsabilidades y obligaciones establecidas.

El operador deberá mantener vigente la póliza o garantía durante el periodo de ejecución de la actividad y hasta su cese efectivo.

No se exigirá esta garantía o póliza cuando los ejecutores del proyecto, obra o actividad sean entidades del sector público o empresas cuyo capital suscrito pertenezca, por lo menos a las dos terceras partes a entidades de derecho público. Sin embargo, la entidad ejecutora responderá administrativa y civilmente por el cabal y oportuno cumplimiento del Plan de Manejo Ambiental del proyecto, obra o actividad licenciada y de las contingencias que puedan.

Art. 184.- De la participación ciudadana. La Autoridad Ambiental Competente deberá informar a la población que podría ser afectada de manera directa sobre la posible realización de proyectos, obras o actividades, así como de los posibles impactos socioambientales esperados y la pertinencia de las acciones a tomar. La finalidad de la participación de la población será la recolección de sus opiniones y observaciones para incorporarlas en los Estudios Ambientales, siempre que ellas sean técnica y económicamente viables.

Si del referido proceso de consulta resulta una oposición mayoritaria de la población respectiva, la decisión de ejecutar o no el proyecto será adoptada por resolución debidamente motivada de la Autoridad Ambiental Competente.

En los mecanismos de participación social se contará con facilitadores ambientales, los cuales serán evaluados, calificados y registrados en el Sistema Único de Información Ambiental.

TÍTULO III – CONTROL Y SEGUIMIENTO AMBIENTAL

Capítulo Segundo – De los Mecanismos de control y Seguimiento Ambiental

Art. 201.- De los mecanismos. El control y seguimiento ambiental puede efectuarse por medio de los siguientes mecanismos:

1. Monitoreos
2. Muestreos
3. Inspecciones
4. Informes ambientales de cumplimiento
5. Auditorías Ambientales
6. Vigilancia ciudadana o comunitaria
7. Otros que establezca la Autoridad Ambiental Competente.

En las normas secundarias que emita la Autoridad Ambiental Nacional se establecerá el mecanismo de control que aplique según el impacto generado conforme lo previsto en este Código.

Art. 202.- Del apoyo en las actividades de control y seguimiento. Se reconocerá el apoyo de las personas naturales o jurídicas, comunas, comunidades, pueblos o nacionalidades, organismos públicos o privados, en las actividades de control y seguimiento ambiental, para

levantar información sobre el cumplimiento por parte de los operadores de las normas ambientales contenidas en este Código y demás normas secundarias aplicables. Quien tenga conocimiento del incumplimiento de una norma ambiental podrá ponerla en conocimiento de la Autoridad Ambiental Competente.

Art. 203.- Facultades de los funcionarios y servidores públicos. Las obras, actividades y proyectos de los operadores podrán ser inspeccionadas en cualquier momento, sin necesidad de notificación previa por parte de funcionarios de la Autoridad Ambiental Competente, quienes deberán contar con el apoyo de la Fuerza Pública cuando así lo requieran.

Los operadores estarán obligados a prestar todas las facilidades para la ejecución de las inspecciones y las actividades inherentes a ellas, toma de muestras y análisis de laboratorios.

7.15.3. Ley de Minería

En base a la (Ley de Minería, 2018), se aplican los siguientes artículos.

TÍTULO I – DISPOSICIONES FUNDAMENTALES

Capítulo Tercero – Del dominio del estado y de los derechos mineros.

Art. 16.- Dominio del Estado sobre minas y yacimientos. - Son de propiedad inalienable, imprescriptible, inembargable e irrenunciable del Estado los recursos naturales no renovables y, en general, los productos del subsuelo, los minerales y sustancias cuya naturaleza sea distinta de la del suelo, incluso los que se encuentren en las áreas cubiertas por las aguas del mar territorial. El dominio del Estado sobre el subsuelo se ejercerá con independencia del derecho de propiedad sobre los terrenos superficiales que cubren las minas y yacimientos. La explotación de los recursos naturales y el ejercicio de los derechos mineros se ceñirán al Plan Nacional de Desarrollo, a los principios del desarrollo sustentable y sostenible, de la protección y conservación del medio ambiente y de la participación y responsabilidad social, debiendo respetar el patrimonio natural y cultural de las zonas explotadas. Su exploración y

explotación racional se realizará en función de los intereses nacionales, por personas naturales o jurídicas, empresas públicas, mixtas o privadas, nacionales o extranjeras, otorgándoles derechos mineros, de conformidad con esta ley.

La exploración y explotación de los recursos mineros estará basada en una estrategia de sostenibilidad ambiental pública que priorizará la fiscalización, contraloría, regulación y prevención de la contaminación y remediación ambiental, así como el fomento de la participación social y la veeduría ciudadana.

Art. 17.- Derechos mineros. - Por derechos mineros se entienden aquellos que emanan tanto de los títulos de concesiones mineras, contratos de explotación minera, licencias y permisos, como de las autorizaciones para instalar y operar plantas de beneficio, fundición y refinación, y de las licencias de comercialización.

Capítulo Sexto – De las zonas mineras especiales y actos administrativos favorables previos

Art. 26.- Actos administrativos previos. - Para ejecutar las actividades mineras se requieren, de manera obligatoria, actos administrativos motivados y favorables otorgados previamente por las siguientes instituciones dentro del ámbito de sus respectivas competencias:

- a) Del Ministerio del Ambiente, la respectiva licencia ambiental debidamente otorgada.
- b) De la Autoridad Única del Agua, respecto de la eventual afectación a cuerpos de agua superficial y/o subterránea y del cumplimiento al orden de prelación sobre el derecho al acceso al agua.

Adicionalmente, el concesionario minero presentará al Ministerio Sectorial una declaración juramentada realizada ante notario en la que exprese conocer que las actividades mineras no afectan: caminos, infraestructura pública, puertos habilitados, playas de mar y fondos marinos; redes de telecomunicaciones; instalaciones militares; infraestructura petrolera; instalaciones aeronáuticas; redes o infraestructura eléctricas; o vestigios arqueológicos o de patrimonio natural y cultural.

Si la máxima autoridad del sector minero de oficio o a petición de parte advirtiere que las actividades del solicitante pudieren afectar a los referidos bienes o patrimonio, solicitará la respectiva autorización a la entidad competente, la que deberá emitir su pronunciamiento en el término de treinta días. De no hacerlo en ese lapso, se entenderá que no existe oposición ni impedimento para el inicio de las actividades mineras, y el funcionario responsable será destituido. Respecto de la emisión de los informes de tales actos administrativos se estará a la aplicación de las normas del procedimiento jurídico administrativo de la Función Ejecutiva. Los Gobiernos Municipales y Metropolitanos, en el ejercicio de sus competencias, mediante ordenanza, deberán regular, autorizar y controlar la explotación de materiales áridos y pétreos.

Capítulo Séptimo – De las fases de la actividad

Art. 27.- Fases de la actividad minera. - Para efectos de aplicación de esta ley, las fases de la actividad minera son:

- a) Prospección, que consiste en la búsqueda de indicios de áreas mineralizadas
- b) Exploración, que consiste en la determinación del tamaño y forma del yacimiento, así como del contenido y calidad del mineral en él existente. La exploración podrá ser inicial o avanzada e incluye también la evaluación económica del yacimiento, su factibilidad técnica y el diseño de su explotación.
- c) Explotación, que comprende el conjunto de operaciones, trabajos y labores mineras destinadas a la preparación y desarrollo del yacimiento y a la extracción y transporte de los minerales.
- d) Beneficio, que consiste en un conjunto de procesos físicos, químicos y/o metalúrgicos a los que se someten los minerales producto de la explotación con el objeto de elevar el contenido útil o ley de los mismos.

e) Fundición, que consiste en el proceso de fusión de minerales, concentrados o precipitados de éstos, con el objeto de separar el producto metálico que se desea obtener, de otros minerales que los acompañan.

f) Refinación, que consiste en el proceso destinado a convertir los productos metálicos en metales de alta pureza.

g) Comercialización, que consiste en la compraventa de minerales o la celebración de otros contratos que tengan por objeto la negociación de cualquier producto resultante de la actividad minera.

h) Cierre de Minas, que consiste en el término de las actividades mineras y el consiguiente desmantelamiento de las instalaciones utilizadas en cualquiera de las fases referidas previamente, si no fueren de interés público, incluyendo la reparación ambiental de acuerdo al plan de cierre debidamente aprobado por la autoridad ambiental competente.

El Estado propenderá a la industrialización de los minerales producto de las actividades de explotación, promocionando la incorporación del valor agregado con máxima eficiencia, respetando los límites biofísicos de la naturaleza.

En todas las fases de la actividad minera, está implícita la obligación de la reparación y remediación ambiental de conformidad a la Constitución de la República del Ecuador, la ley y sus reglamentos.

7.15.4. Reglamento Ambiental de Actividades Mineras

En base al reglamento (Reglamento Ambiental de Actividades Mineras, 2014) se consideran los siguientes artículos.

Art. 9.- Certificado de intersección. - En todos los casos el titular minero deberá obtener de la Autoridad Ambiental Nacional el Certificado de Intersección del cual se desprenda la intersección del o de los derechos mineros con relación al Sistema Nacional de Áreas

Protegidas, Bosques y Vegetación Protectores, Patrimonio Forestal del Estado u otras áreas de conservación declaradas por la Autoridad Ambiental Nacional.

En el caso de que el derecho minero intersecte con el Sistema Nacional de Areas Protegidas, en cuanto a actividades extractivas se refiere, se procederá de acuerdo a lo que dispone el artículo 407 de la Constitución de la República del Ecuador y la normativa ambiental competente.

En el caso de que el derecho minero tenga intersección con Bosques y Vegetación Protectores o el Patrimonio Forestal del Estado, el Titular Minero, previo al inicio del proceso de Licenciamiento Ambiental, deberá solicitar a la Dirección Nacional Forestal del Ministerio del Ambiente la certificación de viabilidad ambiental calificada con el informe de factibilidad del derecho minero. Esta certificación será expedida por el Director Nacional Forestal. Dicho certificado se obtendrá a través del Sistema Único de Información Ambiental SUIA.

El certificado de intersección será emitido para el o los derechos mineros, entre otros autorizados por el Ministerio Sectorial, o para aquellos casos en los que el Titular Minero requiera únicamente la Licencia Ambiental del área operativa.

Art. 10.- Requisitos previos. - El titular minero previo al inicio del proceso de licenciamiento ambiental en cualquiera de las fases mineras, deberá presentar al Ministerio del Ambiente el título minero o permiso.

7.15.5. Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua

En base a la (Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014)

TÍTULO II – RECURSOS HÍDRICOS

Capítulo Segundo – Institucionalidad y gestión de los recursos hídricos

Art. 21.- Agencia de Regulación y Control del Agua. La Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA), es un organismo de derecho público, de carácter técnico-administrativo,

adscrito a la Autoridad Unica del Agua, con personalidad jurídica, autonomía administrativa y financiera, con patrimonio propio y jurisdicción nacional.

La Agencia de Regulación y Control del Agua, ejercerá la regulación y control de la gestión integral e integrada de los recursos hídricos, de la cantidad y calidad de agua en sus fuentes y zonas de recarga, calidad de los servicios públicos relacionados al sector agua y en todos los usos, aprovechamientos y destinos del agua.

La gestión de regulación y control de la Agencia serán evaluados periódicamente por la Autoridad Única del Agua.

Capítulo Tercero – Derechos de la naturaleza

Art. 65.- Gestión integrada del agua. Los recursos hídricos serán gestionados de forma integrada e integral, con enfoque ecosistémico que garantice la biodiversidad, la sustentabilidad y su preservación conforme con lo que establezca el Reglamento de esta Ley.

Art. 66.- Restauración y recuperación del agua. La restauración del agua será independiente de la obligación del Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos afectados por la contaminación de las aguas o que dependan de los ecosistemas alterados.

La indemnización económica deberá ser invertida en la recuperación de la naturaleza y del daño ecológico causado; sin perjuicio de la sanción y la acción de repetición que corresponde.

Si el daño es causado por alguna institución del Estado, la indemnización se concretará en obras.

Capítulo Quinto – Garantías preventivas

Sección Segunda – Objetivos de Prevención y Control de la Contaminación del agua

Art. 79.- Objetivos de prevención y conservación del agua. - La Autoridad Unica del Agua, la Autoridad Ambiental Nacional y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, trabajarán en coordinación para cumplir los siguientes objetivos:

- a) Garantizar el derecho humano al agua para el buen vivir o sumak kawsay, los derechos reconocidos a la naturaleza y la preservación de todas las formas de vida, en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación;
- b) Preservar la cantidad del agua y mejorar su calidad;
- c) Controlar y prevenir la acumulación en suelo y subsuelo de sustancias tóxicas, desechos, vertidos y otros elementos capaces de contaminar las aguas superficiales o subterráneas;
- d) Controlar las actividades que puedan causar la degradación del agua y de los ecosistemas acuáticos y terrestres con ella relacionados y cuando estén degradados disponer su restauración;
- e) Prohibir, prevenir, controlar y sancionar la contaminación de las aguas mediante vertidos o depósito de desechos sólidos, líquidos y gaseosos; compuestos orgánicos, inorgánicos o cualquier otra sustancia tóxica que alteren la calidad del agua o afecten la salud humana, la fauna, flora y el equilibrio de la vida;
- f) Garantizar la conservación integral y cuidado de las fuentes de agua delimitadas y el equilibrio del ciclo hidrológico.
- g) Evitar la degradación de los ecosistemas relacionados al ciclo hidrológico.

TÍTULO IV – APROVECHAMIENTO DEL AGUA

Capítulo Primero – De los tipos de aprovechamiento productivo

Sección Cuarta – Aprovechamiento del Agua en Minería

Art. 110.- Autorización de aprovechamiento. Las actividades mineras deberán contar con la autorización de aprovechamiento productivo de las aguas que se utilicen, que será otorgada por la Autoridad Unica del Agua, de conformidad con los procedimientos y requisitos

establecidos en esta Ley y su Reglamento, para lo que se respetará estrictamente el orden de prelación que establece la Constitución, es decir, consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas. Al efecto, coordinará con la Autoridad Ambiental Nacional.

Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

También deberá obtenerse la autorización de uso del agua para consumo humano en campamentos.

Art. 111.- Protección en fuentes de agua. La Autoridad Unica del Agua y la Autoridad Ambiental Nacional emitirán las regulaciones necesarias para garantizar la conservación y el equilibrio de los ecosistemas, en especial de las fuentes y zonas de recarga de agua. La Autoridad Ambiental Nacional coordinará con la Autoridad Unica del Agua, el monitoreo del sistema de manejo ambiental previsto en la respectiva licencia ambiental, emitida por aquella.

Art. 112.- Devolución de las aguas. El agua destinada para actividades mineras, se devolverá al cauce original de donde se la tomó o al cauce que sea más adecuado, con la obligación del usuario de tratarla antes de su descarga y vertido, de acuerdo con lo que establece el permiso ambiental y la Ley, la cual garantizará condiciones seguras que no afecten a los acuíferos de agua dulce en el subsuelo, fuentes de agua para consumo humano, riego, ni abrevadero.

7.15.6. NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA

En base a (TULSMA, 2017) se empleará la tabla 9, a continuación se detallan los parámetros que será evaluados según la tabla.

TULSMA – ANEXO 1 LIBRO VI

Tabla 1: Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce.

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	Ai		5,0
Arsénico total	As		0,1
Bario	Ba	Mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	ej	mg/l	01
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl		05
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo		0,1
	ECC		
Cloruros	Cl	mg/l	1 000
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)	DBOs	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn		5,0

Fluoruros	F		5,0
Fósforo Total	P		10,0
Hierro total	Fe		10,0
Hidrocarburos Totales de	TPH		20,0
Petróleo		mg/l	
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N		50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos	Organofosforados totales	mg/l	
Organofosforados			0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST		1 600
		mg/l	
Sulfatos	SON		1000
Sulfuros			0,5
	s ⁻²		
Temperatura	°C		Condición natural + 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno		0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

Fuente: (TULSMA, 2017)

4. METODOLOGÍA

4.1. Toma de muestras

Se realizó una visita técnica a la Mina Río Villa 1, lugar donde se realiza esta tesis y a su vez se hacen los análisis de agua resultante de los pozos de sedimentación luego del proceso de extracción del material aurífero.

Para la aplicación de la metodología adecuada se empleó el modelo de los autores (Reutelshöfer & Guzmán, 2015), en la que nos especifica lo siguiente:

- a) Seleccionar los materiales que son necesarios para el muestreo como lo son: guantes, botas, envases, equipos para toma de coordenadas, custodios.
- b) Estableces una técnica para la toma de muestra basándose en los parámetros que van a ser analizados.
- c) El frasco debe ser tapado de inmediato y posterior ser etiquetado con los datos del lugar donde se muestreó.
- d) Colocar las muestras en una hielera y conservarlas a temperaturas frías, para de esta manera no perder las características del agua.
- e) La recolección de muestras se dio en el desfogue de las aguas resultantes de los pozos de sedimentación donde el tipo de muestra será simple según fue indicado por el laboratorio certificado por el SAE Aguibulab. Las muestras fueron tomadas en un periodo de cinco semanas durante las primeras horas del día y recolectadas en botellas esterilizadas de primer uso con capacidad de 1L.

4.2. Análisis de Resultados

Los resultados de los análisis Físicos - Químicos que se obtuvieron se detallan en las tablas 5 a la 9.

a) Caracterización de laboratorio

La caracterización Física - Química de las muestras de agua que se obtuvieron fueron realizadas en el laboratorio acreditado por el SAE bajo NORMA NTE INEN ISO/IEC 17025.

b) Técnica de análisis

La técnica de análisis empleada por el laboratorio fue el Método de referencia Standard Methods.

Método de referencia Standard Methods.

El método de referencia Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater es un manual cuyo uso es para realizar análisis de la calidad del agua, en él, se establecen procedimientos estandarizados para aguas residuales (Bridgewater et al., 2017).

4.3. Elección de la Propuesta de Tratamiento

Considerando que los parámetros evaluados que no cumplen con normativa o tienen concentraciones más elevadas son el Cobre (Cu) y el Plomo (Pb) ambos metales pesados, se ve necesario escoger un tipo de tratamiento que ayude a la reducción o eliminación de forma efectiva de ambos.

A continuación, se sustenta la elección de los tratamientos a emplear.

4.3.1. Flocculación – Coagulación

Este método logra la desestabilización del contaminante y lo aglomera, esto se da por la atracción de partículas que contengan el aglutinamiento del floculante, además, para la aplicación de este tratamiento se debe considerar la dosis química apropiada, el efecto energético que posee la mezcla como también el coagulante químico que se utilice en el tratamiento siendo los más comunes: alumbre, cloruro férrico, sulfato férrico, sulfato ferroso y cal (Caviedes Rubio et al., 2015).

4.4. Modelo General de Diseño de Floculación

El tipo de tratamiento de aguas residuales provenientes de actividades industriales que aplique la técnica de floculación es con el fin de lograr la aglomeración de partículas, en este caso, de metales pesados que se encuentran presentes en el agua, por lo que se facilita su eliminación.

4.4.1. Cálculo de Potencia (Jar – Test)

Este ensayo se aplica junto a la Coagulación - Floculación ya que su fin es determinar que reactivo químico es el adecuado para tratar el tipo de agua analizada, la dosis correcta del reactivo y las condiciones óptimas para conseguir un resultado digno de tratamiento, temperatura del agua y el orden en el que se deben aplicar los reactivos (Martín G., 1998).

4.4.1.1. Área de Palas

Para calcular este parámetro se empleó el número de palas que se va a utilizar, el cual será de 4 unidades, mientras que la medida de estas es de 4cm^2 , además se aplica la siguiente fórmula.

$$A = n^{\circ} \text{ Palas} * \text{ medida} * 10^{-2} = \text{m}^2$$

Donde:

n° Palas: Número de palas a utilizar

medida: Medida de las palas en cm^2

4.4.1.2. Velocidad Relativa Paleta – Agua

Se calcula por medio de la siguiente fórmula.

$$V = 0,8 * 2 * \pi * \frac{r}{100} * \frac{n}{60} = \text{m/s}$$

Donde:

V = Velocidad relativa entre la paleta y el agua

0.8 = Constante

2 = Constante

r = Radio en el que se encuentra la paleta

n = Velocidad de rotación de la paleta en revoluciones por unidad de tiempo

4.4.1.3. Potencia

La potencia se calcula con la siguiente formula

$$P = \frac{C_D * A * \rho * V^3}{2}$$

Donde:

C_D = Coeficiente de arrastre

A = Área

ρ = Densidad del agua

V^3 = Velocidad

4.4.1.4. Grandiente de Velocidad Media

El grandiente de velocidad media se calcula mediante la siguiente formula

$$Gvm = \sqrt{\frac{P}{\mu * V}}$$

Donde:

P = Potencia (W)

μ = Viscosidad dinámica del fluido $N s/m^2$

V = Volumen del agua del ensayo m^3

4.4.2. Dimensiones del Tanque

En este apartado se debe considerar que las variables θ : 17 min \approx 20min y G son constantes, es así como las dimensiones de tanque se calculan mediante la fórmula.

$$D_{tanque} = \theta * Q = m^3$$

Donde:

θ = constante de tiempo 17 min \approx 20min

Q = Caudal en m^3/d

4.4.3. Tanque de Geometría

Para calcular la geometría del tanque se debe seleccionar la forma de este y de ahí varia H altura y L largo es así como para un tanque de geometría cuadrada se emplea la siguiente formula.

$$TG = \sqrt[3]{D_{\text{tanque}}} = m$$

Donde:

D_{tanque} = dimensiones del tanque

4.4.4. Cálculo de la Potencia Unitaria Requerida

Para desarrollar este cálculo se emplea la siguiente fórmula.

$$G = \sqrt{\frac{P_{\text{unit}}}{\mu V_{\text{unit}}}} = W$$

Donde:

P_{unit} = Grandiente de velocidad media

μ = Viscosidad dinámica del fluido $N s/m^2$

V_{unit} = Dimensiones del tanque

4.4.5. Cálculo del Área Requerida

En este apartado las variables n y D_{floc} se obtiene del catálogo seleccionado de floculadores por lo que se aplica la siguiente fórmula

$$P = \frac{C_D * A * \rho * V^3}{2}$$

$$A_{\text{requerida}} = \frac{2 * P_{\text{requerida}}}{C_D * \rho * V^3}$$

$$A_{\text{requerida}} = \frac{2 * P_{\text{requerida}}}{0,65 * \rho * (0,75 * \pi * n * D_{\text{floc}})^3}$$

Donde:

$P_{\text{requerida}}$ = Potencia Unitaria Requerida

ρ = Densidad del agua

n = velocidad de rotación de la paleta en revoluciones por unidad de tiempo

D_{floc} = Se lo selecciona del Catálogo

El floculador que se seleccionó para el diseño es el HAT -01 03 R 01 que contiene con los requerimientos que se necesitan para el floculador, este se encuentra en la Tabla 2 de este documento, las especificaciones son las siguientes.

Tabla 2: Modelo de Floculador

Volumen (m3) Aprox	Modelo	KW	Rpm	Q (m3/h)	M (mm)	R (mm)	L (mm)	D (mm)	Peso (Kg)
0,5	HAT -01 03 R 01	0,18	30	120	188	133	1000	400	30
0,5 – 1	HAT -03 03 R 25	0,37	315	240	215	151	1500	250	35
1 – 2	HAT -05 03 R 02	0,75	30	422	232	185	1500	300	40
2 - 3	HAT -06 03 R 03	1,1	315	679	267	220	1500	350	45
3 - 4	HAT -08 03 R 04	2,2	315	1,025	305	271	1500	400	50

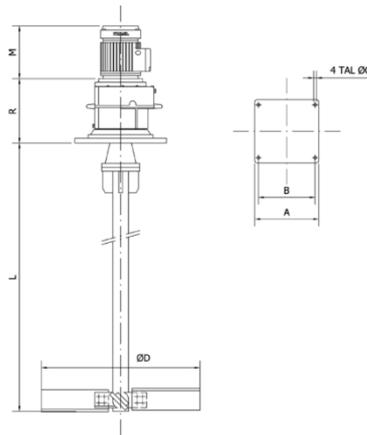
Fuente: (Quilinox, s. f.)

Ilustración 2: Floculador de Mezcla Lenta HAT-01 03 R 01



Fuente: (Quilinox, s. f.)

Ilustración 3: Dibujo del Floculador de Mezcla Lenta HAT-01 03 R 01.



Fuente: (Quilinox, s. f.)

4.4.6. Elección de Floculador

En este apartado se realiza el cálculo del área del floculador la cual se obtiene mediante la siguiente formula.

$$A_{floculador} = \frac{1}{2} * \pi * \frac{D^2 floc}{4}$$

Donde:

D_{floc} = Se lo selecciona del Catálogo

4.5. Modelo General de Diseño de Coagulación

El modelamiento del este tratamiento es una herramienta esencial para darle un adecuado tratamiento a las aguas residuales y de manera especial cuando esta busca la optimización en procesos de coagulación y floculación.

4.5.1. Volumen del Tanque

El volumen del tanque se calcula por medio de la siguiente fórmula.

$$Vol = \theta * Q = L$$

Donde:

θ = Tiempo de mezcla en minutos

Q = Caudal en L/d

4.5.2. Geometría del Tanque

En el siguiente apartado se debe considerar la geometría del tanque por lo que en este caso específico será de forma cilíndrico y se aplica la siguiente formula.

$$d = 3 * \sqrt{\frac{4 * V}{\pi}}$$

Donde:

V = Volumen del Tanque

4.5.3. Sistema de agitación

En el cálculo del sistema de agitación se considera el diámetro máximo y mínimo de paletas para de esta manera determinar si cumple o no con los requerimientos que se necesitan.

La fórmula emplear se especifica a continuación.

$$d_{paletamin} = \frac{d}{3} = m$$

Donde:

d = Diámetro/altura del tanque

$$d_{paletamax} = d - 2\left(\frac{d}{10}\right) = m$$

Donde:

d = Diámetro/altura del tanque

4.5.4. Potencia y Reynolds

Potencia

En este apartado se selecciona un modelo de agitador que cumpla con los requerimientos para el tratamiento y será sometido a una comprobación de régimen y potencia requerida para determinar si este es apto o no, así como también determinar que la potencia necesaria sea laminar o turbulenta todo esto dado por las siguientes fórmulas.

$$p = k\mu n^3 D^3 \rightarrow \text{si } Re > 10 \text{ (Laminar)}$$

$$p = k\mu n^3 D^5 \rightarrow \text{si } Re > 10.000 \text{ (Turbulento)}$$

Donde:

P= Potencia (W)

K= Constante (función del tipo de impulsor y de Re)

μ = Viscosidad dinámica del fluido (Ns/m²)

ρ = Densidad (Kg/m³)

D= Diámetro de la paleta del agitador (m)

n = Revoluciones por segundo

Número de Reynolds

$$Re = \frac{D^2 n \rho}{\mu}$$

Donde:

μ = Viscosidad dinámica del fluido (Ns/m²)

ρ = Densidad (Kg/m³)

D= Diámetro de la paleta del agitador (m)

n = Revoluciones por segundo

El modelo de agitador seleccionado fue un agitador para mezcla rápida del modelo HDSP -02 02 P 02 perteneciente a la marca TIMSA, a continuación, se detallan sus características mismas que se encuentran en la Tabla 3 de este documento.

Tabla 3: Modelo de Agitador de Mezcla Rápida.

Volumen (m3) Aprox	Modelo	KW	Rpm	Q (m3/h)	M (mm)	R (mm)	L (mm)	D (mm)	Peso (Kg)
50	HDSP -01 01 P 01	0,18	30	120	188	133	1000	400	30
100	HDSP -01 02 P 01	0,37	315	240	215	151	1500	250	35
200	HDSP -02 02 P 02	0,75	30	422	232	185	1500	300	40
500	HDSP -03 03 P 02	1,1	315	679	267	220	1500	350	45
1000	HDSP -04 03 P 03	2,2	315	1,025	305	271	1500	400	50

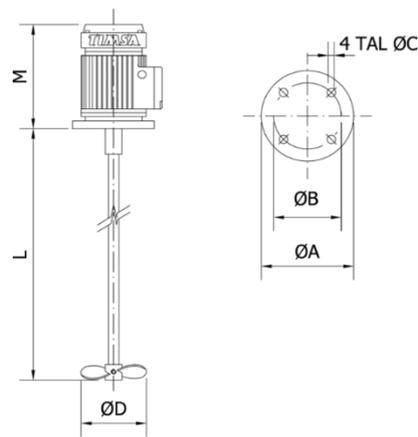
Fuente: (TIMSA, s. f.)

Ilustración 4: Agitador de Mezcla Rápida HDSP -02 02 P 02



Fuente: (TIMSA, s. f.)

Ilustración 5: Dibujo del Agitador de Mezcla Rápida HDSP -02 02 P 02



Fuente: (TIMSA, s. f.)

5. RESULTADOS

Breve descripción del sitio de estudio

Este trabajo se desarrolló basándose en los procesos que se llevan a cabo dentro de la actividad minera y que afectan a los distintos factores ambientales en especial al agua, estos procedimientos son: exploración del terreno, explotación mismo que incluye subprocesos tales como perforación, voladura y excavación.

La Mina del Río Villa 1 es un terreno en donde se lleva a cabo la minería artesanal o a pequeña escala en ella se realizan actividades de exploración y extracción de oro por lo cual se requiere de uso excesivo de agua y que a su vez esta resulta con metales pesados que son dañinos para el medio ambiente, pese a tener sus auditorias correspondientes y la implementación de los tratamientos de aguas sugeridos por el técnico ambiental la calidad de agua resultante de este tratamiento sigue presentando niveles altos en cobre y plomo, por lo que es necesario implementar otro tratamiento que logre eliminar o reducir estos metales.

Punto de muestreo

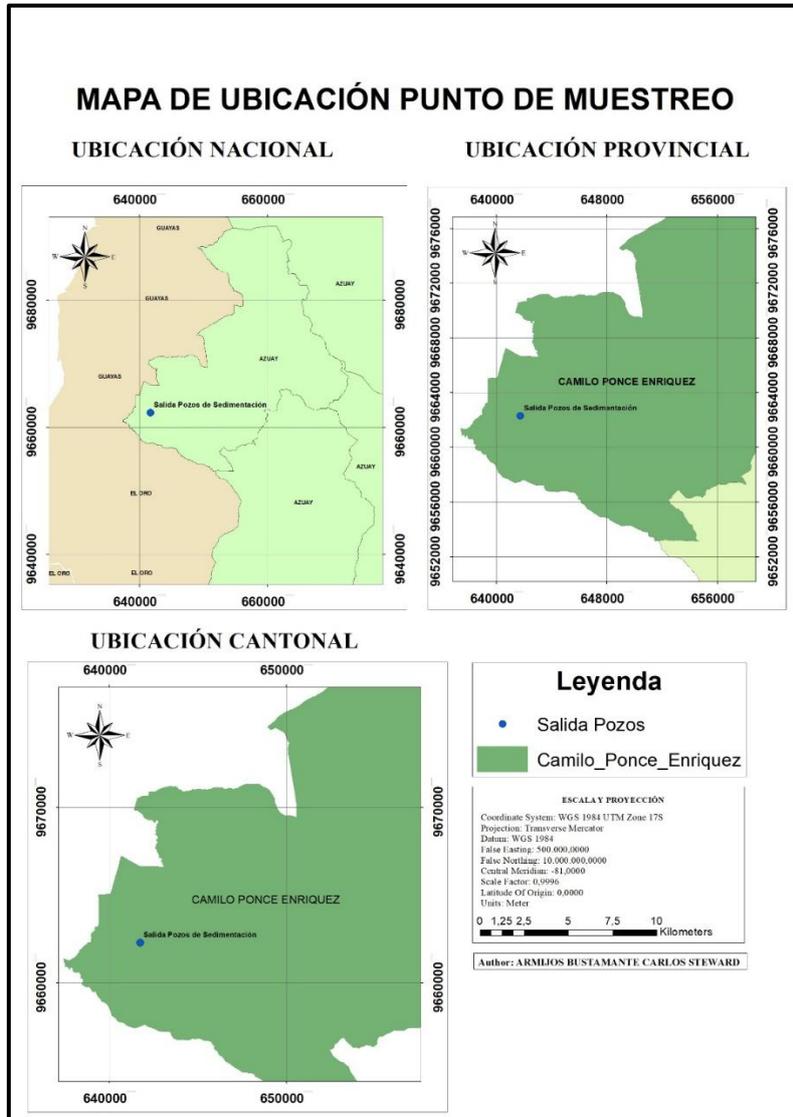
Las muestras fueron tomadas en la Mina del Rio Villa 1 misma que se encuentra ubicada en el sector Bella Rica perteneciente al Canton Camilo Ponce Enríquez en el desemboque de las piscinas de Sedimentación, seguido de este texto se detallan las coordenadas.

Tabla 4: Coordenadas del punto de Muestreo.

Punto de muestreo	Coord X	Coord Y
Salida agua Residual	641731	9662312
Pozos Sedimentación		

Fuente: Autor

Ilustración 6: Mapa de Ubicación del Punto de Muestreo



Fuente: Autor

Calidad del agua de la Mina del Río Villa 1

Las muestras de agua analizadas fueron tomadas en la desembocadura de los pozos de sedimentación pertenecientes a la Mina del Río Villa 1, dichos análisis fueron realizados por el laboratorio AGUIBULAB S.A. con sede en la ciudad de Machala y acreditado por el SAE con número de registro SAE LEN 20-010, se realizaron un total de 5 análisis que fueron tomados durante un período de 5 semanas, de esta manera se buscaba las alteraciones existentes en el agua ya que esta es resultante de los procesos de explotación y extracción que se llevan a cabo de la boca mina, por consiguiente, los

resultados que se obtuvieron fueron sujetos de comparación con el Anexo I del Libro VI del TUSLMA de manera específica perteneciente al Acuerdo Ministerial 097-A Tabla 9 .- Límites De Descarga A Un Cuerpo de Agua Dulce.

Agua de Pozos de Sedimentación

Tabla 5: Resultados Monitoreo N°1

TABLA DE RESULTADOS ANÁLISIS N°1				
Parámetros	Unidades	Resultados	Criterio de calidad Tabla 9	Método de Referencia
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	63,55	130	PE-AG-07 S.M.2540 D
Sulfatos	mg/l	650	1000	PE-AG-08 HACH 8051
Nitratos	mg/l	75,26	....	PE-AG-15 HACH 8039
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	10,00	200	PE-AG-11 HACH 8000
5 Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	0,57	100	PEEE-GQM-FQ-05
5 Arsénico	mg/l	0,0056	0,1	PEE-GQM-FQ-33
1 Zinc	mg/l	0,01	5	PE-AG-50
1 Cobre	mg/l	2,82	1	PE-AG-44
1 Cadmio	mg/l	0,02	0,02	PE-AG-45
1 Hierro	mg/l	3,00	10	PE-AG-47
5 Mercurio	mg/l	0,00400	0,005	PEE-GQM-FQ-33
1 Plomo	mg/l	0,592	0,2	PE-AG-48

Fuente: (Aguibulab S.A. Laboratorio Ambiental & Ocupacional Acreditado SAE, 2024)

Tabla 6: Resultados Monitoreo N°2

TABLA DE RESULTADOS ANÁLISIS N°2				
Parámetros	Unidades	Resultados	Criterio de calidad Tabla 9	Método de Referencia
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	7,50	130	PE-AG-07 S.M.2540 D
Sulfatos	mg/l	70,00	1000	PE-AG-08 HACH 8051
Nitratos	mg/l	3,54	....	PE-AG-15 HACH 8039
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	7,50	200	PE-AG-11 HACH 8000
5 Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	0,57	100	PEEE-GQM-FQ-05
5 Arsénico	mg/l	0,0056	0,1	PEE-GQM-FQ-33
1 Zinc	mg/l	0,01	5	PE-AG-50
1 Cobre	mg/l	2,72	1	PE-AG-44
1 Cadmio	mg/l	0,02	0,02	PE-AG-45
1 Hierro	mg/l	3,00	10	PE-AG-47
5 Mercurio	mg/l	0,00400	0,005	PEE-GQM-FQ-33
1 Plomo	mg/l	2,00	0,2	PE-AG-48

Fuente: (Aguibulab S.A. Laboratorio Ambiental & Ocupacional Acreditado SAE, 2024)

Tabla 7: Resultados Monitoreo N°3

TABLA DE RESULTADOS ANÁLISIS N°3				
Parámetros	Unidades	Resultados	Criterio de calidad Tabla 9	Método de Referencia
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	28,00	130	PE-AG-07 S.M.2540 D
Sulfatos	mg/l	431,00	1000	PE-AG-08 HACH 8051
Nitratos	mg/l	6,00	....	PE-AG-15 HACH 8039
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	8,00	200	PE-AG-11 HACH 8000
5 Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	0,57	100	PEEE-GQM-FQ-05
5 Arsénico	mg/l	0,01	0,1	PEE-GQM-FQ-33
1 Zinc	mg/l	0,01	5	PE-AG-50
1 Cobre	mg/l	3,00	1	PE-AG-44
1 Cadmio	mg/l	0,02	0,02	PE-AG-45
1 Hierro	mg/l	3,00	10	PE-AG-47
5 Mercurio	mg/l	0,00	0,005	PEE-GQM-FQ-33
1 Plomo	mg/l	1,00	0,2	PE-AG-48

Fuente: (Aguibulab S.A. Laboratorio Ambiental & Ocupacional Acreditado SAE, 2024)

Tabla 8: Resultados Monitoreo N°4

TABLA DE RESULTADOS ANÁLISIS N°4				
Parámetros	Unidades	Resultados	Criterio de calidad	Método de Referencia
			Tabla 9	
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	40,00	130	PE-AG-07 S.M.2540 D
Sulfatos	mg/l	201,00	1000	PE-AG-08 HACH 8051
Nitratos	mg/l	41,00	....	PE-AG-15 HACH 8039
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	10,00	200	PE-AG-11 HACH 8000
5 Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	0,57	100	PEEE-GQM-FQ-05
5 Arsénico	mg/l	0,01	0,1	PEE-GQM-FQ-33
1 Zinc	mg/l	0,01	5	PE-AG-50
1 Cobre	mg/l	3,00	1	PE-AG-44
1 Cadmio	mg/l	0,02	0,02	PE-AG-45
1 Hierro	mg/l	3,00	10	PE-AG-47
5 Mercurio	mg/l	0,00	0,005	PEE-GQM-FQ-33
1 Plomo	mg/l	2,00	0,2	PE-AG-48

Fuente: (Aguibulab S.A. Laboratorio Ambiental & Ocupacional Acreditado SAE, 2024)

Tabla 9: Resultados Monitoreo N°5

TABLA DE RESULTADOS ANÁLISIS N°5				
Parámetros	Unidades	Resultados	Criterio de calidad	Método de Referencia
			Tabla 9	
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	58,00	130	PE-AG-07 S.M.2540 D
Sulfatos	mg/l	193,00	1000	PE-AG-08 HACH 8051
Nitratos	mg/l	43,00	....	PE-AG-15 HACH 8039
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	10,00	200	PE-AG-11 HACH 8000
5 Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	0,57	100	PEEE-GQM-FQ-05
5 Arsénico	mg/l	0,01	0,1	PEE-GQM-FQ-33
1 Zinc	mg/l	0,01	5	PE-AG-50
1 Cobre	mg/l	3,00	1	PE-AG-44
1 Cadmio	mg/l	0,02	0,02	PE-AG-45
1 Hierro	mg/l	3,00	10	PE-AG-47
5 Mercurio	mg/l	0,00	0,005	PEE-GQM-FQ-33
1 Plomo	mg/l	1,00	0,2	PE-AG-48

Fuente: (Aguibulab S.A. Laboratorio Ambiental & Ocupacional Acreditado SAE, 2024)



Ilustración 7: Toma de muestra de agua (Desfogue Pozos de Sedimentación)

Fuente: Autor



Ilustración 8: Muestra de agua residual (Desfogue Pozos de Sedimentación)

Fuente: Autor

5.1. Valores Promedio de los Análisis de Agua

En la siguiente tabla se muestran los valores estadísticos calculados a partir de los análisis de aguas realizados en la Mina del Río Villa 1.

Tabla 10: Valores Promedio de los Análisis de Agua

		Cálculos Estadísticos						
Parámetros		Media	Mediana	Desviación estándar	Varianza	Coefficiente de Variación	Max	Min
Sólidos Suspendidos Totales		29,21	16,0	24,34	592,4330	83,33	63,55	7,5
Sulfatos		370,4	394,0	279,91	54726,3000	75,57	650	70
Nitratos		31,36	22,0	30,74	944,8378	98,02	75,26	3,54
Demanda Química de Oxígeno		8,50	8,0	1,00	1,0000	11,76	10	7,5
5	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,57	0,6	0,00	0,0000	0,00	0,57	0,57
5	Arsénico	0,0056	0,01	0,00	0,0000	0,00	0,0056	0,0056
1	Zinc	0,01	0,0	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
1	Cobre	2,908	3,0	0,13	0,02	4,50	3	2,72

1	Cadmio	0,02	0,0	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02
1	Hierro	3	3,0	0,00	0,00	0,00	3	3
5	Mercurio	0,004	0,0	0,00	0,00	0,00	0,004	0,004
1	Plomo	1,5184	2,0	0,68	0,46	44,46	2	0,592

Fuente: Autor

Los parámetros seleccionados fueron aquellos que no cumplen con normativa y que por medio de este cálculo estadístico se pudo obtener su valor máximo y mínimo.

5.2. Diseño de Propuesta de Tratamiento

5.2.1. Diseño de Propuesta de Tratamiento de Cu y Pb con Floculación

Para la elección de este tratamiento tomé en cuenta la problemática, de donde proviene el agua residual y los parámetros que deben tratarse por lo que el tratamiento de floculación es el adecuado, ya que ayuda a la eliminación de forma efectiva de los contaminantes presentes.

Diseño de Floculación

a) Área de Palas

Se calculó de la siguiente manera:

Tabla 11: Datos para el Diseño de Floculación

Dato	Valor	Unidad
N° Palas	4	Und
Medida	4	cm ²

Fuente: Autor

Fórmula:

Ecuación 1: Área de Palas

$$A = n^{\circ} \text{ Palas} * \text{medida} * 10^{-4} = m^2$$

Donde:

n° Palas: Número de palas a utilizar

medida: Medida de las palas en *cm²*

Resolución:

$$A = 4 * 4 * 10^{-4} = 0,0016 \text{ m}^2$$

Se obtuvo que el área de palas es de $0,0016 \text{ m}^2$

b) Velocidad Relativa Paleta – Agua

Se calcula por medio de la siguiente fórmula.

Tabla 12: Datos para el Diseño de Floculación

Dato	Valor	Unidad
r	4	cm
n	25	rpm
ρ densidad del agua	1020	kg/m ³
μ	0,00107	NS/m ²

Fuente: Autor

Ecuación 2: Velocidad Relativa Paleta - Agua

$$V = 0,8 * 2 * \pi * \frac{r}{100} * \frac{n}{60} = m/s$$

Donde:

V = Velocidad relativa entre la paleta y el agua

0.8 = Constante

2 = Constante

r = Radio en el que se encuentra la paleta

n = Velocidad de rotación de la paleta en revoluciones por unidad de tiempo

Resolución:

$$V = 0,8 * 2 * \pi * \frac{4}{100} * \frac{25}{60} = 0,084 \text{ m/s}$$

Se obtuvo que la Velocidad Relativa Paleta - Agua es de $0,084 \text{ m/s}$.

c) Potencia

La potencia se calcula con la siguiente formula

Ecuación 3: Potencia

$$P = \frac{C_D * A * \rho * V^3}{2} = W$$

Donde:

C_D = Coeficiente de arrastre

A = Área

ρ = Densidad del agua

V^3 = Velocidad

Resolución:

$$P = \frac{1,8 * 0,16 \text{ m}^2 * 1020 \text{ Kg}^3/\text{m} * 0,084 \text{ ms}}{2} = 0,00086 \text{ W}$$

Se obtuvo que la Potencia es de 0,00086 W.

d) Gradiente de Velocidad Media

El gradiente de velocidad media se calcula mediante la siguiente formula

Tabla 13: Datos para el Diseño de Floculación

Dato	Valor	Unidad
A	0,0016	m ²
r	4	cm
n	25	rpm
r	1020	kg/m ³
m	0,00107	NS/m ²
CD	1,8	
VRP	0,084	m/s
P	0,00086	W

Fuente: Autor

Ecuación 4: Gradiente de Velocidad Media

$$Gvm = \sqrt{\frac{P}{\mu * V}}$$

Donde:

P = Potencia (W)

μ = Viscosidad dinámica del fluido $N\ s/m^2$

V = Volumen del agua del ensayo m^3

Resolución:

$$Gvm = \sqrt{\frac{0,00086\ W}{0,000107\ \frac{NS}{m^2} * 0,0005\ m^3}} = 40,18$$

Se obtuvo que la Gradiente de Velocidad Media es de 40,18

e) Dimensiones del Tanque

En este apartado se debe considerar que las variables θ : 17 min \approx 20min y G son constantes, es así como las dimensiones de tanque se calculan mediante la fórmula.

Tabla 14: Datos para el Diseño de Flocculación

Dato	Valor	Unidad
	1	L
	2,7	Seg
	0,37	L/s
Q	0,00037	m ³ /s
	0,0222	m ³ /m
	1,33333333	m ³ /h
	32	m ³ /día
Tiempo (θ)	20	min

Fuente: Autor

Ecuación 5: Dimensiones del Tanque

$$D_{tanque} = \theta * Q = m^3$$

Donde:

θ = constante de tiempo 17 min \approx 20min

Q = Caudal en m^3/d

Resolución:

$$D_{\text{tanque}} = 20 \text{ min} * 0,0222 \text{ m}^3/\text{m} = 0,444 \text{ m}$$

Se obtuvo que la Dimensión del Tanque es de 0,444 m

f) Tanque de Geometría

Para calcular la geometría del tanque se debe seleccionar la forma de este y de ahí varía H altura y L largo es así como para un tanque de geometría cuadrada se emplea la siguiente fórmula.

$$TG = \sqrt[3]{D_{\text{tanque}}} = m$$

Donde:

D_{tanque} = dimensiones del tanque

Resolución:

$$TG = \sqrt[3]{0,444 \text{ m}} = 0,8 \text{ m}$$

Se obtuvo que la Dimensión del Tanque es de 0,8 m

g) Cálculo de la Potencia Unitaria Requerida

Para desarrollar este cálculo se emplea la siguiente fórmula.

Ecuación 6: Cálculo de la Potencia Unitaria Requerida

$$G = \sqrt{\frac{P_{\text{unit}}}{\mu V_{\text{unit}}}} = W$$

Donde:

P_{unit} = Gradiente de velocidad media

μ = Viscosidad dinámica del fluido N s/m²

V_{unit} = Dimensiones del tanque

Resolución:

$$G = \sqrt{\frac{40,18 \text{ m}}{0,00107 \text{ NS/m}^2 * 0,444 \text{ m}}} = 0,77 \text{ W}$$

Se obtuvo que el Cálculo de la Potencia Unitaria Requerida es de 0,77 W

h) Cálculo del Área Requerida Cont

En este apartado las variables n y Dfloc se obtiene del catálogo seleccionado de floculadores por lo que se aplica la siguiente fórmula

Tabla 15: Datos para el Diseño de Floculación

Datos	Valor	Unidad
Dfloc	0,4	m
CD	0,65	Floculador de hélice
Pi	3,1416	
n	0,5	rps

Fuente: Autor

$$P = \frac{C_D * A * \rho * V^3}{2}$$

Ecuación 7: Cálculo del Área Requerida

$$A_{requerida} = \frac{2 \text{ Prequerida}}{C_D * \rho * V^3}$$

$$A_{requerida} = \frac{2 * \text{Prequerida}}{0,65 * \rho * (0,75 * \pi * n * D_{floc})^3}$$

Donde:

Prequerida = Potencia Unitaria Requerida

ρ = Densidad del agua

n = velocidad de rotación de la paleta en revoluciones por unidad de tiempo

D_{floc} = Se lo selecciona del Catálogo

Resolución:

$$A_{requerida} = \frac{2 * 0,77 W}{0,65 * 1020 \text{ kg/m}^3 * (0,75 * \pi * 0,5 \text{ rps} * 0,4 \text{ m})^3} = 0,018 \text{ m}^2$$

Se obtuvo que el Cálculo de la Área Requerida es de 0,018 m²

i) Elección de Floculador

En este apartado se realiza el cálculo del área del floculador la cual se obtiene mediante la siguiente fórmula.

Ecuación 7: Elección de Floculador

$$A_{floculador} = \frac{1}{2} * \pi * \frac{D^2 floc}{4}$$

Donde:

Prequerida = Potencia Unitaria Requerida

ρ = Densidad del agua

n = velocidad de rotación de la paleta en revoluciones por unidad de tiempo

D_{floc} = Se lo selecciona del Catálogo

Resolución:

$$A_{floculador} = \frac{1}{2} * \pi * \frac{0,4^2}{4} = 0,063 \text{ m}^2$$

Se obtuvo que el Cálculo del Área Requerida es de 0,063 m² y el floculador es de mezcla lenta.

Finalmente, el tratamiento de Floculación cuenta con la aplicación del Jar – Test en el cual se determinó que el Área es de 0,0016 m², la Velocidad Relativa Paleta - Agua es de 0,084 m/s y la Potencia es de 0,00086 W, continuando con los cálculos sigue el Cálculo

de la Gradiente de Velocidad Media en el cual se obtuvo un valor de 40,18, el dimensionamiento del tanque cuenta con la elección de la constante del tiempo siendo esta 20 min y se considera una unidad por lo que el valor es de 0,444 m, por consiguiente, la forma del tanque será cuadrada y con 0,8 m, también se obtuvo que la Potencia de Unitaria Requerida es de 0,77 W además se los cálculos de las Áreas siendo estas Área Requerida con 0,018 m² y Área de Floculador 0,063 m² respectivamente, además este modelo cuenta con 180W de Potencia.

5.3. Diseño de Propuesta de Tratamiento de Cu y Pb con Coagulación

Con la aplicación de este tratamiento se busca la eliminación parcial o total de los contaminantes, pero, se ha demostrado científicamente que tiene un porcentaje de eliminación del 80 al 85% en Plomo (Pb) mientras que en Cobre (Cu) 75 al 80% lo que lo hace un tratamiento acertado para la mejora en la calidad del agua, así mismo, estos porcentajes varían con las condiciones climáticas y el tipo de coagulante que se vaya a utilizar (Lugo C., 2017).

a) Volumen del Tanque

El volumen del tanque para aplicar el tratamiento de Coagulación se necesita que este tenga un volumen de 1/3 del volumen que se usa para floculación, se calcula por medio de la siguiente fórmula.

Tabla 16: Datos para el Diseño de Coagulación

Datos	Valor	Unidad
Vt floculación	0,444	
Vt coagulación	0,148	m ³
	148,15	l

Fuente: Autor

Ecuación 8: Volumen del Tanque

$$Vol = \theta * Q = L$$

Donde:

θ = Tiempo de mezcla en minutos

Q = Caudal en L/d

Resolución:

$$Vol = \frac{0,444}{3} = 0,148 \text{ m}^3 * 1000 = 148,15 \text{ L}$$

Se obtuvo que el Cálculo del Volumen del Tanque es de 148,15 L.

b) Geometría del Tanque

En el siguiente apartado se debe considerar la geometría del tanque por lo que en este caso específico será de forma cilíndrico y se aplica la siguiente fórmula.

Ecuación 9: Geometría del Tanque

$$d = 3 * \sqrt{\frac{4 * V}{\pi}}$$

Donde:

V = Volumen del Tanque

Resolución:

$$d = 3 * \sqrt{\frac{4 * 0,148 \text{ m}^3}{\pi}} = 0,574 \text{ m}$$

Se obtuvo que la Geometría del Tanque del Tanque es de 0,574 m y este es Cilíndrico debido a que el diámetro debe ser igual al Calado/ Altura.

c) Sistema de agitación

En el cálculo del sistema de agitación se considera el diámetro máximo y mínimo de paletas para de esta manera determinar si cumple o no con los requerimientos que se necesitan.

La fórmula emplear se especifica a continuación.

Ecuación 10: Sistema de agitación dpaletamin

$$d_{paletamin} = \frac{d}{3} = m$$

Donde:

d = Diámetro del cilindro a utilizar

Resolución:

$$d_{paletamin} = \frac{0,574 \text{ m}}{3} = 0,191\text{m}$$

Se obtuvo que el Sistema de agitación dpaletamin es de 0,191m.

Ecuación 11: Sistema de agitación dpaletamax

$$d_{paletamax} = d - 2\left(\frac{d}{10}\right) = m$$

Donde:

d = Diámetro del cilindro a utilizar

Resolución:

$$d_{paletamax} = 0,574 \text{ m} - 2\left(\frac{0,574 \text{ m}}{10}\right) = 0,46\text{m}$$

Se obtuvo que el Sistema de agitación dpaletamax es de 0,46m.

d) Potencia – Régimen

En este apartado se selecciona un modelo de agitador que cumpla con los requerimientos para el tratamiento y será sometido a una comprobación de régimen y potencia requerida para determinar si este es apto o no, así como también determinar que la potencia necesaria sea laminar o turbulenta todo esto dado por las siguientes fórmulas.

Tabla 17: Datos para el Diseño de Coagulación

Datos	Valor	Unidad
Tiempo de mezclado q	30	min
Modelo Agitador	HDSP-02 02 P 02	
r	1020	kg/m3
m	0,00107	NS/m2
Tipo	Agitador de mezcla rápida	

Fuente: Autor

$$p = k\mu n^3 D^3 \rightarrow \text{si } Re > 10 \text{ (Laminar)}$$

$$p = k\mu n^3 D^5 \rightarrow \text{si } Re > 10.000 \text{ (Turbulento)}$$

Ecuación 12: Potencia

$$p = kn^3 D^5 = W$$

Donde:

P= Potencia (W)

K= Constante (función del tipo de impulsor y de Re)

μ = Viscosidad dinámica del fluido (Ns/m2)

ρ = Densidad (Kg/m3)

D= Diámetro de la paleta del agitador (m)

n = Revoluciones por segundo

Resolución:

$$p = 0,32 * 1020 \frac{Kg}{m^3} * 1000^3 rpm * 0,2^5 m = 484 W$$

Se obtuvo que la Potencia del agitador es de 484 W.

Ecuación 13: Régimen

$$Re = \frac{D^2 np}{\mu}$$

Tabla 18:Datos para el Régimen

Agitador		K	0,32
Modelo	D	0,2	m
HDSP-02 02 P 02	n	1000	rpm
	p	0,55	Kw

Fuente: Autor

Donde:

P= Potencia (W)

K= Constante (función del tipo de impulsor y de Re)

μ = Viscosidad dinámica del fluido (Ns/m²)

ρ = Densidad (Kg/m³)

D= Diámetro de la paleta del agitador (m)

n = Revoluciones por segundo

Resolución:

$$Re = \frac{(0,574 m)^2 * 1000 rpm * 0,55 Kw}{0,00107 NS/m^2} = 635514,019 \text{ adimensional} \rightarrow \text{Turbulento}$$

Se obtuvo que el Régimen es de 635514,019 *adimensional*.

Por lo tanto el diseño de Coagulación cuenta con un Caudal de Mezcla de 148,15 L siendo este 1/3 del volumen que se usa para Floculación, el Volumen del tanque por lo tanto es 148,15 L, dado que el Diámetro es igual al Calado/Altura se obtiene un tanque con forma cilíndrica y su medida es de 0,574 m, en la elección del Agitador que cumpla

con las especificaciones de uso se debe considerar el Diámetro de la paleta tanto para su máximo como su mínimo es así que se obtuvo para $d_{paleta\min}$ 0,191 m y $d_{paleta\max}$ 0,46 m por lo tanto si cumple con el modelo de agitador elegido siendo este HDSP-02 02 P 02 de Mezcla Rápida, así mismo se calculó el Régimen y Potencia en función del modelo de agitador siendo estos Re 635514,019 adimensional Turbulento y P 484 W.

6. CONCLUSIONES

El trabajo realizado en la Mina del Río Villa 1 permitió evidenciar las condiciones reales en las que se encuentra la calidad del agua proveniente de actividades mineras a pequeña escala desarrolladas en el lugar, dichos análisis realizados por un laboratorio acreditado bajo los estándares nacionales mostraron que el agua no cumple con los límites permisibles dados por la normativa ambiental vigente en el país. De manera particular la presencia de metales pesados como lo son el Cobre y el Plomo considerados tóxicos permiten darnos cuenta lo necesario y fundamental que es contar con un buen tratamiento de aguas residuales, a su vez, es necesario tratar estos parámetros con un tipo de tratamiento adecuado con el fin de reducir las concentraciones elevadas de estos.

Las propuestas de tratamiento que se seleccionaron fueron Coagulación-Floculación, mismas que están específicamente diseñadas para tratar las características del agua residual en el lugar, los cálculos realizados demostraron una alta eficiencia en la remoción de los metales pesados como lo son el Plomo (Pb) y el Cobre (Cu) por lo tanto en la Floculación se obtuvo que el área requerida del floculador es de 0,063 m², contiene una potencia de 180w lo que garantiza eficiencia en la aglomeración de contaminantes, de la misma manera la velocidad relativa entre las paletas y el agua llegó a 0,084 m/s, mientras que el gradiente de velocidad media fue de 40,18 s⁻¹, por consiguiente el diseño

de coagulación nos demostró lo siguiente; el Caudal de Mezcla es de 148,15 L por lo que esto representa 1/3 del volumen utilizado para floculación, el Volumen del Tanque es de 148,15 L. mientras que la Forma del Tanque es Cilíndrica, con un diámetro igual al calado/altura de 0,574 m, así mismo las Dimensiones de la Paleta del Agitador tienen un diámetro mínimo de 0,191 m y un diámetro máximo de 0,46 m lo que quiere decir que el diseño cumple con las especificaciones del modelo elegido, también se hace mención al Modelo del Agitador el cual es HDSP-02 02 P 02 de mezcla rápida y el Régimen - Potencia del Agitador: Régimen adimensional turbulento (Re) de 635514,019 y una potencia (P) de 484 W, para finalizar la implementación del tratamiento metales pesados redujo considerablemente la concentración de estos y aun que el Plomo no pudo ser eliminado por completo se tuvo un 90% de remoción lo que quiere decir que los tratamientos propuestos son acertados.

La implementación de estas propuestas de tratamiento será de gran ayuda para la mejora en la calidad del agua de la Mina del Río Villa 1 y hará que esta cumpla con los límites permisibles dados por la normativa vigente Ambiental, además, se evitan los impactos negativos al medio ambiente.

7. RECOMENDACIONES

En caso de ser aplicadas estas propuestas, se recomienda que se implemente un sistema para el tratamiento de Lodos puesto que este tipo de tratamientos generan residuos.

Implementar un tanque de 200 L aproximadamente para el sistema de Floculación ya que no es necesario que se aplique por separado el tratamiento.

Se recomienda a los propietarios de la Mina realizar monitoreos de agua periódicos para de esta manera evitar que algún tipo de contaminante generado por la actividad afecte de forma negativa al medio ambiente.

Se recomienda la aplicación de tratamiento de aguas eficaces y económicos, como también amigables con el medio ambiente.

8. BIBLIOGRAFÍA

Aguibulab S.A. Laboratorio Ambiental & Ocupacional Acreditado SAE. (2024). *Análisis de la*

Calidad del Agua (p. 2) [Analítico].

Alloway, B. (2013). *Metales pesados y metaloides como micronutrientes para plantas y*

animales (Vol. 22). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_7

Alvarez, H. T. (2015). Exploración minera, compañías mineras junior y aspectos a tomar en

cuenta para su promoción. *IUS ET VERITAS*, 50, 274-291.

<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/iusetveritas/article/view/14821>

Arellano, J., & Guzmán, J. (2011). *Ingeniería ambiental*. Alpha Editorial.

- Bridgewater, L. L., Baird, R. B., Eaton, A. D., Rice, E. W., American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation (Eds.). (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd edition). American Public Health Association.
- Castañeda, D. L. L. (2017). *Remoción de metales pesados en el proceso de coagulación-floculación de aguas residuales industriales mediante el uso del tanino modificado de Acacia*.
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/57906/tesis%20%20para%20CD.pdf?sequence=1&form=MG0AV3>
- Caviedes Rubio, D. I., Muñoz Calderón, R. A., Perdomo Gualtero, A., Rodríguez Acosta, D., & Sandoval, J. (2015). Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales: Una revisión. *Ingeniería y Región*, 13, 73-90.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5432290>
- Código Orgánico del Ambiente. (2017, abril 12). *Código Orgánico del Ambiente*.
https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*.
- Covarrubias, S. A., & Cabriales, J. J. P. (2017). CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR METALES PESADOS EN MÉXICO: PROBLEMÁTICA Y ESTRATEGIAS DE FITORREMEDIACIÓN. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 7-21.
<https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>
- Garcés Vinuesa, D. S. (2019). *Diseño de un sistema de Coagulación—Floculación para el tratamiento de aguas residuales*.
- Gómez Ensastegui, I. C. (2019). *EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SORCIÓN DE METALES PESADOS DE LA BRIOFITA ACUÁTICA RICCIOCARPUS NATANS*.

<https://1library.co/article/coagulaci%C3%B3n-floculaci%C3%B3n-proceso-de-remoci%C3%B3n-de-metales-pesados.yd7n2oje>

Güiza, L. (2013). LA PEQUEÑA MINERÍA EN COLOMBIA: UNA ACTIVIDAD NO TAN PEQUEÑA.

DYNA, 80(181), 109-117.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0012-73532013000500012&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Henao, J. D., & Isaza, G. C. (2004). *Diseño y construcción de una unidad de banco para coagulación, floculación y sedimentación*. Universidad Nacional de Colombia.

institutodelaguaes. (2024, enero 19). Calidad del Agua: Definición y Factores que la Determinan. *Instituto del Agua*. <https://institutodelagua.es/calidad-del-agua/calidad-del-agua-definicioncalidad-del-agua/>

Lander Rodríguez, J. (2020, diciembre 15). *El proceso de tratamiento de aguas residuales y eliminación de contaminantes emergentes* [Text]. iAgua; iAgua.

<https://www.iagua.es/blogs/lander-rodriguez-jorge/proceso-tratamiento-aguas-residuales-y-eliminacion-contaminantes>

Ley de Minería. (2018, agosto 21). *Ley de Minería*.

https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Ley-de-Miner%C3%ADa.pdf

LEY N°27651. (s. f.). Recuperado 1 de octubre de 2024, de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-27651.pdf>

Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua. (2014, agosto 5). *Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua*.

<https://regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/Ley-Org%C3%A1nica-de-Recursos-H%C3%ADdricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf>

- Lugo C., D. (2017, noviembre 27). *Remoción de metales pesados en el proceso de coagulación-floculación de aguas residuales industriales mediante el uso del tanino modificado de Acacia*.
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/57906/tesis%20%20para%20CD.pdf?sequence=1&form=MG0AV3>
- Martín G., R. (1998). *Tecnología Del Agua* (Octubre del 1998).
- Martinez, P. (2021, septiembre 4). *La contaminación del agua en la minería* | Observatorio Económico Latinoamericano OBELA. <https://www.obela.org/analisis/la-contaminacion-del-agua-en-la-mineria>
- Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., & Quintana, C. (2006). *CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN SUELO PROVOCADA POR LA INDUSTRIA MINERA HEAVY METALS POLLUTION IN SOILS DAMAGED BY MINING INDUSTRY*. 5.
- Quilinox. (s. f.). *Agitadores de Velocidad Lenta*. <https://quilinox.com/wp-content/uploads/2022/07/Agitadores-de-velocidad-lenta.pdf>
- Quiñones, A. (2017, septiembre 7). *Escorrentía*. SlideShare.
<https://es.slideshare.net/slideshow/escorrentia-79535908/79535908>
- Raffino. (2021, agosto 5). *Contaminación del Agua—Concepto, causas y consecuencias*.
<https://concepto.de/>. <https://concepto.de/contaminacion-del-agua/>
- Reglamento Ambiental de Actividades Mineras. (2014, marzo 27). *Reglamento Ambiental de Actividades Mineras, Ministerio Ambiente*.
https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Reglamento-Ambiental-Actividades-Mineras.pdf
- Reutelshöfer, T., & Guzmán, L. (2015). *Guía para la toma de muestras de agua residual*. En *Guía para la toma de muestras de agua residual* (2015.^a ed., Vol. 1, p. 40). PERIAGUA.
https://www.bivica.org/files/5376_aguas-residuales-muestra.pdf

Salazar, M. Á. L. (2021). *SELECCIÓN DE TÉCNICAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON CONTENIDO ELEVADO DE METALES PESADOS, ENFOCADO A LA SOSTENIBILIDAD EN LA INDUSTRIA MINERA COLOMBIANA.*

Sandoval, F. (2001). *La Pequeña Minería en el Ecuador.* 75, 31.

<https://www.iiied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/G00721.pdf>

TIMSA. (s. f.). *Agitadores de Velocidad Rápida.*

<https://www.mendinox.com/catalogos/agitadores.pdf>

Tito, B. (2020, julio 7). ▷ *Parametros fisicos del agua, caracterización, cuales son.*

<https://ingenieriaambiental.net/parametros-fisicos-del-agua/>

TULSMA. (2017, marzo 29). *NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA.*

9. ANEXOS

Ilustración 9: Reconocimiento del Lugar sujeto de estudio.



Fuente: Autor

Ilustración 10: Toma de Muestra en el Desfogue de los Pozos.



Fuente: Autor

Ilustración 11: Reconocimiento de los Pozos de Sedimentación



Fuente: Autor

Ilustración 12: Análisis de la Calidad del Agua de la Mina del Río Villa 1.

 INFORME DE ENSAYO No. AG-0324-2024 ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUAS		Laboratorio de Ensayos ACREDITADO por el SAE Con acreditación No. SAE LFN 20-010			
DATOS DEL CLIENTE Razón Social ⁽¹⁾ : APOYADOS SUSTANANTE CARLOS STEWARD Representante Legal ⁽²⁾ : APOYADOS SUSTANANTE CARLOS STEWARD Dirección ⁽³⁾ : Rd. Villa 1, Cantón Cacha, Páramo Enriquez, Provincia del Azuay Teléfono ⁽⁴⁾ : 0995864448 País, Contacto ⁽⁵⁾ : Eq., Neaiza Heredia Orden de Trabajo: 07-AG-0296-2024		DATOS DE LA MUESTRA Descripción ⁽⁶⁾ : RDM DEL RIO VILLA 1 Tipo de Muestra ⁽⁷⁾ : Agua residual Punto de Muestra ⁽⁸⁾ : Salto Para Sedimentación Código de Muestra: AG-0384324 Tipo de muestra ⁽⁹⁾ : Simple Toma de muestra por: Agibulab			
FECHA DE EJECUCIÓN F. Toma muestra/Inicio: 11/12/2024 9:45 a.m. F. Ejecución de Ensayos: 11/12/2024 al 23/12/2024 F. Emisión del Informe: 24/12/2024		CONDICIONES AMBIENTALES Temperatura: 24.8 °C Humedad Relativa: 53.8 %RH Coordenadas: 841731-968232 UTM WGS84			
Metodología de Toma de Muestra: B-AG-13 Instructivo de Toma de Muestras de Agua Normativa de Calidad (LMP)⁽¹⁰⁾: NENEO 1 LIBRO VI TULASMA ACUERDO 097-A; TABLA 9; LIMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE					
TABLA DE RESULTADOS					
Parámetros	Unidades	Resultados	Incertidumbre (K=2)	Límite Máximo Permisible	Método de Referencia
Sólidos Suspensos Totales	mg/l	63,35	± 7,63	100	PE-10-01 S.M. 2540 D
Sulfatos	mg/l	650,00	± 65,00	1000	PE-AG-06 Método 8050
Nitratos	mg/l	75,26	± 14,56	---	PE-AG-15 Método 8050
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	10,00	± 1,30	200	PE-AG-11 Método 8050
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	<0,07	---	200	PER-GQR-FQ-05
Análisis	mg/l	<0,0056	---	0,1	PER-GQR-FQ-13
Zinc	mg/l	<0,01	---	5	PE-AG-50
Cobre	mg/l	2,82	---	1	PE-AG-44
Cadmio	mg/l	<0,02	---	0,02	PE-AG-47
Plomo	mg/l	>5,00	---	00	PE-AG-45
Mercurio	mg/l	<0,00400	---	0,005	PER-GQR-FQ-13
Plomo	mg/l	0,92	---	0,2	PE-AG-46

NOTAS:

- E.M. Corresponde al método de referencia Standard Methods.
- PE Corresponde al método interno Procedimiento de Trabajo.
- Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometida(s) al ensayo.
- No se debe reproducir el informe parcial o en su totalidad sin la aprobación escrita del Laboratorio.
- Se mencionan, Parámetro incluido en el alcance de acreditación del laboratorio ante el SAE.
- Parámetro no está incluido en el alcance de acreditación del laboratorio ante el SAE.
- Parámetro subcontratado CON acreditación, evaluación de competencia en base PE-AG-05, Capítulo 5.6
- Parámetro subcontratado SIN acreditación, evaluación de competencia en base PE-AG-05, Capítulo 5.6
- Parámetro analizado interno cuyo resultado está fuera del alcance de acreditación del laboratorio ante el SAE.
- Parámetro subcontratado CON acreditación cuyo resultado está fuera del alcance de acreditación del laboratorio ante el SAE, evaluación de competencia en base PE-AG-05, Capítulo 5.6
- Resultado emitido por el Laboratorio con código de Acreditación SAE LFN 05-001.
- AGIBULAB S.A., no se responsabiliza de la información que ha sido proporcionada por el cliente, y que pueda afectar directa o indirectamente a las validas de los resultados del presente informe.
- La información designada para puntos de toma de muestra es proporcionada directamente por el cliente.
- La incertidumbre expresada de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de medida por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente al 95 %.

Fuente: (Aguibulab S.A. Laboratorio Ambiental & Ocupacional Acreditado SAE, 2024)

Ilustración 13: Análisis de la Calidad del Agua de la Mina del Río Villa.

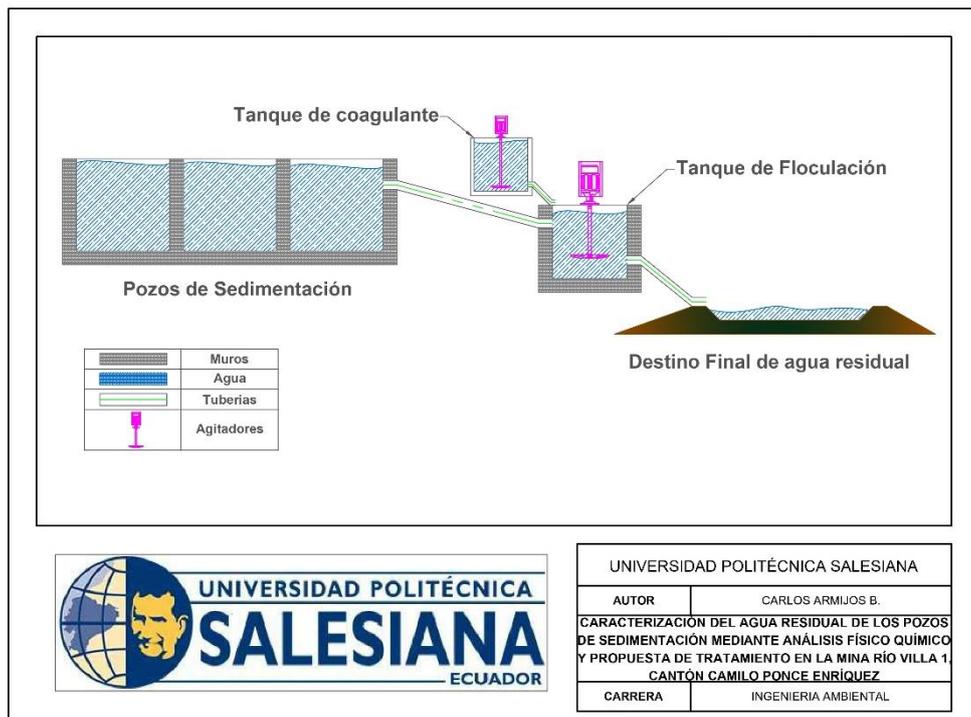
AGIBULAB LABORATORIO AMBIENTAL Y OCUPACIONAL		INFORME DE ENSAYO No. AG-0331-2024 ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUAS		Laboratorio de Ensayos ACREDITADO por el SAE Con acreditación No. SAE LEN 20-010	
DATOS DEL CLIENTE			DATOS DE LA MUESTRA		
Nombre ^(*)	JOSÉ JOSÉ BUSTAMANTE CARLOS ESTIVADO		Descripción ^(*)	MINA DEL RÍO VILLA 1	
Representante Legal ^(*)	JOSÉ JOSÉ BUSTAMANTE CARLOS ESTIVADO		Tipo de Muestra ^(*)	Agua Potable	
Dirección ^(*)	R/C VILLA 1, CARRETERA CARLOS PRADO BUSTAMANTE, PROVINCIA DE AZUAY		Punto de Muestra ^(*)	Salida de Pozos de Infiltración	
Teléfono ^(*)	083584489		Código de Muestra ^(*)	AG-0331-2024	
Persona de Contacto ^(*)	Dra. Natalia Rodríguez		Tipo de Muestra ^(*)	Simple	
Dato de Trabajo	05-AG-0331-2024		Tamaño por	Agujero	
FECHA DE EJECUCIÓN			CONDICIONES AMBIENTALES		
Fecha de Ejecución	10/12/2024 08:45 a. m.		Temperatura	23.6 °C	
Periodo de Vigencia	10/12/2024 a 26/12/2024		Humedad Relativa	53.6 %RH	
Fecha de Emisión	27/12/2024		Coordenadas	641738 -862323 UTM WGS84	
Metodología de Toma de Muestra: S-AG-03 Instrucción de Toma de Muestra de Agua					
Normativa de Calidad (LMP)^(**): ANEXO 3 LIBRO VI TULIPÁN ACUÍFICO (007-A), TABLA 6: LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE					
TABLA DE RESULTADOS					
Parámetro	Unidades	Resultados	Factor de Corrección (K=2)	Límite Máximo Permisible	Método de Referencia
Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	7.88	4 8.00	100	PR-AG-07 (S.M. 0400.1)
Sulfatos	mg/l	75.90	4 7.00	5000	PR-AG-04 (NCH 1013)
Nitratos	mg/l	3.24	4 8.76	---	PR-AG-13 (NCH 1013)
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	<0.2	---	200	PR-AG-11 (NCH 1000)
Demanda Biológica de Oxígeno	mg/l	<0.27	---	100	PR-AG-10M-FG-03
pH	---	<0.056	---	6.5	PR-AG-02M-FG-03
Zinc	mg/l	<0.01	---	5	PR-AG-09
Cadmio	mg/l	2.22	---	1	PR-AG-04
Cobalto	mg/l	<0.02	---	0.02	PR-AG-07
Hierro	mg/l	<0.03	---	10	PR-AG-05
Manganeso	mg/l	<0.0300	---	0.05	PR-AG-02M-FG-03
Plomo	mg/l	<0.03	---	0.2	PR-AG-06

NOTAS:

- (*) S.M. Corresponde al Método de Referencia Estándar Potable.
- (**) Corresponde al método oficial establecido por el SAE.
- Los resultados en este informe, corresponden únicamente a las (s) muestra(s) sometida(s) al análisis.
- No se debe interpretar el informe parcial a la totalidad de la información emitida del Laboratorio.
- Los resultados obtenidos están en el alcance de competencia del Laboratorio ante el SAE.
- Parámetro no está regulado en el alcance de acreditación del Laboratorio ante el SAE.
- Parámetro subcontrolado CON acreditación, evaluación de competencia en base ISO 9001, Capítulo 5.6.
- Parámetro subcontrolado SIN acreditación, evaluación de competencia en base ISO 9001, Capítulo 5.6.
- Parámetro subcontrolado SIN acreditación pero regulado en la tabla del alcance de acreditación del Laboratorio ante el SAE.
- Parámetro subcontrolado CON acreditación pero regulado fuera del alcance de acreditación del Laboratorio ante el SAE, evaluación de competencia en base ISO 9001, Capítulo 5.6.
- Resultado emitido por el Laboratorio con Código de Acreditación SAE LEN 03-081.
- AGIBULAB S.A. es la responsable de la información que ha sido proporcionada por el cliente, y que puede afectar directa o indirectamente a los valores de los resultados del presente informe.
- La información otorgada para fines de toma de muestra es proporcionada directamente por el cliente.
- La incertidumbre asociada de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de medida por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95 %.

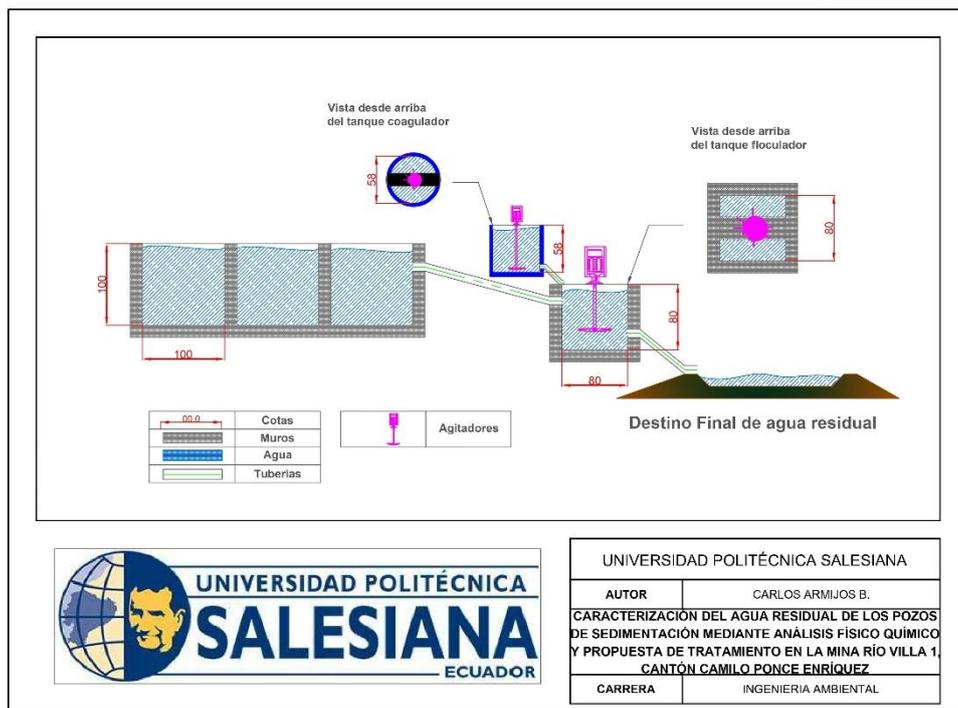
Fuente: (Aguibulab S.A. Laboratorio Ambiental & Ocupacional Acreditado SAE, 2024)

Ilustración 15: Diseño de propuesta de tratamiento



Fuente: Autor

Ilustración 16: Diseño de propuesta de tratamiento (Cotas)



Fuente: Autor