



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

Maestría en Minas Mención en Mineralurgia y Metalurgia Extractiva

Tratamiento de efluentes generados en el proceso metalúrgico de flotación de la planta de beneficio METALESA, Parroquia Ponce Enríquez, Cantón Ponce Enríquez, Provincia Azuay, Ecuador.

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Magister en Minas mención en Mineralurgia y Metalurgia Extractiva

AUTOR:

Ing. René Fabián Cuesta

DIRECTOR:

Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.

Loja - Ecuador

2023



unl

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS
INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN
MINAS

Certificación

Loja, 16 de Mayo de 2023

Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg.Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Tratamiento de efluentes generados en el proceso metalúrgico de flotación de la planta de beneficio METALESA, Parroquia Ponce Enríquez, Cantón Ponce Enríquez, Provincia Azuay, Ecuador.**, previo a la obtención del título de **Magíster en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva** de autoría del estudiante **René Fabián Cuesta**, con **cedula de identidad Nro. 1103040604** una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg.Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN



unl

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS
INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN
MINAS

Autoría

Yo, **René Fabián Cuesta**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación del Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula de Identidad: 1103040604

Fecha: 17 de mayo de 2023

Correo electrónico: fabian.cuesta@unl.edu.ec

Teléfono : 0968545172



unl

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS
INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN
MINAS

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **René Fabián Cuesta**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Tratamiento de efluentes generados en el proceso metalúrgico de flotación de la planta de beneficio METALESA, Parroquia Ponce Enríquez, Cantón Ponce Enríquez, Provincia Azuay, Ecuador.**, como requisito para optar el título de **Magíster en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los diecisiete días del mes de mayo del dos mil veintitrés.

Firma:

Autor: René Fabián Cuesta

Cédula: 1103040604

Dirección: Miguel Riofrío y Lauro Coronel Esq. (Malacatos-Loja)

Correo electrónico: fabian.cuesta@unl.edu.ec

Teléfono: 0968545172

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Trabajo de Titulación : Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg.Sc.



unl

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS
INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN
MINAS

Dedicatoria

La presente Investigación está dedicada a Dios ya que gracias a él he logrado concluir mi meta, a mi madre, esposa e hijo porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su ayuda y consejos para hacer de mí una mejor persona.

A mis hermanos, sobrinos, familiares y amigos por su apoyo incondicional, que de una u otra manera han contribuido para el logro de este objetivo; gracias a todos por confiar siempre en mí.

A mi abuelo Alfredo y mi tía Lida que fueron como padres para mí, aunque no están físicamente presentes, sus enseñanzas y valores siguen guiándome día a día.

René Fabián Cuesta



Agradecimiento

Quiero expresar mi gratitud a Dios por haber forjado mi camino y me ha dirigido por el sendero correcto, por ser mi luz, sabiduría y fortaleza.

Mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, a sus Directivos y Docentes por la organización del programa de Maestría en Minas con mención en Mineralurgia y Metalurgia Extractiva, a cada uno de los profesores por haber impartido sus valiosos conocimientos, a mi Director del Trabajo de Titulación Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg.Sc, quien con su experiencia, conocimiento y motivación me orientó en la elaboración del presente trabajo de titulación.

De manera especial al Ing. Fernando Tulio Valencia Guaricela, Mgt., por sus consejos, enseñanzas, sus conocimientos invaluable, su don de gentes y sobre todo por haberme brindado su amistad, su tiempo y al estar presente en momentos difíciles de mi vida, permitieron el desarrollo del presente proyecto.

A mis compañeros de trabajo, de maestría, por las horas compartidas, los trabajos realizados en conjunto, las historias, anécdotas vividas y la confianza brindada hacia mi persona de todo corazón muchas gracias.

A la Compañía Minera METALESA, en la persona del Ing. David Fernando Romero Guaycha, Representante Legal y los Técnicos Ing. Marlon Paredes, Ing. Hugo Ártica e Ing. Franco Ruiz, por su apoyo incondicional y hacer posible el desarrollo del presente trabajo investigativo.

Al Ing. Jhonny Handry Castillo Mamani, de la Compañía Minera FIRSTMETAL, por la ayuda brindada y en general agradezco a todas y cada una de las personas que han vivido conmigo la realización de esta tesis, con sus altos y bajos y que no necesito nombrar porque tanto ellas como yo sabemos que desde los más profundo de mi corazón les agradezco el haberme brindado todo el apoyo, colaboración, ánimo y sobre todo cariño y amistad.

René Fabián Cuesta



Contenido

Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización.....	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento.....	vi
Contenido.....	vii
Índice de Tablas:.....	ix
Índice de Figuras:	x
Índice de Anexos:	xi
1. Título.....	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	8
4.1. EFLUENTES	8
4.2. CONTAMINACIÓN EN LA INDUSTRIA MINERA	8
4.3. EL ARSÉNICO (As)	8
4.3.1.Límites máximos permisibles de acuerdo a la legislación ecuatoriana.....	12
4.3.2.Remoción de Arsénico (As) del agua	13
4.4. TÉCNICAS PARA EL TRATAMIENTOS DE EFLUENTES	14
4.4.1.Técnicas convencionales.....	15
4.4.1.1. Filtración por membrana	15
4.4.1.2. Electrodiálisis	16
4.4.1.3. Ósmosis Inversa.....	16
4.4.1.4. Nanofiltración.	17
4.4.1.5. Ultrafiltración.....	17
4.4.1.6. Intercambio Iónico.....	18
4.4.1.7. Adsorción (Convencional).....	19
4.4.1.8. Carbón Activado.....	19
4.4.1.9. Nanotubos de carbono	21
4.4.1.10. Precipitación química – Floculación.....	21
4.4.1.11. Electrocoagulación	22
4.4.1.12. Coagulación-Floculación	22
4.4.1.13. Electrofloculación	23
4.4.1.14. Flotación.	23



4.4.1.15. Fotocatálisis en la degradación de metales pesado.....	24
4.4.2. Técnicas no convencionales.....	24
4.4.2.1. Adsorbentes de Bajo Costo y Nuevos Adsorbentes.	24
4.4.2.2. Adsorción de metales pesados por materiales naturales agrícolas e industriales.....	24
4.4.2.3. Fitorremediación.	25
4.4.2.4. Biopolímeros.	25
4.4.2.5. Hidrogeles.....	26
4.4.2.6. Ceniza Volante.....	26
4.5. ÚLTIMAS INVESTIGACIONES EN ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DEL ARSÉNICO (As) EN EFLUENTES	27
5. Metodología.....	31
5.1. Ubicación.....	31
5.1.1. Sustancias Minerales Procesadas.....	32
5.2. Desarrollo Experimental.....	32
5.3. Diseño Experimental y Protocolo de Ensayos.....	33
6. Resultados	41
6.1. Resultados de la alternativa más eficiente para el tratamiento de efluentes	46
7. Discusión.....	47
8. Conclusiones	49
9. Recomendaciones	50
10. Bibliografía.....	51
11. Anexos.....	56



unl

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS
INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN
MINAS

Índice de Tablas:

Tabla 1.- Límites máximos permisibles para descargas a cuerpos de agua dulce	12
Tabla 2.- <i>Resumen de resultados alcanzados sobre la eficiencia de absorción de diferentes carbones</i>	20
Tabla 3.- Coordenadas de la planta de beneficio	31
Tabla 4.- Resultados alcanzados en los procesos de remoción de Arsénico (As).....	41



Índice de Figuras:

Figura 1. Diagrama de Pourbaix de equilibrio termodinámico del arsénico.....	12
Figura 2. Instalación del piloto de microfiltración asistida por coagulación.	15
Figura 3. Esquema de un sistema de electrodiálisis,	16
Figura 4. Esquema de distintas técnicas de filtración por membrana.	17
Figura 5. Esquema general del proceso de intercambio iónico.....	18
Figura 6. Carbón activado, tamaño 1-3 mm,	21
Figura 7. Procedimiento para floculación.....	22
Figura 8. Proceso convencional de Coagulación – Floculación.	23
Figura 9. Ubicación de la planta de beneficio.	31
Figura 10. Diagrama de flujo proceso de floculación	35
Figura 11. Diagrama de flujo de proceso de floculación y- filtrado dinámico en carbón activado	36
Figura 12. Diagrama de flujo filtración activa.....	36
Figura 13. Diagrama de flujo filtración estática	37
Figura 14. Vaso de precipitado y papel de registro de pH	38
Figura 15. Muestra para proceso de floculación (Sulfato de aluminio).....	39
Figura 16. Columnas de filtración activa.....	39
Figura 17. Muestra de filtrado activo, tiempo 6h.	40
Figura 18. Concentraciones de As en mg/l.....	42
Figura 19. Fracciones de remoción de Arsénico (As) alcanzadas por los procesos	43
Figura 20. Ajuste de regresión lineal aplicado para el proceso de Floculación - Filtración activa	44
Figura 21. Ajuste de regresión lineal aplicado para el proceso de Filtración activa	44
Figura 22. Variación de pH en los procesos	45
Figura 23. Relación gráfica de pH y concentraciones de Arsénico (As) para los procesos. 45	
Figura 24. Relación funcional de pH vs concentración de Arsénico (As) de los procesos ..	46



unl

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS
INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN
MINAS

Índice de Anexos:

Anexo 1. Resultados de análisis de agua de ingreso a la planta	56
Anexo 2. Resultados de calidad del efluente de la planta de beneficio.....	61
Anexo 3. Resultados de ensayos de concentración de As de los procesos experimentados	68
Anexo 4. Registro fotográfico de experimentos realizados	69
Anexo 5. Certificado de traducción del resumen	71



unl

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS
INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN
MINAS

1. Título

Tratamiento de efluentes generados en el proceso metalúrgico de flotación de la planta de beneficio METALESA, Parroquia Ponce Enríquez, Cantón Ponce Enríquez, Provincia Azuay, Ecuador”



2. Resumen

El presente trabajo de investigación experimenta sobre la aplicación práctica de procesos de remoción de arsénico presente en efluentes de la planta de beneficio mineral METALESA ubicada en el distrito minero de Ponce Enríquez en Ecuador, los procesos evaluados han sido seleccionados por su eficiencia reportada de investigaciones anteriores y su relativa simplicidad de aplicación. Los tratamientos aplicados a los efluentes metalúrgicos incluyen: floculación, filtración activa, floculación-filtración activa, filtración estática; el material utilizado en la filtración, tipo columna, fue carbón activado. A escala de laboratorio se ha adecuado el equipamiento necesario para el desarrollo de los procesos de remoción de arsénico propuestos, incluyendo la adecuación de las columnas de filtrado con carbón activado. La muestra inicial de 2000 cc presenta una concentración de arsénico de 1.87 mg/l, el tiempo total de aplicación de los procesos fue de 12 horas, luego de las cuales se evaluaron las concentraciones de arsénico presente en el efluente; esto a excepción de los procesos de filtrado activo en donde se tomaron muestras cada 3 horas que sirvieron para el modelado cinético de la remoción. Los resultados obtenidos muestran que la máxima remoción de Arsénico (As) alcanzó el 50% en el proceso de floculación-filtración activa, la modelación de la cinética del proceso establece que se puede alcanzar una concentración por debajo del límite máximo permisible establecido en la normativa ecuatoriana para descargas a cuerpos de agua dulce de 0.1 mg/l, luego de 26.6 horas de aplicado el tratamiento, los demás procesos alcanzaron remociones del 41%, 33% y 25% para la filtración estática, floculación y filtración activa respectivamente. También se verifica la variación del potencial de hidrógeno (pH) durante el proceso, variando de 5.5 a 9.

Palabras claves: *arsénico, floculación, carbón activado, filtración, minería.*



2.1. Abstract

In the present research, arsenic removal processes are applied to effluents from the METALESA mineral beneficiation plant in Ecuador's mining district of Ponce Enriquez. Research has shown that the processes evaluated are efficient and relatively simple to apply. The treatments applied to the metallurgical effluents include: flocculation, active filtration, floating flocculation-filtration, static filtration; the material used in the filtration, column type, was activated carbon. At laboratory scale, the equipment necessary for the development of the proposed arsenic removal processes has been adapted. This includes the adaptation of activated carbon filtration columns. The initial sample of 2000 cc presented an arsenic concentration of 1.87 mg/l, the total application time of the processes was 12 hours, after which the arsenic concentrations present in the effluent were evaluated; with the exception of active filtration processes, which required samples every 3 hours to model the removal kinetics. Based on the results, the flocculation-active filtration process removed 50% of arsenic (As). Following 26.6 hours of treatment, the concentration should be below the Ecuadorian limits of 0.1 mg/l for discharge to freshwater bodies, based on the kinetic modeling. For static filtration, removals were 41%, 33%, and 25%., flocculation and active filtration respectively. The variation of the hydrogen potential (pH) during the process is also verified, varying from 5.5 to 9.

Key words: *arsenic, flocculation, activated carbon, filtration, mining.*



3. Introducción

La actividad minera en el Ecuador es de vital importancia para su economía, de acuerdo a información incluida en el Plan de Desarrollo Minero 2021 (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2020), el aporte de este sector representa aproximadamente el 1,4% del PIB, esperándose alcance el 4% para 2025. Considerando el potencial minero existente, la naturaleza geológica y metalogénica del país, esta cifra puede inclusive incrementarse, vale anotar que Perú por ejemplo maneja aportes de la industria minera de cerca del 16% para su PIB (Comité de Gestión Minero Energético como Plataforma Regional de Articulación y Diálogo, 2020).

No es menos cierto también que sobre el aprovechamiento minero metálico, especialmente lo que determinados sectores ambientalistas consideran como extractivismo, ha generado un gran debate, estos grupos indican que los perjuicios superan los beneficios principalmente haciendo alusión a los graves impactos ambientales que la actividad genera, no solamente en cuanto a la alteración de los ecosistemas por la excavación relacionada a proyectos de mediana y gran minería a cielo abierto, sino también por los potenciales problemas vinculados con la presencia de pasivos ambientales relacionados a relaveras, escombreras, minas abandonadas, etc. En este sentido la preocupación activa lo representa la contaminación de ríos y quebradas con efluentes remanentes de procesos de concentración mineral en donde los principales insumos incluyen sustancias químicas consideradas tóxicas como los reactivos de flotación (espumantes, colectores, reguladores de pH, etc.), otras sustancias consideradas tóxicas y peligrosas como combustibles o el cianuro de sodio CNNA utilizado en la lixiviación de Oro (Au).

Entre los efluentes generados por los procesos mineros, de principal importancia son considerados los provenientes de la concentración por flotación, este fluido es recuperado del filtrado final realizado a los concentrados minerales (material con alta concentración de metales de interés), dada la demanda de agua en el proceso metalúrgico en general, el aprovechamiento de estos efluentes para su recirculación es mucha de las veces, más que una alternativa una obligación. Estos efluentes sin embargo debido al contacto con minerales, insumos, reactivos, etc., contienen una carga contaminante que perjudica su potencial reutilización o inclusive representan o contienen carga contaminante que nuestra legislación ambiental prohíbe descargar directamente ya sea a un cuerpo receptor o a un sistema de alcantarillado.

Como caso de estudio se ha seleccionado el proyecto minero La Fortuna, perteneciente al distrito Ponce Enríquez, cantón del mismo nombre, de la provincia del Azuay, aquí se ubica la Planta de Beneficio METALESA, cuya actividad es la producción de



concentrado de Oro (Au) mediante el proceso metalúrgico de flotación, el mismo que requiere de agua y reactivos químicos, que conjuntamente con las características mineralógicas del material a procesar generan efluentes. Según los datos obtenidos del Censo de Población y Vivienda 2010, el cantón Camilo Ponce Enríquez, tiene un total de 21.998 habitantes, de los cuales 17905 habitantes pertenecen a la zona rural y 4903 habitantes a la zona urbana. Administrativamente el cantón Camilo Ponce Enríquez, se encuentra dividido por dos parroquias, una urbana denominada Camilo Ponce Enríquez y otra rural denominada El Carmen de Pijilí, en estas parroquias se localizan 54 comunidades de las cuales 17 pertenecen a El Carmen de Pijilí y los 37 restantes a la parroquia Ponce Enríquez. Dentro de las comunidades rurales como Bella Rica, San Gerardo, La Rica, San Antonio, la Unión, el asentamiento minero La Fortuna, entre otros, predomina la actividad minera, abarcando en esta última localidad una población estimada de 202 habitantes y una población fluctuante no determinada, que serían las afectadas, directa o indirectamente al existir una posible contaminación ambiental. (INEC - Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2012)

Para la realización de este trabajo investigativo, se ha procedido con revisión bibliográfica de libros, tesis, artículos científicos de los últimos 10 años, que permitieron determinar un enfoque adecuado y sobre todo identificar las mejores alternativas para la remoción de los elementos contaminantes de los efluentes metalúrgicos generados en el proceso de flotación; la combinación de técnicas tradicionales como son la coagulación, floculación, sedimentación y adsorción mediante carbón activado se presenta como una opción viable, eficiente y de costos accesibles.

En estudios de carácter minero-ambiental realizados por el Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, PRODEMINCA, se manifiesta que: “La explotación de oro en el sur del Ecuador ha causado varios impactos ambientales, siendo los más severos los de las áreas Portovelo, Zaruma y Ponce Enríquez. Los principales contaminantes son cianuro, metales pesados y mercurio, las fuentes más significativas de estos contaminantes son las colas descargadas directa o indirectamente en los ríos, por los sistemas de disposición inadecuados”. La descarga de estos contaminantes ha provocado la extinción de toda forma de vida superior en ciertos tramos de ríos. (PRODEMINCA - Ministerio de Energía y Minas del Ecuador, 2000)

Los metales pesados, sin embargo, son elementos presentes de forma natural en la corteza terrestre, hay que considerar que el ciclo geológico de las rocas conjuntamente con procesos atmosféricos dinamizan la denominada movilidad geoquímica de minerales, trazas de metales pesados podemos encontrarlos en suelos de uso agrícola, sedimentos fluviales, agua superficial y subterránea, etc., esto puede ser corroborado porque inclusive las fuentes de agua natural en donde no existe influencia de actividades mineras o antrópicas en general



presentan concentraciones importantes de metales pesados. Existe un grupo principal de metales cuyos compuestos son considerados como potencialmente tóxicos y peligrosos para la salud humana, entre ellos se pueden mencionar: mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn) y el Arsénico (As), este último en realidad se trata de un metaloide que es considerado uno de los elementos más tóxicos que se pueden encontrar. Para el ser humano las formas inorgánicas u orgánicas del Arsénico (As) representan riesgos para la salud, siendo la forma orgánica la menos dañina.

Los efluentes generados en el proceso metalúrgico de flotación son considerados desechos peligrosos, sin embargo, en muchos casos debido a una inadecuada gestión ambiental, minera, de ubicación geográfica, son depositados cerca de pendientes y ríos. La descarga al ambiente, sin ningún tratamiento previo de efluentes que contienen elementos contaminantes y otras sustancias generan que la mayor afectación ambiental se concentre en los cuerpos hídricos de las áreas cercanas a la explotación minera (Quishpe y otros, 2020).

El tema motivo de la investigación trata sobre las alternativas de reducción de Arsénico (As) provenientes de plantas de concentración, puesto que el mismo significa un problema operativo y ambiental sea para su recirculación en el proceso de concentración o para descarga del efluente. El control de este problema posibilitará mejorar la eficiencia del proceso metalúrgico y limitará las afecciones ambientales relacionadas a las condiciones de los efluentes de la industria. Aunque una caracterización inicial de la calidad del efluente muestra que aparte del Arsénico (As), también se tiene valores fuera de norma de tensoactivos, el mismo es cercano al máximo permisible, por lo que no amerita realizar un tratamiento específico del parámetro, (Ver anexo 2). El experimento aplicado en este trabajo ha seleccionado cuatro alternativas bibliográficamente documentadas para la remoción de Arsénico (As), ellas son: Floculación, Floculación – Filtración activa, Filtración activa y Filtración estática; las mismas se han escogido por representar procesos eficientes y de bajo costo. Los resultados alcanzados se han realizado sobre un tiempo de aplicación del tratamiento de 12 horas, en donde se ha alcanzado remociones de hasta el 50% de la concentración inicial de Arsénico (As); aplicando un ajuste lineal al comportamiento de datos se obtiene una ecuación que modeliza cinéticamente la concentración de Arsénico, de esta manera se puede establecer que se pueden alcanzar una concentración de Arsénico por debajo de 0.1 mg/l a las 26.6 horas de tratamiento con el proceso de Floculación – Filtración activa.



unl

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS
INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN
MINAS

Objetivo General

Determinar las alternativas más eficientes para el tratamiento de efluentes metalúrgicos generados en el proceso de flotación de la planta de beneficio METALESA, Parroquia Ponce Enríquez Cantón Ponce Enríquez, Provincia Azuay, Ecuador.

Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización físico-química de los efluentes de entrada y salida del proceso metalúrgico de flotación
- Determinar las técnicas alternativas más eficientes en razón de los criterios de selección propuestos
- Plantear la mejor alternativa para el tratamiento de efluentes metalúrgicos generados en el proceso de flotación y su recirculación del agua al proceso.

4. Marco teórico

4.1. EFLUENTES

La normativa ecuatoriana en el Acuerdo Ministerial 097, publicado en el Registro Oficial Edición Especial 387 del 4 de noviembre de 2015, define como efluente a la “*descarga o vertido líquido proveniente de un proceso productivo o de una actividad determinada*”, éstos fluidos de procesos industriales, son mayoritariamente los responsables de la alteración de la calidad del agua superficial y subterránea. (Código 387, Acuerdo Ministerial MAE 097, 2015)

En la industria minera los efluentes corresponden principalmente en actividades de explotación al drenaje de agua de mina, lixiviados de escombreras y relaveras; en plantas de beneficio se generan en los espesadores y filtros de deshidratación. En todos los procesos indicados la alteración de la calidad de efluente se ve relacionada a las características mineralógicas de los materiales y sustancias con las que el fluido tuvo contacto, esencialmente influye la solubilidad y las condiciones termodinámicas del sistema analizado.

4.2. CONTAMINACIÓN EN LA INDUSTRIA MINERA

Uno de los efluentes mineros más conocidos es el Drenaje Ácido de Roca (DAR) y aunque se forma por la oxidación natural de minerales sulfurosos cuando son expuestos al aire y al agua, cuando las actividades que son desarrolladas en un proyecto minero exponen el material sulfuroso al agua y al aire, el drenaje resultante es Drenaje Ácido Minero (DAM).

Los drenajes ácidos de mina además de un bajo potencial de Hidrógeno (pH) contienen una gran cantidad de sólidos en suspensión con un alto contenido en sulfato y metales (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb, Hg, Cd, Ni), del orden de varios cientos de miligramos por litro. Estos elementos en altas concentraciones son nocivos para la actividad biológica, contaminan los cursos de aguas y pueden llegar a causar daños a las estructuras construidas por el hombre. (Aduvire, DRENAJE ACIDO DE MINA GENERACIÓN Y TRATAMIENTO, 2006)

Especial interés como un contaminante derivado de procesos mineros es el Arsénico (As) metaloide presente en minerales de sulfuro principalmente y que en los efluentes de plantas de beneficio se presenta de forma universal y en menor medida en las escombreras y relaveras.

4.3. EL ARSÉNICO (As)

Elemento químico, cuyo símbolo es Arsénico (As) y su número atómico, 33, el Arsénico (As) se encuentra distribuido ampliamente en la naturaleza (cerca de $5 \times 10^{-4}\%$ de la corteza terrestre); su masa molar es 74.922 g/mol. Existen tres alótopos o modificaciones



polimórficas del Arsénico (As). La forma a cúbica de color amarillo se obtiene por condensación del vapor a muy bajas temperaturas. La b polimórfica negra, que es isoestructural con el fósforo negro. Ambas revierten a la forma más estable, la I, gris o metálica, del Arsénico (As) romboédrico, al calentarlas o por exposición a la luz. La forma metálica es un conductor térmico y eléctrico moderado, quebradizo, fácil de romper y de baja ductilidad. Al Arsénico (As) se le encuentra natural como mineral de cobalto, aunque por lo general está en la superficie de las rocas combinado con azufre o metales como manganeso (Mn), hierro (Fe), cobalto (Co), níquel (Ni), plata (Ag) o estaño (Sn). El principal mineral del Arsénico (As) es el FeAsS (arsenopirita); otros arseniuros metálicos son los minerales FeAs_2 (löllingita), NiAs (nicolita), CoAsS (cobalto brillante), NiAsS (gersdorfita) y CoAs_2 (esmalta). Los arseniatos y tioarseniato naturales son comunes y la mayor parte de los minerales de sulfuro contienen Arsénico (As). La As_4S_4 (realgarita) y As_4S_6 (oropimente) son los minerales más importantes que contienen azufre. El óxido, arsenolita, As_4O_6 , se encuentra como producto de la alteración debida a los agentes atmosféricos de otros minerales de Arsénico (As), y también se recupera de los polvos colectados de los conductos durante la extracción de Ni, Cu y Sn; igualmente se obtiene al calcinar los arseniuros de Fe, Co o Ni con aire u oxígeno. El elemento puede obtenerse por calcinación de FeAsS o FeAs_2 en ausencia de aire o por reducción de As_4O_6 con carbonato, cuando se sublima As_4 . El Arsénico (As) elemental tiene pocos usos. Es uno de los pocos minerales disponibles con un 99.9999+ % de pureza. En el estado sólido se ha empleado ampliamente en los materiales láser GaAs y como agente acelerador en la manufactura de varios aparatos. El óxido de Arsénico (As) se utiliza en la elaboración de vidrio. Los sulfuros de Arsénico (As) se usan como pigmentos y en juegos pirotécnicos. El arseniato de hidrógeno se emplea en medicina, así como otros compuestos de Arsénico (As). La mayor parte de la aplicación medicinal de los compuestos de Arsénico (As) se basa en su naturaleza tóxica.

El Arsénico (As) como contaminante del agua, puede ser encontrado en ciertos suelos de forma natural. Cuando el Arsénico (As) entra en contacto con el agua subterránea este puede terminar en el agua de nuestro grifo. El Arsénico (As) es un metaloide, lo cual básicamente significa que tiene propiedades de metal y no metal. Como compuesto, el Arsénico (As) puede ser tóxico, es por eso que es aplicado comúnmente en el veneno de rata. El Arsénico (As) puede terminar en el ambiente a través de la producción industrial de Cobre, Plomo y Zinc. Y a través de la aplicación de insecticidas en granjas. Adicionalmente, éste es un ingrediente de preservación de las maderas. La toma de grandes cantidades por largo tiempo en el agua potable que contiene Arsénico (As) puede causar problemas en la piel y ciertos cánceres, como el de piel y pulmón. La purificación del agua es importante cuando el Arsénico (As) está presente.

Su presencia en los yacimientos polimetálicos está relacionada a los sulfuros, en Ecuador los principales depósitos ubicados en el sur corresponden a yacimientos de baja o alta sulfatación como en el distrito de Ponce Enríquez y los proyectos Mirador, Fruta del Norte o Loma Larga.

La preocupación por los impactos del Arsénico (As), entre otros metales pesados, ha derivado en crecientes y cada vez más estrictas restricciones al manejo, transporte y procesamiento de concentrados de cobre y residuos. Los países con capacidad de procesamiento de concentrados han implementado restricciones a la importación de materiales con niveles superiores a 0,5% de Arsénico (As). En el caso del Arsénico (As), sustancia considerada residuo peligroso, se aplica el Convenio de Basilea. (ECOMETALES LIMITED - CODELCO, s.f.)

Los efectos del Arsénico (As) sobre la salud se relacionan a su naturaleza tóxica, la exposición al hombre pueda darse principalmente a través de los alimentos, el agua o el aire y en casos particulares por contacto con la piel. Aunque la forma orgánica de los compuestos de Arsénico (As) es menos dañina, potencialmente puede encontrarse elevadas concentraciones de Arsénico (As) en peces o mariscos que representan un peligro para el hombre.

La exposición al Arsénico (As) inorgánico genera problemas gastrointestinales e inmunológicos o pulmonares y en dosis mayores intensifica las posibilidades de desarrollar cáncer a la piel, pulmón, hígado o al sistema linfático. También se ha reportado casos de infertilidad, abortos o mutaciones en el ADN.

El Arsénico (As) puede ser encontrado de forma natural en la tierra en pequeñas concentraciones. Esto ocurre en el suelo y minerales y puede entrar en el aire, agua y tierra a través de las tormentas de polvo y las aguas de escorrentía.

El Arsénico (As) es un componente que es extremadamente duro de convertir en productos soluble en agua o volátil. En realidad, el Arsénico (As) es naturalmente específicamente un compuesto móvil, básicamente significa que grandes concentraciones no aparecen probablemente en un sitio específico. Esto es una buena cosa, pero el punto negativo es que la contaminación por Arsénico (As) llega a ser un tema amplio debido al fácil esparcimiento de este. El Arsénico (As) no se puede movilizar fácilmente cuando este es inmóvil. Debido a las actividades humanas, mayormente a través de la minería y las fundiciones, naturalmente el Arsénico (As) inmóvil se ha movilizó también y puede ahora ser encontrado en muchos lugares donde ellos no existían de forma natural. El ciclo del Arsénico (As) ha sido ampliado como consecuencia de la interferencia humana y debido a esto, grandes cantidades de Arsénico (As) terminan en el Ambiente y en organismos vivos. El



Arsénico (As) es mayoritariamente emitido por las industrias productoras de cobre, pero también durante la producción de plomo y zinc y en la agricultura.

Este no puede ser destruido una vez que este ha entrado en el Ambiente, así que las cantidades que hemos añadido pueden esparcirse y causar efectos sobre la salud de los humanos y los animales en muchas localizaciones sobre la tierra. Las plantas absorben Arsénico (As) bastante fácil, así que alto rango de concentraciones pueden estar presentes en la comida. Las concentraciones del peligroso Arsénico (As) inorgánico que está actualmente presente en las aguas superficiales aumentan las posibilidades de alterar el material genético de los peces. Esto es mayormente causado por la acumulación de Arsénico (As) en los organismos de las aguas dulces consumidores de plantas. Las aves comen peces que contienen eminentes cantidades de Arsénico (As) y morirán como resultado del envenenamiento por Arsénico (As) como consecuencia de la descomposición de los peces en sus cuerpos (LENNTECH, s.f.).

El Arsénico (As) se presenta básicamente en tres valencias (-3,+3,-5), el Arsénico (As) trivalente Arsénico (As) (III) y el pentavalente Arsénico (As); As (V) son las formas más comunes que se encuentran en el agua, siendo solubles en un rango amplio de potencial de hidrógeno (pH) (Duker y otros, 2005). El Arsénico (As) presente en aguas naturales se encuentra generalmente en formas oxidadas muy tóxicas, dicha toxicidad depende de la especie química, como el As (III) y As (V) siendo el primero 60 veces más tóxico que el segundo (Bundschuh y otros, 2009). El arsenato se encuentra frecuentemente en aguas superficiales, en condiciones aeróbicas, mientras que el arsenito ocurre con más frecuencia en aguas sub- superficiales o de pozo, o sea, en condiciones anaeróbicas (Lillo, 2015)

La siguiente ilustración muestra el diagrama de equilibrio termodinámico que condiciona la formación de las diferentes especies de Arsénico (As) en función del pH y Eh (potencial de óxido reducción del medio) (César J. Espinoza, 1016).

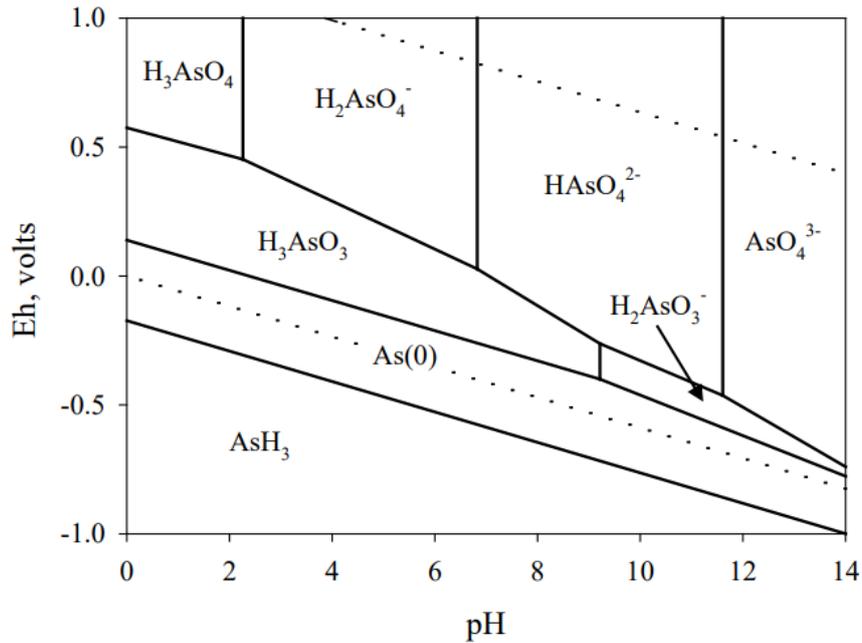


Figura 1. Diagrama de Pourbaix de equilibrio termodinámico del arsénico.
 Nota. Adaptado de *Drenaje Ácido de Mina* (pág.113), (D Moha, 2007).

En general en ausencia de oxígeno el potencial de óxido reducción (Eh) disminuye por lo que en aguas subterráneas de potencial hidrógeno (pH) cercano a 7 se puede esperar encontrar H_3AsO_3 , mientras que en aguas superficiales es más común encontrar $HAsO_4^{2-}$

4.3.1. Límites máximos permisibles de acuerdo a la legislación ecuatoriana

La legislación ecuatoriana en el Acuerdo Ministerial 097A establece los límites máximos permisibles de descarga de efluentes a diferentes cuerpos receptores, específicamente para descargas a cuerpos de agua dulce se establece para el Arsénico (As) una concentración de 0.1 mg/l. la Tabla 1 muestra los límites máximos permisibles de descarga a cuerpo receptor de agua dulce.

Tabla 1.- Límites máximos permisibles para descargas a cuerpos de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	30
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5
Arsénico total	As	mg/l	0.1
Bario	Ba	mg/l	2
Boro Total	B	mg/l	2
Cadmio	Cd	mg/l	0.02
Cianuro total	CN	mg/l	0.1
Cinc	Zn	mg/l	5
Cloro Activo	Cl	mg/l	0.5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0.1



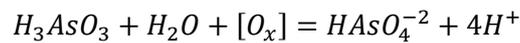
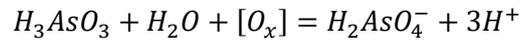
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Cloruros	Cl	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1
Cobalto	Co	mg/l	0.5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real 1	COLOR REAL	Unidades de color	Inapreciable en dilución 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0.2
Cromo hexavalente	Cr +6	mg/l	0.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5
Fluoruros	F	mg/l	5
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	2
Material flotante	Visibles	mg/l	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0.005
Níquel	Ni	mg/l	2
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0.05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0.1
Plata	Ag	mg/l	0.1
Plomo	Pb	mg/l	0.2
Potencial de hidrógeno	pH	mg/l	de 6 a 9
Selenio	Se	mg/l	0.1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO4	mg/l	1000
Sulfuros	S2	mg/l	0.5
Temperatura	°C	mg/l	Condición natural +- 3
Tensoactivos	Sustancias solubles al azul de metileno	mg/l	0.5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1

Nota. Adaptado (pág. 24), (Código 387, Acuerdo Ministerial MAE 097, 2015)

4.3.2. Remoción de Arsénico (As) del agua

En las plantas de tratamiento de agua, el As+5 puede ser removido en forma efectiva por coagulación con sulfato de aluminio o hierro y por los procesos de ablandamiento con cal. Los coagulantes señalados se hidrolizan formando hidróxidos, sobre los cuales el As+5 se absorbe y coprecipita con otros iones metálicos, mejorando las eficiencias de remoción. La remoción de Arsénico (As) con procesos convencionales de coagulación con sales de hierro

o aluminio y ablandamiento con cal son dependientes del pH del agua tratada, del tipo y dosis de coagulantes, así como de la concentración inicial de este elemento. La eficiencia de remoción de As^{+5} comparada con la de As^{+3} justifica la oxidación del agua subterránea antes del tratamiento. La oxidación del As^{+3} a As^{+5} se produce de acuerdo a las siguientes reacciones (1 y 2).



La absorción es el proceso físico en el que el contaminante se adhiere al medio adsorbente. Los principales medios adsorbentes son compuestos de tipo férricos y carbón activado. A su vez se ha explorado la utilización de adsorbentes no convencionales como zeolita, arcilla, carbón, ceniza, cáscara de arroz y cabello humano, entre otros (Chin-Hsiao Tseng, 2007).

El intercambio iónico se realiza mediante una resina que se dispone en el medio solvente, generando el intercambio de iones entre los compuestos de Arsénico (As) y los elementos presentes en la resina. Este proceso necesita realizarse con arseniato (V), dado que el arsenito en el agua solo se presenta en compuestos neutros. Se han obtenido eficiencias de remoción superiores al 99% para resinas regeneradas con ácido clorhídrico y cloruro de sodio (Frimmelm, 2003).

El potencial de hidrogeno (pH), en la solución es un factor determinante en el proceso de interacción fluido partícula. La química de la coagulación-floculación está basada en las cargas eléctricas de las partículas, es por ello que el potencial de hidrogeno (pH) y la dosis del coagulante influirán en este proceso (Signes-Pastor, 2019). Para cada dosis y potencial de hidrógeno (pH), es posible inferir un arreglo de partículas diferente, lo que controla o determina la posibilidad de adsorción y generación de flóculos.

4.4. TÉCNICAS PARA EL TRATAMIENTOS DE EFLUENTES

La clasificación de las técnicas de tratamiento de metales pesados en las aguas residuales depende de diferentes factores. En este documento se han clasificado como convencionales, refiriéndose a las técnicas que habitualmente se emplean para la remoción de estos contaminantes; y las no convencionales, aquellas que corresponden a procesos innovadores para la eliminación de metales en aguas residuales generalmente de origen industrial.

4.4.1. Técnicas convencionales

4.4.1.1. Filtración por membrana

Esta tecnología ha tenido un auge en los últimos años gracias a su alta eficiencia, a su facilidad de operación, no requiere de espacios grandes; no es una técnica selectiva y es amigable con el medio ambiente; el inconveniente que se identifica es la generación de grandes cantidades de lodos que contienen los metales. Esta técnica es empleada en procesos para el tratamiento de agua potable, aguas residuales industriales y domésticas. Las membranas utilizadas se pueden clasificar de acuerdo con sus características como el material de la membrana (sintéticos o polímeros naturales modificados, acoplados y estructurados), su peso molecular de corte, la permeabilidad y solubilidad del soluto, solvente, superficie y espesor activo de la película. Esta tecnología se emplea comúnmente para tratar y recuperar sales metálicas de residuos generados en procesos galvanoplásticos, en el reciclaje de aceites, en la producción de alimentos y bebidas; y, en la explotación y producción de hidrocarburos, quitosano y la quitina son sustancias ambientalmente amigables, por lo tanto, son de interés en el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados. Los principales usos de estos biomateriales y algunos derivados actualmente son la coagulación primaria para aguas residuales de alta turbidez y alcalinidad; captura de metales pesados y pesticidas en soluciones acuosas, y en algunos copolímeros de injerto del quitosano se evidencia una alta efectividad para la remoción de metales pesados.

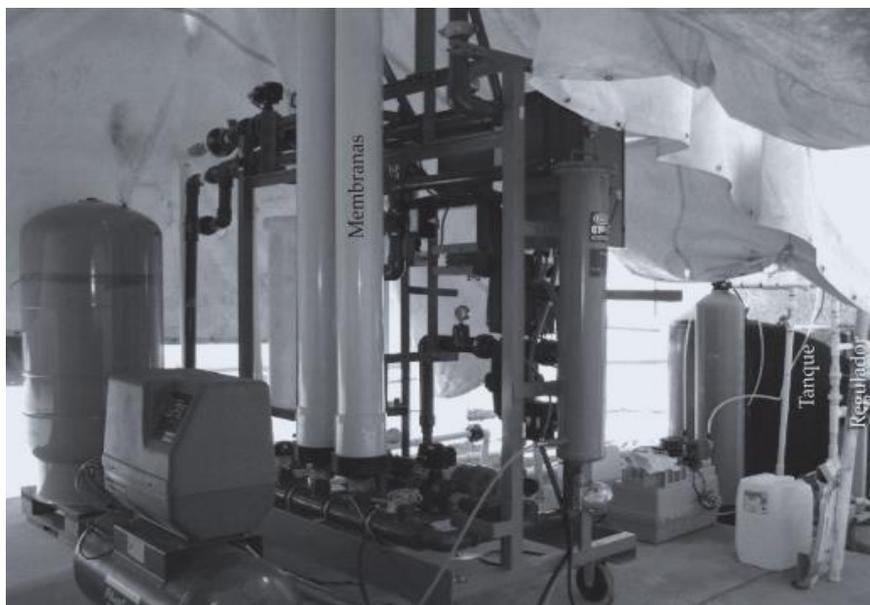


Figura 2. Instalación del piloto de microfiltración asistida por coagulación.

Nota. <https://www.redalyc.org/pdf/3535/353531980003.pdf>

4.4.1.2. Electrodiálisis.

Es una técnica capaz de remover componentes iónicos de soluciones acuosas a través de membranas permeables selectivas en un campo eléctrico constante. Este proceso ha presentado eficiencias para el cloruro de níquel en un 69% y para el óxido de cobalto en un 90% (Sarria-Villa, 2021). Su ventaja es la habilidad de producir corrientes altamente concentradas para la recuperación y rechazo de metales pesados presentes en el agua; no obstante, requiere del uso de membranas con su consiguiente limpieza y cuidado durante la operación y mantenimiento continuo para prevenir daños. “Esta técnica tiene la capacidad de remover iones contaminantes cargados de hasta 0,0001 μm , mediante hojas o láminas porosas de resinas de intercambio iónico con una baja permeabilidad relativa para el agua” (Rubio y otros, 2015).

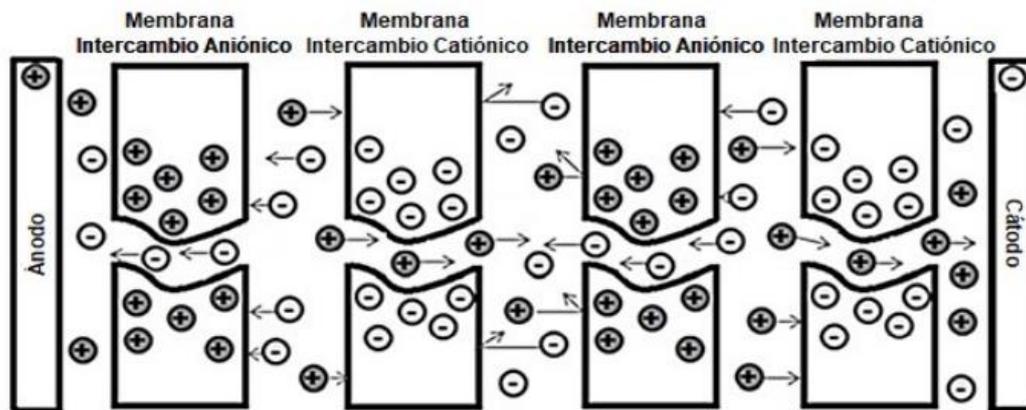


Figura 3.- Esquema de un sistema de electrodiálisis,

Nota. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y S. E. Pabón, R. Benítez, R. A. Sarria-Villa y J. A. Gallo

4.4.1.3. Ósmosis Inversa.

Es un proceso de permeación a través de membrana para la separación por difusión controlada o cribado. Tiene la capacidad de seleccionar elementos de tan solo 0.0001 mm, lo que le otorga un amplio abanico de capacidades de tratamiento (Rubio y otros, 2015).

Las principales ventajas de este método son: facilidad de automatización; no hay cambio en la composición química de las aguas residuales y presenta altos niveles de remoción. Las desventajas que se podrían presentar son: alto costo por reemplazar la membrana; requiere de presiones muy altas para su funcionamiento; mediana selectividad y tolerancia a cambio de pH; bajo tiempo de vida con soluciones corrosivas; es necesario separar las partículas insolubles o en suspensión para evitar la saturación de las membranas y requiere mantenimiento frecuente para esta.

4.4.1.4. Nanofiltración.

Es una técnica de tratamiento de agua relativamente reciente que ha incrementado rápidamente su utilización en la industria petroquímica, alimentaria, farmacéutica, química, biotecnológica y en la desalinización. Sus dos propiedades principales son el tamaño (aproximadamente 300-500 g/mol) de corte de las membranas y la carga eléctrica neta en la superficie de los poros que poseen las membranas de nanofiltración, las cuales dependen del pH y de las sustancias absorbidas. Las ventajas para esta técnica son el ablandamiento de agua potable; trabaja a menor presión que la ósmosis inversa; eliminación de materia orgánica y trihalometano; eliminación de pesticidas, metales pesados, contaminantes emergentes, micro contaminantes y microorganismos; permite el paso de sales monovalentes, pero rechazan las divalentes. Estas ventajas que se presentan durante su proceso resaltan la nanofiltración como una tecnología prometedora e innovadora que puede ser aplicada en diferentes industrias (Rubio y otros, 2015).

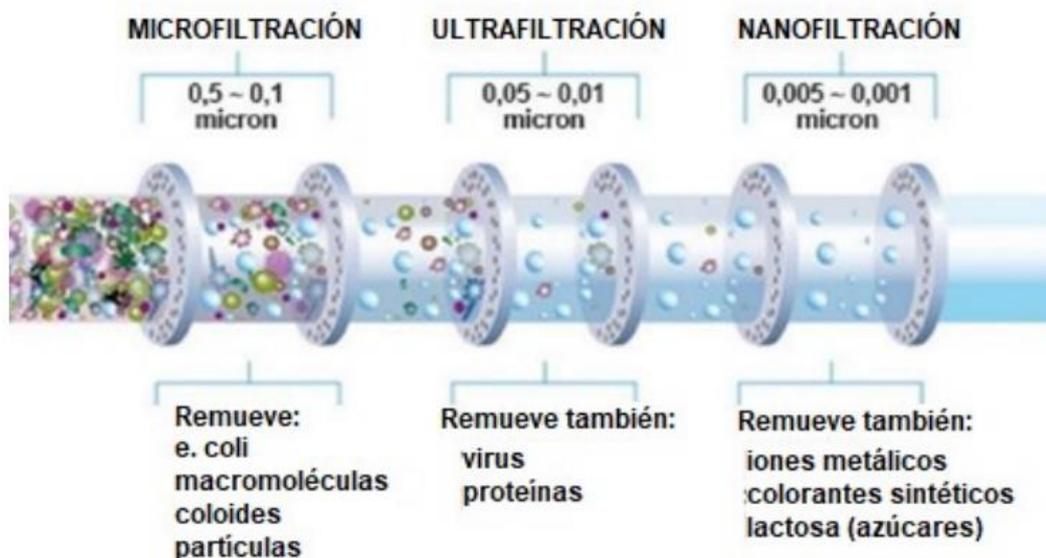


Figura 4.- Esquema de distintas técnicas de filtración por membrana.

Nota. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y S. E. Pabón, R. Benítez, R. A. Sarria-Villa y J. A. Gallo.

4.4.1.5. Ultrafiltración.

En la ultrafiltración se da un proceso de fraccionamiento selectivo con presiones bajas que pueden llegar hasta 145 psi (10 bar). Este procedimiento se emplea con una alta frecuencia tanto en el fraccionamiento de leche y suero, y como en el proteico. Concentra sólidos en suspensión y solutos de peso molecular mayor a 1000 uma. El permeado contiene solutos orgánicos de bajo peso molecular y sales. Su aplicación se evidencia principalmente en la industria textil, de hidrocarburos, en la industria alimentaria y de bebidas donde este proceso ayuda a la eliminación de sustancias orgánicas nocivas, en la eliminación

de trihalometanos del agua y el tratamiento de aguas residuales (Rubio y otros, 2015). Para sólidos tienen un 95% de remoción; en grasas y aceites de 80%; al igual que en los hidrocarburos y en turbiedad de un 98%. Los beneficios que se obtienen con esta técnica es el bajo consumo de energía si se compara con la ósmosis inversa, requiere de poco espacio para su instalación y las remociones son superiores al 80% en aguas residuales y es capaz de retener partículas muy pequeñas; sin embargo, tiene un alto costo para su instalación, operación y mantenimiento, la vida útil de las membranas es corta y hay un alto grado de ensuciamiento en estas.

4.4.1.6. Intercambio Iónico.

Es un procedimiento mediante el cual los iones que se encuentran en solución son transferidos a una matriz sólida, la cual a su vez se encarga de liberar iones que, a pesar de ser de un tipo diferente, poseen la misma carga. El intercambio iónico es un proceso de separación física lo que representa que los iones intercambiados no se modifiquen químicamente. Las principales ventajas que ofrece el intercambio iónico son la recuperación del valor del metal, la alta selectividad, menos volumen de lodos producidos y la reunión de las especificaciones de descarga estrictas (Rubio y otros, 2015), más sin embargo en este proceso encontramos la presencia de calcio, sodio y magnesio lo cual disminuye su rendimiento debido a que pueden saturar la resina; los materiales orgánicos pueden envenenar la resina y las resinas no son muy tolerantes al cambio de pH; la solución contaminada debe ser previamente tratada para eliminar los materiales en suspensión; es posible que se presente la competencia entre metales pesados y otros cationes, lo cual representa desventajas considerable.

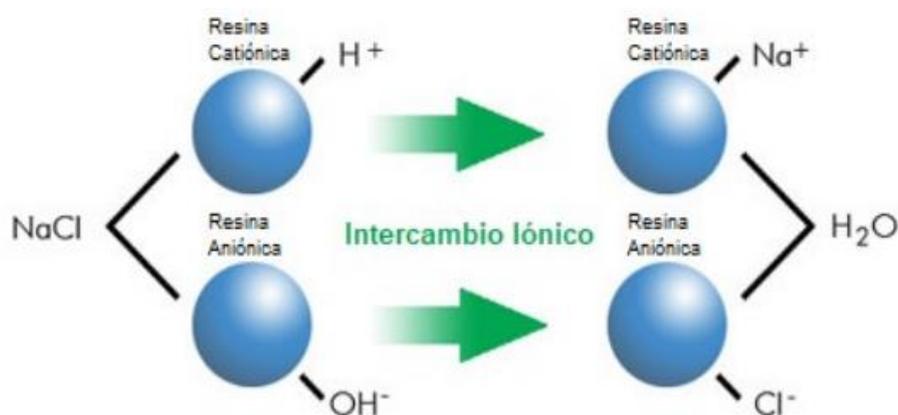


Figura 5.- Esquema general del proceso de intercambio iónico.

Nota. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y S. E. Pabón, R. Benítez, R. A. Sarria-Villa y J. A. Gallo.

4.4.1.7. Adsorción (Convencional).

La adsorción es una técnica antigua que no ha perdido relevancia ya que, es comúnmente utilizada en el tratamiento de agua potable para remover sustancias orgánicas, tratamiento terciario de aguas residuales, remediación del agua subterránea y tratar el agua que se utiliza en acuarios y piscinas de natación.

La técnica presenta remoción de una amplia variedad de contaminantes, alta capacidad, cinética rápida y posiblemente selectiva dependiendo de adsorbente de lo cual también depende su rendimiento, básicamente por la estructura física del mismo (Edelweiss Airam Rangel Montoya, 2015). Por otro lado encontramos que algunos de los adsorbentes son los carbones activados, arcillas, biopolímeros, zeolitas, perlas de sílice y plantas o desechos lignocelulósicos son algunos de los adsorbentes, generalmente con procesos variados de modificación química (Wang y otros, 2009), comúnmente empleados para remover colorantes iónicos, metales pesados, materiales radioactivos entre otros contaminantes orgánicos e inorgánicos generados por diferentes tipos de industrias. Las ventajas principales en la adsorción son su alta efectividad a muy bajas concentraciones de metal; facilidad de operación; permite la fijación de metales en presencia de otros cationes y el adsorbente puede ser regenerado. Las desventajas para esta técnica es el alto costo del adsorbente y su regeneración; la capacidad de adsorción altamente dependiente del pH; y la necesidad de eliminar los materiales en suspensión antes de que el efluente sea tratado.

4.4.1.8. Carbón Activado.

Se trata del material más utilizado como adsorbente, también es el más estudiado, se obtiene principalmente a partir de maderas y otros materiales orgánicos, destacándose el de acícula de coco. Aunque ha demostrado mucha eficiencia en procesos de adsorción, a escala industrial su uso está limitado debido a los costos asociados de producción.

La capacidad de adsorción de este material está relacionada con el potencial de hidrógeno (pH) y la temperatura, como se puede ver en el diagrama de Pourbaix para el Arsénico (As), el potencial de hidrógeno (pH) condiciona el estado de oxidación del compuesto de Arsénico (As) respectivo, es así que resulta más eficiente de una u otra especie de Arsénico (As).

El carbón activado adsorbería una cantidad de Arsénico (As), As (III) similar para soluciones con pH entre 0.16 y 3.5, para As (V) en cambio la máxima adsorción estaría entre pH 0.86 a 6.33. En total el carbón activo adsorbe el 2.5% de su propio peso de As(V) y el 1.2% de As (III) y una capacidad de adsorción de 25 mg/g (Ortuño, 2019). Se ha probado también

elevar la capacidad de adsorción del carbón activado mediante la impregnación con metales como el cobre, plata o titanio.

Los carbones activados, dependiendo de su origen tienen diferentes capacidades de adsorción, así como se especializan en retención de diferentes metales y bajo diferentes condiciones termodinámicas, condicionada siempre por el pH, carbones sintéticos por ejemplo muestra mejores resultados de adsorción de selenio a bajos valores de pH y utilizando filtros con una relación de 10 g/l de carbón – efluente. Carbones de lignina en cambio tienen buena adsorción de Arsénico (As) en pH entre 4.4 a 11 (Carriazo y otros, 2010), la siguiente tabla muestra algunos resultados experimentales sobre distintos tipos de carbón en la adsorción de As, Sb, Se.

Tabla 2.- Resumen de resultados alcanzados sobre la eficiencia de absorción de diferentes carbones

Material	Contam.	Q max (mg/g)	Referencias
Podwer carbón (PAC)	As	30.48	Pattanayak et al., 2000
Char carbón (CC)	As	34.46	Pattanayak et al., 2000
Podwer carbón (PAC)	Sb	92	Navarro et al., 2002
Carbon in pulp (CIP)	As	2.4	Lorenzen et al., 1995
Resin in pulp (RIP)	As	4.8	Lorenzen et al., 1995
Oat hulls carbón	As	3.8	Chuang et al., 2005
Coconut husk carbon	As	22.15	Manju et al., 1998
Graphite carbón (AC)	As	30.48	Pattanayak et al., 2000
Char carbón (CC)	As	34.46	Pattanayak et al., 2000
Char carbón (CC)	Se	0.22	Jegadeesan et al., 2015
Modified char carbón (MCC)	Se	0.41	Jegadeesan et al., 2015
Modified activated carbón (MAC)	Se	0.68	Jegadeesan et al., 2015
Virgin activate carbón (AC)	Se	0.23	Jegadeesan et al., 2015

Nota. Referido de (Carriazo y otros, 2010)

El primer uso que se conoce del carbón activado para el tratamiento de aguas residuales fue en el año de 1930 en Milford, New Jersey por la empresa Hackensack Water Co donde principalmente se utilizó para mejorar el sabor de agua y el control de olores. En la obra “Fundamentos de los procesos de tratamiento de agua: físicos, químicos y biológicos” se estima que aproximadamente 1200 plantas de tratamiento de agua utilizaban carbón activado en polvo para este en el año 1943. Este elemento a lo largo del tiempo viene demostrando su eficiencia para absorber de manera exitosa una gran variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el medio ambiente acuático, esto gracias a sus áreas superficiales porosas que van desde 500 hasta 1.500 m²/g, así como a la presencia de un amplio espectro de superficie funcional que la hace accesible a diferentes reactivos (Karnib y otros, 2014).

Es un elemento reconocido en el tratamiento por adsorción ya que, puede purificar, desodorizar y decolorar el agua; con los filtros de carbón activado es posible remover algunos metales pesados, taninos y compuestos orgánicos volátiles.



Figura 6. Carbón activado, tamaño 1-3 mm,

4.4.1.9. Nanotubos de carbono

Los nanotubos de carbono (NTC) son adsorbentes relativamente nuevos y han ido ganando interés por su tamaño extremadamente pequeño y su capacidad excepcional para la eliminación de diversos contaminantes como los clorobencenos, herbicidas, plomo y iones cadmio. Los NTC son materiales que requieren un método de preparación apropiado para la obtención de las estructuras; el método de preparación más utilizado debido a su mayor rendimiento es la deposición de vapor químico. Los NTC muestran actividades antimicrobianas superiores a los desinfectantes que se utilizan comúnmente dado que, permiten eliminar aquellos microorganismos no deseados presentes en las aguas residuales (Andrade y otros, 2012)

4.4.1.10. Precipitación química – Floculación

Es la técnica más utilizada en los procesos industriales por su simplicidad de operación, el alto nivel de eliminación de metales pesados y su bajo costo de operación; los inconvenientes que se identifican es la generación de lodos con alto costo de mantenimiento y la utilización de agentes coagulantes y floculantes para separar los metales del efluente. Alguno de los mejores rendimientos de tratamientos por precipitación, es el uso de hidróxido, adicionalmente es una técnica de bajo costo, fácil control del pH y eliminación por floculación y sedimentación (Jacco L Huisman, 2006). Igualmente se emplea la precipitación por sulfuros, aunque con

solubilidades bajas y precipitados no anfóteros, por lo que puede lograr altos rendimientos; también se han empleado sustancias quelantes, aunque presentan desventajas considerables como la carencia de uniones necesarias y demasiados riesgos ambientales.

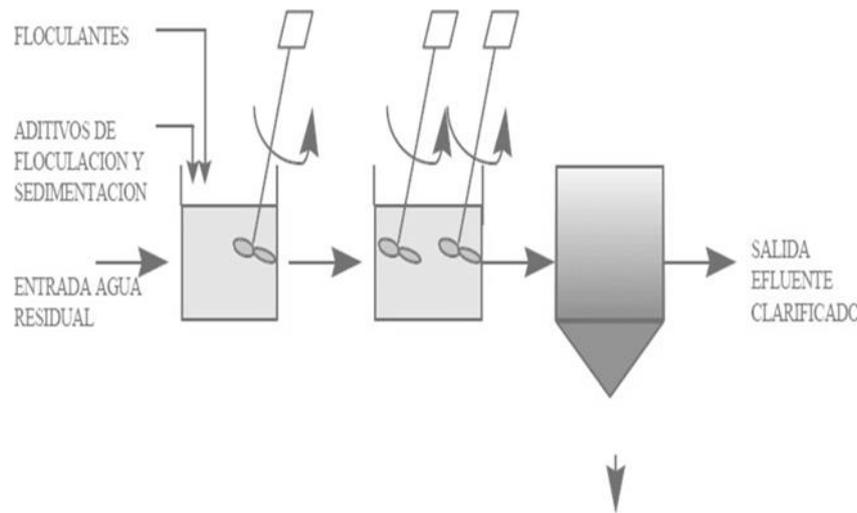


Figura 7. Procedimiento para floculación
Nota. Chen et al., 2009

4.4.1.11. Electrocoagulación

La electrocoagulación surge en 1906 con la primera patente que tiene lugar en los Estados Unidos y aunque se aplica ampliamente en la actualidad para el tratamiento de aguas en un principio presentaron problemas de tipo financiero para que la industria adoptara esta técnica; en 1888 se reportó el primer ensayo realizado en Londres por Webster posteriormente, se utiliza esta técnica en Brewster, NY para esterilizar aguas negras. Es una técnica en la cual se combinan los principios de la coagulación y floculación en un reactor electrolítico., el cual se encuentra equipado con una fuente de corriente y varios electrodos encargados de aportar los iones desestabilizadores de partículas coloidales que reemplazan las funciones de los compuestos químicos que se emplean en los tratamientos convencionales, mediante un proceso en el cual se induce corriente eléctrica en el agua a través con la ayuda de placas metálicas paralelas de hierro o aluminio. Se ha demostrado la alta eficiencia en la remoción de metales pesados, minimizando la generación de residuos secundarios lo cual genera un impacto positivo para el medio ambiente; durante su proceso se pueden utilizar equipos pequeños lo cual permite tener costos razonables para su funcionamiento, también el proceso puede ser automatizado (Mohammad Al-Shannaga, 2015).

4.4.1.12. Coagulación-Floculación

Este proceso tiene como finalidad desestabilizar el coloide y aglomerar posteriormente, en la etapa inicial (coagulación) para posteriormente pasar al proceso floculación en el cual

se da la aglomeración de dichos coloides, esto se da gracias a la atracción que se presenta entre las partículas. Por otro lado, para llevar a cabo el proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales se suelen utilizar los siguientes productos químicos: cal, sulfato férrico, cloruro férrico, sulfato ferroso y alumbre; los criterios de selección para el mejor coagulante son: la mejor curva de sedimentación del precipitado generado y el nivel de remoción de metales. Los factores relevantes para tener en cuenta en la técnica es la dosis química apropiada, el efecto energético y el tiempo de la mezcla (Bakar & Halim, 2013). Este método es comúnmente utilizado en Estados Unidos de América ya que, no se requiere de un equipo sofisticado a nivel tecnológico, los reactivos requeridos no tienen un costo elevado y son de fácil acceso.

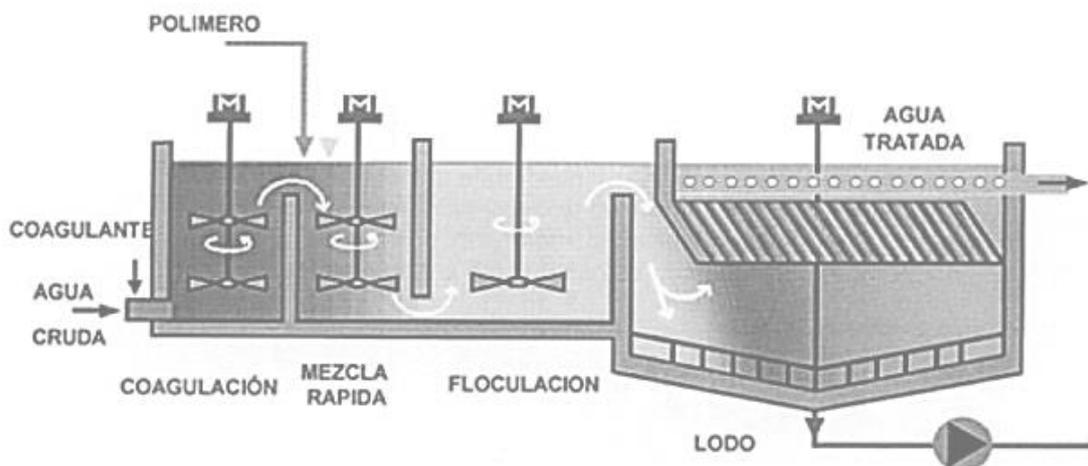


Figura 8. Proceso convencional de Coagulación – Floculación.

Nota. Ignacio R. Martín-Domínguez

4.4.1.13. Electrofloculación

Es un proceso químico en el cual se hace uso de los procesos tanto de coagulación convencional y de tratamientos electroquímicos en los cuales se realiza la adición electrolítica de iones metálicos. Su eficiencia en la remoción de los contaminantes se debe a que son arrastrados por las burbujas de gas (H_2 y O_2) que se producen en el sistema por lo que salen a flote en la superficie, esto gracias a agentes desestabilizantes que neutralizan las cargas procediendo así que se eliminen los contaminantes de la disolución a través de electrodos

4.4.1.14. Flotación.

El proceso de flotación ion se basa en impartir las especies iónicas de metal en las aguas residuales hidrófobas mediante el uso de agentes activos de superficie (tensoactivos) y la posterior eliminación de estas especies hidrófobas por burbujas de aire” (Polat & Erdogan, 2007).

4.4.1.15. Fotocatálisis en la degradación de metales pesado.

En este proceso se fundamenta en el intercambio de cargas a través de la interfaz que es suministrada por un elemento semiconductor y una solución acuosa la cual se encuentra contaminada, en la cual aumenta la conductividad a medida que la temperatura, lo cual genera un par de electrón-hueco, ocurriendo la adsorción de los fotones y la distribución de diferentes estados electrónicos en la superficie, degradando moléculas orgánicas colorantes y metales pesados (Páez & Tobarda, 2006). Los componentes necesarios para el proceso de fotocatálisis son un fotocatalizador, oxidante, suministrador de electrones y radiación. Actualmente, una de las técnicas utilizadas para el tratamiento de aguas residuales es la fotocatálisis solar; es novedosa y prometedora por el potencial de su aplicación debido a la correlación que existe entre la energía solar y la conservación del medio ambiente; a diferencia de otras técnicas esta no es selectiva y se emplea para mezclas complejas de contaminantes.

4.4.2. Técnicas no convencionales

4.4.2.1. Adsorbentes de Bajo Costo y Nuevos Adsorbentes.

Las técnicas no convencionales tienen como fin desarrollar materiales que sean amigables con el medio ambiente y que tengan una adecuada capacidad de adsorción a partir de fuentes naturales que permitan eliminar y reducir los contaminantes en aguas residuales. Las ventajas de utilizar este tipo de técnicas son la utilización de materiales biodegradables de bajo costo, la degradabilidad, la regeneración y la minimización de productos químicos durante el proceso; sin embargo, no se ha implementado a nivel industrial. La adsorción es un proceso de transferencia de masa por el cual una sustancia se transfiere desde la fase líquida a la superficie de un sólido. El proceso de adsorción describe en realidad un grupo de procesos, que incluyen la adsorción y las reacciones de precipitación. Recientemente, la adsorción se ha convertido en una de las técnicas alternativas de tratamiento para las aguas residuales cargadas con metales pesados (Wan Ngah & Hanafian, 2011). Se emplea un amplio espectro de materiales biológicos, especialmente las bacterias, algas, levaduras y hongos han recibido una atención creciente para la eliminación y recuperación de metales pesados, debido a su buen rendimiento, bajo costo y grandes cantidades disponibles (Wang y otros, 2009).

4.4.2.2. Adsorción de metales pesados por materiales naturales agrícolas e industriales.

Los procesos de adsorción están siendo ampliamente utilizados por varios investigadores para la eliminación de metales pesados. Los flujos de residuos y carbón activado se han usado con frecuencia como un adsorbente. A pesar de su amplio uso en las industrias

de tratamiento de agua y aguas residuales, el carbón activado se mantiene como un material costoso. Por lo tanto, surge la necesidad de crear métodos más económicos y seguros para la eliminación de metales pesados en aguas residuales. Los métodos encontrados son los adsorbentes verdes o bioadsorbentes que surgen el aprovechamiento de desechos en la industria agrícola y alimentaria; estos desechos son frutas, vegetales y plantas, y en países como Colombia que son atractivos para la industria alimentaria y agroindustriales por su amplia biodiversidad en frutas, vegetales y plantas, se generan millones de residuos mensualmente. Lo que se busca con este tipo de métodos no convencionales es aprovechar estos residuos, principalmente las cáscaras de frutas para la eliminación de contaminantes en el agua, siendo una alternativa de gran potencial y aprovechamiento por los beneficios que agrega.

4.4.2.3. Fitorremediación.

Es el uso de las plantas y los microorganismos del suelo asociados para reducir las concentraciones o los efectos tóxicos de los contaminantes en el ambiente. Es una tecnología relativamente reciente y se percibe como rentable, eficiente, respetuoso del medio ambiente y con buena aceptación del público (Ali y otros, 2013). Estas fitotecnologías tienen varias ventajas a diferencia de otros métodos ya que, es sustentable, no requiere de personal especializado, es de bajo costo, no requiere consumo de energía, sólo requiere de prácticas agronómicas convencionales, actúa de forma positiva sobre el suelo y mejora sus propiedades físicas y químicas debido a la formación de una cubierta vegetal; se puede emplear en agua, suelo, aire y sedimentos; no obstante las desventajas que se pueden presentar es que requiere de áreas relativamente grandes; en sistemas acuáticos se podría favorecer la diseminación de plagas; no todas las plantas son tolerantes o acumuladoras y los contaminantes acumulados en maderas pueden liberarse por procesos de combustión.

4.4.2.4. Biopolímeros.

Son industrialmente atractivos por su capacidad de reducir las concentraciones de iones metálicos de transición a concentraciones de partes por billón; son ampliamente disponibles y ambientalmente seguros (Rubio y otros, 2015). Poseen un número amplio de diferentes grupos funcionales, tales como hidroxilos y aminas, que aumentan la eficiencia de la absorción de iones metálicos. El principal biopolímero natural utilizado es la quitina que se extrae de las conchas de los crustáceos, como las cáscaras de camarón, mediante la desproteínización. Existen varias formas para la reticulación de la quitina con biomasa y una de ellas es mediante las reacciones de redox entre los grupos hidroxilos con los grupos principales de la biomasa. Para esta técnica se debe tener en cuenta que la adsorción de metales pesados por biopolímeros está influenciada por el pH del medio.

4.4.2.5. Hidrogeles.

Son polímeros hidrófilos reticulados capaces de ampliar sus volúmenes debido a su alta expansión en el agua. Se ha estudiado su comportamiento de adsorción en metales pesados y se evidencia que permiten purificar el agua y además son biodegradables (Rubio y otros, 2015). Biopolímeros como el colágeno, el alginato, el almidón, el quitosano y la celulosa son los más utilizados para la síntesis de hidrogeles biodegradables, donde el quitosano y la celulosa se han convertido en un material por excelencia cuando se trata de hidrogeles por su bajo costo y abundancia en la naturaleza; la celulosa se puede encontrar en la mayoría de plantas vasculares terrestres y se ha demostrado la capacidad que tiene para la eliminación de iones metálicos mediante el intercambio iónico y la asociación electrostática entre el adsorbente y el adsorbato. El quitosano proviene de los artrópodos y conchas de crustáceos (camarones, langostas, cangrejos y sepias).

4.4.2.6. Ceniza Volante.

Las cenizas volantes, generadas durante la combustión de carbón para la producción de energía, son un subproducto industrial reconocido como un contaminante ambiental, debido a su enriquecimiento en elementos traza potencialmente tóxicos que se condensan del gas de combustión. Este material se ha reutilizado como un adsorbente de bajo costo para la eliminación de compuestos orgánicos, gases de combustión y metales pesados (Chen y otros, 2018); luego de aumentar su capacidad de adsorción mediante de la activación química y física. Para el año 2016 la Comisión Europea aprobó el proyecto LIFE iCirBUS-4industries para una economía regional sostenible donde el principal objetivo fue contribuir a solucionar los problemas de gestión de los residuos procedentes de las plantas de Biomasa (Cenizas volantes) y de las plantas de tratamiento de agua, con un impacto en el medio ambiente. El proyecto puso en práctica el concepto de economía circular define la economía circular como “Aquella que se fundamenta en reducir, reusar y reciclar, a la vez que se promueve que el valor de los productos, los materiales y los recursos, se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible y se reduzca al mínimo la generación de residuos” y se obtuvo como resultado la utilización de cenizas volantes procedentes de plantas de biomasa como agentes absorbentes de metales pesados en aguas residuales locales y para segunda etapa se espera que las cenizas utilizadas como absorbentes se valorizaran como materiales de construcción reciclables.

4.5. ÚLTIMAS INVESTIGACIONES EN ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DEL ARSÉNICO (As) EN EFLUENTES

La importancia del manejo adecuado del Arsénico (As) ha impulsado el desarrollo de varias investigaciones enfocadas principalmente a los procesos de tratamiento de agua contaminada con este elemento.

(Aduvire, Drenaje ácido de mina generación y tratamiento, 2006) Estudió los mecanismos naturales de generación del Arsénico (As) en la minería su movilidad y su solubilidad en ambientes acuosos como el Drenaje Acido de Roca (DAR) y agua de los ríos. Para ello plantearon alternativas de remoción y mitigación del Arsénico (As) en diferentes escalas de caudal, (Rodríguez y otros, 2012), estudiaron los riesgos de los residuos de minería: intoxicación intencional en vacuno por Arsénico (As) inorgánico, Se incide en la importancia del peligro de los residuos abandonados de minería cuando el Arsénico (As) es uno de los subproductos comerciales.

(Ramiro Escalera Vásquez, 2009) Desarrollan un foto-reactor tubular de sección circular para su aplicación al tratamiento de aguas subterráneas contaminadas con Arsénico V, As(V), utilizando la técnica de la Remoción de Arsénico (As) por Oxidación Solar (RAOS).

(Franco & Carro, 2014) trabajaron en determinar las variables más significativas y de mayor influencia al momento de abatir el Arsénico (As) del agua de consumo humano, optimizando el proceso de coagulación – floculación, alterando el potencial de hidrógeno (pH) del agua, dosis del coagulante, gradiente de velocidad y el tiempo de floculación, las mayores remociones se lograron a potencial de hidrógeno (pH) entre 3 y 5, en soluciones oxidadas. A partir de los resultados obtenidos y su análisis mediante regresiones lineales múltiples con valores de $R > 0.90$, se pudo determinar que los parámetros que controlan la remoción son la dosis de floculante, el potencial de hidrógeno (pH) del líquido y la concentración de sólidos en suspensión.

(Estrada & Alexander, 2015), evalúan dos tecnologías artesanales para la remoción de plomo y Arsénico (As) en agua para consumo humano, la unidad de tratamiento con dos cubetas y el método de remoción asistido por luz solar (RAOS), ambas metodologías basadas en la propiedad coaguladora del hidróxido de hierro III, el cual por adsorción-floculación retiene las partículas del Arsénico (As) y plomos presentes en el agua a tratar.

(Vénclez y otros, 2015), estudian la alternativa para mitigar la contaminación del agua por F- y Arsénico (As) con el uso de carbón activado (CA) como material adsorbente.

(Rojas y otros, 2015) presenta dos soluciones a nivel domiciliario para eliminar el Arsénico (As): una por oxidación solar (SORAS) y otra por un proceso de coagulación-

floculación. En ambos casos, el Arsénico (As) es removido por adsorción o coprecipitación sobre los óxidos hidróxidos de hierro (III) formados. En el sistema SORAS se encontró que para reducir la concentración de Arsénico (As) de 200µg/L a menos de la norma (10µg/L), se necesitan entre 2h y 4h de exposición en un día soleado o nublado, respectivamente. En el sistema de coagulación-floculación, las condiciones óptimas para obtener niveles de Arsénico (As) por debajo de la norma fueron las siguientes: con floculante sintético, el potencial de hidrógeno (pH) fue 6 con 1 mg/L de FK-930-S (polímero de cloruro de polidialil-dimetilamonio) con dosis de FeCl₃ 12 mg/L; con floculante natural, el potencial de hidrógeno (pH) fue 6 con 250 mg/L de mozote (*Triumfetta semitriloba*), con dosis de FeCl₃ de 14 mg/L.

(Roman, 2017) estudió alternativas tecnológicas de precipitación y confinamiento estable del Arsénico (As) contenido en efluentes de Plantas de Acido, de Plantas de Tratamiento de Polvos de Fundición y Descartes de Electrorefinerías. Los resultados se expresan en términos de la descripción de cada proceso alternativo de tratamiento de los efluentes mencionados, definición de parámetros de operación y criterios de diseño, y evaluación económica a nivel de ingeniería conceptual.

(Acevedo y otros, 2017), estudiaron la eliminación de Arsénico (As) (V) con el proceso de adsorción. Se utilizó carbón activado granular (CAG) de cáscara de coco ya que el Arsénico As (V) presenta mayor afinidad con este material adsorbente. Teniendo como objetivo evaluar la capacidad de remoción de Arsénico (As) mediante el proceso de adsorción en carbón activado, así como definir parámetros de potencial de hidrógeno (pH), tiempos de contacto y concentraciones de Arsénico (As) para los cuales el proceso presenta su mayor eficiencia. Las eficiencias del proceso se reportaron con valores de potencial de hidrógeno (pH) 5 y a concentraciones iniciales de As (V) 500 ppb con un tiempo de contacto de 240 min, todas las pruebas realizadas presentaron porcentajes de remoción de Arsénico (As) superiores a 90%, con concentraciones de equilibrio de 20 ppb en promedio al final del proceso.

(Fernández y otros, 2017), estudian la percepción de la población del municipio de Santa Bárbara (MG) acerca de la actividad minera y de la contaminación del suelo y del agua por Arsénico (As), como resultado, el 38% la mencionó como una actividad negativa debido a las consecuencias ambientales que desencadenó. Por otro lado, el 60% de los encuestados la consideraron como positiva, destacando la generación de empleos y el desarrollo del municipio. Con respecto al conocimiento de los participantes sobre el Arsénico (As), el 38,9% de los respondientes dijeron no conocerlo y el 39,5% afirmaron conocerlo, el 87,9% de los participantes dijo desconocer su toxicidad.

(Galarza, 2020) realiza el diseño hidráulico y construcción del prototipo para retención de Arsénico (As), en aguas contaminadas por minería, por medio del uso de Tecnosoles mezclados con nanopartículas.

(Alcántara Malca, 2018) en el proyecto integrado de remediación propone la aplicación de un método químico innovador barato usando una base moderadamente fuerte y barata como es el jabón sin excipientes, complementado con un método de biorremediación usando cascarilla de arroz, para disminuir significativamente la concentración de los metales pesados y de Arsénico (As), de aguas provenientes de la minería formal de Cerro de Pasco, ensayando con soluciones simples de concentración conocida de metales pesados y luego ensayando soluciones más complejas de metales.

(Rojas K. , 2020) evalúa la eficiencia de remoción de Arsénico (As) usando dos medios adsorbentes: carbón activado artesanal y óxidos de hierro en experimentos realizados por duplicado para carbón y por triplicado para el tratamiento secuencial de óxidos de hierro-carbón. Se utilizaron dos tamaños de carbón activado (2 - 4 y 0.6 mm), dos tiempos de contacto (6 y 12 h) y tres concentraciones de trabajo (10, 25 y 50 $\mu\text{g As/L}$). Los mayores porcentajes de remoción de Arsénico (As) se obtuvieron aplicando el tratamiento secuencial con óxidos de hierro y carbón activado, 54, 50 y 58 %, respectivamente, para las tres concentraciones tratadas.

(Montalvo, 2020) realizaron una serie de pruebas en el laboratorio, cianurando el oro puro y adicionando pequeñas dosis de Arsénico (As) en forma de ion, As^{5+} , y con esto determinar un modelo matemático que describa los resultados obtenidos. Los resultados arrojaron que el Arsénico (As) tiene un efecto ligeramente positivo en la cianuración del oro, en términos de cinética, hasta una cierta dosis, 2000 mg/l de Arsénico (As), y que a mayores dosis es perjudicial.

(Cercado & Ramos, 2021), realizan un análisis de 24 especies de plantas emergentes en áreas de influencia minera en zonas altoandinas a nivel nacional, que se ubican por encima de los 3000 msnm. El estudio contempla el análisis de la acumulación total (raíz, tallo y hojas) de Arsénico (As), Cd y Pb en las especies vegetales reportadas en siete estudios realizados a nivel nacional que cumplieron con los criterios de selección como: ser especies altoandinas, presentar la concentración de los tres metales dentro de la investigación y ser especies emergentes en áreas impactadas por actividades mineras o pasivos mineros.

(Szarata & Estrada, 2022) investigan como remover Arsénico (As) por coagulación y filtración de una fuente de agua subterránea, se evaluó la opción de aplicar filtración directa posterior a la coagulación y floculación con sulfato de aluminio, el Arsénico (As) presentó concentraciones promedio de 0.019 mg/L en el agua cruda y 0.005 en el agua tratada por



floculación y filtración directa, se concluyó que puede prescindirse del proceso de sedimentación y por consiguiente, que la floculación y filtración directa es efectiva para remover Arsénico (As) por debajo del límite permisible de 0.010 para el consumo humano.

El análisis del estado del arte anteriormente indicado para la remoción, reducción o control del Arsénico (As) nos muestra que para eliminar o reducir la concentración de estos contaminantes se han implementado diversos procesos, tales como: intercambio iónico, precipitación-coagulación, electrodiálisis, nanofiltración, ósmosis inversa; sin embargo, la mayoría de estos métodos a menudo implican costos de operación elevados y mantenimiento continuo. El desarrollo de propuestas que impliquen procesos relativamente sencillos, de bajo costo y eficaces son el objetivo de las actuales investigaciones.

Paralelamente vale indicar que, en el caso de los efluentes de plantas de beneficio mineral, la presencia del Arsénico (As) a parte del problema ambiental representa problemas operativos puesto que su presencia en concentrados es penalizada por las empresas que se encargan de la metalurgia extractiva de materiales, también en la lixiviación con cianuro, el Arsénico (As) se presenta como un mineral refractario que disminuye la eficiencia de la recuperación de oro.

5. Metodología

Las actividades y procedimientos aplicados para el desarrollo de la investigación en función de la consecución de los objetivos planteados, su planteamiento y sistematización se describen a continuación.

5.1. Ubicación

La Planta de Beneficio “METALESA” geográficamente se ubica en la provincia de Azuay, cantón y parroquia Camilo Ponce Enríquez, a 2 km hacia el norte de la comunidad San Gerardo sector la Fortuna, las coordenadas UTM WGS84 del centroide del polígono del predio son 652242, 9665126.

Tabla 3.- Coordenadas de la planta de beneficio

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	COORDENADAS			
				DATUM UTM PSAD 56 ZONA 17 SUR		DATUM UTM WGS 84 ZONA 17 SUR	
Azuay	Ponce Enríquez	Ponce Enríquez	La Fortuna	ESTE (m)	NORTE (m)	ESTE (m)	NORTE (m)
				652400	9665700	652141.76	9665326.32
				652600	9665700	652341.76	9665326.32
				652600	9665300	652341.76	9664926.32
				652400	9665300	652141.76	9664926.32

Universal Transversal de Mercator (UTM); Sistema Geodésico Mundial (WGS 84)

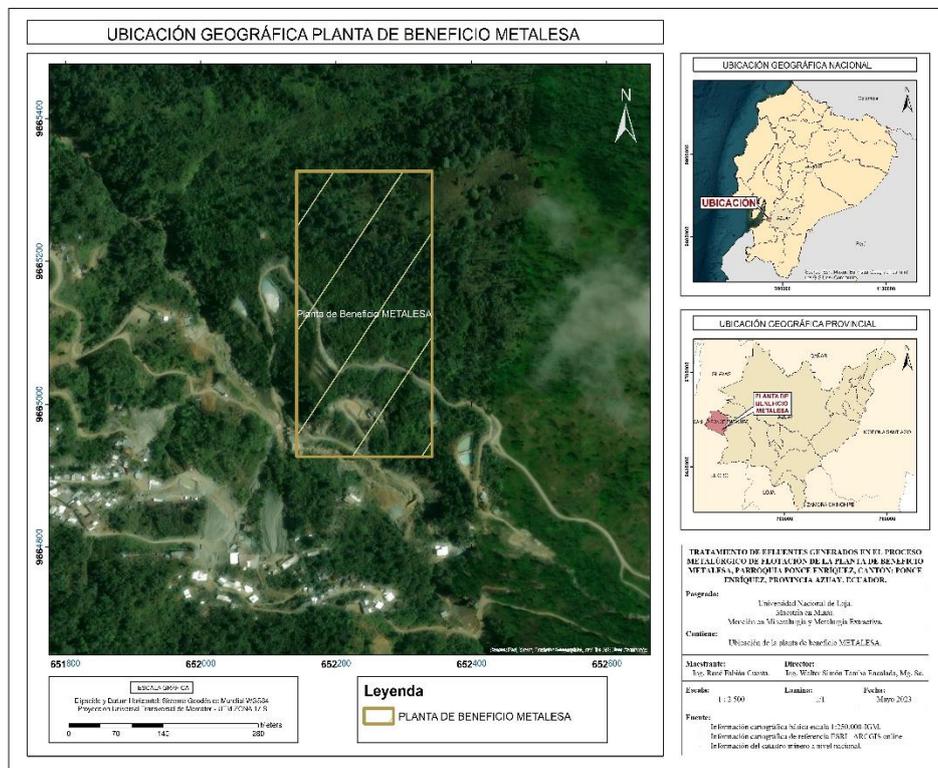


Figura 9. Ubicación de la planta de beneficio.

5.1.1. Sustancias Minerales Procesadas

La plata de tratamiento y beneficio METALESA, procesa el material proveniente de las estructuras cortadas por las labores mineras desarrolladas en dos derechos mineros, el principal corresponde a la Concesión “Quebrada Fría” código 460, en el distrito minero San Gerardo; en la cual la mineralización de sulfuros es muy pobre, se observa poca pirita, escasa arsenopirita diseminada y trazas de calcopirita, galena y blenda. De acuerdo a esta asociación mineral, la génesis del yacimiento es tipo hidrotermal (vetiforme) meso-epitermal; el oro está directamente relacionado con el cuarzo, pirita y arsenopirita.

En base a la información revisada, localmente, en las cercanías de las estructuras mineralizadas, se presentan alteraciones de tipo cloritización, epidotización y silicificación, en tanto que a nivel de vetas se observa alteración cuarzo sericítica. Las brechas hidrotermales se presentan en las zonas falladas de bajo ángulo al igual que las vetas.

El segundo derecho minero corresponde a Titular del área “BLOQUE GANARIN” código 105113, con brechas tubulares mineralizadas con halo de diseminación de turmalina, con partes asociadas a pórfidos tonalíticos, brechas y stockworks.

5.2. Desarrollo Experimental

En función de la consecución de los objetivos planteados, sin ser exhaustivas o excluyentes las fases y actividades incluyeron:

5.2.1. Fase I Preliminar

Objetivo. - Realizar la caracterización físico-química de los efluentes de entrada y salida del proceso metalúrgico de flotación.

- Se ha realizado una revisión bibliográfica extensa sobre libros, investigaciones y publicaciones científicas relativas al tema de remoción de Arsénico (As) de agua.
- Se ha procedido a la caracterización físico química del agua que ingresa a la planta de beneficio METALESA, así como también al efluente del proceso de flotación, esta actividad la ha realizado la empresa minera y los ensayos han sido ejecutados por laboratorios acreditados, los resultados se indican en (Ver anexo 1 y 2).
- En atención a que el único parámetro evaluado que se encontraba por encima de la norma técnica Arsénico (As), se procedió a elaborar la propuesta de experimentación definiéndose en cuatro alternativas (filtración estática, filtración activa, floculación y floculación – filtración activa). Esta selección se decidió básicamente al ser procesos de aplicación sencillos y de bajo costo.

Sobre la concentración de Arsénico (As) en el efluente antes y después de los procesos de remoción, los ensayos han sido efectuados en los laboratorios de la Universidad del Azuay, los informes de resultados se incluyen (Ver anexo 3).

5.2.2. Fase II Experimentación

Objetivo. - Determinar las técnicas alternativas más eficientes en razón de los criterios de selección propuestos

- Una vez planteados los procesos de remoción de Arsénico (As), se ha procedido a dimensionar los experimentos, especialmente para la floculación – filtración; se ha definido el volumen experimental (muestra de efluente 2000 cc), se decidió el floculante a utilizar, y se definió el mecanismo de filtración y el material filtrante (carbón activado).
- Se procedió a la adquisición y adecuación de los equipos requeridos, así como de los insumos, especialmente para el proceso de filtrado se adquirió una bomba sumergible que facilitó la recirculación del fluido en la columna de filtrado. Se adquirió una balanza gramera, el floculante, el material filtrante, papel registro de potencial de hidrógeno (pH), filtros de papel, recipientes plásticos para recolección de muestras y otros utensilios requeridos. Los experimentos se realizaron en los laboratorios de Ingeniería en Minas de la Universidad del Azuay.
- Se procedió a la ejecución de los experimentos de acuerdo al diseño propuesto pudiéndose, en función de los resultados, determinar las técnicas alternativas más eficientes.

5.2.3. Fase III Análisis de alternativas

Objetivo. - Plantear la mejor alternativa para el tratamiento de efluentes metalúrgicos generados en el proceso de flotación y su recirculación del agua al proceso.

- Los resultados alcanzados han permitido establecer el proceso más eficaz en función de la remoción de Arsénico (As), bajo este escenario se ha propuesto la alternativa que mejores condiciones de eficacia y eficiencia presente para el tratamiento de efluentes metalúrgicos.

5.3. Diseño Experimental y Protocolo de Ensayos

5.3.1. Materiales – equipos

Los materiales y equipos requeridos para los ensayos se listan a continuación.

- 2000 de muestra de efluente de planta metalúrgica
- 1800 mg de sulfato de aluminio
- 2000 gr de carbón activado

- Bomba para recirculación de agua
- Cubetos plásticos de 3 litros
- Vasos de precipitado de 2000 cc
- Varilla agitadora
- Celda de flotación
- Papel marcador PH
- Balanza de precisión
- Columna de filtrado
- Papel filtro
- Porta filtros
- Espectrómetro de absorción atómica

5.3.2. Caracterización de la muestra

Las muestras del efluente objeto de los tratamientos han sido sometidas a una caracterización química para Arsénico (As) por absorción atómica cuyo informe de resultados se muestran en anexos (Ver anexo 3), aquí se evidencia en la muestra inicial M1000 un elevado contenido de Arsénico (As) que sobrepasa el límite máximo permitido por la legislación que es de 0,1 mg/l mientras que el ensayo muestra su valor en 1,87 mg/l.

La parte práctica de los procesos de remoción se han efectuado en los laboratorios de Ingeniería en Minas de la Universidad del Azuay, (Ver anexo 4) en donde se ha recibido la muestra de aproximadamente 20 litros del efluente, aunque no se espera variaciones sobre los parámetros físico químicos de la muestra dado que el Arsénico (As) presente se lo presume netamente en sus compuestos inorgánicos, se ha controlado el potencial de hidrógeno (pH) de forma permanente, vale indicar que el mismo ha sufrido variaciones en aplicación del filtrado.

La investigación es de tipo experimental, el diseño aplicado es de tipo aleatorio, este es el más sencillo, eficiente y se origina por la asignación aleatoria de los tratamientos a un conjunto de unidades experimentales previamente determinado. Este diseño usa k tratamientos, asignándose cada uno al azar a n unidades experimentales; para cada unidad seleccionamos al azar un número de 1 a k para decidir que tratamiento debemos aplicar a esa unidad experimental; en este caso se ha evaluado el resultado de tres diferentes métodos de retención de Arsénico (As) a las unidades experimentales las muestras del efluente de la planta metalúrgica.

El propósito de la presente investigación es estudiar la eficacia de procesos de:

- Floculación
- Filtración estática
- Filtración activa
- Floculación y filtración activa

En la reducción de arsénico presente en la muestra de efluente proveniente del proceso de flotación de la planta de beneficio de la empresa METALESA, se dispone de un efluente proveniente de decantación del proceso de flotación de la planta metalúrgica, inicialmente la empresa minera ha realizado una caracterización físico química del efluente y se ha verificado que, considerando parámetros ambientales respecto a la posible descarga del efluente hacia cuerpos receptores, se estaría incumpliendo con el límite máximo permisible para el arsénico (0,1 mg/l) y cuyo valor medido es de 0.33 mg/l.

Adicionalmente al componente ambiental la investigación se enfoca en la posibilidad de reutilizar el efluente en el proceso de la planta metalúrgica en donde la presencia del arsénico es contraproducente debido a razones técnicas de eficiencia en la concentración de minerales de interés, esta alternativa es la más conveniente puesto que limitaría el consumo de agua fresca de la planta, también disminuiría la aplicación de pos-tratamientos y controles del efluente descargado.

Se presenta entonces una propuesta de investigación, la cual estudia la aplicación de procesos listados anteriormente, que se han evaluado como alternativa para la reducción de la concentración de arsénico de un efluente metalúrgico proveniente del proceso de flotación.

Los diagramas de flujo de los procesos aplicados bajo condiciones controladas en laboratorio se muestran en las siguientes figuras:

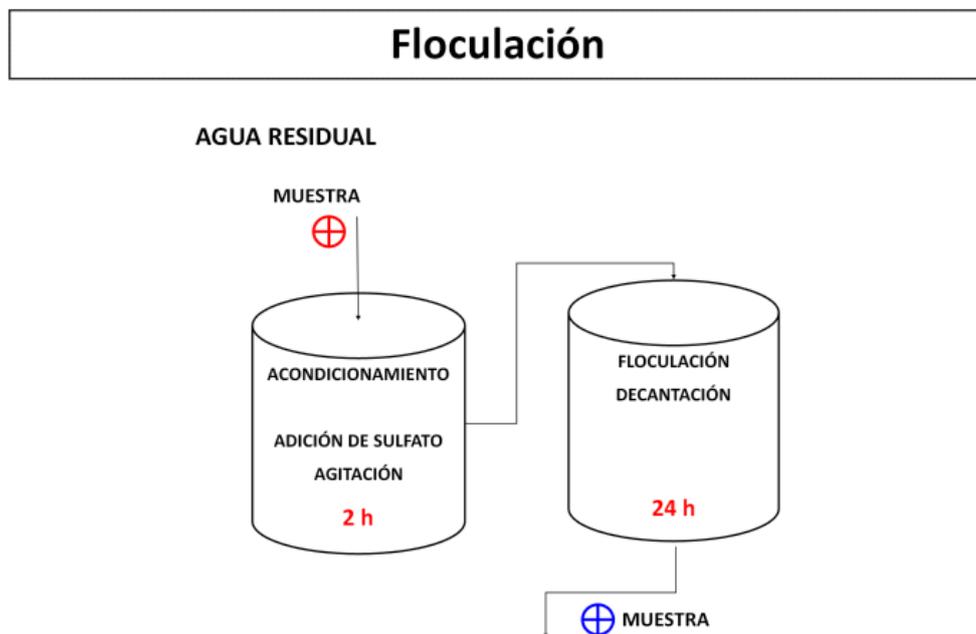


Figura 10. Diagrama de flujo proceso de floculación

Floculación y filtrado dinámico en carbón activado

AGUA RESIDUAL

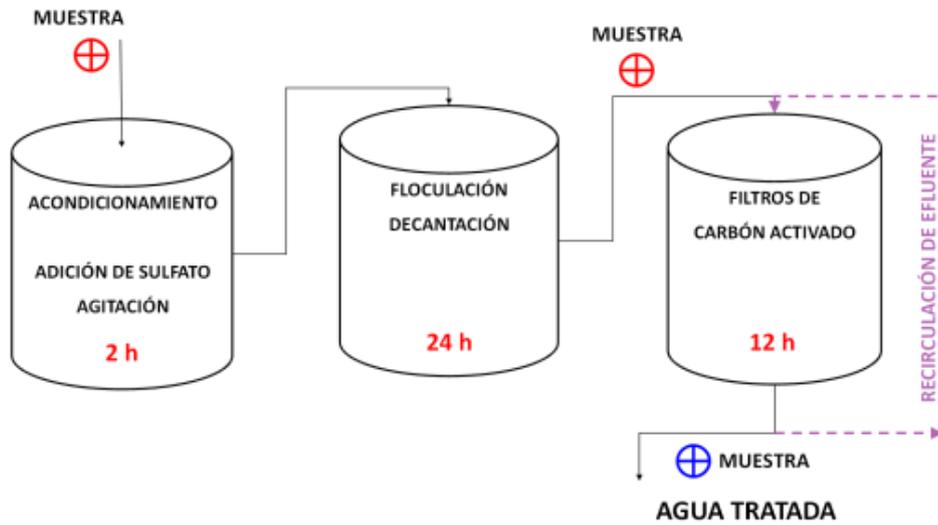


Figura 11. Diagrama de flujo de proceso de floculación y- filtrado dinámico en carbón activado

Filtración activa



Figura 12. Diagrama de flujo filtración activa.

Filtración estática



Figura 13. Diagrama de flujo filtración estática

De forma general las actividades involucradas en los procesos aplicados fueron:

5.3.3. Toma de muestra

Se toma una muestra de 2000 cc de efluente, se verifica el pH, se realiza la oxigenación de la muestra mediante la agitación y la introducción de aire por dos horas para elevar el oxígeno disuelto y elevar el potencial de óxido reducción. Se verifica la condición de pH (debiendo el mismo estar entre 6 y 8); de ser necesario se ajusta utilizando Ni (OH) o HCl.

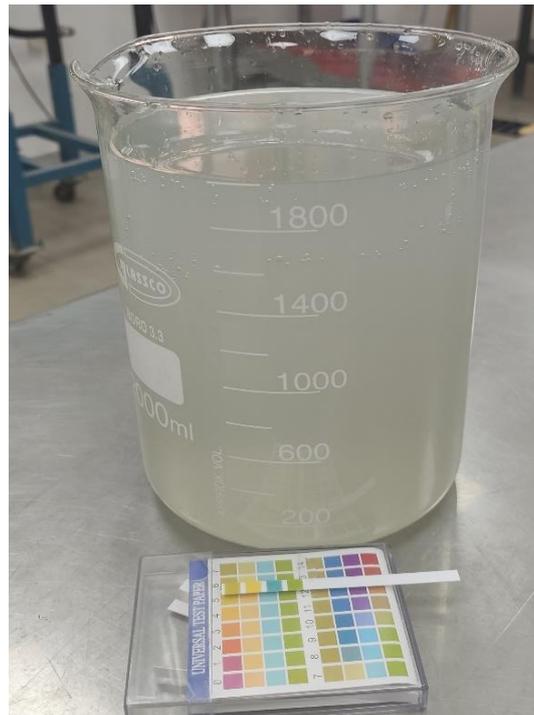


Figura 14. Vaso de precipitado y papel de registro de pH

5.3.4. Floculación y decantación

A la muestra de 2000 cc se añade sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ como floculante en una concentración de 300 gr/m³; para los dos litros de muestra se ocupan 0.6 gr; La muestra se agita por dos horas para favorecer la probabilidad de encuentro de partículas, pasado el tiempo indicado se deja reposar la muestra por 24 horas para que ocurra la floculación y decantación de partículas. Se realiza una separación física del fluido remanente y los floculos decantados. Se han considerado para la realización de este ensayo las concentraciones de floculante referidos por (Franco & Carro, 2014).

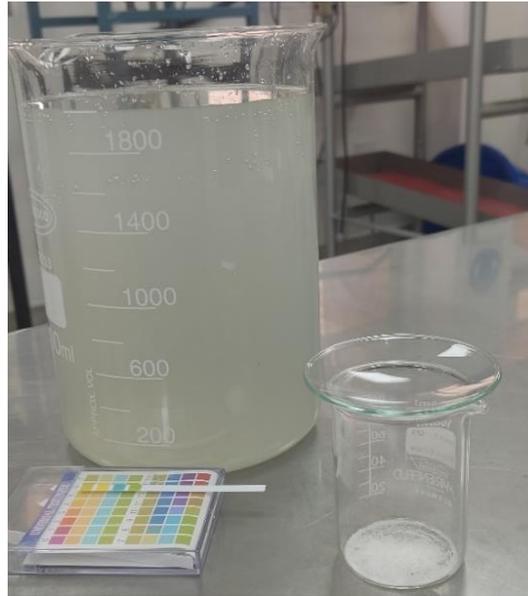


Figura 15. Muestra para proceso de floculación (Sulfato de aluminio).

5.3.5. Filtración dinámica

La muestra de efluente es sometida a un proceso de filtración en columna por un período de 12 horas en donde el fluido es recirculado continuamente con ayuda de una bomba sumergible. El filtro fue acondicionado en el tubo de PVC con la ayuda de una funda permeable, ahí se colocaron 650 gr de carbón activado.



Figura 16. Columnas de filtración activa

5.3.6. Filtración estática

La muestra de efluente es sometida a un proceso de filtración en columna por un período de 12 horas. El filtro fue acondicionado en el tubo de PVC con la ayuda de una funda permeable, ahí se colocaron 650 gr de carbón activado.

Las muestras se toman al iniciar el ensayo y una vez concluido el mismo, a excepción de la filtración dinámica en donde adicionalmente se tomaron muestras cada 3 horas. Los ensayos para la medición de concentración de Arsénico (As) fueron realizados mediante técnica de absorción atómica.



Figura 17. Muestra de filtrado activo, tiempo 6h.

Las muestras tomadas de 50 cc fueron debidamente codificadas y almacenadas, verificando el potencial de hidrógeno (pH) de cada una.

6. Resultados

Para las muestras recolectadas de cada proceso se ha determinado pH y concentración de As, los resultados se muestran en la tabla 4 (Ver el anexo 3).

Para la filtración dinámica se tomaron muestras cada 3 horas de forma de modelizar la cinética de variación de la concentración, el software utilizado para la graficación de resultados, modelamiento y regresión es ORIGIN.

Tabla 4.- Resultados alcanzados en los procesos de remoción de Arsénico (As)

MUESTRA	FLOCULACIÓN Y DECANTACIÓN		FLOCULACIÓN DECANTACIÓN Y FILTRADO DINÁMICO		FILTRADO DINÁMICO		FILTRADO ESTÁTICO	
	pH	As (mg/l)	pH	As (mg/l)	pH	As (mg/l)	pH	As (mg/l)
M1000	5.5	1.870	5.5	1.870	5.5	1.870	5.5	1.870
Mt3			8.5	1.405	8.5	1.715		
Mt6			8.5	1.310	8.5	1.560		
Mt9			9.5	1.030	9.5	1.560		
Mt12	5.5	1.250	9.5	0.939	9.5	1.405	8	1.094

Potencial de hidrógeno (pH); arsénico (As); miligramos/litro (mg/l)

Nota. Adaptado de *resultados de espectroscopía de absorción atómica*, laboratorio químico, Universidad del Azuay, 2023.

Como se puede observar de la gráfica siguiente, todos los procesos aplicados generan una reducción en la concentración de Arsénico (As). La concentración de cabeza del efluente fue de 1.87 mg/l y el valor más bajo obtenido luego de la aplicación de la floculación y filtrado activo alcanzó 0.939 mg/l, es decir una reducción del 49.75%, prácticamente el 50%, vale indicar que el valor mínimo obtenido aún se encuentra por encima del límite máximo permisible que es de 0.1 mg/l.

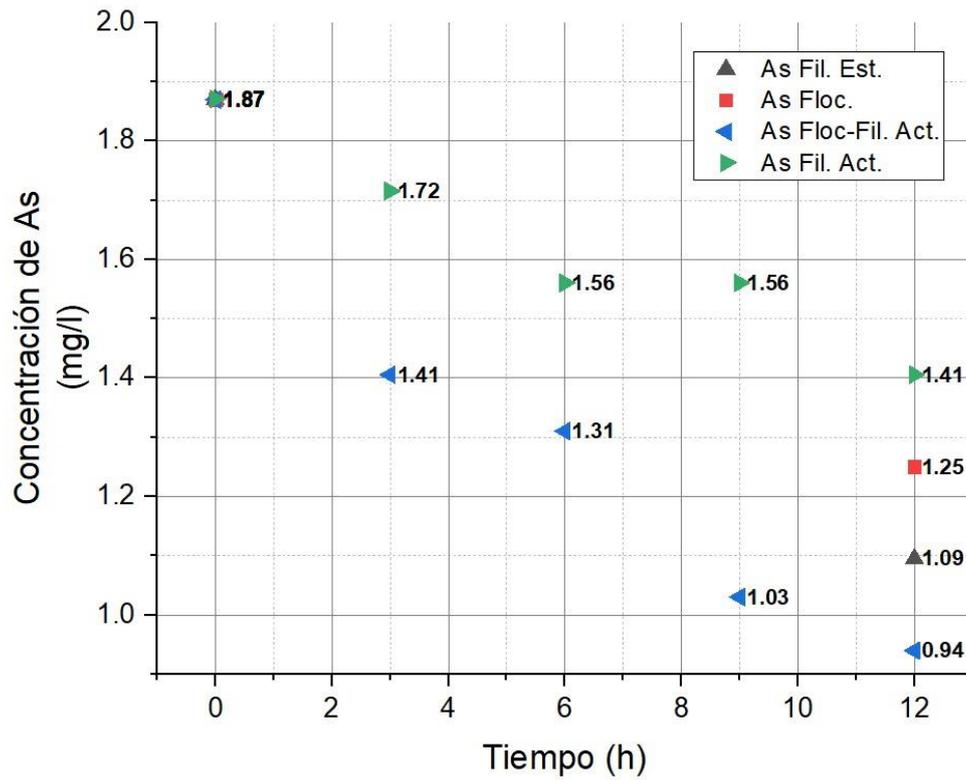


Figura 18. Concentraciones de As en mg/l

La fracción de remoción máxima de 0.5, es decir el 50% contrasta con las alcanzadas por los otros procesos de 0.41, 0.33 y 0.25 de filtración estática, floculación y filtración activa respectivamente.

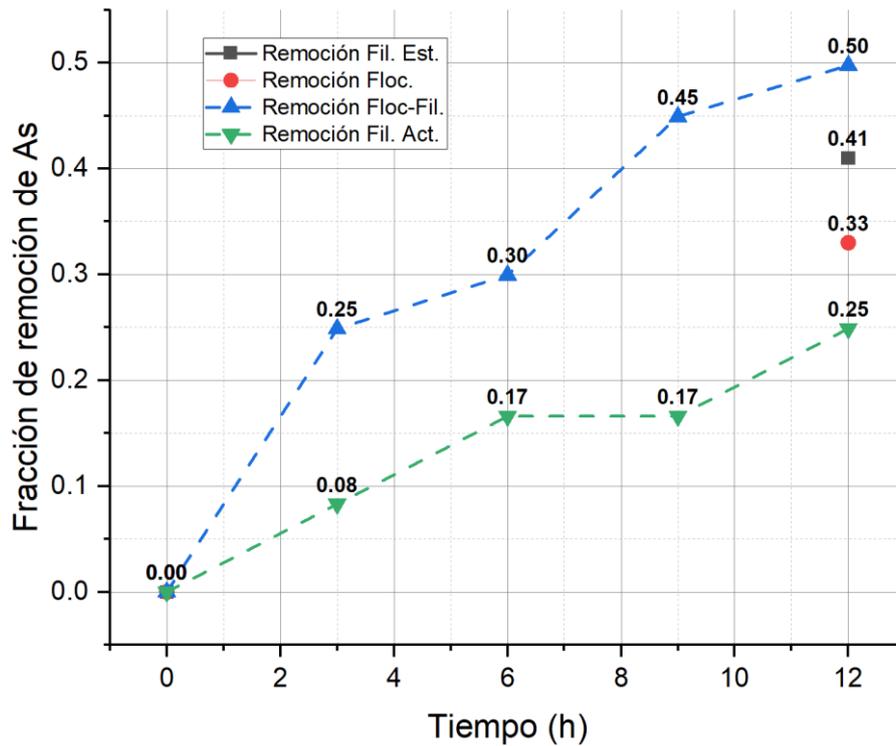


Figura 19. Fracciones de remoción de Arsénico (As) alcanzadas por los procesos

Considerando únicamente los procesos de floculación- filtración activa y filtración activa se han generado rectas de regresión lineal obteniendo modelos de cinética para los procesos,

$$C(t) = 1.60 - 0.05588 t \quad \text{Ec. Cinética para el proceso de Floculación – Filtración A.}$$

$$C(t) = 1.84 - 0.03621 t \quad \text{Ec. Cinética para el proceso de Filtración activa}$$

el ajuste ha sido moderadamente aceptable considerando que el R^2 (R^2 evalúa la fuerza de la relación lineal entre dos variables, y es muy utilizado cuando se realizan análisis de tendencias) se aproxima a 0.95 como se puede observar en las siguientes gráficas.

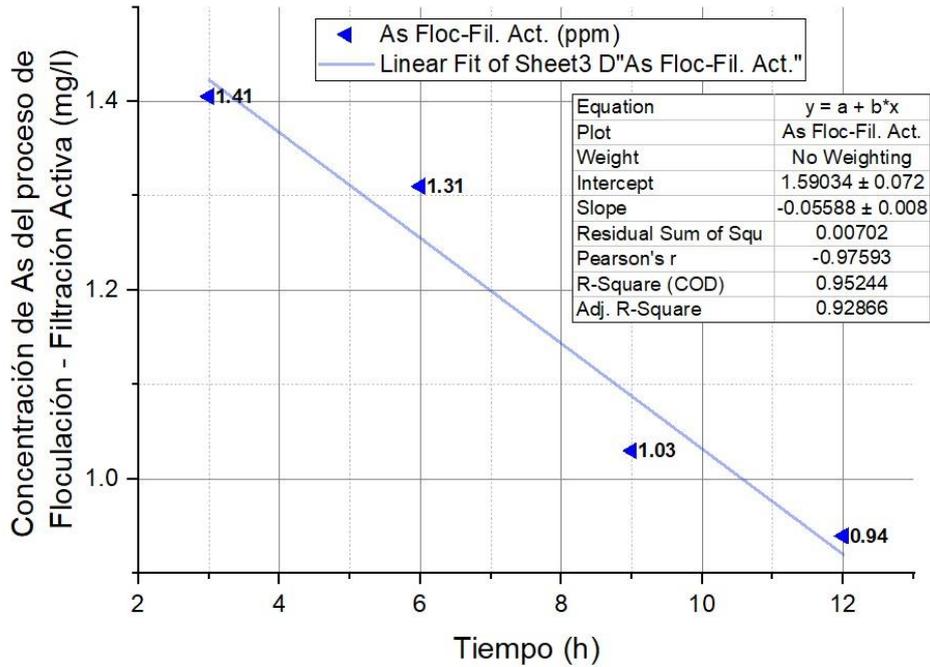


Figura 20. Ajuste de regresión lineal aplicado para el proceso de Floculación - Filtración activa

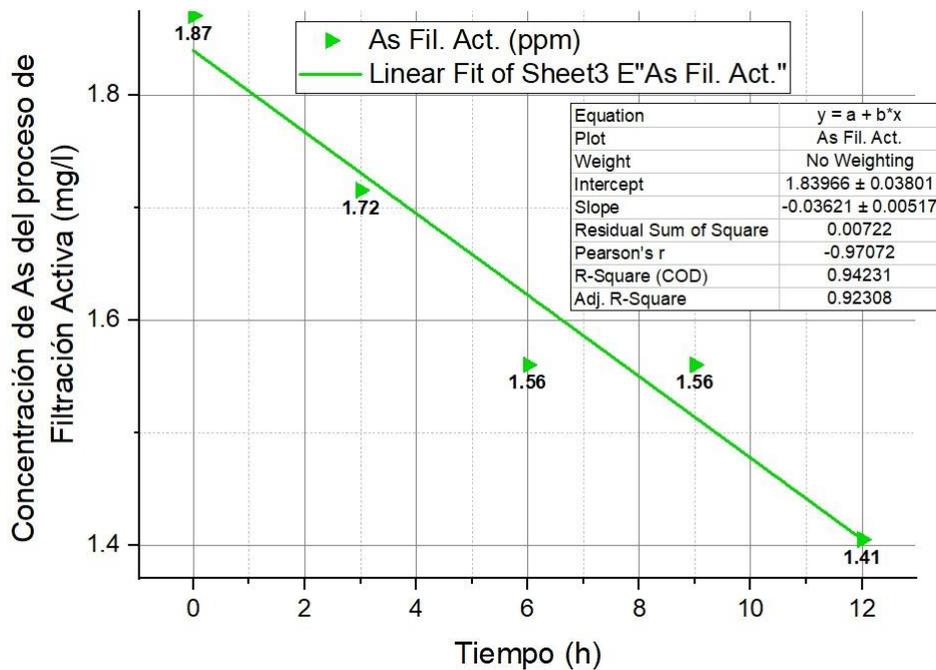


Figura 21. Ajuste de regresión lineal aplicado para el proceso de Filtración activa

Como podemos observar en la gráfica para los procesos de filtrado tanto con floculación previa como para sin ella, el valor de pH sufre un incremento significativo de 5.5 a 9.

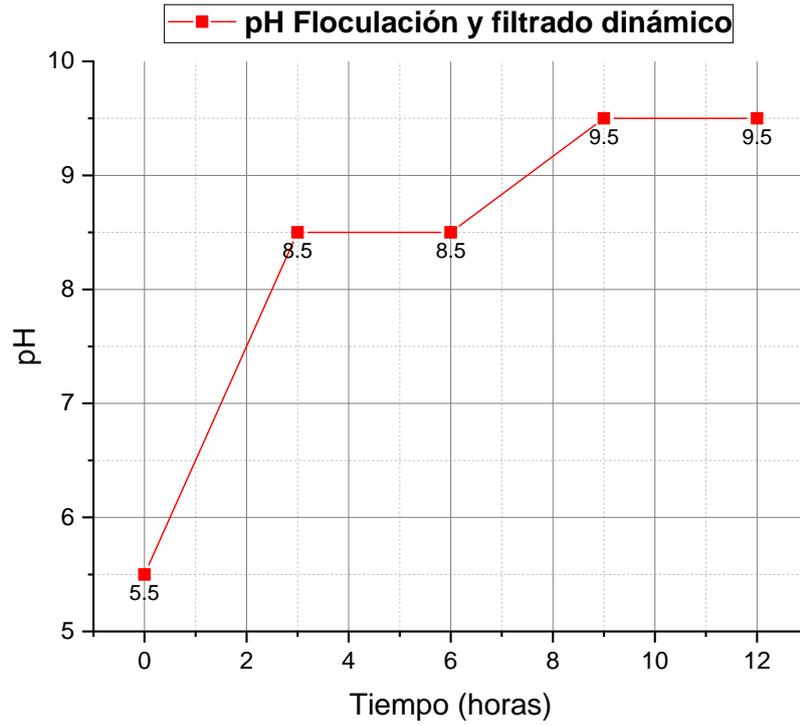


Figura 22. Variación de pH en los procesos

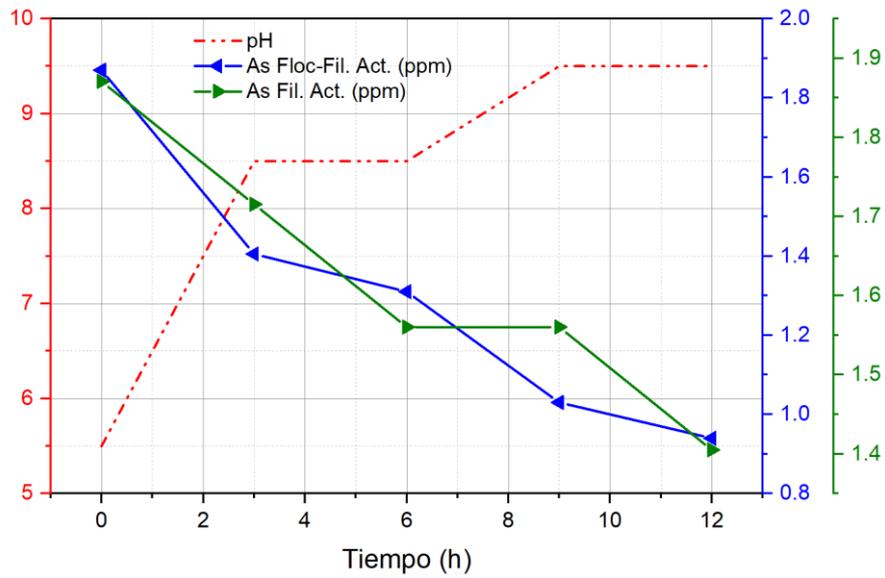


Figura 23. Relación gráfica de pH y concentraciones de Arsénico (As) para los procesos

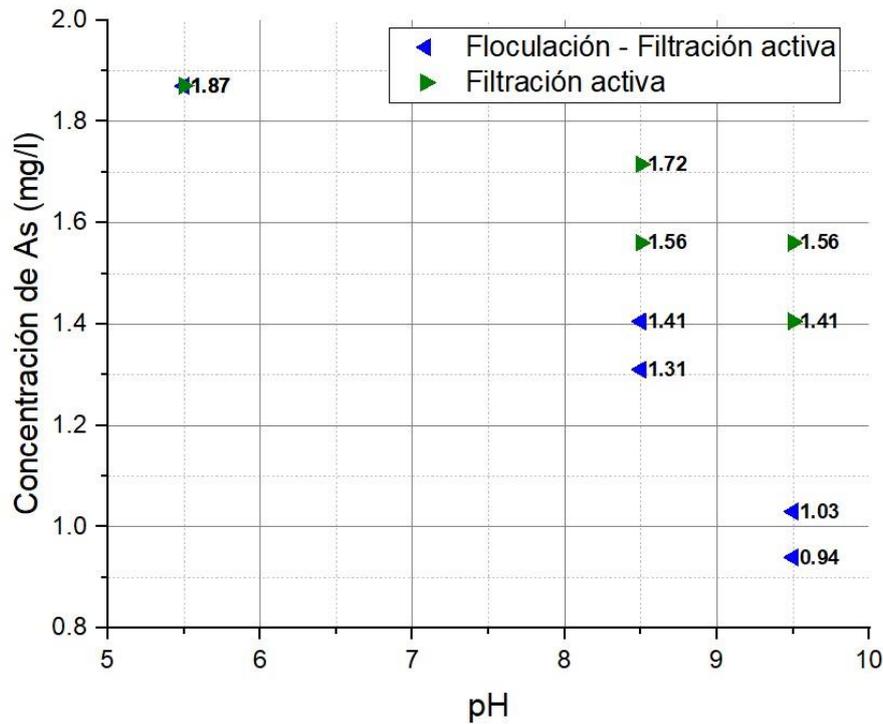


Figura 24. Relación funcional de pH vs concentración de Arsénico (As) de los procesos

6.1. Resultados de la alternativa más eficiente para el tratamiento de efluentes

Comparando los resultados obtenidos resulta evidente que el proceso de remoción de Arsénico (As) más eficiente es el de floculación - filtrado activo, que bajo las condiciones experimentales alcanza una reducción del 50%, este resultado hasta cierto punto esperado es contrastado con los otros procesos en donde se presenta que de forma no esperada, el proceso de filtrado estático obtiene mejores resultados en remoción de Arsénico (As) con el 41%, ninguno de los procesos experimentados en el tiempo aplicado alcanza valores inferiores al límite máximo permisible para descarga del efluente a cuerpos receptores.

7. Discusión

Los resultados muestran que los tratamientos aplicados en este experimento para remoción, mediante la adsorción de Arsénico (As), de efluentes de plantas de beneficio son eficientes hasta un máximo del 50% en 12 horas.

Investigaciones similares muestran eficiencias superiores, por ejemplo, la remoción electroquímica de Arsénico (As) en el trabajo de titulación realizado por (Fernández C. , 2022) alcanza el 91.42% en tres horas; utilizando rizofiltración con pasto azul, (Quishpe y otros, 2020), alcanzaron remociones del 80% para descargas de efluentes en ríos de Ponce Enríquez; otras investigaciones generan sus experimentos sobre soluciones formuladas con Arsénico (As) disuelto en concentraciones relativamente bajas y se reportan remociones de cerca del 90 % como lo reportan (Franco & Carro, 2014) utilizando coagulación y floculación. Una alternativa a la adsorción de Arsénico (As) es el intercambio catiónico, técnica aplicada experimentalmente por (Flérida Mejía, 2009), alcanzando también alrededor del 90% de remoción.

Aunque como se ha indicado otros procesos han reportado mayores porcentajes de remoción de Arsénico (As) vale anotar que los mismos en su gran mayoría, experimentalmente, parten de concentraciones relativamente bajas, utilizan procesos con mayores controles, por ejemplo, el pH que termodinámicamente favorece procesos de adsorción o intercambio catiónico, utilizan técnicas más complejas y sensibles lo que los convierte en alternativas relativamente costosas como por ejemplo la ósmosis inversa o la rizofiltración cuya cinética y control resulta dificultoso.

Se puede notar en las gráficas de los resultados alcanzados que la disminución de la concentración de Arsénico (As) va a continuar en el tiempo ya que su comportamiento en el intervalo analizado presenta un comportamiento lineal de pendiente negativa. Aplicando la regresión lineal del modelo para el proceso de floculación - filtración activa se obtiene una ecuación que permite hacer una extrapolación de valores, en donde la remoción de Arsénico (As) en el efluente alcanzaría el límite máximo de concentración permisible (0.1 mg/l) a las 26.6 h de tratamiento.

Como se pudo evidenciar también durante la aplicación de los procesos ocurrió una considerable variación de pH, lo que cambió las condiciones termodinámicas del sistema, siendo su control un parámetro operacional importante al momento de valorar los resultados esperados.

Adicionalmente vale considerar que los procesos aplicados en la presente experimentación son relativamente sencillos y no requieren mayor inversión.



unl

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS
INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN
MINAS

Respecto a los valores finales alcanzados por los diferentes procesos aplicados hay que indicar que la remoción alcanzada por filtración pasiva logró el segundo mejor porcentaje de remoción (41%), siendo definitivamente el proceso menos costoso habrá que evaluar su aplicación práctica.



8. Conclusiones

Se ha realizado la caracterización físico-química de los efluentes de entrada y salida del proceso metalúrgico de flotación de la planta de beneficio METALESA, encontrándose que la concentración de Arsénico (As) es de 1.87 mg/l.

De los experimentos realizados, se ha establecido al proceso de floculación – filtración activa como la mejor alternativa para el tratamiento de efluentes metalúrgicos generados en el proceso de flotación y su recirculación del agua en la planta, cumpliéndose con el criterio de calidad para descarga a cuerpos receptores lo que también a nivel industrial permitiría su reutilización. De acuerdo a la cinética del modelo experimentado el tiempo de aplicación del sistema de remoción de Arsénico (As) con una concentración de cabeza de 1.87 mg/l tardaría 26.6 horas hasta alcanzar la norma de calidad de descarga a cuerpos de agua dulce.

La aplicación práctica de sistemas de control mediante floculación y filtración con carbón activado pueden ser considerados como alternativas viables en el control de efluentes de plantas de beneficio mineral ya que alcanzarían remociones del 50% de Arsénico (As) en 12 horas, hasta valores por debajo del límite permisible en 26.6 h para valores de cabeza de 1.87 mg/l.

Aunque la coagulación y floculación, como proceso de remoción de Arsénico (As), ha sido experimentalmente validada, las investigaciones revisadas muestran que su aplicación se encuentra más enfocada a tratamiento de agua para consumo humano y siempre su modelación se las realiza a partir de soluciones formuladas y con concentraciones bajas, características que contrastan completamente con un efluente de planta de beneficio mineral, recordemos que la concentración de Arsénico (As) del efluente tratado es de 1.87 mg/l, valor por encima de 0.33 mg/l establecido en la caracterización inicial del efluente. En este experimento este proceso alcanzó una remoción del 33% en 12 horas.

9. Recomendaciones

La aplicación de diferentes procesos para el control de arsénico (As), en cualquier ámbito y mayormente en los efluentes de plantas de beneficio debe partir de una adecuada caracterización físico química del fluido, establecer mediante el uso de diagramas de Pourbaix el estado termodinámico de las asociaciones minerales presentes.

Realizar más investigaciones enfocadas en profundizar sobre la cinética de los procesos aplicados con mayor amplitud de tiempo y sus interacciones si se incluyen variables de experimentación como el control del potencial de hidrógeno (pH), tasa de recirculación, medio filtrante, geometría del medio filtrante, etc.

La aplicación del proceso de filtración activa, teóricamente también puede resultar eficaces cuando el objetivo es alcanzar valores de concentración por debajo del límite máximo permisible, pero de acuerdo los resultados en tiempos largos, por lo que se podría recomendar profundizar investigaciones considerando el mecanismo de filtrado y adsorción con carbón activo, se puede recomendar la combinación de materiales filtrantes como por ejemplo carbón – zeolita, es decir mecanismo de adsorción – reemplazo catiónico.

Los ensayos cinéticos también deberán considerar los tiempos de saturación del material filtrante y su gestión, vale aclarar que el arsénico (As) removido del efluente solamente está cambiando de medio al adherirse al carbón, una mala gestión de estos derivaría nuevamente a su liberación en el medio ambiente.

Es necesario al igual que todo proceso industrial se pueda generar experimentación sobre procesos de remoción de arsénico (As) en planta piloto. Se recomienda también realizar el escalamiento de los posibles tratamientos para aplicaciones reales de forma de dimensionar requerimiento de espacio y sobre todo el análisis económico de los costos operativos de los procesos.

10. Bibliografía

- Acevedo, L., Valladares, M., Ramirez, C., & Flores, E. (2017). Remoción de arsénico (V) por adsorción en carbón activado de cáscara de coco. *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química*, 3.
- Aduvire, O. (2006). *DRENAJE ACIDO DE MINA GENERACIÓN Y TRATAMIENTO*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Aduvire, O. (2006). *Drenaje ácido de mina generación y tratamiento*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Alcántara Malca, D. A. (2018). *Método integrado de remediación para la disminución de la concentración de metales pesados de aguas residuales de actividad minera de la sierra central— 2018*. Obtenido de Alicia: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNF_8c90d8e9044820048deebfc5178db1b2/Details
- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications. *Chemosphere*, 869-881.
- Andrade, M., López, L., & Sáenz, A. (2012). Nanotubos de carbono: funcionalización y aplicaciones biológicas. *Revista mexicana de ciencias farmacéuticas*.
- Bakar, A. F., & Halim, A. A. (2013). Treatment of automotive wastewater by coagulation-flocculation using poly-aluminum chloride (PAC), ferric chloride (FeCl₃) and aluminum sulfate (alum). *ADS*.
- Bundschuh, J., Armienta, M., & Birkle, P. (2009). *Natural Arsenic in Groundwater of Latin America — Occurrence, health impact and remediation*. San José.
- Carriazo, Saavedra, & Molina. (2010). Propiedades adsorptivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo. *Educación Química*, 224-229.
- Cercado, N., & Ramos, F. (2021). *Estudio de las especies vegetales bioacumuladoras de arsénico, cadmio y plomo emergentes en áreas mineras altoandinas del Perú*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/27615>
- César J. Espinoza, L. L. (1016). Comparación entre distintas tecnologías (Fe(0), coagulación-floculación y electrocoagulación) para el tratamiento de As(III) y As (V). *Jornadas Taller: Distribución, Determinación y Remoción de Arsénico en Aguas*.



- Chen, H., Qu, X., Liu, N., Wang, S., Chen, X., & Liu, S. (2018). Study of the adsorption process of heavy metals cations on Kraft lignin. *Chemosphere*, 869-881.
- Chin-Hsiao Tseng, C.-K. C.-P. (2007). Blackfoot Disease in Taiwan: Its Link with Inorganic Arsenic Exposure from Drinking Water. *JSTOR*.
- Comité de Gestión Minero Energético como Plataforma Regional de Articulación y Diálogo. (2020). *Minería Peruana, un Motor de Crecimiento en un Contexto de Crisis*.
- D Moha, a. C. (2007). Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents-a critical review. *Journal of Hazardous Materials*. 142-153.
- Duker, A., Carranza, M., & Hale, M. (2005). Arsenic geochemistry and health. *Environment International*.
- ECOMETALES LIMITED - CODELCO. (s.f.). *Lo que usted necesita saber sobre arsénico y minería del cobre*. Obtenido de <https://www.ecometales.cl/difusion/arsenico/lo-que-usted-necesita-saber-sobre-arsenico-y-mineria-del-cobre>
- Edelweiss Airam Rangel Montoya, L. E. (2015). Impacto del arsénico en el ambiente y su transformación por microorganismos. *Terra Latinoamericana*.
- Estrada, C., & Alexander, F. (2015). Evaluación de dos tecnologías artesanales para la remoción de plomo y arsénico en agua para consumo humano. *Dspace Universidad El Salvador*, 11-12.
- Fernández, C. (2022). *Remoción electroquímica de arsénico en aguas residuales de procesos de plantas metalúrgicas en el Cantón Camilo Ponce Enríquez*.
- Fernández, M., Fernández, T., & Solís, G. (2017). Percepción de la población sobre los niveles de contaminación ambiental del Río Milagro y grado de conocimiento preventivo social sobre el efecto de su carga contaminante. *Ciencia*, 125-134.
- Flérida Mejía, J. V. (2009). Adsorción de arsénico en zeolita natural pretratada con óxidos de magnesio. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*.
- Franco, F., & Carro, M. (2014). Remoción de arsénico en agua mediante procesos de coagulación-floculación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 177-190.
- Frimmelm, B. &. (2003). Remediation of Arsenic-Contaminated Water . *International Conference on Water Scarcity, Global Changes, and Groundwater Management Responses, December 2008, University of California, Irvine, United States: proceedings*.



- Galarza, I. (2020). Diseño hidráulico del prototipo para retención de arsénico en aguas contaminadas por minería mediante tecnosoles y nanopartículas. *Dspace ESPE*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/22370>
- INEC - Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2012). *REDATAM CENSO 2010*.
- Jacco L Huisman, G. S. (2006). Biologically produced sulphide for purification of process streams, effluent treatment and recovery of metals in the metal and mining industry. *Hydrometallurgy*.
- Karnib, K., Holail, & Olama. (2014). Heavy Metals Removal Using Activated Carbon, Silica and Silica Activated Carbon Composite. *Energy Procedia*.
- LENNTECH. (s.f.). *Propiedades químicas del Arsénico - Efectos del Arsénico sobre la salud - Efectos ambientales del Arsénico*. Obtenido de <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/as.htm#ixzz7y6eO4XEN>
- Lillo. (2015). *Peligros geoquímicos: arsénico de origen natural en las aguas*.
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2020). *Plan Nacional de Desarrollo Minero 2020 - 2030*.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (4 de noviembre de 2015). Código 387, Acuerdo Ministerial MAE 097. *tratamiento de efluentes*. Quito, Pichincha, Ecuador: Registro Oficial.
- Mohammad Al-Shannaga, Z. A.-Q.-Q.-M.-M. (2015). Heavy metal ions removal from metal plating wastewater using electrocoagulation: kinetic study and process performance. *Chemical Engineering Journal*.
- Montalvo, A. (2020). Efecto del arsénico en la disolución del oro con cianuro. *DSPACE Universidad Nacional de Ingeniería*.
- Ortuño, M. (2019). *Estudios sobre la eliminación de arsénico selenio y antimonio de efluentes líquidos mediante el uso de materiales de bajo coste*. Madrid.
- Páez, J., & Tobarda, C. (2006). La fotocatalisis: aspectos fundamentales para una buena remoción de contaminantes. *Revista de la Universidad de Caldas*.
- Pillajo, E., Toledo, P., & Elizalde, J. (2020). *Diseño y operación de filtros para estabilización de efluentes de planta de flotación*.
- Polat, & Erdogan. (2007). Heavy metal removal from waste waters by ion flotation. *Journal of Hazardous Materials*.



- PRODEMINCA - Ministerio de Energía y Minas del Ecuador. (2000). *Monitoreo Ambiental de las áreas mineras en el sur del Ecuador*.
- Quishpe, A., Barret, P., & Guevara, A. (2020). *Remoción de arsénico de efluentes líquidos de plantas de beneficio de oro y cuerpos híbridos, de la zona minera de ponce enriquez, por rizofiltración con pasto azul (Dactylis glomerata)* 21. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20939>
- Ramiro Escalera Vásquez, O. O. (22 de 11 de 2009). *Revista Investigación & Desarrollo*. Obtenido de Revista Investigación & Desarrollo: <https://www.upb.edu/revista-investigacion-desarrollo/index.php/id/article/view/79>
- Rodríguez, S., Moreno, H., Jiménez, O., & López, P. (2012). Riesgos de los residuos de minería: intoxicación intencional en vacuno por arsénico inorgánico. *Revista de Toxicología*.
- Rojas, K. (2020). Valoración de la eficiencia de remoción de arsénico en agua con carbón activado de jícara sabanero (*Crescentia alata*) y su combinación con óxidos de hierro. *Torreón Universitario*.
- Rojas, P., Vargas, M., Araya, A., Valverde, J., & Romero, L. (2015). Estudio de remoción de arsénico en agua potable a nivel domiciliario mediante oxidación solar y coagulación-floculación. *Tecnología en marcha*, 54-65. Obtenido de <https://doi.org/10.18845/tm.v28i4.2443>
- Roman, E. (2017). Alternativas tecnológicas de precipitación y confinamiento estable del Arsénico contenido en efluentes de Plantas de Acido, de Plantas de Tratamiento de Polvos de Fundición y Descartes de Electrorefinerías.
- Romero, F. R., & Paredes Maldonado, M. B. (2020). *Proyecto de Ampliación de la planta de beneficio METALESA, código 10000543*.
- Rubio, D. I., Calderón, R. A., Gualtero, A. P., Acosta, D. R., & Sandoval, J. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. *DIALNET*.
- Sarria-Villa, P. G. (2021). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. *Entre Ciencia e Ingeniería*.
- Signes-Pastor, A. J. (2019). Inorganic arsenic exposure and neuropsychological development of children of 4–5 years of age living in Spain. *Environmental Research*, 135-142.



unl

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS
INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN
MINAS

Szarata, A., & Estrada, J. (2022). *Remoción de arsénico por floculación y filtración directa del agua subterránea del municipio de San Rafael Las Flores, Santa Rosa, Guatemala.*

Véncz, E., Rangel, J., Arcibar, J., & Velazquez., L. (2015). Alternativas para mitigar la contaminación del agua por F- y As con el uso de carbón activado (CA) como material adsorbente. 11-16. Obtenido de <https://www.gecarbon.org/boletin.asp>

Wan Ngh, T., & Hanafian. (2011). Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites: A review. *Carbohydrate Polymers*, 1446-1456.

Wang, L. K., Chen, J. P., Hung, Y.-T., & Shamma, N. K. (2009). *Heavy Metals in the Environment*. Boca Raton.

11. Anexos

Anexo 1. Resultados de análisis de agua de ingreso a la planta



REPORTE DE

Cliente: Cia Metalesa SA
Junín y Rocafuerte esquina –
Machala
Telf: 991196707
Atn: Blgo. Javier Armijos G.

Proyecto: Monitoreo Puntual de Agua de Consumo
Muestra Recibida: 30-oct-22
Tipo de Muestra: 1 Muestra de Agua de Consumo
Análisis Completado: 11-nov-22
Número reporte Gruentec: 2110542-AG001
Fecha de Emisión: 13-nov-22

Identificación de la muestra:	CAPTACIÓN DE AGUA PARA CONSUMO	Limite Máximo Permisible Tabla 1 Anexo 1, Acuerdo Ministerial 097-A, TULSMA	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	29-oct-22		
No. Reporte Gruentec:	2110542-AG001		
Parámetros de campo:			
pH ^(1,2,3)	7.3	6 - 9	SM 4500 H / MM-AG-S-01
Cloro libre mg/l ^(1,2,3)	<0.1	N/A	SM 4500 O.G / MM-AG-07
Parámetros realizados en el Laboratorio			
Físico Químico:			
Color Real APHA PICO ^(1,2) ^	<9	75	SM 2120 C/ HACH 8025 / MM-AG-
Turbidez FAU/NTU ^(1,2) ^	<4	100	HACH 8237 / MM-AG-04
Aniones y No Metales:			
Fluoruro mg/l ^(1,2) ^	<0.05	1.5	EPA 300.1 / MM-AG-37
Nitrato mg/l ^(1,2) ^	2.8	50	EPA 300.1 / MM-AG-37
Nitrito mg/l ^(1,2) ^	<0.05	0.2	EPA 300.1 / MM-AG-37
Sulfato mg/l ^(1,2) ^	2.6	500	EPA 300.1 / MM-AG-37
Cianuro Libre mg/l ^(1,2) ^	<0.001	0.1	SM 4500 CN / MM-AG-28
Cianuro Total mg/l ^(1,2) ^	<0.001	0.1	SM 4500 CN / MM-AG-28
Cloro total residual mg/l ^(1,2) ^	<0.1	N/A	EPA 330.5 / MM-AG-07
Parámetros Orgánicos:			
Aceites y Grasas mg/l ^(1,2) ^	<0.3	0.3	EPA 1664 / MM-AG-S-32
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/l ^(1,2) ^	<2	2	SM 5210 B.D / MM-AG-19
Demanda Química de Oxígeno mg/l ^(1,2) ^	<5	4	SM 5220 D / MM-AG-18
Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/l ^(1,2) ^	<0.3	0.2	EPA 8015 D / MM-AG-23
Metales en Agua:			
Cromo Hexavalente mg/l ^(1,2) ^	<0.002	0.05	EPA 3060 A/ 7196 A / MM-AG-28
Parámetros Microbiológicos:			
Coliformes Fecales (E. coli) NMP/100 ml ^(1,2) ^	40	1000	SM 9223 A,B / MM-AG/S-20
Cryptosporidium * ^	Ausencia	N/A	Método Interno
Giardia * ^	Ausencia	N/A	Método Interno

San Juan de Cumbayá - Eloy Alfaro S7-157 y Belisario Quevedo P.O.Box 17-22-20064 Quito-Ecuador- Telfs.:(02) 601-4371-

Email:info@gruentec.co
m www.gruentec.com



unl

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS
INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN
MINAS



REPORTE DE

Cliente: Cia Metalesa SA
Junín y Rocafuerte esquina –
Machala
Telf: 991196707

Atn: Blgo. Javier Armijos G.

Proyecto: Monitoreo Puntual de Agua de Consumo

Muestra Recibida: 30-oct-22

Tipo de Muestra: 1 Muestra de Agua de Consumo

Análisis Completado: 11-nov-22

Número reporte Gruentec: 2110542-AG001

Fecha de Emisión: 13-nov-22

Identificación de la muestra:	CAPTACIÓN DE AGUA PARA CONSUMO	Limite Máximo Permisible Tabla 1 Anexo 1, Acuerdo Ministerial 097-A, TULSMA ^{a1)}	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	29-oct-22		
No. Reporte Gruentec:	2110542-AG001		
Metales totales:			
Arsénico mg/l ^{(1,2) ^}	0.0067 ^{o)}	0.1	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Bario mg/l ^{(1,2) ^}	0.022 ^{o)}	1	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Boro mg/l ^{(1,2) ^}	<0.02 ^{o)}	N/A	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cadmio mg/l ^{(1,2) ^}	<0.0001 ^{o)}	0.02	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cobre mg/l ^{(1,2) ^}	<0.005 ^{o)}	2	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Hierro mg/l ^{(1,2) ^}	<0.02 ^{o)}	1.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Mercurio mg/l ^{(1,2) ^}	<0.0001 ^{o)}	0.006	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Níquel mg/l ^{(1,2) ^}	<0.001 ^{o)}	N/A	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Plomo mg/l ^{(1,2) ^}	<0.0005 ^{o)}	0.01	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Selenio mg/l ^{(1,2) ^}	<0.001 ^{o)}	0.01	EPA 6020 B / MM-AG/S-39

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. SAE LEN 05-008

⁽²⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

⁽³⁾ Acreditación A2LA Cert. No.4290.01

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación del

SAE Los ensayos marcados con (^) no están dentro del alcance de
acreditación A2LA N/A - No Aplica

a1) Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y
doméstico. o) Parámetro analizado por duplicado.

Todos los parámetros presentados fueron realizados en el Laboratorio Matriz Quito.

INCERTIDUMBRE (U) para pH = 0.2 unidades

INCERTIDUMBRE (U):

Aceites y Grasas en Aguas = 30%; Cianuro Libre = 10%; Cianuro Total = 10%; Cloro libre = 25%; Cloro Total

Residual = 8%; Color = 18%; Cromo Hexavalente = 16%; Demanda Bioquímica de Oxígeno = 16%; Demanda

Química de Oxígeno = 9%; Metales en Agua = 18%; Turbidez = 15%; Fluoruro = 20%; Nitrato = 20%; Nitrito = 20%;

Sulfato = 20%; TPH = 28%

Cálculo: $C \pm (U \times C/100)$ en donde: C=valor medido; U= incertidumbre %.

Ing. Isabel Estrella

Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este informe en forma exclusiva y confidencial. Esta información podría afectar la validez de los resultados, Gruentec Cia. Ltda. no se responsabiliza por dicha información.

San Juan de Cumbayá - Eloy Alfaro S7-157 y Belisario Quevedo P.O.Box 17-22-20064 Quito-Ecuador- Telfs.:(02) 601-4371-

Email:info@gruentec.co

m www.gruentec.com



unl

Universidad
Nacional
de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS
INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN
MINAS



REPORTE DE

Nota 2: La toma de muestras fue realizada por el personal técnico de Gruentec Cía. Ltda., se adjunta el Registro de Toma de muestra y mediciones in situ como parte del informe. La identificación de la muestra, y el nombre del proyecto es información entregada por el cliente, Gruentec no se responsabiliza por la misma.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

San Juan de Cumbayá - Eloy Alfaro S7-157 y Belisario Quevedo P.O.Box 17-22-20064 Quito-Ecuador- Telfs.:(02) 601-4371-

Email:info@gruentec.co

m www.gruentec.com



REGISTRO DE TOMA DE MUESTRA DE AGUA SIMPLE



INFORMACIÓN GENERAL					
EMPRESA:	CIA. METALESA S.A.				
ACTIVIDAD DE LA EMPRESA:	Extracción de metales preciosos: Oro.				
PROYECTO:	Monitoreo puntual de Agua de Consumo				
DIRECCIÓN TOMA DE MUESTRA:	Provincia: Azuay, Cantón: Ponce Enriquez, Parroquia: Shumiral, Sector La Fortuna, Planta METALESA - Mina 24				
TÉCNICO EMPRESA:	Ing. Javier Armijos				
TÉCNICO GRUENTEC:	Ing. Jordan Guerrero M.				
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA					
Identificación de la muestra:	CAPTACIÓN DE AGUA PARA CONSUMO	Identificación Gruentec:	MTL-2110542-AG001		
Fecha y hora de toma de muestra:	29/10/2022 10:40	Cadena de Custodia N°:	18099		
Fecha de análisis completado (1):	03/11/2021	Fecha de emisión (2):	13/11/2021		
Coordenadas geográficas (3):	17 M	E	652929	Error:	± 4 m
		N	9664664	Datum:	WGS84

METODOLOGÍA					
<p>La toma de muestras de agua se basa en lo establecido en las normas y metodologías de referencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Norma de Calidad Ambiental y Descargas de Efluentes: Recurso Agua, ANEXO 1, A.M. 097, LIBRO VI, TULSMA. - Norma Técnica para el Control de Descargas Líquidas (NT002). Código Municipal para el Distrito Metropolitano de Quito. - Métodos Estándar, Edición 23, 2017. Capítulo 1060. Recolección y conservación de muestras, Método estándar para el análisis de agua y aguas residuales. - Norma ISO 5667:2006-01. Calidad del agua. Muestreo. Parte 1: Guía para el diseño de los programas de muestreo y técnicas de muestreo. - Norma ISO 5667:2006-05. Guía sobre muestreo de agua potable de obras de tratamiento y sistemas de distribución por tuberías. - Norma ISO 5667:2006-06. Guía sobre muestreo de ríos y arroyos. - Norma ISO 5667:2006-09. Guía sobre muestreo de aguas marinas. - NTE INEN 1108:2014-01. Agua potable. Requisitos. - NTE INEN 2169:98 Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras. - NTE INEN 2176:98 Agua: Calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo. 					
TIPO DE MUESTRA					
Matriz de la muestra:	Agua de consumo				
Facilidades del sitio de toma de muestra:	Sitio accesible.				
Tipo de descarga:	Frecuencia de la descarga (horas de descarga al día):	Tipo de cuerpo receptor al cual se descarga:	Tipo de tratamiento (físico, químico, biológico):	Tiempo de tratamiento por día (horas):	Días de operación por semana:
N/A	N/A	N/A	Tratamiento Físico (Sedimentación)	24	7
SITIO DE MUESTREO					
Descripción física y observaciones del sitio de toma de muestra					
Se toma la muestra del tercer sub-bloque de cemento estructurado para el tratamiento físico del agua (sedimentación), ubicado al sureste de las oficinas de Metalesa. El caudal proviene de un tunel minero inactivo (Ex-post) y está cerca del sanitario de una vivienda.					
Condiciones meteorológicas (Alto-Medio-Bajo-Ausencia)	Lluvia:	Ausencia	Humedad:	Medio	Viento: Medio

REGISTRO DE TOMA DE MUESTRA DE AGUA SIMPLE



IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA			
Identificación de la muestra:	CAPTACIÓN DE AGUA PARA CONSUMO	Identificación Gruentec:	MTL-2110542-AG001



FOTOGRAFÍAS DE LA TOMA DE MUESTRA

 <p>Fotografía 1. Panorámica del área de toma de muestra</p>	 <p>Fotografía 2. Sitio de toma de muestra</p>
 <p>Fotografía 3. Apariencia de la muestra</p>	 <p>Fotografía 4. Coordenadas geográficas registrada con el GPS</p>

Ing. Isabel Estrella
Gerente de Operaciones



Anexo 2. Resultados de calidad del efluente de la planta de beneficio



LABORATORIO DE ENSAYOS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
INFORME DE ENSAYOS
N° WE-1191-001-22
ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUAS
MONITOREO DE AGUA DEL TANQUE DE RECIRCULACIÓN DE LA PLANTA DE
BENEFICIO METALESA CÓDIGO 100543



IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

MONITOREO DE AGUA DEL TANQUE DE RECIRCULACIÓN DE LA PLANTA DE BENEFICIO METALESA CÓDIGO 100543
Sitio La Fortuna
BLGO. JAVIER ARMIJOS G.
0991196707

Guayaquil, 28 de diciembre del 2022

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Origen de Muestra:	AGUA RESIDUAL	Muestreado por:	ELICROM Cia. Ltda.
Punto de Muestreo ⁹ :	AGUA DE RECIRCULACIÓN	Muestreador:	STEVEN MIGUEL ATIENCIA PAZMIÑO
Coordenadas Geográficas:	651735/9665223	Fecha y Hora de Muestreo:	20/12/22 17:00:00
Tipo de Muestreo ⁹ :	Simple	Condiciones Ambientales del Muestreo:	25.1 °C ; 78.6 %HR
Código de la Muestra:	1191-001-22	Fecha y Hora de Recepción de Muestras:	21/12/22 08:00:00
Norma Técnica de Muestreo:	NTE INEN 2176:2013/2169:2013	Condiciones Ambientales del Análisis:	22.6 °C ; 62.4 %HR
Plan/Procedimiento de Muestreo:	PEE.EL.056	Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:	FO.PEE.020-01 Rev. 12
Referencia del Plan de Muestreo:	NTE-INEN 2169/NTE-INEN 1105/NTE-INEN 2176/ISO 5667-01/ISO 5667-05	Plan de Muestreo específico:	FO.PEE.56-05 Rev. 01

RESULTADOS

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

PARÁMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	$\frac{1}{K=2}$	PROCEDIMIENTO	MÉTODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE ¹⁰	EVALUACIÓN ⁸
COLIFORMES FECALES ¹²	1.40 E+03	---	NMP/100 mL	---	PEE.EL.096	SM 9221 E	2022-07-21 J. ALCIVAR	2000	NO CUMPLE

COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES

PARÁMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	$\frac{1}{K=2}$	PROCEDIMIENTO	MÉTODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE ¹⁰	EVALUACIÓN ⁸
CLOROFORMO ¹³	0.0000	0.0026	mg/L	---	PEE.EL.110	EPA 8260 B/EPA 5030 C	2022-07-19 L. AVECILLAS	0.1	CUMPLE ¹¹
TETRACLORURO DE CARBONO ¹³	0.0000	0.0025	mg/L	---	PEE.EL.110	EPA 8260 B/EPA 5030 C	2022-07-19 L. AVECILLAS	1	CUMPLE ¹¹

CONSTITUYENTES ORGÁNICOS AGREGADOS

PARÁMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	$\frac{1}{K=2}$	PROCEDIMIENTO	MÉTODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE ¹⁰	EVALUACIÓN ⁸
ACEITES Y GRASAS ¹⁴	3.40	6.5	mg/L	0.16	PEE.EL.039	SM 5520 G	2022-07-21 J. ALCIVAR	30	CUMPLE ¹¹
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO ¹⁷	17.40	0.37	mg/L	2.69	PEE.EL.030	SM 5210 B	2022-07-21 J. ALCIVAR	100	CUMPLE ¹¹
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO ¹⁷	39	4	mg/L	9	PEE.EL.026	SM 5220 D	2022-07-21 J. ALCIVAR	200	CUMPLE ¹¹
FENOLES ¹⁴	0.000	0.031	mg/L	---	PEE.EL.049	SM 5530 C	2022-07-21 J. ALCIVAR	0.2	CUMPLE ¹¹
HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO ¹⁵	0.000	0.286	mg/L	---	PEE.EL.034	EPA 8015 D	2022-07-21 M. MARTINEZ	20	CUMPLE ¹¹
TENSOACTIVOS ¹⁷	0.653	0.009	mg/L	0.019	PEE.EL.050	SM 5540 C	2022-07-21 J. ALCIVAR	0.5	NO CUMPLE ¹¹

INORGÁNICOS NO METÁLICOS

PARÁMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	$\frac{1}{K=2}$	PROCEDIMIENTO	MÉTODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE ¹⁰	EVALUACIÓN ⁸
BORO ¹⁶	0.4	0.2	mg/L	0.03	PEE.EL.080	HACH 8015	2022-07-21 J. ALCIVAR	2	CUMPLE ¹¹
CIANURO ¹⁷	0.000	0.017	mg/L	---	PEE.EL.041	SM 4500-CN-C Y E	2022-07-21 J. ALCIVAR	0.1	CUMPLE ¹¹
CLORO LIBRE ¹⁸	0.02	0.02	mg/L	0.001	PEE.EL.044	SM 4500 Cl G	2022-07-21 S. ATIENCIA	0.5	CUMPLE ¹¹
CLORUROS ¹⁴	300	3.5	mg/L	8	PEE.EL.043	SM 4500 Cl B	2022-07-21 J. ALCIVAR	1000	CUMPLE ¹¹
FLUORUROS ¹⁷	0	0.12	mg/L	---	PEE.EL.091	HACH 8029	2022-07-21 J. ALCIVAR	5	CUMPLE ¹¹
FOSFORO TOTAL ¹⁴	2.28	0.27	mg/L	0.84	PEE.EL.045	SM 4500-P	2022-07-21 J. ALCIVAR	10	CUMPLE ¹¹
NITRÓGENO AMONIACAL ¹⁹	4.57	0.02	mg/L	0.32	PEE.EL.092	SM 4500 NH3-B y C	2022-07-21 J. ALCIVAR	30	CUMPLE ¹¹
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL ¹⁴	0	3.15	mg/L	---	PEE.EL.093	SM 4500 N	2022-07-21 J. ALCIVAR	50	CUMPLE ¹¹

Los resultados de este informe solo son aplicables a las muestras analizadas. Este informe no podrá reproducirse excepto en su totalidad sin la aprobación escrita de ELICROM.
FO.PEE.020-02 Rev. 18 Dirección: Cda Guayaquil Mz 21 Calle Tera Solar 10 Frente al Mall del Sol. Pbx:042282007,
N° WE-1191-001-22 Cel:0982932691,0982931606; dvega@elicrom.com GUAYAQUIL - ECUADOR



LABORATORIO DE ENSAYOS FISICOS-QUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
INFORME DE ENSAYOS
N° WE-1191-001-22
ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUAS
MONITOREO DE AGUA DEL TANQUE DE RECIRCULACIÓN DE LA PLANTA DE
BENEFICIO METALESA CÓDIGO 100543



IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

MONITOREO DE AGUA DEL TANQUE DE RECIRCULACIÓN DE LA PLANTA DE BENEFICIO METALESA CÓDIGO 100543
Sitio La Fortuna
BLGO. JAVIER ARMIJOS G.
0991196707

Guayaquil, 28 de diciembre del 2022

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Origen de Muestra:	AGUA RESIDUAL	Muestreado por:	ELICROM Cia. Ltda.
Punto de Muestreo ⁹ :	AGUA DE RECIRCULACIÓN	Muestreador:	STEVEN MIGUEL ATIENCIA PAZMIÑO
Coordenadas Geográficas:	651735/9665223	Fecha y Hora de Muestreo:	20/12/22 17:00:00
Tipo de Muestreo ⁹ :	Simple	Condiciones Ambientales del Muestreo:	25.1 °C ; 78.6 %HR
Código de la Muestra:	1191-001-22	Fecha y Hora de Recepción de Muestras:	21/12/22 08:00:00
Norma Técnica de Muestreo:	NTE INEN 2176:2013/2169:2013	Condiciones Ambientales del Análisis:	22.6 °C ; 62.4 %HR
Plan/Procedimiento de Muestreo:	PEE.EL.056	Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:	FO.PEE.020-01 Rev. 12
Referencia del Plan de Muestreo:	NTE-INEN 2169/NTE-INEN 1105/NTE-INEN 2176/ISO 5667-01/ISO 5667-05	Plan de Muestreo específico:	FO.PEE.56-05 Rev. 01

RESULTADOS

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

PARÁMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U K=2	PROCEDIMIENTO	MÉTODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE ¹⁰	EVALUACIÓN ⁸
COULIFORMES FECALES ¹²	1.40 E+03	---	NMP/100 mL	----	PEE.EL.096	SM 9221 E	2022-07-21 J. ALCIVAR	2000	NO CUMPLE

COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES

PARÁMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U K=2	PROCEDIMIENTO	MÉTODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE ¹⁰	EVALUACIÓN ⁸
CLOROFORMO ²³	0.0000	0.0026	mg/L	---	PEE.EL.110	EPA 8260 B/EPA 5030 C	2022-07-19 L. AVECILLAS	0.1	CUMPLE ¹¹
TETRACLORURO DE CARBONO ²³	0.0000	0.0025	mg/L	---	PEE.EL.110	EPA 8260 B/EPA 5030 C	2022-07-19 L. AVECILLAS	1	CUMPLE ¹¹

CONSTITUYENTES ORGÁNICOS AGREGADOS

PARÁMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U K=2	PROCEDIMIENTO	MÉTODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE ¹⁰	EVALUACIÓN ⁸
ACEITES Y GRASAS ¹⁴	3.40	6.5	mg/L	0.16	PEE.EL.039	SM 5520 G	2022-07-21 J. ALCIVAR	30	CUMPLE ¹¹
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO ¹⁷	17.40	0.37	mg/L	2.69	PEE.EL.030	SM 5210 B	2022-07-21 J. ALCIVAR	100	CUMPLE ¹¹
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO ¹⁷	39	4	mg/L	9	PEE.EL.026	SM 5220 D	2022-07-21 J. ALCIVAR	200	CUMPLE ¹¹
FENOLES ¹⁴	0.000	0.031	mg/L	---	PEE.EL.049	SM 5530 C	2022-07-21 J. ALCIVAR	0.2	CUMPLE ¹¹
HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO ¹⁴	0.000	0.286	mg/L	---	PEE.EL.034	EPA 8015 D	2022-07-21 M. MARTINEZ	20	CUMPLE ¹¹
TENSOACTIVOS ¹⁴	0.653	0.009	mg/L	0.019	PEE.EL.050	SM 5540 C	2022-07-21 J. ALCIVAR	0.5	NO CUMPLE ¹¹

INORGÁNICOS NO METÁLICOS

PARÁMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U K=2	PROCEDIMIENTO	MÉTODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE ¹⁰	EVALUACIÓN ⁸
BORO ¹⁵	0.4	0.2	mg/L	0.03	PEE.EL.080	HACH 8015	2022-07-21 J. ALCIVAR	2	CUMPLE ¹¹
CIANURO ¹⁷	0.000	0.017	mg/L	---	PEE.EL.041	SM 4500-CN- C Y E	2022-07-21 J. ALCIVAR	0.1	CUMPLE ¹¹
CLORO LIBRE ¹⁵	0.02	0.02	mg/L	0.001	PEE.EL.044	SM 4500 Cl G	2022-07-21 S. ATIENCIA	0.5	CUMPLE ¹¹
CLORUROS ¹⁵	300	3.5	mg/L	8	PEE.EL.043	SM 4500 Cl B	2022-07-21 J. ALCIVAR	1000	CUMPLE ¹¹
FLUORUROS ¹⁵	0	0.12	mg/L	---	PEE.EL.091	HACH 8029	2022-07-21 J. ALCIVAR	5	CUMPLE ¹¹
FOSFORO TOTAL ¹⁴	2.28	0.27	mg/L	0.84	PEE.EL.045	SM 4500-P	2022-07-21 J. ALCIVAR	10	CUMPLE ¹¹
NITRÓGENO AMONICAL ¹⁵	4.57	0.02	mg/L	0.32	PEE.EL.092	SM 4500 NH3-B y C	2022-07-21 J. ALCIVAR	30	CUMPLE ¹¹
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL ¹⁵	0	3.15	mg/L	---	PEE.EL.093	SM 4500 N	2022-07-21 J. ALCIVAR	50	CUMPLE ¹¹

Los resultados de este informe solo son aplicables a las muestras analizadas. Este informe no podrá reproducirse excepto en su totalidad sin la aprobación escrita de ELICROM.
FO.PEE.020-02 Rev. 18 Dirección: Cdla Guayaquil Mz 21 Calle Tera Solar 10 Frente al Mall del Sol. Pbx:042282007;
N° WE-1191-001-22 Cel:0982932691,0982931606; dvega@elicrom.com GUAYAQUIL - ECUADOR

Página 1 de 6



LABORATORIO DE ENSAYOS FISICOS-QUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
INFORME DE ENSAYOS
N° WE-1191-001-22
ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUAS
MONITOREO DE AGUA DEL TANQUE DE RECIRCULACIÓN DE LA PLANTA DE
BENEFICIO METALESA CÓDIGO 100543



IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

MONITOREO DE AGUA DEL TANQUE DE RECIRCULACIÓN DE LA PLANTA DE BENEFICIO METALESA CÓDIGO 100543
Sitio La Fortuna
BLGO. JAVIER ARMIJOS G.
0991196707

Guayaquil, 28 de diciembre del 2022

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Origen de Muestra:	AGUA RESIDUAL	Muestreado por:	ELICROM Cia. Ltda.
Punto de Muestreo ⁸ :	AGUA DE RECIRCULACIÓN	Muestreador:	STEVEN MIGUEL ATIENCIA PAZMIÑO
Coordenadas Geográficas:	651735/9665223	Fecha y Hora de Muestreo:	20/12/22 17:00:00
Tipo de Muestreo ⁹ :	Simple	Condiciones Ambientales del Muestreo:	25.1 °C ; 78.6 %HR
Código de la Muestra:	1191-001-22	Fecha y Hora de Recepción de Muestras:	21/12/22 08:00:00
Norma Técnica de Muestreo:	NTE INEN 2176:2013/2169:2013	Condiciones Ambientales del Análisis:	22.6 °C ; 62.4 %HR
Plan/Procedimiento de Muestreo:	PEE.EL.056	Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:	FO.PEE.020-01 Rev. 12
Referencia del Plan de Muestreo:	NTE-INEN 2169/NTE-INEN 1105/NTE-INEN 2176/ISO 5667-01/ISO 5667-05	Plan de Muestreo específico:	FO.PEE.56-05 Rev. 01

INORGANICOS NO METALICOS

PARÁMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	¹ U K=2	PROCEDIMIENTO	MÉTODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE ¹⁰	EVALUACIÓN ⁸
pH ^{2,4}	6.96	4.01	U pH	0.12	PEE.EL.021	SM 4500 H+B	2022-07-20 S. ATIENCIA	6.9	CUMPLE ¹¹
SULFATOS ¹¹	69	2	mg/L	3.23	PEE.EL.038	SM 4500 SO42-	2022-07-21 J. ALCIVAR	1000	CUMPLE ¹¹
SULFUROS ¹²	0.09	0.00001	mg/L	0.003	PEE.EL.065	SM 4500-S2	2022-07-21 J. ALCIVAR	0.5	CUMPLE ¹¹

METALES

PARÁMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	¹ U K=2	PROCEDIMIENTO	MÉTODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE ¹⁰	EVALUACIÓN ⁸
ALUMINIO ¹³	0.3964	0.0747	mg/L	0.0231	PEE.EL.071	SM 3113 B	2022-07-19 L. AVECILLAS	5	CUMPLE ¹¹
ARSENICO ¹⁴	0.3351	0.0473	mg/L	0.0211	PEE.EL.071	SM 3113 B	2022-07-19 L. AVECILLAS	0.1	NO CUMPLE ¹¹
BARIO ¹⁵	0.0526	0.0723	mg/L	---	PEE.EL.071	SM 3113 B	2022-07-19 L. AVECILLAS	2	CUMPLE ¹¹
CADMIO ¹⁶	0.00	0.86	mg/L	---	PEE.EL.035	SM 3111 B	2022-07-19 L. AVECILLAS	0.02	CUMPLE ¹¹
COBALTO ¹⁷	0.09	0.42	mg/L	---	PEE.EL.035	SM 3111 B	2022-07-19 L. AVECILLAS	0.5	CUMPLE ¹¹
COBRE ¹⁸	0.02	1.51	mg/L	---	PEE.EL.035	SM 3111 B	2022-07-19 L. AVECILLAS	1	CUMPLE ¹¹
CROMO HEXAVALENTE ¹⁹	0.005	0.006	mg Cr6+/L	---	PEE.EL.037	SM 3500 Cr-B	2022-07-21 J. ALCIVAR	0.5	CUMPLE ¹¹
ESTAÑO ²	0.0314	0.0274	mg/L	0.0015	PEE.EL.071	SM 3113 B	2022-07-19 L. AVECILLAS	5	CUMPLE ¹¹
HIERRO ⁴	1.59	1.70	mg/L	---	PEE.EL.035	SM 3111 B	2022-07-19 L. AVECILLAS	10	CUMPLE ¹¹
MANGANESO ¹²	0.14	0.07	mg/L	0.01	PEE.EL.035	SM 3111 B	2022-07-19 L. AVECILLAS	2	CUMPLE ¹¹
MERCURIO ²²	0.0000	0.0003	mg/L	---	PEE.EL.102	EPA 7470 A SM 3112 B	2022-07-19 L. AVECILLAS	0.005	CUMPLE ¹¹
NIQUEL ²⁵	0.00	2.46	mg/L	---	PEE.EL.035	SM 3111 B	2022-07-19 L. AVECILLAS	2	CUMPLE ¹¹
PLATA ²⁴	0.00	0.49	mg/L	---	PEE.EL.035	SM 3111 B	2022-07-19 L. AVECILLAS	0.1	CUMPLE ¹¹
PLOMO ¹⁷	0.0678	0.0299	mg/L	0.0025	PEE.EL.071	SM 3113 B	2022-07-19 L. AVECILLAS	0.2	CUMPLE ¹¹
SELENIO ²³	0.0065	0.0496	mg/L	---	PEE.EL.071	SM 3113 B	2022-07-19 L. AVECILLAS	0.1	CUMPLE ¹¹
ZINC ²⁴	0.09	0.19	mg/L	---	PEE.EL.035	SM 3111 B	2022-07-19 L. AVECILLAS	5	CUMPLE ¹¹

PESTICIDAS ORGANOCOLORADOS

PARÁMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	¹ U K=2	PROCEDIMIENTO	MÉTODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE ¹⁰	EVALUACIÓN ⁸
4,4 DDT ²¹	0.003884	0.000118	mg/L	0.000112	PEE.EL.081	EPA 3510 C EPA 8081 B	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---
4,4-DDD ²³	0.000000	0.000112	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C EPA 8081 B	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---

Los resultados de este informe solo son aplicables a las muestras analizadas. Este informe no podrá reproducirse excepto en su totalidad sin la aprobación escrita de ELICROM.
FO.PEE.020-02 Rev. 18 Dirección: Cdla Guayaquil Mz 21 Calle 1era Solar 10 Frente al Mall del Sol. Pbx:042282007;
N° WE-1191-001-22 Cel:0982932691,0982931606; dvega@elicrom.com GUAYAQUIL - ECUADOR



LABORATORIO DE ENSAYOS FISICOS-QUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
INFORME DE ENSAYOS
N° WE-1191-001-22
ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUAS
MONITOREO DE AGUA DEL TANQUE DE RECIRCULACIÓN DE LA PLANTA DE
BENEFICIO METALESA CÓDIGO 100543



IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

MONITOREO DE AGUA DEL TANQUE DE RECIRCULACIÓN DE LA PLANTA DE BENEFICIO METALESA CÓDIGO 100543
Sitio La Fortuna
BLGO. JAVIER ARMIJOS G.
0991196707

Guayaquil, 28 de diciembre del 2022

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Origen de Muestra:	AGUA RESIDUAL	Muestreado por:	ELICROM Cia. Ltda.
Punto de Muestreo ⁹ :	AGUA DE RECIRCULACIÓN	Muestreador:	STEVEN MIGUEL ATIENCIA PAZMIÑO
Coordenadas Geográficas:	651735/9665223	Fecha y Hora de Muestreo:	20/12/22 17:00:00
Tipo de Muestreo ⁹ :	Simple	Condiciones Ambientales del Muestreo:	25.1 °C ; 78.6 %HR
Código de la Muestra:	1191-001-22	Fecha y Hora de Recepción de Muestras:	21/12/22 08:00:00
Norma Técnica de Muestreo:	NTE INEN 2176:2013/2169:2013	Condiciones Ambientales del Análisis:	22.6 °C ; 62.4 %HR
Plan/Procedimiento de Muestreo:	PEE.EL.056	Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:	FO.PEE.020-01 Rev. 12
Referencia del Plan de Muestreo:	NTE-INEN 2169/NTE-INEN 1105/NTE-INEN 2176/ISO 5667-01/ISO 5667-05	Plan de Muestreo específico:	FO.PEE.56-05 Rev. 01

PESTICIDAS ORGANOCLOROADOS

PARÁMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U K=2	PROCEDIMIENTO	MÉTODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE ¹⁰	EVALUACIÓN ⁸
4,4-DDE ²³	0.000000	0.000117	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8081 B	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---
ALDRIN ²³	0.000000	0.000118	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8081 B	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---
ALFA BHC ²³	0.000000	0.000101	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8081 B	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---
ALFA ENDOSULFÁN ²³	0.000000	0.000112	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8081 B	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---
BETA BHC ²³	0.000000	0.000118	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8081 B	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---
BETA ENDOSULFÁN ²³	0.000000	0.000115	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8081 B	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---
DELTA BHC ²³	0.000044	0.000108	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8081 B	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---
DIELDRIN ²³	0.000000	0.000117	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8081 B	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---
ENDOSULFÁN SULFATO ²³	0.000000	0.000118	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8081 B	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---
ENDRIN ²³	0.000000	0.000118	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8081 B	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---
ENDRIN ALDEHÍDO ²³	0.000000	0.000115	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8081 B	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---
GAMMA BHC (LINDANO) ²³	0.000072	0.000111	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8081 B	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---
HEPTACLORO ²³	0.000000	0.000114	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8081 B	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---
HEPTACLORO EPÓXIDO ^{10,8}	0.000000	0.000116	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8081 B	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---
PESTICIDAS ORGANOCLOROADOS TOTALES ¹⁰	0.004000	0.105	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8081 B	2022-07-21 M. MARTINEZ	0.05	CUMPLE ¹¹

PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS

PARÁMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U K=2	PROCEDIMIENTO	MÉTODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE ¹⁰	EVALUACIÓN ⁸
AZINFOS METIL (GUTION) ²³	0.000000	---	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8270 E	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---
CLORPIRIFOS (DURSBAN) ²³	0.000000	---	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8270 E	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---
DICLORVOS ²³	0.000000	---	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8270 E	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---
DISULFOTON ²³	0.000000	---	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8270 E	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---
ETOPROFOS (MOCAP) ²³	0.000000	---	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8270 E	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---
METIL PARATIÓN ²³	0.000000	---	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8270 E	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---
PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS TOTALES ¹⁰	0.000000	---	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8270 E	2022-07-21 M. MARTINEZ	0.1	CUMPLE ¹¹
PROTIOFOS(TOKUTION) ²³	0.000000	---	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8270 E	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---

Los resultados de este informe solo son aplicables a las muestras analizadas. Este informe no podrá reproducirse excepto en su totalidad sin la aprobación escrita de ELICROM.
FO.PEE.020-02 Rev. 18 Dirección: Cda Guayaquil Mz 21 Calle 1era Solar 10 Frente al Mall del Sol. Pbx:042282007;
N° WE-1191-001-22 Cel:0982932691,0982931606; dvega@elicrom.com GUAYAQUIL - ECUADOR



LABORATORIO DE ENSAYOS FISICOS-QUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
INFORME DE ENSAYOS
N° WE-1191-001-22
ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUAS
MONITOREO DE AGUA DEL TANQUE DE RECIRCULACIÓN DE LA PLANTA DE
BENEFICIO METALESA CÓDIGO 100543



IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

MONITOREO DE AGUA DEL TANQUE DE RECIRCULACIÓN DE LA PLANTA DE BENEFICIO METALESA CÓDIGO 100543
Sitio La Fortuna
BLGO. JAVIER ARMIJOS G.
0991196707

Guayaquil, 28 de diciembre del 2022

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Origen de Muestra:	AGUA RESIDUAL	Muestreado por:	ELICROM Cia. Ltda.
Punto de Muestreo ⁹ :	AGUA DE RECIRCULACIÓN	Muestreador:	STEVEN MIGUEL ATIENCIA PAZMIÑO
Coordenadas Geográficas:	651735/9665223	Fecha y Hora de Muestreo:	20/12/22 17:00:00
Tipo de Muestreo ⁹ :	Simple	Condiciones Ambientales del Muestreo:	25.1 °C ; 78.6 %HR
Código de la Muestra:	1191-001-22	Fecha y Hora de Recepción de Muestras:	21/12/22 08:00:00
Norma Técnica de Muestreo:	NTE INEN 2176:2013/2169:2013	Condiciones Ambientales del Análisis:	22.6 °C ; 62.4 %HR
Plan/Procedimiento de Muestreo:	PEE.EL.056	Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:	FO.PEE.020-01 Rev. 12
Referencia del Plan de Muestreo:	NTE-INEN 2169/NTE-INEN 1105/NTE-INEN 2176/ISO 5667-01/ISO 5667-05	Plan de Muestreo específico:	FO.PEE.56-05 Rev. 01

PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS

PARÁMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U K=2	PROCEDIMIENTO	MÉTODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE ¹⁰	EVALUACIÓN ⁸
RONNEL (FENCLORFOS) ¹²	0.000000	---	mg/L	---	PEE.EL.081	EPA 3510 C/EPA 8270 E	2022-07-21 M. MARTINEZ	---	---

PROPIEDADES FÍSICAS Y AGREGADAS

PARÁMETROS	RESULTADOS	LC	UNIDADES	U K=2	PROCEDIMIENTO	MÉTODO	ANALIZADO	LÍMITE PERMISIBLE ¹⁰	EVALUACIÓN ⁸
COLOR VERDADERO ¹³	8	6	Pt-Co	1	PEE.EL.033	SM 2120 C	2022-07-21 J. ALCIVAR	Inapreciable en dilución: 1/20	CUMPLE
MATERIAL FLOTANTE ^{13*}	0	---	---	---	PEE.EL.105	SM 2530 B	2022-07-21 S. ATIENCIA	Ausencia	CUMPLE
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES ¹²	39	11	mg/L	6	PEE.EL.027	SM 2540 D	2022-07-21 J. ALCIVAR	130	CUMPLE ¹¹
SÓLIDOS TOTALES ¹²	364	7	mg/L	39	PEE.EL.028	SM 2540 B	2022-07-21 J. ALCIVAR	1600	CUMPLE ¹¹
TEMPERATURA ^{13*}	22.3	-9.7	°C	0.17	PEE.EL.022	SM 2550 B	2022-07-20 S. ATIENCIA	Condición Natural .33	CUMPLE

1. Parámetros que se encuentran incluidos en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE
 2. Parámetros que se encuentran incluidos en el alcance de acreditación ISO 17025 por el A2LA
 3. Parámetros que no están incluidos en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE
 4. Parámetros que no están incluidos en el alcance de acreditación ISO 17025 por el A2LA
 5. Parámetros acreditados cuyo resultado está fuera del alcance de acreditación del SAE
 6. Parámetros cuyo resultado corresponde al análisis realizado por el laboratorio acreditado subcontratado
 7. Las opiniones e interpretaciones se encuentran fuera del alcance del SAE y A2LA
 8. Ensayo realizado en las instalaciones del cliente
 9. Información proporcionada por el cliente. ELICROM no es responsable de dicha información
- a. Parámetro acreditado en muestreo.

10 TABLA 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

NORMATIVA

Acuerdo Ministerial N°097 A Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua

---	No Aplica	U	Incertidumbre	LC	Límite de Cuantificación del método
LD	Límite de Detección	N/D	No Detectado	SM	Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 23rd Ed.

DESVIACIONES DEL PROCEDIMIENTO

No se presentó ninguna desviación del procedimiento durante el muestreo y el análisis.



LABORATORIO DE ENSAYOS FISICOS-QUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
INFORME DE ENSAYOS
N° WE-1191-001-22
ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUAS
MONITOREO DE AGUA DEL TANQUE DE RECIRCULACIÓN DE LA PLANTA DE
BENEFICIO METALESA CÓDIGO 100543



IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

MONITOREO DE AGUA DEL TANQUE DE RECIRCULACIÓN DE LA PLANTA DE BENEFICIO METALESA CÓDIGO 100543
Sitio La Fortuna
BLGO. JAVIER ARMIJOS G.
0991196707

Guayaquil, 28 de diciembre del 2022

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Origen de Muestra:	AGUA RESIDUAL	Muestreado por:	ELICROM Cia. Ltda.
Punto de Muestreo ⁹ :	AGUA DE RECIRCULACIÓN	Muestreador:	STEVEN MIGUEL ATIENCIA PAZMIÑO
Coordenadas Geográficas:	651735/9665223	Fecha y Hora de Muestreo:	20/12/22 17:00:00
Tipo de Muestreo ⁹ :	Simple	Condiciones Ambientales del Muestreo:	25.1 °C ; 78.6 %HR
Código de la Muestra:	1191-001-22	Fecha y Hora de Recepción de Muestras:	21/12/22 08:00:00
Norma Técnica de Muestreo:	NTE INEN 2176:2013/2169:2013	Condiciones Ambientales del Análisis:	22.6 °C ; 62.4 %HR
Plan/Procedimiento de Muestreo:	PEE.EL.056	Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:	FO.PEE.020-01 Rev. 12
Referencia del Plan de Muestreo:	NTE-INEN 2169/NTE-INEN 1105/NTE-INEN 2176/ISO 5667-01/ISO 5667-05	Plan de Muestreo específico:	FO.PEE.56-05 Rev. 01

OBSERVACIONES

*Las incertidumbres reportadas en el presente informe es la incertidumbre expandida de medición (Intervalos de Confianza), la cual se evaluó bajo los principios de la GUM y la guía EURACHEM, multiplicando la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura k (k=2) a un nivel de confianza del 95 %, considerando las fuentes de incertidumbre del análisis y el muestreo. Las aportaciones del muestreo son evaluadas bajo el modelo empírico de duplicados que responde a un diseño balanceado siendo la única contribución del muestreo al ensayo el estudio de la PRECISIÓN. Que se obtiene a partir de:

$$u = S_{\text{medición}} = \sqrt{S_{\text{muestreo}}^2 + S_{\text{análisis}}^2} \quad \therefore \quad U = u \cdot k$$

DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD

Regla de decisión (Aceptación Simple):

11. Regla de decisión con límite superior:

Regla de Decisión basada en la Aceptación Simple: El ítem de ensayo se acepta como conforme si el resultado + la incertidumbre expandida de medición es menor o igual al límite superior permitido.

12. Regla de decisión por intervalo:

Regla de Decisión basada en la Aceptación Simple: El ítem de ensayo se acepta como conforme si el resultado \pm la incertidumbre expandida de medición se encuentra en el intervalo de medición requerido.

Los LMP se encuentran estipulados en el el Anexo 1 (Tabla 9) del Acuerdo Ministerial N°097

De acuerdo a los resultados reportados en este informe, la evaluación de conformidad se describe en la tabla de resultados identificado con el símbolo de numeral.



unl

Universidad Nacional de Loja

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

MAESTRÍA EN MINAS



LABORATORIO DE ENSAYOS FISICOS-QUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
INFORME DE ENSAYOS
N° WE-1191-001-22
ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUAS
MONITOREO DE AGUA DEL TANQUE DE RECIRCULACIÓN DE LA PLANTA DE BENEFICIO METALESA CÓDIGO 100543



IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

MONITOREO DE AGUA DEL TANQUE DE RECIRCULACIÓN DE LA PLANTA DE BENEFICIO METALESA CÓDIGO 100543
Sitio La Fortuna
BLGO. JAVIER ARMIJOS G.
0991196707

Guayaquil, 28 de diciembre del 2022

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Origen de Muestra:	AGUA RESIDUAL	Muestreado por:	ELICROM Cia. Ltda.
Punto de Muestreo ⁹ :	AGUA DE RECIRCULACIÓN	Muestreador:	STEVEN MIGUEL ATIENCIA PAZMIÑO
Coordenadas Geográficas:	651735/9665223	Fecha y Hora de Muestreo:	20/12/22 17:00:00
Tipo de Muestreo ⁹ :	Simple	Condiciones Ambientales del Muestreo:	25.1 °C ; 78.6 %HR
Código de la Muestra:	1191-001-22	Fecha y Hora de Recepción de Muestras:	21/12/22 08:00:00
Norma Técnica de Muestreo:	NTE INEN 2176:2013/2169:2013	Condiciones Ambientales del Análisis:	22.6 °C ; 62.4 %HR
Plan/Procedimiento de Muestreo:	PEE.EL.056	Acta de Toma de muestra/Cadena de Custodia:	FO.PEE.020-01 Rev. 12
Referencia del Plan de Muestreo:	NTE-INEN 2169/NTE-INEN 1105/NTE-INEN 2176/ISO 5667-01/ISO 5667-05	Plan de Muestreo específico:	FO.PEE.56-05 Rev. 01

REGISTROS FOTOGRAFICOS



Autenticación de certificado

Autorizado y firmado electronicamente por:

Dolores Vega Velasco

Gerente de Laboratorio de Análisis



Firma electrónica

Los resultados de este informe solo son aplicables a las muestras analizadas. Este informe no podrá reproducirse excepto en su totalidad sin la aprobación escrita de ELICROM.
FO.PEE.020-02 Rev. 18 Dirección: Cda Guayaquil Mz 21 Calle 1era Solar 10 Frente al Mall del Sol. Pbx:042282007;
N° WE-1191-001-22 Cel:0982932691,0982931606; dvega@elicrom.com GUAYAQUIL - ECUADOR

Página 6 de 6

Anexo 3. Resultados de ensayos de concentración de As de los procesos experimentados

	REPORTE DE RESULTADOS QUÍMICOS	Código: SGCUDAL-F-004 Versión: 2 Fecha: 2012/10/11
---	---	--

ORDEN No.: 550	FECHA RECEPCIÓN: 13/04/2023	FECHA DE ENTREGA: 19/04/2023
CODIGO LAB: 550 Q	CLIENTE: ing. Fernando Valencia	DIRECCIÓN: N/A
RUC/CEDULA:	MUESTRA: Agua	CANTIDAD: 100 mL
CONDICION DE LA MUESTRA: #T ambiente	MUESTREADO POR: cliente	ANALISIS SOLICITADO: Arsénico

RESULTADOS

Muestra	Análisis	Unidades	Método	Resultado	Límites de Detección	Requisito
M1000	Arsénico	ppm	Absorción atómica	1.870	0.542	N/A
Mt3	Arsénico	ppm	Absorción atómica	1.405	0.542	N/A
Mt6	Arsénico	ppm	Absorción atómica	1.310	0.542	N/A
Mt9	Arsénico	ppm	Absorción atómica	1.030	0.542	N/A
Mt12	Arsénico	ppm	Absorción atómica	0.939	0.542	N/A
M1000B	Arsénico	ppm	Absorción atómica	1.870	0.542	N/A
Mt3B	Arsénico	ppm	Absorción atómica	1.715	0.542	N/A
Mt6B	Arsénico	ppm	Absorción atómica	1.560	0.542	N/A
Mt9B	Arsénico	ppm	Absorción atómica	1.560	0.542	N/A
Mt12B	Arsénico	ppm	Absorción atómica	1.405	0.542	N/A
MCE	Arsénico	ppm	Absorción atómica	1.250	0.542	N/A
MFLO	Arsénico	ppm	Absorción atómica	1.094	0.542	N/A

OBSERVACIONES:

N/A: No Aplica



Técnico Responsable



Coordinadora Laboratorio

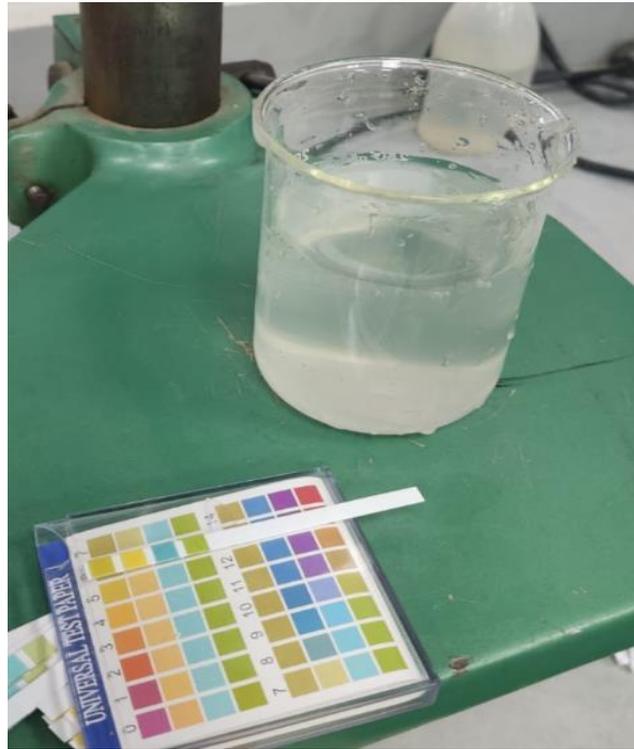
Los resultados son válidos para la muestra analizada. No se pueden reproducir sin la previa autorización de UDA LABORATORIOS. El laboratorio mantendrá la confidencialidad de los resultados.

Calle Hernán Malo y Av. 24 de Mayo. Edificio de la Facultad de Ciencia y Tecnología. Teléf.: 072881333 ext 441 o 420 labudadireccion@uazuay.edu.ec

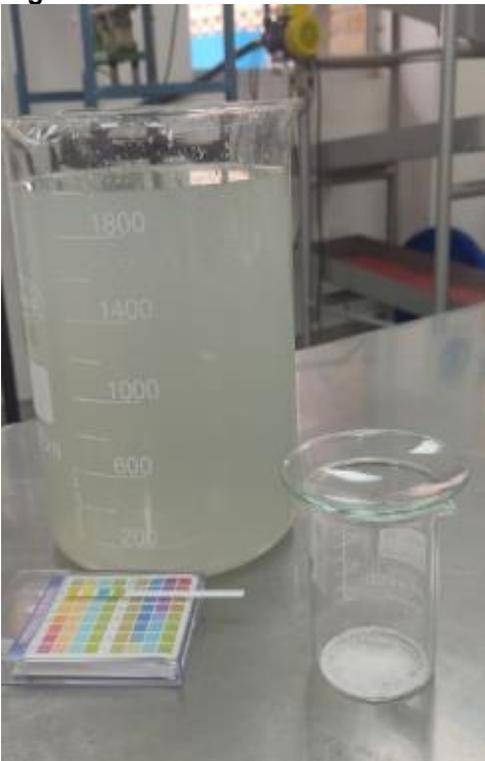
Anexo 4. Registro fotográfico de experimentos realizados



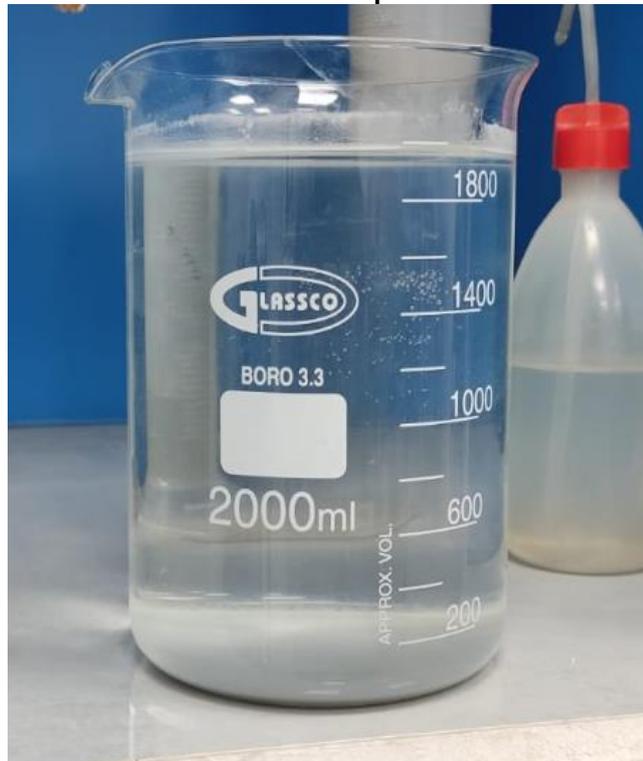
Agitación de efluente con floculante



Control de pH



Adición de floculante y control de pH



Efluente y floculos sedimentados



Columna de filtración utilizada



Detalle de flóculos sedimentados



Carbón activado utilizado en los filtros

Anexo 5. Certificado de traducción del resumen



Mg. Yanina Quizhpe Espinoza
Licenciada en Ciencias de Educación mención Inglés
Magister en Traducción y mediación cultural

Celular: 0989805087
Email: yaniques@icloud.com
Loja, Ecuador 110104

Loja, 7 de mayo de 2023

Yo, Lic. Yanina Quizhpe Espinoza, con cédula de identidad 1104337553, docente del Instituto de Idiomas de la Universidad Nacional de Loja, y certificada como traductora e interprete en la Senescyt y en el Ministerio de trabajo del Ecuador con registro MDT-3104-CCL-252640, certifico:

Que tengo el conocimiento y dominio de los idiomas español e inglés y que la traducción del resumen de trabajo de titulación **Tratamiento de efluentes generados en el proceso metalúrgico de flotación de la planta de beneficio METALESA, Parroquia Ponce Enríquez, Cantón Ponce Enríquez, Provincia Azuay, Ecuador**, cuya autoría del Señor ingeniero René Fabián Cuesta, con cédula 1103043604, es verdadero y correcto a mi mejor saber y entender.

Atentamente

YANINA BELEN QUIZHPE ESPINOZA
Firmado digitalmente por
YANINA BELEN
QUIZHPE
ESPINOZA
Fecha: 2023.05.07
09:27:04 -05'00'

Yanina Quizhpe Espinoza.

Traductora