



FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS

TRATAMIENTO DE AGUAS DE DRENAJE DE MINA MEDIANTE
BIOCOAGULACIÓN CON *Caesalpinia spinosa* (GUARANGO)

AUTOR

STEPHANIE MICHELLE GUZMÁN ANDRADE

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

TRATAMIENTO DE AGUAS DE DRENAJE DE MINA MEDIANTE
BIOCOAGULACIÓN CON *Caesalpinia spinosa* (GUARANGO)

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos
para optar por el título de Ingeniera Ambiental en Prevención y Remediación

Profesor Guía

MSc. Viviana Pavlova Sigcha Terán.

Autor

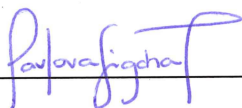
Stephanie Michelle Guzmán Andrade

Año

2020

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

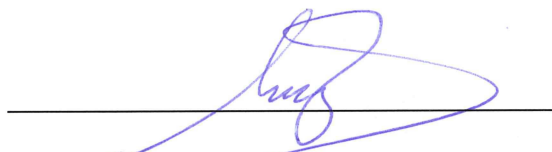
Declaro haber dirigido el trabajo, Tratamiento de aguas de drenaje de mina mediante biocoagulación con *Caesalpinia spinosa* (Guarango), a través de reuniones periódicas con la estudiante Stephanie Michelle Guzmán Andrade, en el semestre 202010, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.



Viviana Pavlova Sigcha Terán
Máster en Gestión Integral del Agua
CI: 172221616-3

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

Declaro haber revisado este trabajo, Tratamiento de aguas de drenaje de mina mediante biocoagulación con *Caesalpinia spinosa* (Guarango), de Stephanie Michelle Guzmán Andrade, en el semestre 202010, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

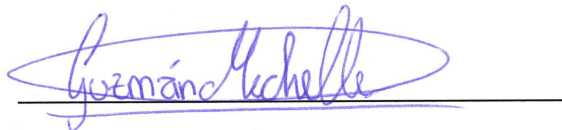


Miguel Ángel Gualoto Oñate
Máster of Science en Biología

CI: 170742935-1

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes



Stephanie Michelle Guzmán Andrade

CI: 175145944-5

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la sabiduría para completar mi carrera. A mi tutora Pavlova Sigcha por su apoyo inmenso y su amistad en cada etapa de la titulación. Así mismo, a mi corrector Miguel Gualoto, por brindarme una mayor perspectiva científica, la cual siempre llevare en mi vida profesional, y a todos los docentes que conforman la carrera de Ingeniería Ambiental, por fomentar profesionales íntegros.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, por su amor y sacrificio, no podrían existir mejores seres humanos. Madre, gracias por hacerme fuerte. Padre, gracias por hacerme perseverante. También, al gran amor de mi vida, por su apoyo en cada proceso que hemos vivido, y sus valiosos conocimientos científicos que supieron guiarme y finalmente a mis amigos (S.V; A.M; L.R).

RESUMEN

Para el presente estudio, se seleccionó al Guarango (*Caesalpinia spinosa*), especie vegetal ampliamente distribuida a nivel regional, con una elevada capacidad de adaptación a medios hostiles. La *Caesalpinia spinosa*, contiene hasta un 60% de taninos hidrolizables, que pueden ser empleados para la generación de biocoagulantes, usados en el tratamiento de aguas residuales. Los biocoagulantes son una opción viable hoy en día, ya que los coagulantes químicos generan una elevada cantidad de lodos tóxicos, además de consumir la basicidad de las aguas reduciendo aún más su pH y liberando mayor cantidad de contaminantes como los metales pesados.

Estudios realizados con *Caesalpinia spinosa*, como fuente de biocoagulante, fueron exitosos en la remoción de DQO, SST y turbidez, en aguas con pH neutro y básico. Con el propósito de evaluar su eficiencia, en un medio de ácido, se eligió aguas de industria minera. La minería es una industria compleja, que a lo largo de su cadena productiva de extracción de minerales, generan efluentes altamente contaminantes, denominados drenajes, estos drenajes pueden llegar a tener un pH muy ácido, dependiendo del yacimiento minero del que proceden y de la cantidad de minerales sulfurosos presentes en la misma, estos efluentes ácidos, en su mayoría contaminan efluentes superficiales y subterráneos, alterando la vida silvestre (Pacheco, 2019).

En tal virtud, se seleccionaron 3 industrias mineras, que cuentan con diferentes yacimientos, con distintos niveles de pH: neutro, ácido y muy ácido. Los 3 tipos de drenaje minero, se sometieron a un análisis físico-químico, previo a la aplicación del biocoagulante. Para la elaboración del biocoagulante se unificaron dos metodologías, SLE (Solid Liquid Extraction) y MAE (Microwave Assisted Extraction

Posterior a su aplicación, se les realizó 3 análisis para determinar su eficiencia, en primer lugar, el cálculo de la eficiencia de remoción por porcentaje, seguido por un análisis de cumplimiento normativa nacional para efluentes superficiales y

normativa internacional para cumplimiento de descarga a efluentes subterráneos, y finalmente se realizó un análisis de significancia estadística.

Los parámetros en los cuales se obtuvo mejores efectos fueron los siguientes: en la mina 1 (pH 7,33), SST (92,02%), turbidez (79,59%), CE (51,19%) y color (92,77%). Así mismo en la mina 2 (pH 5,43), SST (84,58), turbidez (97,70%), CE (33,75%) y color (89,85%). De la misma manera, la mina 3 (pH 3,88), SST (95,33), turbidez (91,88%), CE (33,75) y color (67,27%), todos datos obtenidos mediante la aplicación del tratamiento T2, el cual fue más eficiente en sus 3 análisis (eficiencia de remoción, cumplimiento de normativas, significancia estadística), en la mina 1 pH neutro.

ABSTRACT

For the present study, Guarango (*Caesalpinia spinosa*), a plant species was selected for the production of biocoagulant, due to having a composition made of tannins up to 60%, which are hydrolysable. These biomolecules confer its biocoagulation capacity of *Caesalpinia spinosa*. It is widely distributed regionally, and has a high capacity to adapt to hostile environments. Previously conducted studies on *Caesalpinia spinosa* were successfully carried out for the removal of COD, TSS and turbidity. However, all were conducted in waters with neutral to basic pH, for this reason, the mining industry was selected.

Mining is one of the most complex activities along its production chain, because of the extraction of minerals; highly polluting effluents are generated, called drains. These drains can have a very acidic pH, depending on its composition, mainly depending on amount of sulphurous minerals present in the effluents. These acidic effluents pollute surface and underground effluents, altering wildlife. For this reason, 3 mining industries were selected, which have different deposits, all 3 with different pH levels, which were: neutral, acid and very acidic. The 3 mines underwent a pre-application study before applying the biocoagulant treatment (using physical-chemical parameters).

For the preparation of the biocoagulant, two methodologies were unified, SLE (Solid Liquid Extraction) and MAE (Microwave Assisted Extraction), once the biocoagulant was prepared, optimal dosing tests were performed individually for each type of mine and later in a general way. To determine the efficiency of the biocoagulant, two doses of biocoagulant were proposed, one of them the general optimal dose, which was 2 ml and 4.5 ml, compared with a chemical coagulant (PAC) and a blank test. These treatments were performed 3 analyzes to determine their efficiency. First, the calculation of the removal efficiency by percentage, followed by an analysis of national regulatory compliance for surface effluents and international regulations for discharge compliance to underground effluents, and

finally, an analysis of statistical significance was performed. In Conclusion, T2 (4.5 ml of biocoagulant) was the best treatment, surpassing the chemical coagulant PAC, in the 3 studies carried out.

The parameters in which the best effects were obtained were the following: in Mine No.1 (pH 7.33), SST (92.02%), turbidity (79.59%), EC (51.19%) and color (92.77%); in mine No. 2 (pH 5.43), SST (84.58), turbidity (97.70%), CE (33.75%) and color (89.85%); and lastly mine No. 3 (pH 3.88), SST (95.33), turbidity (91.88%), CE (33.75) and color (67.27%). Of all data obtained through the T2 treatment application, the results of Mine No 1. was the most efficient in its 3 analysis (removal efficiency, regulatory compliance, statistical significance).

ÍNDICE

1.	Introducción.....	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	3
1.3	Alcance.....	4
1.4	Objetivos.....	5
1.4.1	Objetivo General.....	5
1.4.2	Objetivos Específicos.....	5
1.5	Hipótesis.....	6
1.5.1	Hipótesis Nula.....	6
1.5.2	Hipótesis Alternativa.....	6
2.	Marco Teórico.....	6
2.1	Minería en el Ecuador.....	6
2.2	Minerales en el Ecuador.....	7
2.2.1	Minerales sulfurados más comunes.....	8
2.2.2	Minerales alcalinos más comunes.....	9
2.3	Sustratos mineros y su incidencia en el pH.....	9
2.4	Tipos de explotación minera.....	10
2.5	Áreas mineras de gran densidad en el Ecuador.....	10

2.6	Impactos Generados por la minería.....	11
2.6.1	Zonas protegidas impactadas por influencia minera.....	11
2.6.2	Impacto de la minería sobre los derechos de los pueblos Indígenas	12
2.6.3	Impactos sobre el recurso hídrico generados por los tratamientos de agua convencionales	13
2.7	<i>Caesalpinia spinosa</i> : ubicación, beneficios, antecedentes de su aplicación a nivel país.....	15
2.7.1	Composición química de las vainas de <i>Caesalpinia spinosa</i>	15
2.7.2	Composición química de las semillas de <i>Caesalpinia spinosa</i>	16
2.8	Proceso de biocoagulación: fundamento científico.....	19
2.8.1	Mecanismos de coagulación.....	20
2.8.1.1	Compresión de doble capa	20
2.8.1.2	Absorción y neutralización de cargas	21
2.8.1.3	Adsorción y el enlace del puente Inter particular	22
2.8.1.4	Inmersión del precipitado	23
2.8.1.5	Factores influyentes en para la Biocoagulación.....	24
2.8.1.6	Influencia del peso molecular en los Coagulantes	26
2.9	Lodos residuales producto de los tratamientos convencionales vs. Biocoagulación	27
2.9.1	Legislación Ecuatoriana de aguas superficiales	28

2.9.2	Legislación Internacional	30
3.	Metodología	32
3.1	Selección de las industrias mineras acorde a su pH.....	32
3.2	Ubicación geográfica de las industrias mineras	32
3.3	Muestreo	33
3.3.1	Definición de procesos previos al levantamiento de muestras	34
3.3.1.1	Mina 1	34
3.3.1.2	Mina 2	35
3.3.1.3	Mina 3	36
3.3.2	Procedimientos de toma de muestra	37
3.3.2.1	Elección del punto de toma de muestra	37
3.3.2.2	Toma de muestra	37
3.3.3	Conservación de la muestra	38
3.3.3.1	Elección del contenedor.....	38
3.3.3.2	Mecanismos de protección de la muestra.....	38
3.4	Acondicionamiento para la biocoagulación	39
3.4.1	Recolección de las semillas de <i>Caesalpinia spinosa</i>	39
3.4.2	Secado, cizallamiento y tamizado de las semillas	39
3.4.3	Selección del solvente	40
3.4.4	Preparación del Biocoagulante	41

3.4.5	Diseño del proceso de biocoagulación- floculación	45
3.4.6	Ensayos de los biocoagulantes realizados	46
3.4.7	Determinación de la dosis óptima de biocoagulante.....	46
3.5	Preparación del coagulante químico (PAC)	47
3.5.1	Determinación de la dosis óptima de PAC.....	47
3.6	Preparación del floculante	47
3.7	Diseño Experimental.....	48
3.8	Caracterización del agua residual previa y posterior a sus tratamientos.....	51
3.8.1	Caracterización física.....	51
3.8.1.1	Turbidez.....	52
3.8.1.2	Sólidos sedimentables (SSedT).....	53
3.8.1.3	Sólidos suspendidos (SST).....	53
3.8.1.4	Sólidos totales (STT)	55
3.8.1.5	Sólidos disueltos (SDT)	56
3.8.1.6	Conductividad eléctrica.....	57
3.8.1.7	Color	57
3.8.2	Caracterización química	58
3.8.2.1	Demanda química de oxígeno (DQO).....	58
3.8.2.2	pH	59

3.8.2.3	Metales Pesados	60
4.	Discusión de resultados	60
4.1	Determinación de mezcla de solventes.....	60
4.1.1	Cantidad óptima de <i>Caesalpinia spinosa</i>	64
4.2	Determinación de la dosis óptima de biocoagulante y floculante	65
4.3	Determinación de dosis óptima de PAC	66
4.4	Caracterización de las muestras.....	67
4.4.1	Caracterización inicial	67
4.4.1.1	Caracterización física.....	68
4.4.1.2	Caracterización química	72
4.4.2	Caracterización final	75
4.4.2.1	Caracterización física.....	75
4.4.2.2	Caracterización química	86
4.4.3	Análisis de cumplimiento de normativa (Nacional e Internacional) ..	103
4.4.3.1	Cumplimiento de la normativa nacional (Tratamiento 1).....	103
4.4.3.2	Cumplimiento de normativa internacional (Tratamiento 1).....	104
4.4.3.3	Cumplimiento de la normativa nacional (Tratamiento 2).....	105
4.4.3.4	Cumplimiento de normativa internacional (Tratamiento 2).....	106
4.4.3.5	Cumplimiento de la normativa nacional (Tratamiento 3).....	107

4.4.3.6	Cumplimiento de normativa internacional (Tratamiento 3).....	108
4.4.3.7	Cumplimiento de la normativa nacional (Tratamiento 4).....	109
4.4.3.8	Cumplimiento de normativa internacional (Tratamiento 4).....	110
4.4.3.9	Cumplimiento de la normativa nacional (Tratamiento 5).....	111
4.4.3.10	Cumplimiento de normativa internacional (Tratamiento 5).....	112
4.4.4	Análisis estadístico	113
4.4.4.1	Sólidos totales.....	114
4.4.4.2	Sólidos suspendidos	119
4.4.4.3	Sólidos disueltos	125
4.4.4.4	Sólidos sedimentables	129
4.4.4.5	Turbidez.....	135
4.4.4.6	Demanda Química de Oxígeno.....	138
4.4.4.7	Color	142
4.4.4.8	Conductividad eléctrica	147
4.4.4.9	pH	151
4.4.4.10	Metales Pesados	155
4.4.5	Resumen del Análisis estadístico	211
4.4.6	Determinación general de eficiencia por tratamientos (Eficiencias de remoción, cumplimiento de normativa, significancia estadística).....	214
5.	Conclusiones y Recomendaciones	218

5.1	Conclusiones	219
5.2	Recomendaciones	222
	REFERENCIAS	223
	ANEXOS	238

1. Introducción

1.1 Antecedentes

Una de las actividades económicas necesarias y críticas ambientalmente, es la minería, que utiliza en sus procesos, prácticas y sustancias altamente contaminantes, frecuentemente prohibidas en los países de origen de las empresas mineras, tales como Canadá y Estados Unidos, entre otros (Ávila, 2016). La consecuencia directa de esto, es la contaminación de fuentes de agua subterránea y superficial, hasta niveles que imposibilitan su uso para consumo humano y el desarrollo de actividades productivas, a más del deterioro de los ecosistemas (Leonard y Conrad, 2018).

El Drenaje Ácido de Mina (DAM), es un efluente de los trabajos mineros, responsable de la contaminación de fuentes hídricas superficiales y cuerpos de agua subterráneos, se caracteriza por su pH ácido, debido a la presencia de ácido sulfúrico y elevadas concentraciones de metales pesados como el cobre, plomo, arsénico, entre otros; que son solubles a valores de pH bajos (Cisneros, 2017).

Algunas empresas que manejan los drenajes ácidos de mina, se enfocan en la predicción de los potenciales recursos generadores de acidez (Sulfuros), procurando prevenir su formación y darles tratamiento. En estas minas, el drenaje posee un pH neutro o ligeramente a básico; sin embargo, los altos niveles de turbidez, siguen siendo un grave problema (Leal, 2015).

Los sedimentos de DAM, presentan una coloración parda (rojo – naranja), que por lo regular, se tratan con una serie de procesos entre los que están la coagulación y floculación (Gutiérrez, 2016). Los coagulantes más comunes son: sulfato de aluminio, sales de Hierro, cal hidratada, policloruro de aluminio y carbonatos de Magnesio (Reinoso, Delgado y Cobos, 2017). No obstante, algunos de estos componentes como el Sulfato de Aluminio se bioacumulan en la cadena trófica y a largo plazo son peligrosos para la salud (Fuentes, Molina y Ariza, 2017). Una opción viable ambientalmente segura, para el tratamiento de aguas, son los

biocoagulantes, que se han utilizado eficientemente por más de 4000 años en India, en África y en China, para tratar aguas con alta turbidez (Ramírez y Jaramillo, 2016). En los años setenta en varios países latinoamericanos, se propuso utilizar coagulantes naturales extraídos de especies vegetales locales, para disminuir en parte o en su totalidad el consumo de coagulantes sintéticos (Broncano y Rosario, 2016).

La *Caesalpinia spinosa* (Molina) O. Kuntz también llamada “Tara o Guarango”, tiene propiedades astringentes, antiinflamatorias, antisépticas, antimicóticas, antibacterianas y anti disentéricas; además que de sus vainas se obtiene un alto porcentaje de taninos (De la Cruz, 2004). Los taninos son compuestos polifenólicos vegetales, capaces de formar complejos con polisacáridos, almidones, celulosas, minerales y precipitar proteínas (Ramírez y Araque, 1998). Los taninos tienen una alta capacidad coagulante, dado que sus cationes promueven la desestabilización coloidal (Banchón, et al, 2016). La *Caesalpinia spinosa* está distribuida en Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile (Vargas, 2016), razón por lo que se cuenta con estudios de su aprovechamiento a nivel regional.

Por ejemplo, en Perú se han elaborado pruebas en agua del río Pollo, localizado en Otuzco, con goma de Tara. Se logró remover porcentajes considerables de DBO (38%), DQO (43%) y SST (17%), todas las pruebas se efectuaron en muestras de agua con pH neutro (Bravo y Gutiérrez, 2016).

En el Ecuador se han realizado algunos análisis de la capacidad coagulante de la *Caesalpinia spinosa*, por ejemplo, en el año 2013 se realizó un proyecto de tratamiento de aguas del ingenio azucarero IANCEM, que permitió cumplir con los límites permisibles establecidos por el TULAS (Zambonino, 2013). En el año 2015, se realizó un estudio en agua de curtiembre, con un pH superior a 12; en el que se logró remover el 97% de turbidez, el 99,82 % del DQO (Paredes, 2015). Este mismo año se realizó un estudio sobre la remoción de turbidez en agua de

industrias textiles, combinando el biocoagulante con zeolita activada, al utilizar únicamente la Tara, se disminuyó la turbidez entre el 11-24%; mientras que al ejecutar un tratamiento combinado, se removi6 el 93.4%, el tratamiento cumpli6 con la normativa establecida en el TULAS, aplicado en aguas con un pH b6sico de 8 a 10 (Revelo, Proaño y Banch6n, 2015).

La efectividad demostrada de estos tratamientos, levanta la inc6gnita de si el biocoagulante de Tara, puede ser efectivo con aguas 6cidas, tales como DAM; que anteriormente no se ha probado.

1.2 Justificaci6n

El gobierno ecuatoriano, a trav6s de la Ley Org6nica de Recursos H6dricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, establece como objetivo prioritario garantizar el derecho humano al agua (Asamblea Nacional Rep6blica del Ecuador, 2014). Con este prop6sito, gener6 normas que recogidas en el Acuerdo Ministerial 097-A (2015) que establecen los l6mites de concentraci6n de sustancias en las descargas superficiales. En el Ecuador, un sin n6mero de empresas cumplen con la normativa de descargas y tratan sus efluentes mediante tecnolog6as convencionales que emplean coagulantes qu6micos como el policloruro de aluminio, que ha demostrado tener una alta biotoxicidad. Pruebas realizadas en alevines de tilapia roja y en postlarvas de camar6n, reportaron una alta toxicidad y daño neuronal, motivo de conducta err6tica, choques espor6dicos y nataci6n circular, en los alevines que sobrevivieron (Samaniego, 2015). De igual manera, las sales de hierro se bioacumulan, resultando t6xicas para los cultivos ocasionando desequilibrios en la absorci6n de los nutrientes arruinando las cosechas (Montilla, et al, 2019).

El empleo de estos qu6micos, genera residuos semi s6lidos remanentes de los procesos de tratamiento de aguas contaminadas, en cuya composici6n se halla materia org6nica no descompuesta, microorganismos pat6genos, compuestos no biodegradables, metales pesados con un alto potencial t6xico, caracter6stico de los

lodos residuales (Pérez, 2016). La estrategia de gestión de lodos residuales de PTAR, es su transformación en enmiendas (abonos) mediante técnicas de compostaje; sin embargo; para los lodos residuales mineros, esta estrategia no es posible, debido a su bajo contenido de materia orgánica, alto contenido de metales pesados, bacterias sulfurosas, y un pH en la mayoría de los casos, ácido (García, 2016). El tratamiento y disposición final de estos lodos es un problema en aumento, ya que en las pequeñas y medianas industrias mineras no se tratan sino que se acumulan en piscinas relaveras las cuales continúan contaminando aun después del cierre de la mina (Salguero 2017).

El uso del biocoagulante de *Caesalpinia spinosa* en plantas de tratamiento de aguas mineras, generará una menor cantidad de lodos residuales (cinco veces menor), en comparación con el uso de sulfato de aluminio, además de reducir hasta cierto punto su toxicidad, no generan cambios bruscos en el pH del agua a tratar (Banchón, et al, 2016). El biocoagulante de *Caesalpinia spinosa* adsorbe ciertos metales pesados como plomo, cromo, cadmio y zinc, por esta razón, debería ser estudiada más afondo su aplicación en la industria minera, en el tratamiento de relaves.

En empleo del biocoagulante de *Caesalpinia spinosa* en el tratamiento de aguas mineras ácidas es innovador, no solo por ser el primer estudio, sino también, porque su costo de producción sería mucho menor que la compra de policloruro de aluminio convencional, además de que genera lodos residuales en menor volumen y más seguros. Por otro lado *Caesalpinia spinosa*, es una planta regional de fácil acceso, resistente a la sequía y con una fuerte adaptación a cualquier piso climático, razón por la que su cultivo y explotación masiva no representaría ningún problema.

1.3 Alcance

El presente trabajo de titulación tiene como alcance evaluar la eficiencia del tratamiento con *Caesalpinia spinosa* utilizado como coagulante natural en

efluentes mineros a escala de laboratorio. El biocoagulante será aplicado en muestras de drenaje minero de pH ácido (5.5 - 2.9) y pH neutro (7.3), esta condición dependerá del yacimiento minero. Además, se evaluará el cumplimiento de la normativa ambiental nacional e internacional en cuanto a descarga de aguas superficiales y subterráneas.

El estudio concerniente a este trabajo de titulación, se llevará a cabo utilizando agua proveniente de drenaje minero de tres empresas mineras, que cuentan con distintos tipos de yacimientos minerales, las cuales son: Mina 1 (el Oro), Mina 2 (Azuay) y Mina 3 (Imbabura). Se tomará en cuenta parámetros físicos químicos antes y después del tratamiento de las muestras, posteriormente se realizará el análisis de la eficiencia de los biocoagulantes, así como el análisis de qué tipo de minería lo acogería de mejor manera.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Evaluar la efectividad de la *Caesalpinia spinosa* (Guarango) como biocoagulante, para el tratamiento de aguas en la industria minera.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar parámetros físico-químicos de agua de industria minera antes y después del tratamiento con *Caesalpinia spinosa* y policloruro de aluminio
- Determinar las condiciones óptimas de biocoagulación a escala de laboratorio.
- Comparar la eficiencia de remoción de contaminantes en drenaje de mina ácido y drenaje de mina neutral.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis Nula

Ho: El biocoagulante no es eficiente para tratamiento de efluentes provenientes de minería.

1.5.2 Hipótesis Alternativa

Hi: El biocoagulante si es eficiente para el tratamiento de efluentes provenientes de minería.

2. Marco Teórico

2.1 Minería en el Ecuador

El único referente que existe sobre la distribución de la explotación minera y de canteras es el censo de población y vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos en 2010, de donde se concluye que alrededor del 58% de las concesiones dedicadas a la explotación de minas y canteras se encuentran en 8 provincias del país: El Oro, Pichincha, Azuay, Orellana, Sucumbíos Zamora Chinchipe Guayas y Esmeraldas (Banco Central del Ecuador, 2017). Acorde al Plan Nacional de Desarrollo Minero, de la producción total de oro durante 2014, el 78% proviene de actividades relacionadas con la pequeña minería y el 22% de la minería artesanal; difiriendo del contexto minero internacional, donde el 82% de producción genera la gran minería, 10% la mediana minería y el 8% la pequeña minería y minería artesanal (Banco Central del Ecuador, 2017).

El gobierno ecuatoriano anunció concesiones para más de 2,9 millones de hectáreas de tierra para exploración minera entre el 2016 y el 2017. Muchas de estas concesiones exploratorias se encuentran en bosques protegidos y en territorios indígenas, así como en ecosistemas de cabeceras de ríos y puntos críticos de biodiversidad de importancia mundial (Vandegrift, et al, 2018). En

nuestro país se requieren de 10000 a 30000 litros de agua por cada tonelada de mineral metálico (Semiglia, 2015).

2.2 Minerales en el Ecuador

En el sur del Ecuador, existen yacimientos de oro, plata, cobre y otros minerales no metálicos, donde empresas mineras realizan su explotación (Banco Central del Ecuador, 2016). La clasificación de los minerales, tiene su base en la composición química y en la estructura interna de los yacimientos geomorfológicos, las cuales en conjunto representan la esencia de un mineral y establecen sus propiedades físicas (Abad y Veilla, 2018).

Los minerales son elementos o sustancias de las más diversas que constituyen nuestro planeta (Moreno, Peña y Álvarez, 2017). De la gama de metales existentes en el Ecuador, se extraen principalmente: oro, plata, cadmio, cobre y zinc, estos se caracterizan por sus bajos volúmenes y su elevado costo. Por otro lado, se encuentran los minerales no metálicos, los cuales se encuentran en grandes volúmenes y tienen un costo bajo. Entre estos, en el Ecuador se extraen principalmente: mármol, caolín, yeso, arenas silíceas (Rea, 2017).



Figura 1. Minerales explotados en el Ecuador

Adaptado de Rea, 2017.

2.2.1 Minerales sulfurados más comunes

Los minerales sulfurados, influyen en el pH de las zonas de explotación, esto se debe a su oxidación o hidrólisis durante las perforaciones y voladuras, dependiendo del tipo de depósito geológico (Morales, 2018).

Durante la perforación y voladura que se realiza a lo largo de los procedimientos de la explotación minera, el agua tiende a acidificarse en mayor o en menor grado, en dependencia del porcentaje de minerales sulfurados presentes en la formación como lo son: pirita, galena, pirrotina, esferalita, calcopirita, arsenopirita (Salgado y Rodríguez, 2017).

2.2.2 Minerales alcalinos más comunes

Los minerales alcalinos influyen de igual manera en el pH, debido a que un drenaje de mina se torna ácido únicamente cuando los minerales sulfurosos exceden a los carbonatados, es decir un drenaje con elevadas concentraciones de SO_4^{2-} , Fe^{2+} , Mn^{2+} y Al^{3+} , entre otros, puede o no tener un pH bajo, dependiendo de la cantidad de elementos alcalinos que contenga el sustrato del cual se explota, ya que estos neutralizan la acidez (Chávez y Cholán, 2018).

2.3 Sustratos mineros y su incidencia en el pH

El pH del área de estudio dependerá de la geología, y de la presencia de una mineralización sulfurosa (Guevara, 2015); por ejemplo: los yacimientos metamórficos con alta presión y temperatura presentan baja presencia de sulfuros, los yacimientos de tipo skarn con presencia de ofiolitas son medianamente sulfurados y los yacimientos epitermales y mesotermales tienen una elevada presencia de sulfuros (Gallardo, Bruguera, Díaz y Cabrera, 2015).

El proceso de extracción de yacimientos minerales auríferos por explotación subterránea o a cielo abierto, produce residuos de granulometría fina combinados con aguas residuales de los procesos de extracción y agua subterránea (Beltrán, Larrahondo y Cobos, 2018). Generalmente, estos relaves contienen sulfuros metálicos residuales, que son la fuente de elementos potencialmente tóxicos como el As, Cd, Pb, Cu, Zn y Fe (Romero, Armienta, Gutiérrez y Villaseñor, 2008).

Los Drenajes Ácidos de Mina (DAM), son uno de los grandes impactos generados por la industria minera, sus efluentes contaminan fuentes hídricas superficiales y cuerpos de agua subterráneos, alteran su pH, debido a la formación de ácido sulfúrico y elevadas concentraciones de metales pesados como los nombrados anteriormente (Cisneros, 2017).

La producción de dichos drenajes se inicia cuando los minerales sulfurados, se exponen al oxígeno y al agua. Esto sucede durante la remoción de material como

en la apertura de tajos, túneles y en el acopio estériles de mina sin tratamiento o mitigación (Leal, 2015).

2.4 Tipos de explotación minera

La Ley de Minería establece en el capítulo III, Art 16 que las industrias mineras se ceñirán al Plan Nacional de Desarrollo, a los principios del desarrollo sustentable y sostenible, de la protección y conservación del medio ambiente y de la participación y responsabilidad social (Constitución del Ecuador, 2008).

La misma Ley clasifica en el capítulo I, Art 8 a la minería en el país en cuatro clases: la artesanal o de subsistencia, la pequeña minería, la mediana minería y la minería a gran escala; clasificación que se da de acuerdo a los niveles de producción diarios que puede tener una mina. También determina que el Estado ejecuta sus actividades mineras por intermedio de la Empresa Nacional Minera y podrá constituir compañías de economía mixta (Venegas, Guevara, Cabrera, 2017).

2.5 Áreas mineras de gran densidad en el Ecuador

En el Ecuador existen 5 bloques mineros, los que se dividen en 25 áreas, ninguna de estas, puede medir más de 49.240 hectáreas.

La superficie actual concesionada de minería artesanal es de 10979,7 Ha que corresponde al 0,23 %, pequeña minería 3,91% y mediana y gran minería 11,34% de la superficie del territorio ecuatoriano dejando de lado las áreas naturales protegidas (ARCOM, 2016).

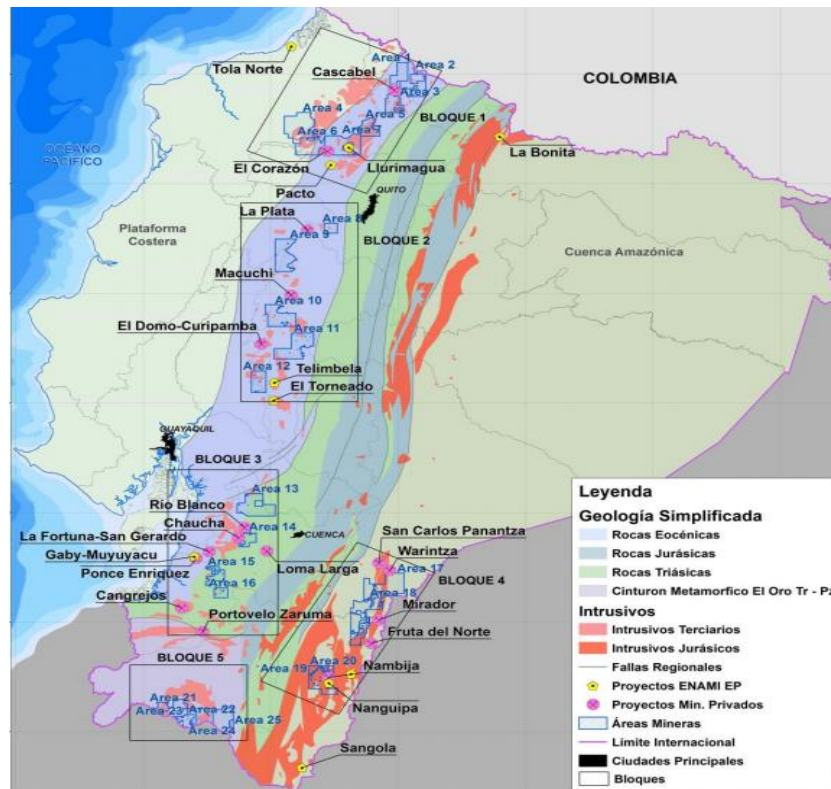


Figura 2. Bloques mineros en el Ecuador

Tomado de Plan Nacional de desarrollo del sector minero (PNDSM), 2016.

2.6 Impactos Generados por la minería

2.6.1 Zonas protegidas impactadas por influencia minera

El área bajo concesiones de exploración y explotación ha aumentado significativamente en los últimos años, de 1.204.250 hectáreas, antes de 2016 (Vandegrift et al. 2017), a 1.868.512 hectáreas (Viceministerio de Minas, 2018). Muchas de estas nuevas concesiones se localizan en los bosques de la Cordillera de los Andes. El área de estos bosques protectores actualmente se encuentra bajo algún tipo de concesión exploratoria, es aproximadamente 735.597 Ha o más del 30% de la superficie total protegida por bosques protectores (Vandegrift et al. 2017).

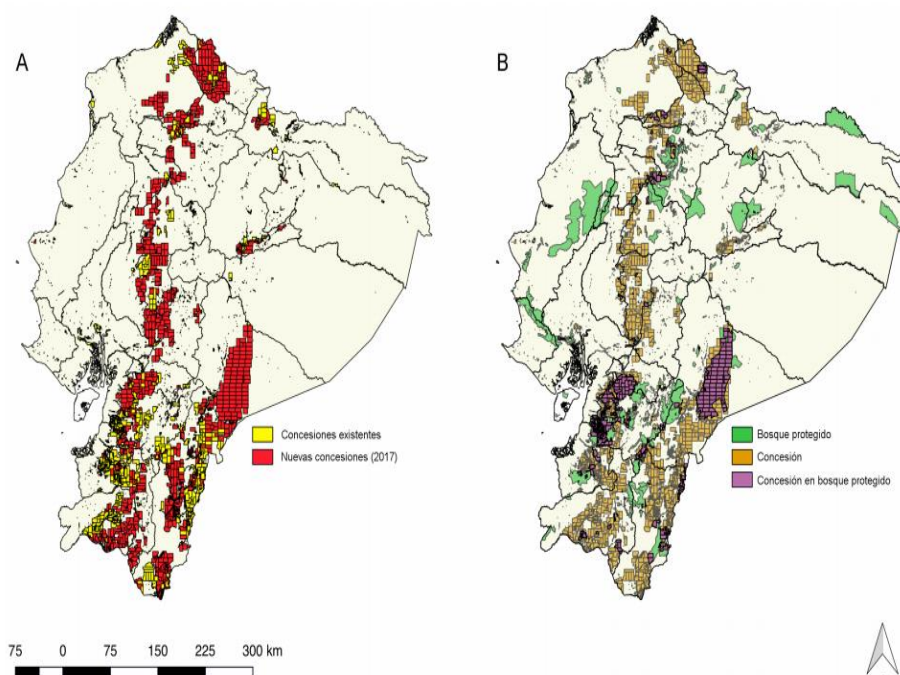


Figura 3. Concesiones mineras

Tomado de Rainforest Information Center (RIC), 2017.

Nota: En la sección a), se muestra las concesiones existentes antes de 2016 (en amarillo) y las nuevas concesiones (concedidas o en proceso, en rojo). En la sección b) se muestra la superposición entre los bosques protectores (verde) y las concesiones mineras; las zonas de solape están indicadas en morado.

2.6.2 Impacto de la minería sobre los derechos de los pueblos Indígenas

Ecuador posee tierras ancestrales de varios pueblos indígenas, que han entrado en conflicto con las políticas extractivistas del gobierno ecuatoriano, que ha extendido concesiones mineras en sus territorios (Sawyer, 2016). De aproximadamente 995.426 hectáreas concesionadas, casi el 14% de las tierras son de pueblos indígenas. La afectación varía en cada pueblo indígena, así de las 116.544 Ha de tierra de los Awá ubicadas en el noroeste de Ecuador, a lo largo de la frontera con Colombia; 81.179 Ha, están incluidas en concesiones mineras recientes (Intergovernmental Fórum [IGF], 2019).

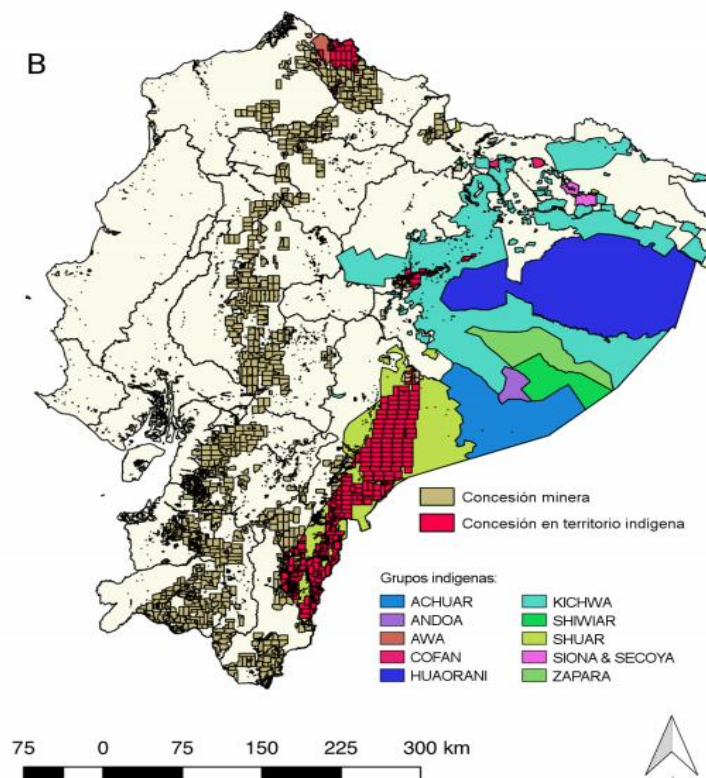


Figura 4. Concesiones mineras y territorios indígenas.

Tomado de Vandegrift, et al, 2017.

La Figura 4, muestra la superposición entre las concesiones mineras y los territorios indígenas. Las concesiones mineras se indican en oro; los territorios tradicionales de los principales grupos indígenas en Ecuador se muestran en varios colores, y la superposición de las concesiones con las tierras indígenas se indica en rojo.

2.6.3 Impactos sobre el recurso hídrico generados por los tratamientos de agua convencionales

Los recursos hídricos, al salir de los procesos extractivos presentan una elevada turbidez, la cual se trata mediante procesos de precipitación química, lodos activados o coagulación-floculación. Estas técnicas aplican agentes químicos

nocivos (sulfato de aluminio, sales de hierro, cal y carbonato de magnesio). Este tratamiento, se puede definir como un proceso unitario que se utiliza para provocar la agregación de material suspendido no sedimentable y de partículas coloidales del agua. La coagulación es el proceso que se usa más ampliamente para remover las sustancias que ocasionan turbiedad del agua y que a menudo son de naturaleza inorgánica (Calle y Zambrano, 2015).

Como se mencionara anteriormente, en el año 2015 se llevaron a cabo pruebas de toxicidad con el sulfato de aluminio en la Universidad de Machala, las pruebas se aplicaron en alevines de tilapia roja y en postlarvas de camarón. Los resultados evidenciaron daño neuronal en los alevines que sobrevivieron (Samaniego, 2015).

La bioacumulación de sales de hierro, a más de ser tóxicas para los cultivos, generan desequilibrios en la absorción de nutrientes (Montilla, et al, 2019). El uso masivo de cal, incrementa la dureza del agua, lo que a su vez produce problemas de salud en la población consumidora, tales como afecciones cardiovasculares, diarreicas y litiasis renal entre otros (Reinoso, Serrano y Orellana, 2017). Otro impacto, no menos importante es la disminución de la vida útil de las maquinarias industriales, generada por incrustaciones (Muguerza, Amador y Guevara, 2017). De mantenerse este tipo de tratamientos para las descargas mineras, las consecuencias para las áreas protegidas vulnerables, los ríos que las cruzan, las poblaciones indígenas que las rodean, serán devastadoras, quienes verán reducirse drásticamente la cantidad de agua útil para riego y consumo (Vandegrift, et al, 2018).

Los drenajes ácidos, semi ácidos y neutros de la industria minera se producen cuando los minerales sulfurados como la pirita, se exponen al oxígeno y al agua, durante la remoción de material de la apertura de tajos, túneles y el acopio de estériles de mina sin procedimientos de mitigación (Leal, 2015).

2.7 *Caesalpinia spinosa*: ubicación, beneficios, antecedentes de su aplicación a nivel país

La *Caesalpinia spinosa* (Molina) O. Kuntze también llamada “Tara o Guarango” es una planta perteneciente al género *Caesalpinia*, de la familia *fabaceae*, en el orden de las *fabales*, con subclase *rosidae* (Huarino, 2011), que posee propiedades astringentes, antiinflamatorias, antisépticas, antimicóticas, antibacterianas y anti disentéricas, adicionalmente de sus vainas que representan el 62% del peso de los frutos contienen grandes cantidades de taninos (Cruz, 2017). Según la FAO (1997), las vainas contienen entre 30 y 60% de taninos. La tara, se cultiva frecuentemente en asociación con cultivos de maíz, papa, habas, alfalfa, sorgo o pastos. No ejerce mucha competencia con estos cultivos, por cuanto es una especie fijadora de nitrógeno, su raíz es pivotante y profunda su copa, no es muy densa y deja pasar la luz.

El Guarango, crece en bosques secos tropicales, prospera con alta productividad en lugares áridos o desérticos (Nuñez et al, 2017). Antiguamente, el Guarango fue utilizado como madera, para la construcción de cercar corrales, fabricación de utensilios domésticos, mangos para sus herramientas, como combustible. Adicionalmente sus hojas y vainas verdes en infusión se emplearon como medicina, para la cura de amigdalitis, tos y otras infecciones bucales (Pérez y Torres, 2019). Hoy en día, se investigan otras propiedades del Guarango, tales como la obtención de taninos, proteínas, grasas, gomas, ácido tánico, ácido gálico, que son usados en la industria manufacturera, alimenticia, y cosmética (Alanuca, 2017).

2.7.1 Composición química de las vainas de *Caesalpinia spinosa*

Contiene taninos hidrolizables, en un rango del 40% al 60% según las condiciones ecológicas en las que se halla desarrollado, la hidrólisis de estos taninos conduce a la separación del ácido gálico; asimismo, se han aislado galato de etilo y cuatro galatos del ácido quínico correspondiendo a los esteres metílicos de 4,5-di-

Ogaloilquínico y de 3,4,5- tri-0-galoilquínico y a los ácidos 3,4-di-0- galoilquínico y 3,4,5-tri-0-galoilquínico (Oriundo, 2015).



Figura 5. Vainas de Caesalpinia spinosa

2.7.2 Composición química de las semillas de *Caesalpinia spinosa*

Del endospermo se ha separado la goma o hidrocoloide galactomanánico en la que los componentes monoméricos galactosa y mannososa se encuentran en una relación de 41:70 (Apolin y Garay, 2017). Su viscosidad intrínseca permitió determinar su masa molecular relativa en 351400 (Dalton) y su peso molecular aproximado en 800 mg/kg (Apolin y Garay, 2017)



Figura 6. Semillas de Caesalpinia spinosa

Tabla 1.

Condiciones de desarrollo óptimo para la Caesalpinia spinosa

Zonas de vida	Presente en las siguientes zonas de vida: Estepa espinosa-Montano Bajo, Matorral desértico-Montano Bajo, Monte espinoso-Premontano y Matorral desértico-Premontano.
Altitud	Se encuentra desde los 800 a 2800 msnm en la vertiente del Pacífico y hasta los 1600 a 2800 msnm de la cuenca del Atlántico, y en microclimas especiales hasta los 3150 msnm.
Temperatura	Varía entre los 12 a 18°C, pudiendo aceptar hasta 20°C. En los valles interandinos la temperatura ideal es de 16 a 17°C.
Precipitación	Requiere de lugares con una precipitación de 400 a 600 mm, pero también se encuentra en zonas que presentan desde 200 a 750 mm de promedio anual.
Humedad relativa	Humedad relativa Se desarrolla en un amplio rango, entre 60 a 80%.

Tipo de suelo	Tipo de suelo Presenta un óptimo desarrollo en suelos de textura franco, franco arenoso y franco arcilloso.
pH	6 a 7,5.

Adaptado de Espinosa, 2018

Está distribuida en Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile (Vargas, 2016), por lo que cuenta con estudios a nivel regional para su aprovechamiento.

Por ejemplo, en Perú se han elaborado pruebas en agua del río Pollo, localizado en Otuzco, con goma de Tara. Se logró remover porcentajes considerables de DBO (38%), DQO (43%) y SST (17%), todas las pruebas se efectuaron en muestras de agua con pH neutral (Bravo y Gutiérrez, 2016).

En el Ecuador se han realizado algunos análisis de la capacidad coagulante de la *Caesalpinia spinosa*, por ejemplo, en el año 2013 se realizó un proyecto de tratamiento de aguas del ingenio azucarero IANCEM el cual logró llegar a los límites permisibles establecidos por el TULAS (Zambonino, 2013). Por otro lado, en el año 2015 se realizó un estudio en agua de curtiembre en el cual el resultado de remoción de turbidez fue del 97%, una remoción del DQO del 99,82 %; estas aguas contaban con un pH superior a 12 (Paredes, 2015). Este mismo año se realizó un estudio sobre la remoción de turbidez en agua de industrias textiles, combinando el biocoagulante con zeolita activada, al utilizar únicamente la Tara se disminuyó la turbidez entre el 11-24%; mientras que, al ejecutar un tratamiento combinado se removió el 93.4%, el tratamiento cumplió con la normativa establecida en el TULAS, aplicado en aguas con un pH básico de 8 a 10 (Revelo, Proaño y Banchón, 2015).

Basándose en la efectividad demostrada, de los tratamientos mencionados anteriormente empleando Guarango, se abre la posibilidad de estudiar su efecto

sobre el drenaje generado por industrias mineras con énfasis en el drenaje ácido de mina, ya que cuenta con un pH en el cual no ha sido probado.



Figura 7. Arbusto de Caesalpinia spinosa

2.8 Proceso de biocoagulación: fundamento científico

La *Caesalpinia spinosa* posee taninos hidrolizables, que contienen un núcleo central de carbohidrato al cual se unen, mediante enlaces éster, ácido fenólico y ácidos carboxílicos; son ésteres de azúcares de ácidos gálico (Oriundo, 2015). Estos taninos pueden ser fácilmente hidrolizados con ácidos, álcalis, agua caliente o enzimas (Dávalos, Romero, Sánchez, Chávez y Valderrama, 2017). Estos precipitan las proteínas y forman complejos con los polisacáridos, proteínas, almidones, celulosas y minerales (Ramírez y Araque, 2015). Los taninos tienen una alta capacidad coagulante de carácter catiónico, que promueve la desestabilización coloidal (Banchón, et al, 2016).

La biocoagulación es un proceso de desestabilización de las partículas coloidales suspendidas en el agua, tales como arcillas, limo, sílice; la biocoagulación permite reducir las fuerzas que las separan por la adición del coagulante (*Caesalpinia spinosa*) al agua, originando la aglomeración de partículas desestabilizadas para

que puedan ser fácilmente eliminadas en los siguientes procesos de sedimentación y filtración (Pérez y Torres, 2019).

2.8.1 Mecanismos de coagulación

Las partículas y microorganismos poseen cargas negativas que hacen que se repelan entre sí impidiendo su agrupación (Lorenzo, 2006). Es así que, en el tratamiento de agua se necesita romper la fuerza aniónica añadiendo iones positivos, en este caso el coagulante en base a *Caesalpinia spinosa* (Francisca y Carro, 2014). A continuación, se detallarán cuatro procedimientos de coagulación:



Figura 8. Biocoagulantes en base a *Caesalpinia spinosa*.

2.8.1.1 Compresión de doble capa

Sucede cuando dos coloides parecidos se acercan, haciendo que sus capas difusas interactúen y provoquen una fuerza de repulsión. Ese potencial de repulsión está en función de la distancia que los separa, pero al incrementar la carga de iones opuesta al de las partículas coloidales, sedimentan rápidamente, para realizarlo, es necesario aportar iones positivos los cuales se encuentran contenidos en el coagulante (Andia, 2000). Por otro lado, existe un potencial o fuerzas de atracción entre los coloides conocidas como fuerzas de Van der Waals. La Figura 9 explica que la curva de atracción de Van der Waals es fija, contrario a

la de repulsión eléctrica, ya que si se incrementan iones de carga opuesta en la solución estas se reducen y en consecuencia al disminuir dicho potencial, también decrece la curva resultante de interacción (Díaz, 2014).

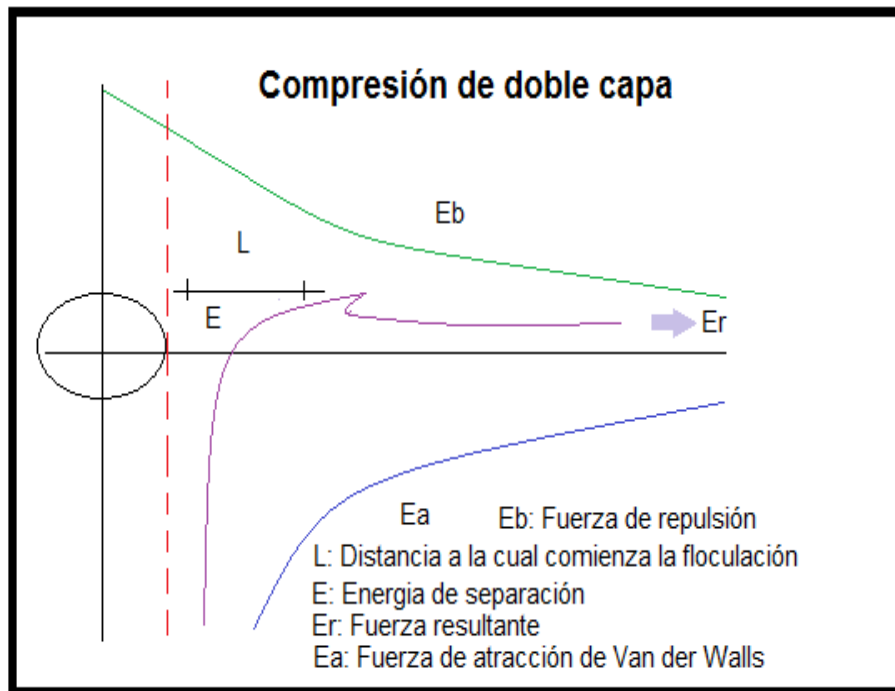


Figura 9. Desestabilización del colide por medio de la compresión de la doble capa

Adaptado de Andia, 2000.

2.8.1.2 Absorción y neutralización de cargas

El mecanismo inicia cuando los iones (del coagulante) con carga opuesta a la de los contaminantes son absorbidos por los coloides, neutralizando las cargas repulsivas logrando así la formación de precipitados (Jara, 2018). Es decir, las partículas coloidales al poseer una carga negativa en su superficie, atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua para formar la primera capa adherida a la partícula (Vilavila, 2018). La eficiencia de este mecanismo radica en un pH ácido y el uso de bajas concentraciones de

coagulante, al agregar un exceso de coagulante en el agua a tratar se promueve que la carga de la partícula coloidal (negativa) se re establezca; esto quiere decir, que los iones del polímero vegetal van a ser absorbidos en sección superficial del coloide, originando una carga invertida a la carga original (positiva), lo cual desembocará en la disminución de la eficiencia del proceso de coagulación (Pérez y Torres, 2019).

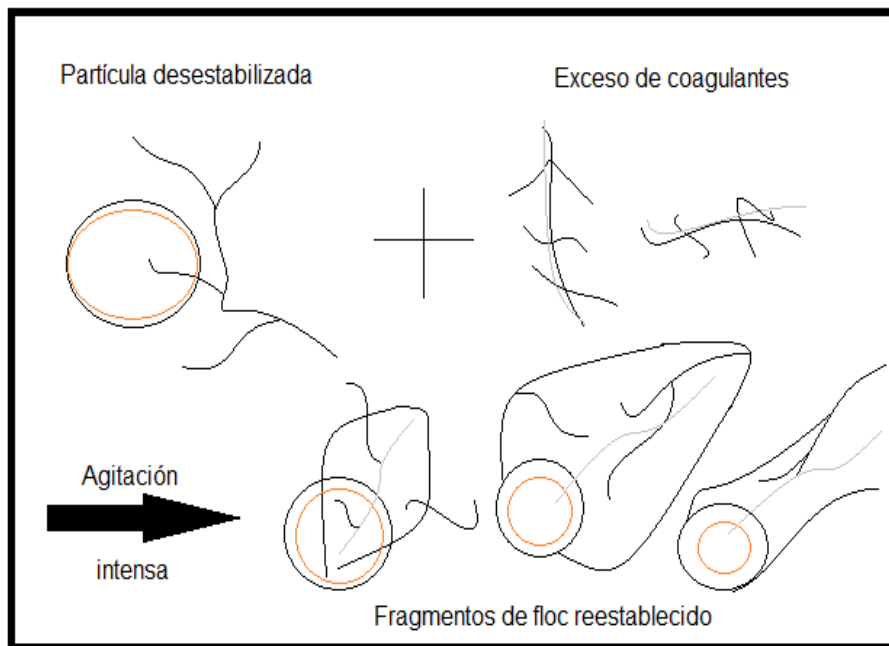


Figura 10. Absorción y neutralización de cargas

Adaptado de Andia, 2000.

2.8.1.3 Adsorción y el enlace del puente Inter particular

Este proceso consiste en que algunos polímeros interactúan con los coloides y el resto se extiende en la solución y pueden reaccionar con los sitios de adsorción de una segunda molécula, donde se forma un puente entre el complejo de partículas formado anteriormente, el polímero y una nueva partícula, quedando así un enlace partícula-polímero-partícula (Palacios, 2018). Se obtiene el tratamiento más económico utilizando un polímero aniónico, cuando las partículas están cargadas

negativamente. Este fenómeno es explicado por la teoría del “puente” (Calle y Zambrano, 2015). Las moléculas del polímero muy largas contienen grupos químicos que pueden absorber las partículas coloidales (Trigoso y Tejada, 2017). La molécula de polímero puede así absorber una partícula coloidal en una de sus extremidades; mientras que, estos otros sitios quedan libres para absorber otras partículas. Por eso se dice que las moléculas de los polímeros forman el “puente” entre las partículas coloidales. Esto puede tener una restabilización de la suspensión, por una excesiva carga de polímeros (Andia, 2000).

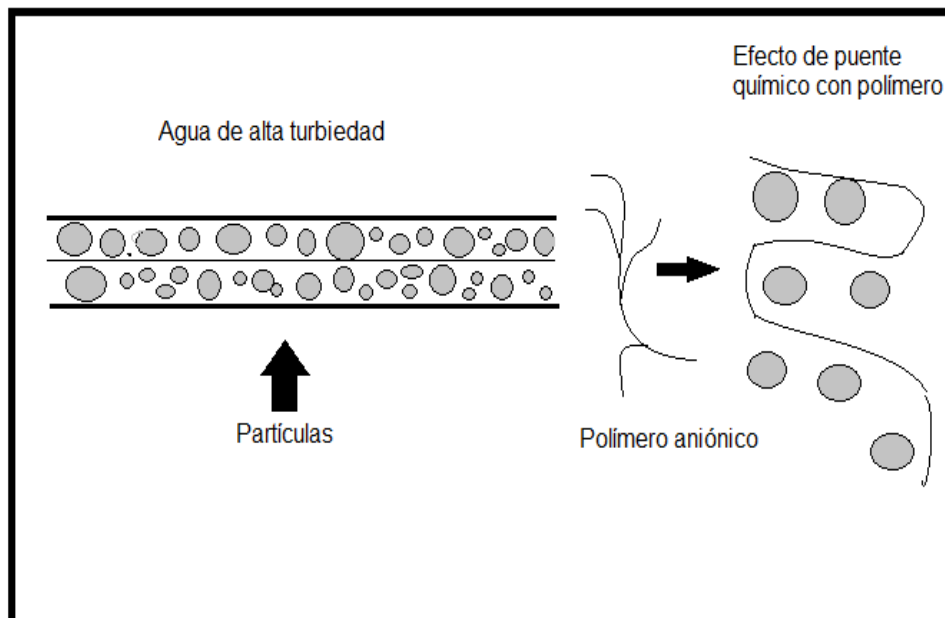


Figura 11. Adsorción y el enlace del puente Inter particular

Adaptado de Andia, 2000.

2.8.1.4 Inmersión del precipitado

Las partículas coloidales desestabilizadas, se pueden atrapar dentro de un floc, cuando se adiciona una cantidad suficiente de coagulantes, habitualmente sales de metales trivalentes como el sulfato de aluminio o el cloruro férrico (Anache, 2016). El floc está formado de moléculas de $Al(OH)_3$ o de $Fe(OH)_3$. La presencia

de ciertos aniones y de las partículas coloidales acelera la formación del precipitado (Palacios, 2018). Las partículas coloidales juegan el rol de anillo durante la formación del floc; este fenómeno puede tener una relación inversa entre la turbiedad y la cantidad de coagulante requerida. En otras palabras, una concentración importante de partículas en suspensión puede requerir menor cantidad de coagulante (Trigoso y Tejada, 2017).

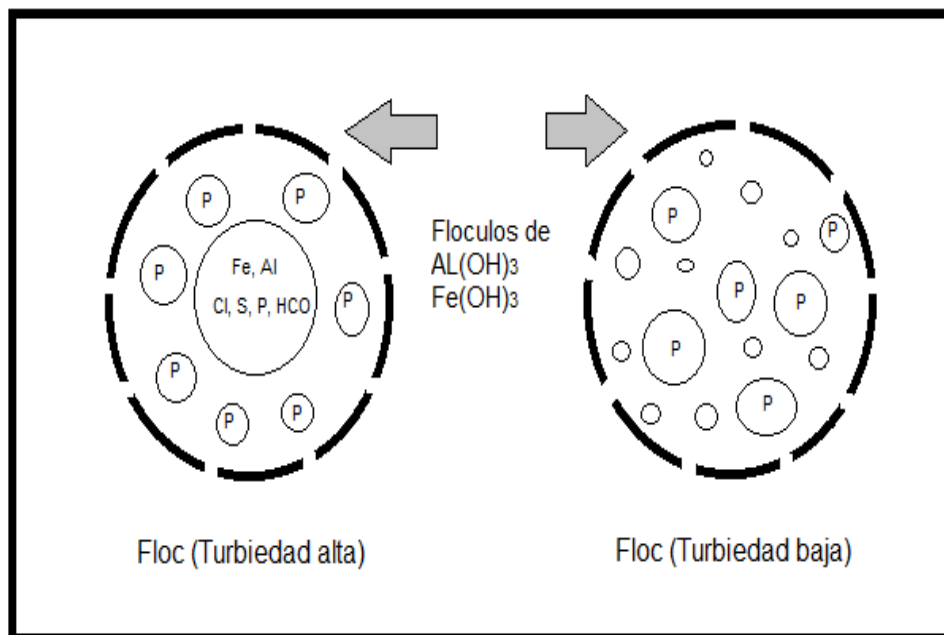


Figura 12. Inmersión del precipitado

Tomado de Andia, 2000.

2.8.1.5 Factores influyentes en para la Biocoagulación

- **pH**

El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo, en el que la coagulación se produce rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones disueltos y de la alcalinidad del agua (Restrepo, 2009).

- **Sales disueltas**

Las sales contenidas dentro del agua ejercen influencia sobre las siguientes modificaciones: rango de pH óptimo, tiempo requerido para la floculación, cantidad de coagulante requerido, cantidad residual del coagulante dentro del efluente (Andia, 2000).

- **Temperatura**

La variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta. Temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación (Trujillo, Martínez y Flores, 2008).

- **Dosis de Coagulante**

La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, así: poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los micro flóculos es muy escasa; por lo tanto, la turbiedad residual será elevada. Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de coágulos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación son muy bajas; por lo tanto, la turbiedad residual es igualmente elevada (Barajas y León, 2015).

- **Turbiedad**

Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima. Cuando la turbiedad es elevada, se debe adicionar una cantidad de coagulante más baja, debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es elevada, por lo que la coagulación se realiza con facilidad (Andia, 2000).

2.8.1.6 Influencia del peso molecular en los Coagulantes

El peso molecular y tamaño del polímero influyen en la coagulación debido al amplio número de sitios de adsorción (Banchón et al, 2016).

Polímeros orgánicos naturales (Caesalpinia spinosa): Son principalmente polisacáridos extraídos de granos semillas y corteza de origen vegetal, así como varios tipos de suelos. Generalmente no tienen un peso molecular tan alto como los polímeros sintéticos (Gallardo, 2017).

Polímeros orgánicos sintéticos (PAC): Son producidos por la transformación química de los derivados del petróleo y del carbón, y aunque no todos se encuentran en forma de polvo seco están generalmente constituidos por poliacriinas o poliacrida hidrolizada con alto peso molecular, que van a favorecer la aglomeración de los flocúlos a través de puentes (Gallardo, 2017). Un polímero es simplemente una macromolécula que tiene una unidad simple repetida, algunos de los cuales poseen cargas eléctricas o grupos ionizables (Carrera y Infante, 2015)

La cantonización de taninos es un procedimiento químico, se confiere el carácter catiónico a la matriz orgánica del tanino. Esta habilidad inherente al tanino potencia la capacidad coagulante del mismo, dado que este catión promueve la desestabilización coloidal (Banchón et al, 2016).

Polímeros catiónicos: Son polielectrolitos cargados positivamente que poseen en sus largas cadenas una carga eléctrica positiva, debido a grupos aminos y amonio cuaternario, capaces de remover la turbidez y el color. Son buenos acondicionadores de lodos, con peso molecular entre 104-106 g/mol y pueden usarse junto a coagulantes inorgánicos, resistentes al cloro, su densidad de carga no es sensible a cambios de pH. Las poliaminas cuaternarias con peso molecular más bajo (104-105 g/mol) son usadas mayormente como coagulante primario para la remoción de color. Las poliaminas (104-107 g/mol) menos frecuente son usadas como coagulante primario, reacciona con el dicloro y es sensible a cambios de pH.

Los polielectrolitos catiónicos funcionan como coagulantes (neutralización de cargas).

2.9 Lodos residuales producto de los tratamientos convencionales vs. Biocoagulación

Los lodos residuales, son material de desecho que contienen compuestos orgánicos sólidos, semisólidos o líquidos producidos durante el proceso de tratamiento mecánico, biológico o químico de purificación de las aguas servidas (Aguilar, 2018). Además, contienen gran cantidad de materia orgánica, microorganismos patógenos, macro y micro nutrientes, metales pesados y agua (Cupe y Juscamaita, 2018). La disposición final de los lodos residuales provenientes de una Planta de Tratamiento, es una operación costosa, debido al elevado presupuesto para la instalación de reactores estabilizadores de lodos, para la adquisición de químicos y sistemas de deshidratación e incineración; además del transporte a los sitios de disposición final (Rodríguez, 2018).

2.10 Legislación minera para criterios de descarga

Acorde a la ley minera actual, la cual tuvo su última reforma en el año 2018, se establece en el artículo 61, que las aguas alumbradas durante las labores mineras podrán ser usadas por el concesionario minero, previa autorización de la autoridad única del agua, con la obligación de descargarlas, observando los requisitos, límites permisibles y parámetros técnicos establecidos en la legislación ambiental aplicable. Por otro lado, el artículo 79, establece que los titulares de derechos mineros, que utilicen aguas para sus trabajos y procesos, deberán devolverlas a la fuente de donde fueron tomadas, libres de contaminación o cumpliendo los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental y del agua vigentes, con el fin que no se afecte a los derechos de las personas y de la naturaleza reconocidos constitucionalmente.

2.9.1 Legislación Ecuatoriana de aguas superficiales

La normativa ambiental será aplicada a fin de comparar la eficiencia del tratamiento aplicado a las aguas residuales provenientes de las diferentes industrias mineras, en relación con los tratamientos tradicionales, considerando los criterios de descarga a un cuerpo de agua dulce (Tabla 9) y la preservación de las especies acuáticas (Tabla 2), contenidos en el Acuerdo Ministerial 097-A (2015).

Tabla 2.

Normativa nacional superficial

Parámetros analizados	Expresado como	unidad	Criterio de calidad
Aluminio	Al	mg/L	5
Arsénico	As	mg/L	0,1
Bario	Ba	mg/L	1
Berilio	Be	mg/L	0,1
Bismuto	Bi	mg/L	No en norma
Boro	B	mg/L	0,75
Calcio	Ca	mg/L	No en norma
Cadmio	Cd	mg/L	0,001
Cesio	Cs	mg/L	No en norma
Cromo	Cr	mg/L	0,05
Cobalto	Co	mg/L	0,2

Cobre	Cu	mg/L	0,02
Galio	Ga	mg/L	No en norma
Indio	In	mg/L	No en norma
Hierro	Fe	mg/L	0,3
Plomo	Pb	mg/L	0,01
Litio	Li	mg/L	2,5
Magnesio	Mg	mg/L	No en norma
Manganeso	Mn	mg/L	10
Níquel	Ni	mg/L	0,025
Fosforo	P	mg/L	15
Potasio	K	mg/L	No en norma
Rubidio	Rb	mg/L	No en norma
Selenio	Se	mg/L	0,01
Silicio	Si	mg/L	No en norma
Plata	Ag	mg/L	0,01
Sodio	Na	mg/L	No en norma
Estroncio	Sr	mg/L	No en norma
Azufre	S	mg/L	No en norma
Telurio	Te	mg/L	No en norma

Talio	TI	mg/L	No en norma
Vanadio	V	mg/L	0,1
Zinc	Zn	mg/L	0,18
Sólidos sedimentales	SSed	mg/L	20
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	220
Sólidos totales	ST	mg/L	1600
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	500
Color	Color real	Unidades de color real	Inapreciable en dilución 1/20
Potencial de Hidrógeno	pH		6,5-9

Tomado de Acuerdo Ministerial 0-97 A TULAS, Anexo 1, Libro VI, Tabla 2: Criterios de calidad para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios y Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce (2015).

2.9.2 Legislación Internacional

La normativa internacional, será utilizada debido a la inexistencia de normativa nacional para protección del agua a nivel subterráneo. Es importante realizar esta comparación ya que las industrias mineras implicadas en este estudio son minas subterráneas. Durante la perforación y la voladura se utilizan grandes cantidades de agua la misma que se reutiliza para los procesos, sin embargo, debido a la

porosidad del suelo y los altos niveles freáticos (El Oro 10 m, Imbabura 5 m, Azuay 2m), estos flujos de agua terminan incorporándose a fuentes subterráneas, lo cual hace necesario normar la contaminación en las mismas.

Tabla 3.

Normativa internacional subterránea

Parámetros analizados	Expresado como	unidad	Criterio de calidad
Bario	Ba	mg/L	1
Berilio	Be	mg/L	1
Boro	B	mg/L	1
Cobalto	Co	mg/L	1
Hierro	Fe	mg/L	2
Magnesio	Mg	mg/L	1
Manganeso	Mn	mg/L	1
Vanadio	V	mg/L	1
Sólidos en suspensión	SST	mg/L	25
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	30
Color	Color real	mg Pt:Co	200
Potencial de Hidrógeno	pH	Ud de pH	5,5 – 9
Conductividad eléctrica	CE	us/cm	1000

Tomado de: Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico de Aguas, Anexo V, Grupo B y C.

3. Metodología

3.1 Selección de las industrias mineras acorde a su pH

La *Caesalpinia spinosa* ha sido probada en aguas neutras a básicas, como se citó anteriormente en los trabajos de Paredes (2015), Leal (2016) y Banchón (2015); sin embargo, no se ha probado antes en aguas procedentes de industrias mineras. Estas se caracterizan por un pH ácido debido a la presencia de ácido sulfúrico y elevadas concentraciones de metales pesados, que son solubles a valores de pH bajos (Cisneros, 2017); en consideración de esto, se seleccionaron 3 industrias mineras con diferentes valores de pH:

Mina 1 (el Oro) pH 7.33

Mina 2 (Azuay) pH 5.43

Mina 3 (Imbabura) pH 3.88

3.2 Ubicación geográfica de las industrias mineras

La importancia de la ubicación de las minas se debe a los sustratos geológicos de cada yacimiento minero. Los yacimientos metamórficos con alta presión y temperatura presentan baja presencia de sulfuros, los de tipo skarn con presencia de ofiolitas son medianamente sulfurados y finalmente los yacimientos epitermales y mesotermiales tienen una elevada presencia de sulfuros (Gallardo, et al, 2015).

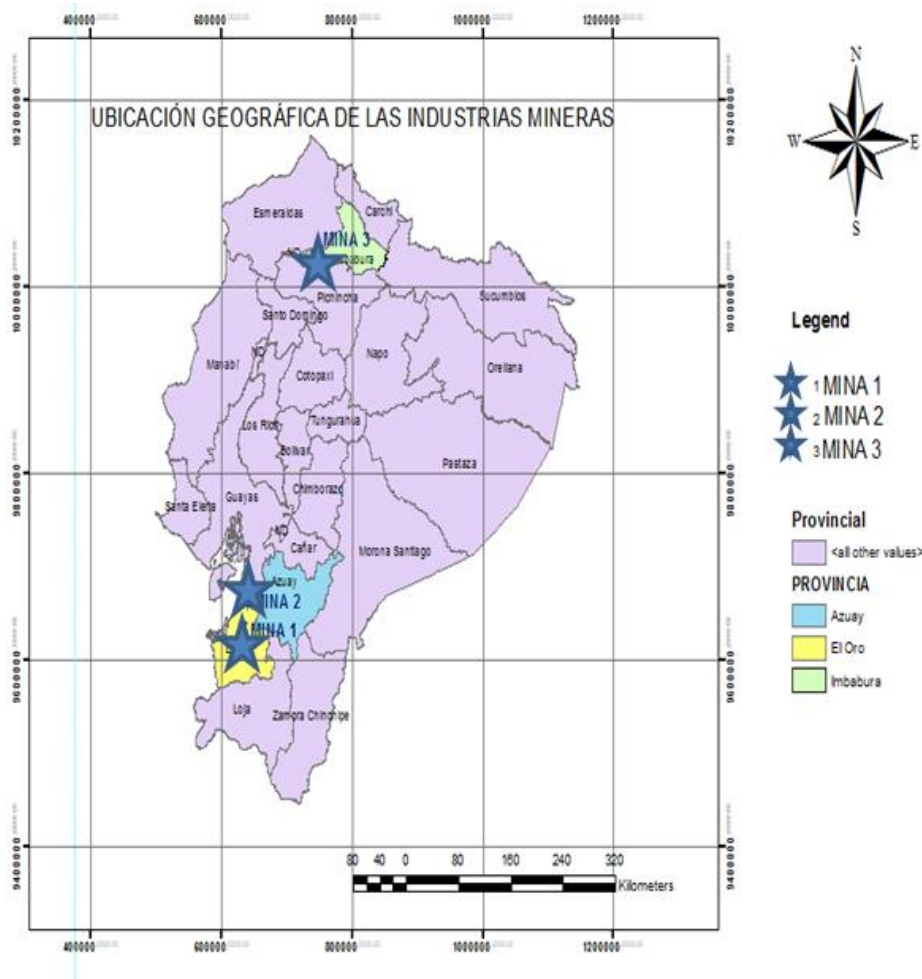


Figura 13. Minas empleadas en el estudio de *Caesalpinia spinosa*

3.3 Muestreo

Para la recolección de las muestras se aplicaron las normas técnicas: INEN 2169:1998 "AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS" e INEN 2176:2013 "AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO", las cuales son aplicables cuando el agua no puede ser analizada en el lugar de muestreo.

3.3.1 Definición de procesos previos al levantamiento de muestras

3.3.1.1 Mina 1

En la Figura 14, se representan los procesos que desembocan en la boca mina desde el interior de la Mina 1:

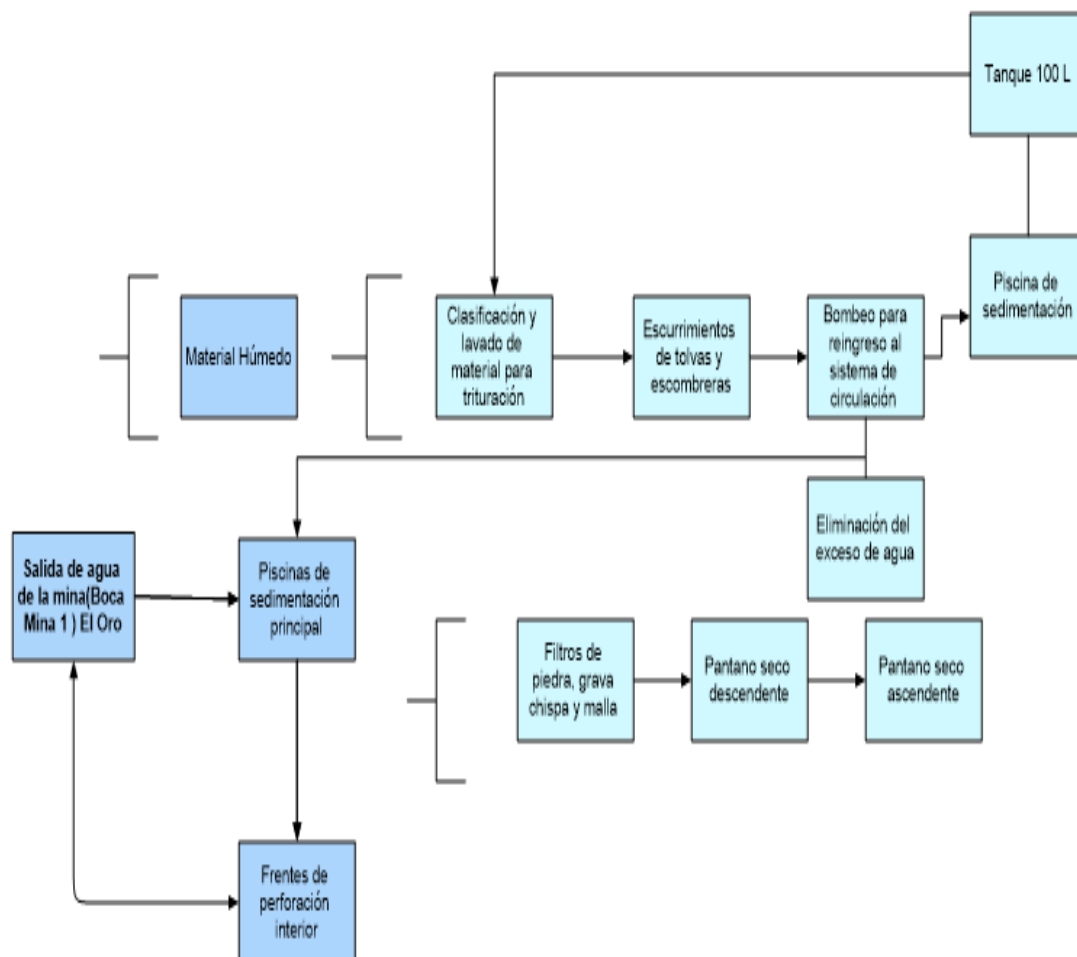


Figura 14. Diagrama de procesos Mina 1

3.3.1.2 Mina 2

En la Figura 15, se representan los procesos que desembocan en la boca mina desde el interior de la Mina 2:

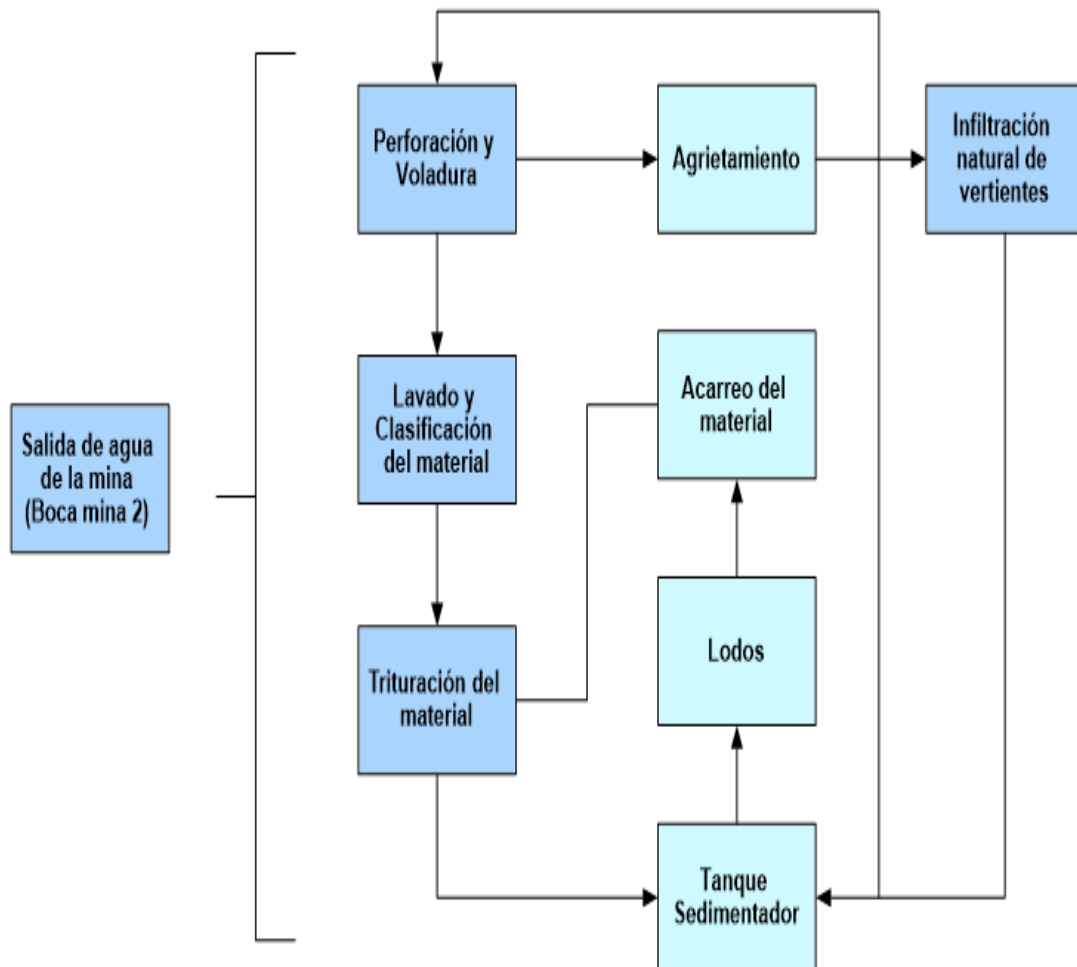


Figura 15. Diagrama de procesos Mina 2

3.3.1.3 Mina 3

En la Figura 16, se representan los procesos que desembocan en la boca mina desde el interior de la Mina 3:

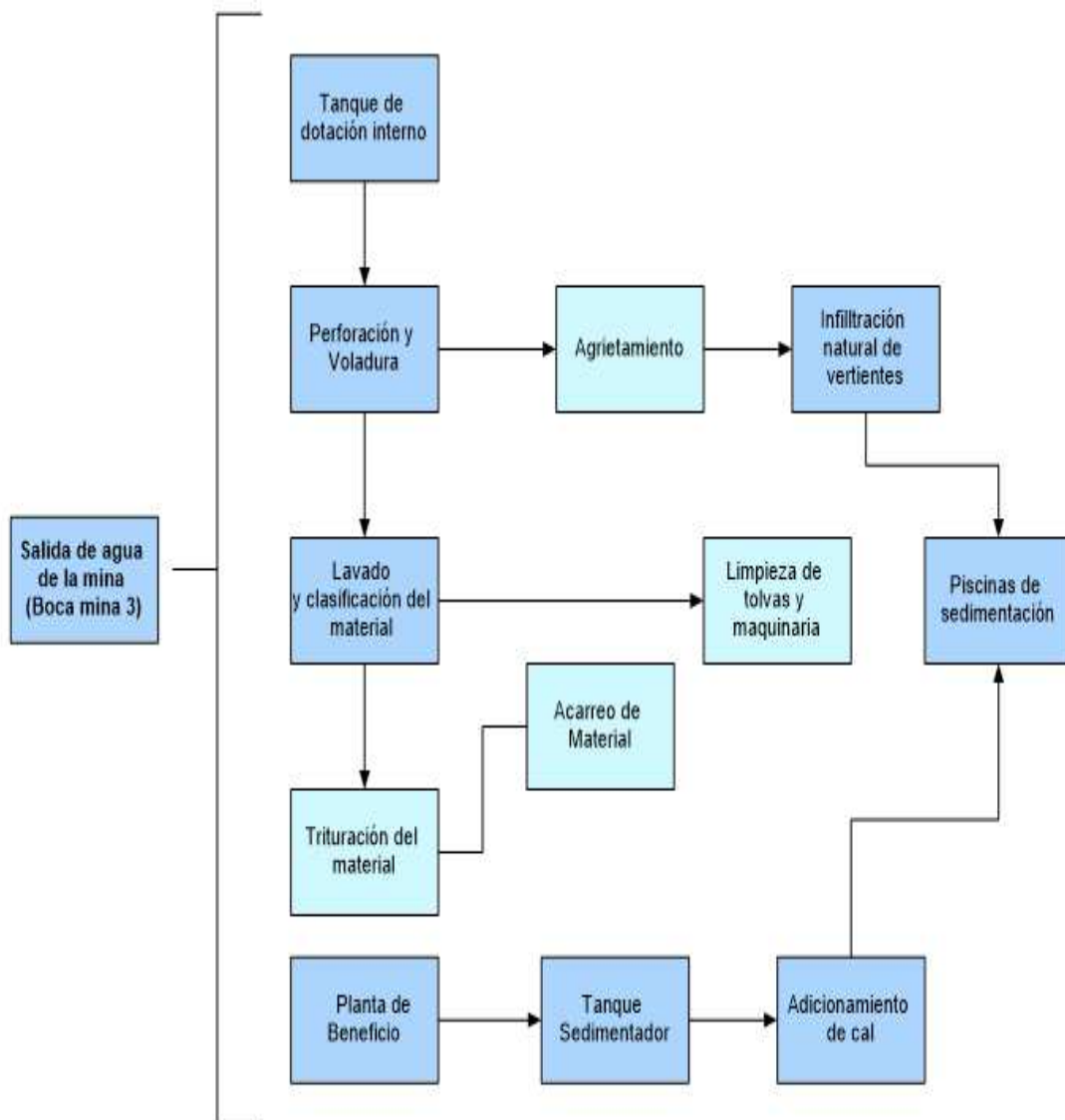


Figura 16. Diagrama de procesos Mina 3

3.3.2 Procedimientos de toma de muestra

3.3.2.1 Elección del punto de toma de muestra

Al analizar los diagramas de procesos, se decidió unificar el punto de toma de muestras en las 3 minas y realizarlo en la boca mina, es decir, el primer punto de salida de agua a partir de la mina.



Figura 17. Puntos de toma de muestras

a) Mina 1

b) Mina 2

c) Mina 3

3.3.2.2 Toma de muestra

Se tomó una muestra compuesta, en cada una de las minas, siguiendo el siguiente procedimiento en cada una de ellas: captación de 6 litros del fondo de la primera piscina de sedimentación, 6 litros del medio de la piscina de sedimentación y el volumen restante para complementar el bidón, directamente de

la manguera de abastecimiento de la boca mina (Las 3 minas cuentan con instalaciones similares de almacenamiento de relaves).

3.3.3 Conservación de la muestra

3.3.3.1 Elección del contenedor

Acorde a la norma INEN 2176:1998, tomando en cuenta la gran variedad de variables que se midieron, se escogió como contenedor un bidón de plástico, lavado previamente con ácido.



Figura 18. Bidón 5 Galones (aprox. 20 litros).

3.3.3.2 Mecanismos de protección de la muestra

El agua de cada una de las tres minas se vertió en tres bidones de 20 litros por separado, hasta el tope, de tal forma que no exista espacio para el aire en su interior, a la muestra se adicionó dos gotas de ácido clorhídrico e inmediatamente se las llevó a refrigeración.



Figura 19. Conservación de muestras.

3.4 Acondicionamiento para la biocoagulación

3.4.1 Recolección de las semillas de *Caesalpinia spinosa*

Las semillas de *Caesalpinia spinosa*, fueron recolectadas en el mes de abril, en la parroquia Chavezpamba, ubicada a 2 horas de Quito y cuenta con un clima subtropical.

3.4.2 Secado, cizallamiento y tamizado de las semillas

Las semillas fueron sometidas a un proceso de secado de aproximadamente 1 mes, en el cual no recibieron sol de manera directa; se determinó su punto óptimo al adquirir un color rojizo inherente a la *Caesalpinia spinosa*. Una vez secas, las semillas fueron separadas de las vainas, ambas partes fueron pesadas y pulverizadas en un molino de martillo, luego fueron tamizadas con diámetro de partícula de 300 micrones y, finalmente se guardaron en frascos ámbar en ausencia de luz.



Figura 20. Obtención de harina de guarango

- a) Proceso de tamizado (300 micrones).
- b) Harina tamizada.
- c) Almacenamiento de la harina en envases plásticos herméticos.
- d) Eliminación de las partículas superiores a 300 micrones.

3.4.3 Selección del solvente

Acorde a la bibliografía analizada, el solvente puede ser de cualquier índole siempre y cuando cumpla con dos condiciones: ser polar y orgánico, este es el caso de: etanol, acetona, metanol, cloroformo, tolueno y xileno (Jin, Wang y Chen, 2010).

El solvente más recomendado para *Caesalpinia spinosa*, es el metanol, debido a que su pH es neutro, que viabiliza la solubilidad de los taninos y no acidifica el agua a tratar (Hoyos, Merle, Labidi y Charrier , 2018).

Para la preparación del biocoagulante se aplicó el método Microwave Assisted Extraction (MAE), el cual potenció el efecto de los taninos mediante calentamiento rápido en microondas el cual puede tomar desde segundos hasta minutos, dependiendo de la naturaleza del solvente (Jin, Wang y Chen, 2010).

Una vez calentada la mezcla se aplicó el método Solid - Liquid Extraction (SLE) en una proporción (1/30 m/v). Esta fue filtrada con filtros de 125 mm, se adicionó 2

gotas de HCl concentrado, para hidrolizar los taninos (Rhazi, Hannache, Oumam, Sesbou, Charrier, Pizzi y Charrier, 2015) y se le aportó tiempo para el macerado, los tiempos están especificados en la Tabla 4. Posteriormente, fueron filtrados con el equipo de filtración para evitar que aporten turbidez. Se adaptaron los dos métodos para aplicarlos juntos al diseñar el biocoagulante líquido.

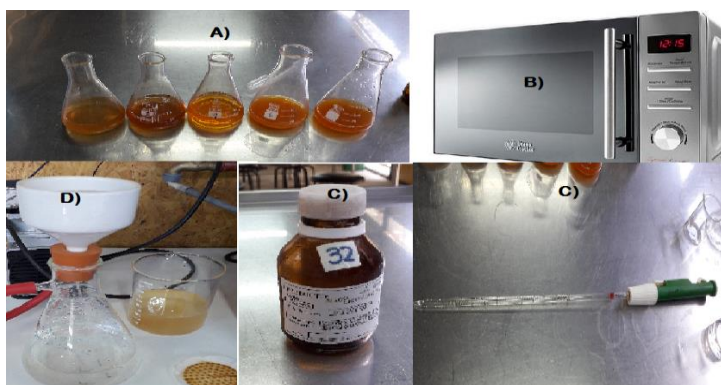


Figura 21. Elaboración del biocoagulante

- a) Solventes
- b) Calentamiento rápido por microondas
- c) Hidrolizado
- d) Filtración de los biocoagulantes

3.4.4 Preparación del Biocoagulante

A partir de estas bases se realizaron 29 pruebas con diferentes concentraciones y combinaciones de solventes:

Tabla 4.

Elección de Solvente Orgánico (Acetona-Metanol-Agua Destilada)

Solvente	Composición
----------	-------------

Solvente 1	30 ml agua destilada + 10 ml metanol + 1 g <i>Caesalpinia spinosa</i>
Solvente 2	30 ml agua destilada + 10 ml metanol + 2 g <i>Caesalpinia spinosa</i>
Solvente 3	30 ml agua destilada + 10 ml metanol + 3 g <i>Caesalpinia spinosa</i>
Solvente 4	30 ml metanol + 1 g <i>Caesalpinia spinosa</i>
Solvente 5	30 ml metanol + 2 g <i>Caesalpinia spinosa</i>
Solvente 6	25 ml de metanol + 5 ml de acetona + 1 g <i>Caesalpinia spinosa</i>
Solvente 7	25 ml de metanol + 10 ml de acetona + 1 g <i>Caesalpinia spinosa</i>
Solvente 8	30 ml de acetona + 1 g <i>Caesalpinia spinosa</i>
Solvente 9	30 ml agua destilada + 10 ml metanol + 1 g <i>Caesalpinia spinosa</i> (ácido 2 gotas + 10 ml agua destilada)
Solvente 10	30 ml agua destilada + 10 ml metanol + 2 g <i>Caesalpinia spinosa</i> (ácido 2 gotas + 10 ml agua destilada)

Solvente 11	30 ml metanol + 1 g <i>Caesalpinia spinosa</i> (ácido 2 gotas + 10 ml agua destilada)
Solvente 12	25 ml de metanol + 5 ml de acetona + 1 g <i>Caesalpinia spinosa</i> (ácido 2 gotas + 10 ml agua destilada)
Solvente 13	25 ml de metanol + 10 ml de acetona + 1 g <i>Caesalpinia spinosa</i> (ácido 2 gotas + 10 ml agua destilada)
Solvente 14	30 ml agua destilada + 10 ml metanol + 1 g <i>Caesalpinia spinosa</i> (ácido 2 gotas, reposo de 1 día en conjunto)
Solvente 15	30 ml agua destilada + 10 ml metanol + 2 g <i>Caesalpinia spinosa</i> (ácido 2 gotas, reposo de 1 día en conjunto)
Solvente 16	30 ml metanol + 1 g <i>Caesalpinia spinosa</i> (ácido 2 gotas, reposo de 1 día en conjunto)
Solvente 17	25 ml de metanol + 5 ml de acetona + 1 g <i>Caesalpinia spinosa</i> (ácido 2 gotas, reposo de 1 día en conjunto)
Solvente 18	25 ml de metanol + 10 ml de acetona + 1 g

	<i>Caesalpinia spinosa</i> (ácido 2 gotas, reposo de 1 día en conjunto)
Solvente 19	30 ml agua destilada + 10 ml metanol + 1 g <i>Caesalpinia spinosa</i> (ácido 2 gotas, filtración inmediata)
Solvente 20	30 ml metanol + 1 g <i>Caesalpinia spinosa</i> (ácido 2 gotas, filtración inmediata)
Solvente 21	25 ml de metanol + 5 ml de acetona + 1 g <i>Caesalpinia spinosa</i> (ácido 2 gotas, filtración inmediata)
Solvente 22	30 ml metanol + 2 g <i>Caesalpinia spinosa</i> (producto dos semanas + 2 gotas de ácido)
Solvente 23	30 ml metanol + 1 g <i>Caesalpinia spinosa</i> (ácido 2 gotas en reposo 1 día en conjunto, 30 s microondas)
Solvente 24	30 ml metanol + 1 g <i>Caesalpinia spinosa</i> (ácido 2 gotas en reposo 1 día en conjunto, 30 s microondas)
Solvente 25	30 ml metanol + 1 g <i>Caesalpinia spinosa</i> (filtrado + ácido 2 gotas en reposo 1 día en conjunto, 30 s microondas)
Solvente 26	30 ml metanol + 1 g <i>Caesalpinia spinosa</i> (filtrado + ácido 2 gotas en reposo 1 día en conjunto, 30 s microondas)
Solvente 27	30 ml metanol + 1 g <i>Caesalpinia spinosa</i> (sin filtro + ácido 2 gotas en reposo 1 día, 30 s microondas)

Solvente 28	30 ml metanol + 1 g <i>Caesalpinia spinosa</i> (sin filtro + ácido 2 gotas en reposo 1 día, 30 s microondas)
Solvente 29	30 ml metanol + 1 g <i>Caesalpinia spinosa</i> (sin filtro + ácido 2 gotas en reposo 1 día, 30 s microondas) sin presencia de luz

3.4.5 Diseño del proceso de biocoagulación- floculación

En primer lugar, se colocó el test de jarras a una velocidad de 200 rpm (mezcla rápida) junto con la dosis de coagulante, por un período de 6 minutos; después, se adicionó el floculante (Poliacrilamida 0,1 %) y se disminuyó la velocidad a 45 rpm (mezcla lenta) por 25 minutos. Finalmente, las revoluciones se detuvieron y comenzó el proceso de sedimentación, que tomó 45 minutos (Romero, 2017).

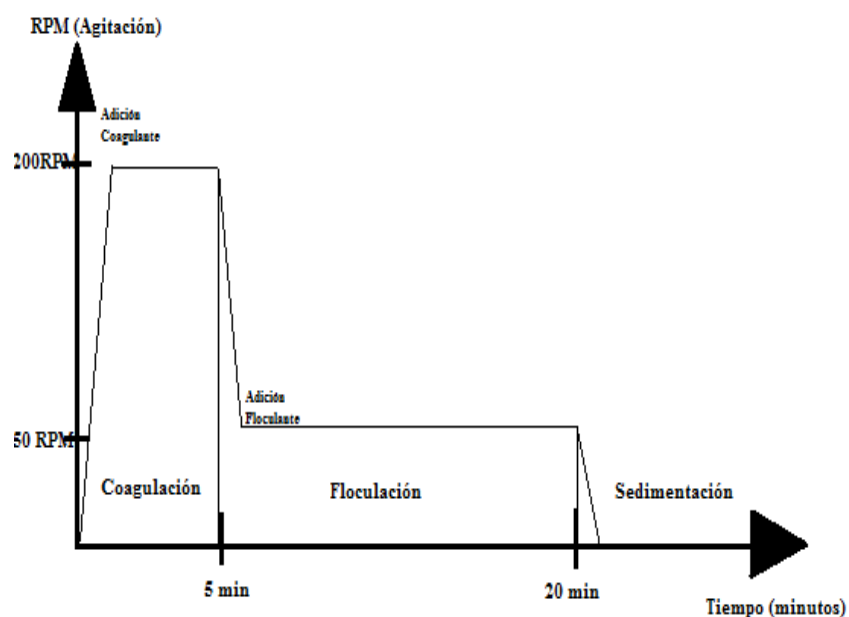


Figura 22. Diseño de proceso coagulación – floculación

Adaptado de Banchón, 2015.

3.4.6 Ensayos de los biocoagulantes realizados

Para cada una de las aguas residuales mineras existió un procedimiento de prueba para determinar los rangos de acción del biocoagulante y regular dosis óptima por tipo de agua y dosis de acción de manera grupal. Su eficiencia se determinó con la medición de turbidez tomando en cuenta la turbidez inicial y la final después de 1 hora de sedimentación.

$$\frac{(V_{pi}-V_{pf})}{V_{pi}} \times 100 \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Dónde:

V_{pi} : Es el valor inicial del contaminante, en este caso la turbidez.

V_{pf} : Es el valor final del contaminante, en este caso la turbidez.

3.4.7 Determinación de la dosis óptima de biocoagulante

Una vez elegido el solvente, se tomó en cuenta las dosis establecidas en el diseño experimental inicial, las cuales fueron 5 ml y 10 ml. Al aplicar 10 ml, la turbidez se disparó, por esta razón fue descartada. Al aplicar 5 ml la biocoagulación se realizó de mejor manera, y la turbidez disminuyó de manera considerable, por lo cual se realizaron varias pruebas, con la finalidad de determinar los nuevos rangos para el diseño experimental definitivo los cuales fueron 4,5 y 2 ml.



Figura 23. Pruebas de dosis óptimas

3.5 Preparación del coagulante químico (PAC)

El policloruro de aluminio en estado líquido fue aplicado de manera pura, tomando en cuenta los lineamientos establecidos en el diseño experimental inicial, se aplicaron 5 ml; sin embargo, no se obtuvo un efecto deseable y se disminuyó la dosis.

3.5.1 Determinación de la dosis óptima de PAC

Para cada una de las aguas residuales mineras existió un procedimiento de prueba para determinar los rangos de acción del PAC y regular dosis óptima por tipo de agua y dosis de acción de manera grupal. Su eficiencia se determinó con la medición de turbidez tomando en cuenta la turbidez inicial y la final después de 1 hora de sedimentación aplicando de igual manera la ecuación 1.

3.6 Preparación del floculante

En calidad de floculante fue empleada la poliácridamida, en solución al 0,1%. Para determinar la dosis óptima se realizaron pruebas. La dosis de floculante fue

unificada para todo el diseño experimental, con la finalidad de que no genere ruido en los resultados finales.

3.7 Diseño Experimental

La finalidad del diseño experimental fue demostrar la eficiencia del biocoagulante, frente a un coagulante químico (PAC). En todos los diseños se aplicará 3,5 ml de poliacrilamida, el blanco no contendrá ningún tipo de coagulante ni biocoagulante; sin embargo, contendrá poliacrilamida en 3,5 ml, para evaluar cómo influirá el floculante en el proceso.

Uñ: 500 ml por tratamiento

EXPERIMENTO 1 (pH 7,33)

En el primer diseño experimental, se aplicó el biocoagulante al drenaje de mina neutro, este diseño conto con 2 experimentos con 3 réplicas cada uno.

Tabla 5.

Experimento 1, pH neutro

VARIABLES	BIOCOAGULANTE (100%)	FLOCULANTE (PA 0.1% m/v)
A	2 ml (-)	3,5 ml
B	4,5 ml (-)	
EXPERIMENTOS	A (2 ml*3,5 ml); B (4,5 ml*3,5 ml)	

EXPERIMENTO 2 (pH 5,43)

En el segundo diseño experimental, se aplicó el biocoagulante al drenaje de mina ácido, este diseño conto con 2 experimentos con 3 réplicas cada uno.

Tabla 6.

Experimento 2, pH ácido.

VARIABLES	BIOCOAGULANTE (100%)	FLOCULANTE (PA 0.1%)
C	2 ml (-)	3,5 ml
D	4,5 ml (-)	
EXPERIMENTOS	C (2 ml*3,5 ml); D (4,5 ml*3,5 ml)	

EXPERIMENTO 3 (pH 3,88)

En el tercer diseño experimental, se aplicará el biocoagulante al drenaje de mina neutro, este diseño contará con 2 experimentos con 3 réplicas cada uno.

Tabla 7.

Experimento 3, pH súper ácido.

VARIABLES	BIOCOAGULANTE (100%)	FLOCULANTE (PA 0.1%)
E	2 ml (-)	3,5 ml
F	4,5 ml (-)	

EXPERIMENTOS	E (2 ml*3,5 ml); F (4,5ml*3,5 ml)
--------------	-----------------------------------

EXPERIMENTO 4 (pH 3,88-5,43-7,33) vs. Policloruro de aluminio

En el cuarto experimento se aplicará PAC como coagulante químico, en una sola dosis, este diseño contará con 3 experimentos con 3 réplicas cada uno (Hernández, Urbina, Aguilar, García y Landaeta , 2015).

Tabla 8.

Experimento 4, aplicación de policloruro de aluminio en pH neutro, pH ácido y pH súper ácido.

VARIABLES	COAGULANTE POLICLORURO DE ALUMINIO	FLOCULANTE (PA 0.1%)
G (pH 7.3)	2 ml	3,5 ml
H (pH 5.6)	2 ml	3,5 ml
I (pH 3,4)	2 ml	3,5 ml
EXPERIMENTOS	G(2ml*3,5ml); H(2ml*3,5ml); I(2ml*3,5ml)	

EXPERIMENTO 5 (pH 3,88-5,43-7,33) Blanco

En el quinto experimento, no se aplicará ningún tipo de coagulante ni biocoagulante; sin embargo, se aplicará floculante para determinar el efecto real de los experimentos anteriores.

Tabla 9.

Experimento 5, blanco, aplicando PA (0.1%) en pH neutro, pH ácido y pH súper ácido.

VARIABLES	COAGULANT E (0%)	FLOCULANT E (PA 0.1%)
J (pH 7,3)	0 ml	3,5 ml
K (pH 5,6)	0 ml	3,5 ml
L (pH 3,4)	0 ml	3,5 ml
EXPERIMENTOS	J (0 ml*3,5ml); K (0 ml*3,5ml); L (0 ml*3,5ml)	

3.8 Caracterización del agua residual previa y posterior a sus tratamientos

A continuación, se detalla la metodología que se ha utilizado para definir las características físicas y químicas de las aguas de drenaje minero antes y después de su tratamiento con *Caesalpinia spinosa* y PAC. El agua proviene de tres minas diferentes, ubicadas en Imbabura, Azuay y El Oro.

3.8.1 Caracterización física

La caracterización física se realizó en el laboratorio UDLAPARK, mediante el espectrofotómetro UV/VIS, con el cual se determinó el parámetro turbidez. Por otro lado, con el equipo HANNA HI 2550, se determinó temperatura, y conductividad eléctrica. Además, se midió pH con el equipo Milwaukee MW102. Se tomó una muestra significativa de los 3 diferentes tipos de drenajes mineros, y se insertó las sondas para obtener los parámetros deseados. Es importante

recalcar que cada medición se realizó 3 veces para garantizar la fiabilidad de los datos.

Por otro lado, se aplicaron técnicas gravimétricas para medir SST (Sólidos Suspendidos Totales), para ello se tomaron muestras bien agitadas que se pasaron a través de un filtro estándar de fibra de vidrio, previamente pesado, y el residuo retenido se secó a 105°C.

La caracterización física final, de igual manera se realizó en el laboratorio UDLAPARK, mediante el espectrofotómetro UV/VIS, el equipo HANNA HI 2550 y el equipo Milwaukee MW102, en esta ocasión, se realizaron los 36 experimentos en intervalos de 12, debido a la cantidad de crisoles y conos Imhoff necesarias. De igual manera, se aplicaron técnicas gravimétricas para medir SST (Sólidos Suspendidos Totales)

3.8.1.1 Turbidez

La turbidez es un parámetro físico, el cual fue medido antes de cada tratamiento y posterior al mismo para determinar la eficiencia de la remoción utilizando la Ecuación 1.



Figura 24. Espectrofotómetro UV/VIS

3.8.1.2 Sólidos sedimentables (SSedT)

Para realizar la medición de los sólidos sedimentables, fueron colocadas las muestras en sus respectivos conos Imhoff, al pasar los primeros 15 minutos, suavemente con una varilla de vidrio se removió el contorno del cono, después de 1 hora de sedimentación se procedió a tomar la medida del cono, la evaluación posterior de este parámetro, se llevó a cabo inmediatamente después de aplicar los tratamientos, en intervalos de 12, debido a la disponibilidad de los conos.



Figura 25. Conos Imhoff.

3.8.1.3 Sólidos suspendidos (SST)

En primer lugar, se tararon los crisoles con los filtros en conjunto, posterior a ello ingresaron al horno a 105°C durante 1 hora y se desecaron durante 30 minutos; este paso se repitió, para asegurar la fiabilidad de los datos. El filtro fue colocado en el equipo filtrante y fue lavado con agua destilada en muy baja cantidad, a continuación, se hizo pasar 100 ml de las aguas residuales, luego ingresaron en conjunto el crisol y el filtro al horno durante 24 horas, y finalmente fueron nuevamente desecados y pesados, posterior al tratamiento se replicó el procedimiento en las 36 muestras.

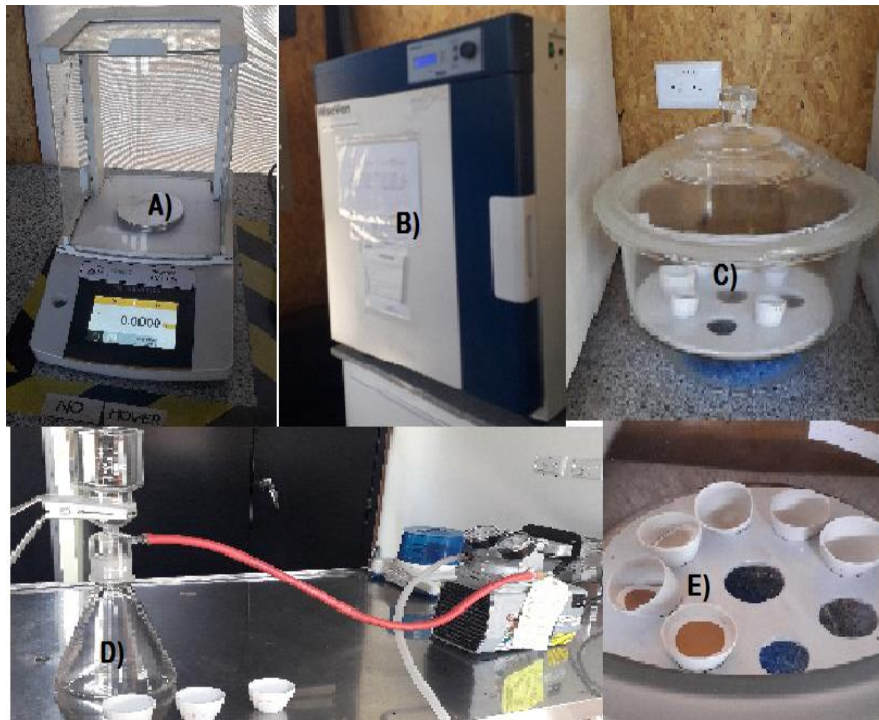


Figura 26. Determinación de sólidos suspendidos

- a) Pesaje previo de los crisoles junto con los filtros
- b) Horno a 105°C durante 1 hora
- c) Desechados 30 minutos
- d) Filtración
- e) Desechado final de las muestras después de 24 horas a 105°C.

La fórmula empleada para calcular sólidos suspendidos es:

$$mg \text{ de sólidos suspendidos} = 10^6 \frac{(A-B)}{\text{Volumen de muestra ml}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Dónde:

A: Peso del filtro en conjunto con el peso del crisol (mg)

B: Peso del crisol vacío (mg)

3.8.1.4 Sólidos totales (STT)

Para comenzar se tararon los crisoles. Se los llevo durante una hora al horno a 105°C, se los desecó durante 30 minutos y se repitió el proceso hasta que su peso no vario en la balanza analítica. Cuando estuvieron listos los crisoles se les colocó 25 ml de agua residual e ingresaron al horno a 105°C durante 24 horas, al salir se desecó el crisol y se tomaron los pesos de cada uno.



Figura 27. Pesaje de crisol para sólidos totales.

La fórmula empleada para calcular sólidos totales es:

$$mg \text{ de sólidos totales} = \frac{(A-B) \cdot 1000}{\text{Volumen de muestra ml}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Dónde:

A: Peso del residuo seco en conjunto con el peso del crisol (mg)

B: Peso del crisol vacío (mg)

3.8.1.5 Sólidos disueltos (SDT)

Para comenzar se tararon los crisoles, se los llevo durante una hora al horno a 105°C, se los desecó durante 30 minutos y se repitió el proceso hasta que su peso no varió en la balanza analítica, se empleo el agua que se obtuvo de los sólidos suspendidos, aplicando 25 ml en cada crisol, estos permanecieron en el horno a 105°C durante 24 horas, finalmente se los desecó y se volvió a pesar en la balanza analítica.



Figura 28. Equipo de filtración empleado para determinar sólidos.

La fórmula para calcular sólidos disueltos es:

$$mg \text{ de sólidos disueltos} = 10^6 \frac{(A-B)}{\text{Volumen de muestra ml}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Dónde:

A: Peso del residuo seco en conjunto con el peso del crisol (mg)

B: Peso del crisol vacío (mg)

3.8.1.6 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE), fue medida antes y después de cada tratamiento, el equipo empleado para la medición fue el HI 2550.



Figura 29. Medición de la conductividad eléctrica.

3.8.1.7 Color

Para la medición de color se realizaron 2 procedimientos, en primer lugar, se realizó una dilución de cada una de las muestras de 1ml sobre 20 ml de agua destilada (1/20), en segundo lugar, se midió el color de las muestras en estado puro, esto se debió realizar debido a que la normativa nacional demanda una dilución 1/20 mientras que la normativa internacional no. Este parámetro fue medido con el espectrofotómetro UV/VIS.



Figura 30. Medición de color.

3.8.2 Caracterización química

La caracterización química también se realizó en el laboratorio UDLAPARK, se midió el DQO aplicando el kit DQO rango 0-15000 mg/l con mercurio, marca Lovibond, este procedimiento se llevó a cabo antes y después de cada tratamiento.

3.8.2.1 Demanda química de oxígeno (DQO)

El procedimiento comenzó añadiendo 2 ml de agua de drenaje minero en el tubo de ensayo con suavidad, se lo colocó en el digestor a 148°C por 2 horas, después de la reacción se dejó reposar los tubos de ensayo por 10 minutos, se los agitó 3 veces cuidadosamente, y se lo dejó enfriar a temperatura ambiente, finalmente se los limpió cuidadosamente y se midieron en el fotómetro Macherey- Nagel UV/VIS, los resultados se obtuvieron en mg/l O₂ con el código 029.



Figura 31. Medición DQO

3.8.2.2 pH

El pH fue medido empleando el equipo Milwaukee MW 102, el proceso de medición para este parámetro se realizó antes y después de cada tratamiento.



Figura 32. Equipo Milwaukee – medición de pH.

3.8.2.3 Metales Pesados

Los análisis de metales pesados se llevaron a cabo en la Dirección General de Investigación (DGI), perteneciente a la Universidad de las Américas, ubicada en el campus Queri. La técnica que se utilizó para el análisis fue ICP-OES (Plasma Inductivo Aplicado). El procedimiento que se siguió fue el siguiente: se tomó 45 ml de muestra de agua y se añadió 5 ml de HNO₃ 67% libre de metales, se digesto durante 30 minutos. Finalmente, se filtró y se aforó a 50 ml con agua Tipo I.

Las botellas enviadas para el análisis, fueron de plástico y fueron lavadas en el laboratorio previamente con ácido nítrico, las muestras se mantuvieron a 4°C en todo momento, este procedimiento se llevó a cabo antes y después de los tratamientos.

Las minas enviaron sus resultados de análisis de laboratorio, sin embargo, por fiabilidad de datos se realizaron nuevas mediciones de cada parámetro.

4. Discusión de resultados

4.1 Determinación de mezcla de solventes

Tabla 10.

Porcentaje de reducción de la turbidez en las aguas mineras acorde a cada solvente mencionado en la Tabla 10.

<i>Porcentaje de reducción de turbidez por solvente</i>	
<i>Solvente</i>	<i>%</i>
<i>Solvente 1</i>	<i>53,4</i>
<i>Solvente 2</i>	<i>32,0</i>

Solvente 3	38,7
Solvente 4	18,4
Solvente 5	31,8
Solvente 6	5,9
Solvente 7	76,4
Solvente 8	81,3
Solvente 9	62,3
Solvente 10	44,5
Solvente 11	Incremento*
Solvente 12	28,5
Solvente 13	11,9
Solvente 14	13,0
Solvente 15	34,1
Solvente 16	Incremento*
Solvente 17	14,8
Solvente 18	2,4
Solvente 19	65,4
Solvente 20	Incremento*
Solvente 21	Incremento*

Solvente 22	Incremento*
Solvente 23	7,4
Solvente 24	Incremento*
Solvente 25	58,6
Solvente 26	85,0
Solvente 27	40,0
Solvente 28	79,6
Solvente 29	90,03

Nota: Para definir los porcentajes se aplicó la fórmula de la eficiencia, se midió la turbidez inicial y final después de cada solvente empleado para realizar el biocoagulante. Por otro lado, en la Tabla, los Incrementos* son valores a los cuales el parámetro turbidez aumento, esto se debe a los tiempos de extracción, las diluciones con agua destilada, la adición de acetona o por otro lado ocupar biocoagulante que no se encontraba en condiciones (más de una semana).

Pese a la bibliografía leída, en la cual se recomienda ampliamente la acetona como solvente orgánico polar, sus resultados en los métodos SLE combinado con MAE, mencionados anteriormente, aumentan el nivel de turbidez y le aportan un tono lechoso como se ve a continuación en la Figura 33.

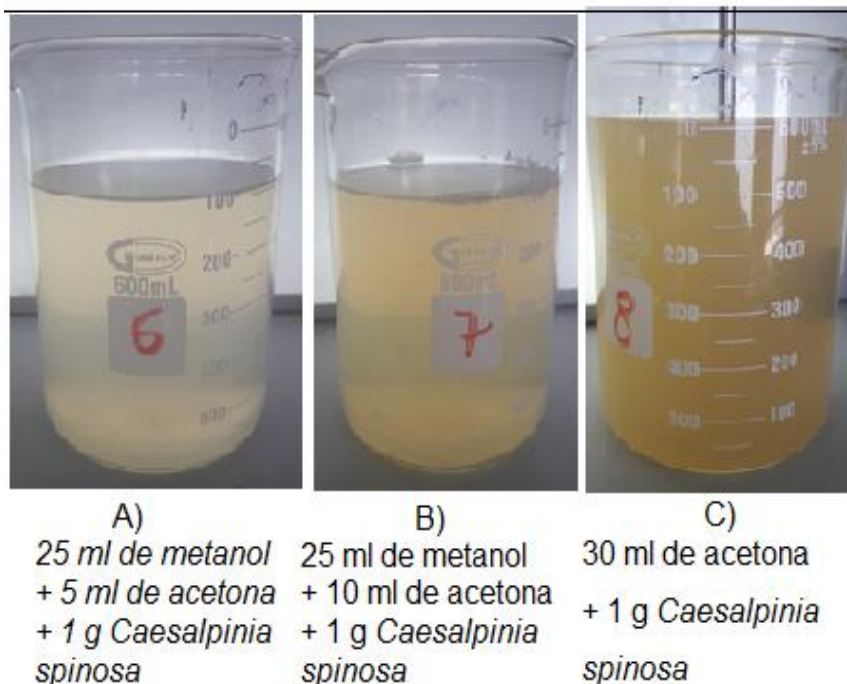


Figura 33. Efecto de la acetona sobre agua de industria minera.

Como podemos observar, A; tiene una dosis menor de acetona (5ml) que aporta un tono lechoso a la solución y forma coágulos muy pequeños, que toman un tiempo considerable en sedimentar.

Por otro lado, B tiene un mayor aporte de acetona (10ml), que incrementó aún más la turbidez y el color; sin formar coágulos. En tanto que, C que consta únicamente de acetona, no formó coágulos y aumentó en gran medida la turbidez y el color.

En solvente 22, se empleó como prueba para determinar la eficiencia del biocoagulante con el paso del tiempo, la prueba muestra que el solvente pierde su condición al cumplir la semana de elaboración.

4.1.1 Cantidad óptima de *Caesalpinia spinosa*

Los resultados más elevados en cuanto a reducción de turbidez se obtuvieron con la mezcla de 30 ml de metanol y 1 mg de *Caesalpinia spinosa*, a la cual se le fueron aplicando tratamientos para la extracción de taninos como la hidrólisis y el calentamiento rápido en microondas. Sin embargo, la constante de *Caesalpinia spinosa* fue funcional a nivel de 1 gramo (Cerón, 2016).

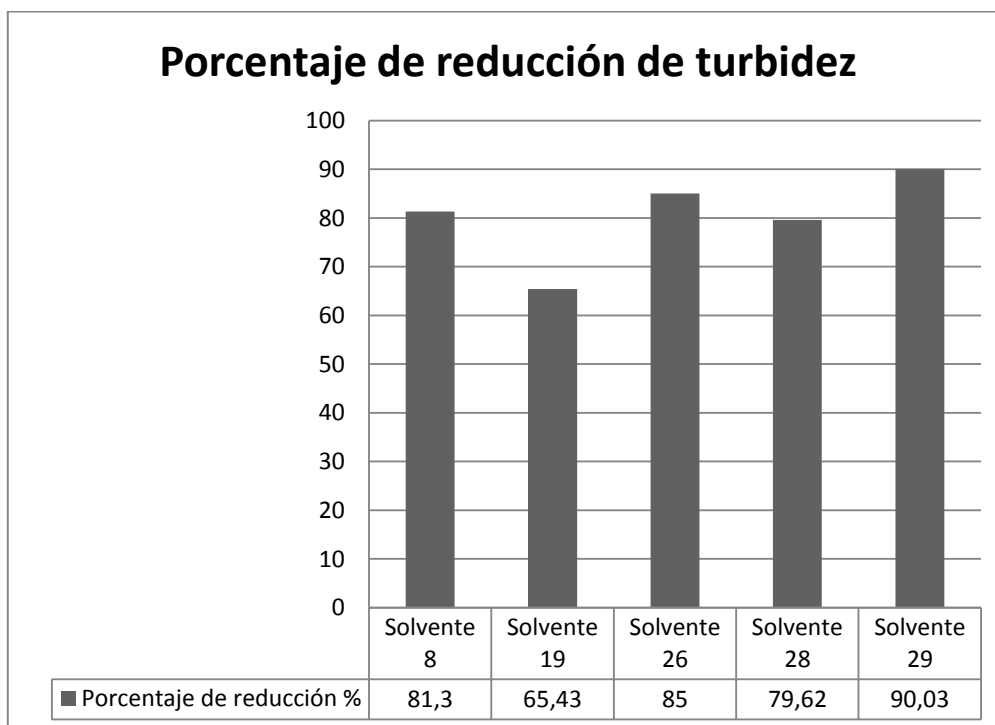


Figura 34. Porcentaje de reducción de turbidez.

Al momento de preparar el coagulante fue fundamental saturar el solvente de tal manera que se pueda extraer el biocoagulante sin generar más turbidez ni aumentar el DQO.

4.2 Determinación de la dosis óptima de biocoagulante y floculante

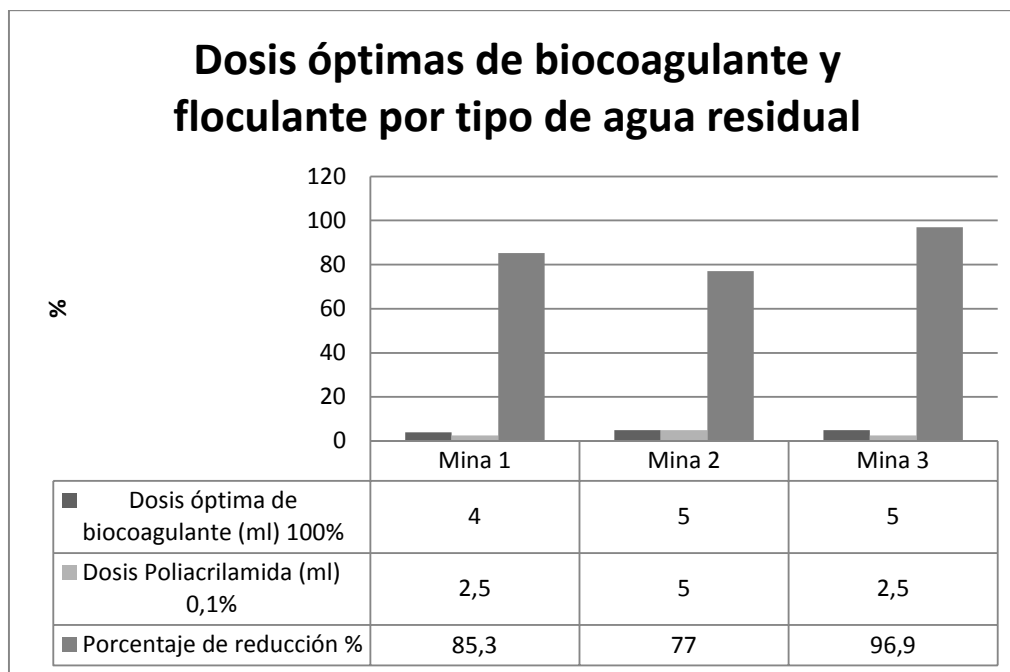


Figura 35. Dosis óptimas de biocoagulante y floculante.

Se realizaron pruebas en las aguas residuales mineras, en conjunto y a su vez de manera unitaria, ya que cada tipo de agua tiene su propio pH; con estos valores iniciales, se fijaron las dosis unificadas que se usaron en el diseño experimental, promediando los valores.

Es importante mencionar que fueron realizadas pruebas con valores elevados de biocoagulante, como 20 ml, 15 ml y 10 ml, en estos casos los coágulos eran diminutos o inexistentes, e incluso en el caso de la mina 2 se disparaba la turbidez; por este motivo las dosis fueron reguladas en el diseño experimental a 4,5 ml y 2 ml (en este último caso para evaluar la eficiencia del biocoagulante a niveles bajos).

Las pruebas realizadas arrojaron los siguientes valores: en el caso de la mina 1, con un pH neutro (7,33), la eficiencia del biocoagulante, fue de 85,3%. Como ya lo señaló Banchón (2016), los biocoagulantes evitan cambios bruscos en el pH, esto

puede deberse a la presencia de calcio que amortigua el descenso del pH (Millán, Mathison, Alvares, Jarbough, 2003).

En la mina 2, se tuvo una eficiencia del 77 %, esta es una mina con un pH ácido (5,43), una elevada cantidad de sólidos, y un color rojizo, característica de la presencia de hierro en el medio (Ramírez, Pastor, Doñate, Lardin, Aymerich y Romaguera, 2019).

En la mina 3, la cual es muy ácida (3,88), se obtuvo una eficiencia de 96,9%. Esta es una mina con una elevada presencia de calcio y magnesio y potasio, las cuales son especies catiónicas, que fomentan el equilibrio químico y que se encuentran disponibles al agregar el biocoagulante (Trujillo, Martínez y Flores, 2008).

4.3 Determinación de dosis óptima de PAC

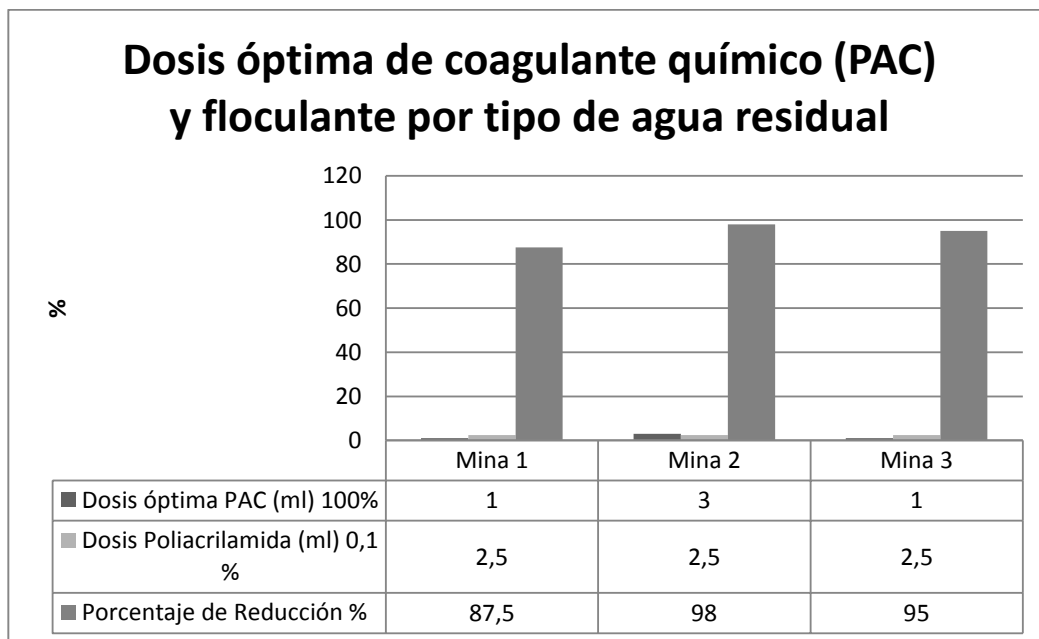


Figura 36. Dosis óptima de PAC y floculante.

Se llevaron a cabo ensayos para determinar la dosis óptima de los tres drenajes mineros; de esta manera se definió que a mayor turbidez como es el caso de la mina 2, mayor necesidad de coagulante químico (PAC), con estos valores

iniciales, se fijaron las dosis unificadas que se usaron en el diseño experimental, promediando los valores.

En el caso del coagulante químico, también se realizaron pruebas en un espectro más amplio (5 ml y 10 ml al 100%) y en dilución (20 y 30 ppm). En el espectro amplio el agua aumento su turbidez y tomo un color blanquecino. Por otro lado, al aplicar el PAC en dilución no se obtuvo ningún efecto sobre el agua, por este motivo se redujeron las dosis al 100% logrando llegar a la dosis óptima.

En la mina 1, el PAC tuvo una eficiencia de remoción del 87,5%, al emplear 1 ml al 100%, se generaron lodos blanquecinos en gran volumen.

En la mina 2, al aplicar 3 ml al 100%, se obtuvo una eficiencia del 98%. Al ser una mina ácida y con una turbidez tan alta, fue necesario aumentar la cantidad de coagulante químico PAC, se generaron lodos blanquecinos.

En la mina 3, al aplicar 1 ml al 100% se obtuvo una eficiencia del 95%. Esta es una mina muy ácida con una presencia elevada de cationes.

Es importante mencionar que no fue necesario alterar el pH de ninguna de las minas al aplicar el tratamiento químico, esto se debe a la misma presencia de sales catiónicas como calcio, las cuales son consumidas durante la reacción. Sin embargo, al tratarse de PAC el agua tiende a un descenso de pH (Andrinolo, Giannuzzi y Bauza, 2013).

4.4 Caracterización de las muestras

A continuación, se detallan los resultados de los análisis realizados a las muestras de las 3 minas.

4.4.1 Caracterización inicial

Los parámetros se midieron empleando la metodología descrita anteriormente en el capítulo 3.

4.4.1.1 Caracterización física

Los parámetros físicos analizados fueron: turbidez, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, sólidos totales, sólidos disueltos, conductividad eléctrica y color.

4.4.1.1.1 Turbidez

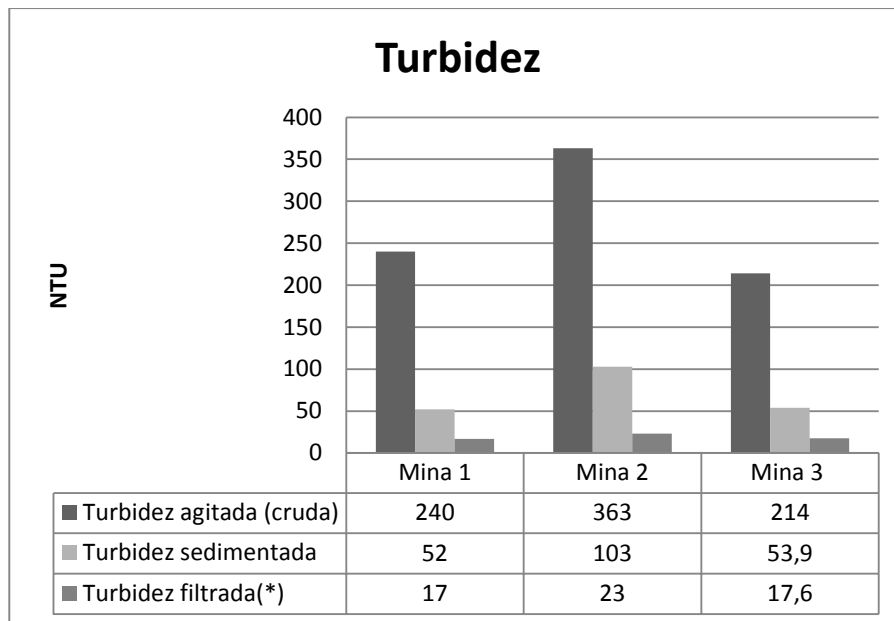


Figura 37. Turbidez inicial y sus pretratamientos.

Nota: La turbidez filtrada (*) fue seleccionada para realizar los 5 tratamientos del diseño experimental.

La turbidez es un parámetro fundamental a la hora de realizar la coagulación, Como expresó anteriormente Andia (2000), a mayor turbidez, menor necesidad de coagulante, ya que la probabilidad de coalición es mayor. Sin embargo, en este caso es importante tomar en cuenta los procesos previos al tratamiento, como es la sedimentación y las rejillas de filtro, por lo cual se sometió al agua a tratamientos previos, para simular las condiciones reales de campo. Al aplicar una turbidez menor, era más preciso realizar el cálculo de la dosis óptima, por mina.

4.4.1.1.2 Sólidos

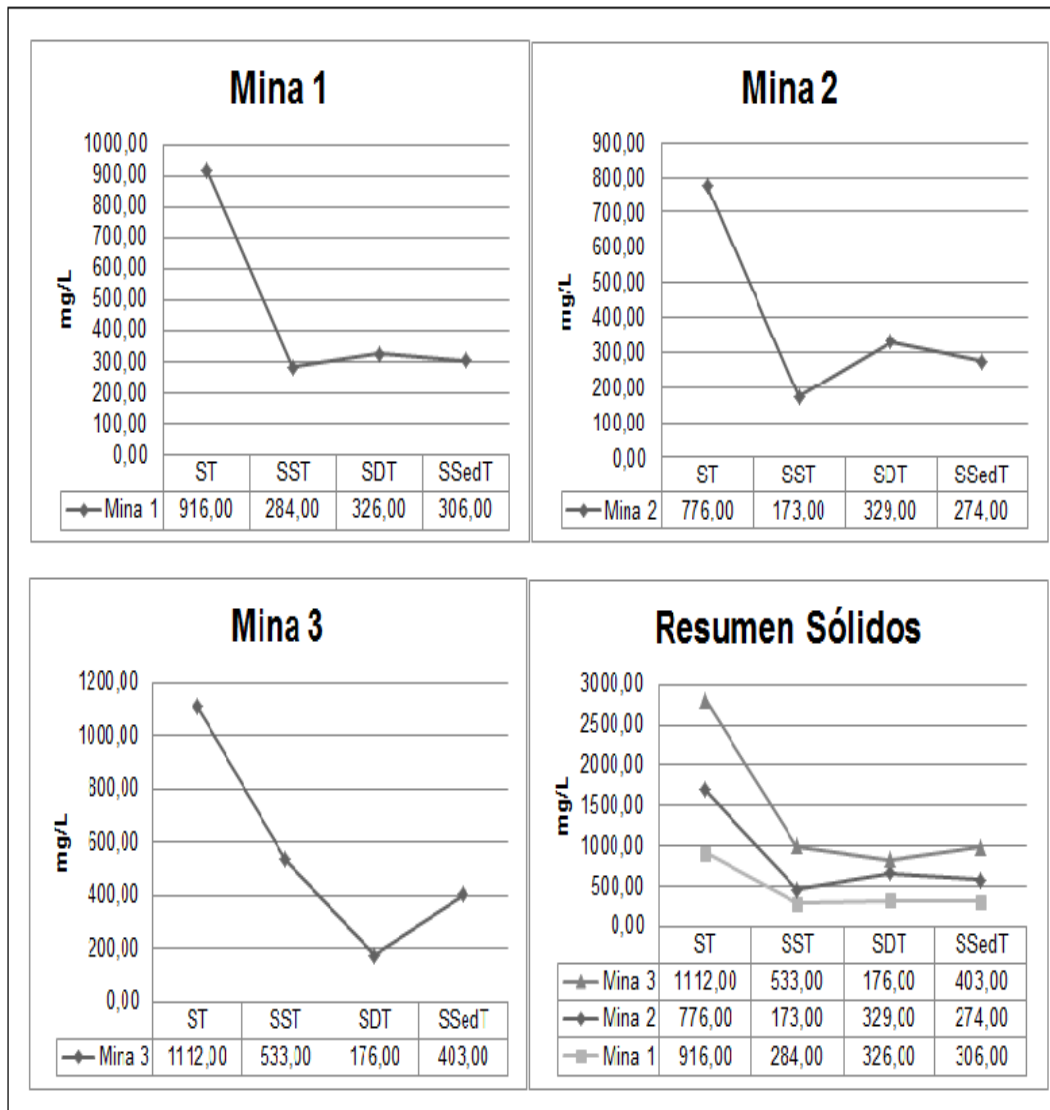


Figura 38. Sólidos iniciales de las 3 industrias mineras

Como se puede observar en la Figura 38, se resalta la presencia de sólidos disueltos, los cuales son indicadores de alta carga de iones, estos en su mayoría son sales inorgánicas, como, por ejemplo: potasio, sodio, magnesio, y calcio, valores normalmente elevados en aguas de industrias mineras (Barragán, Centeno y Guayara, 2018).

Por otro lado, se apreció que se cuenta con un alto número de sólidos sedimentables y suspendidos, esto se debe a que las partículas tienen un espectro de volumen muy pequeño, debido a los procesos de perforación y voladura dentro de las minas, por lo cual aumenta en gran medida su tiempo de decantación, esto puede disminuir el paso de luz solar que ingresa a través de las capas de agua disminuyendo la actividad fotosintética (Ruiz, 2018).

En cuanto a sólidos disueltos (SDT), la mina 2 tiene la mayor cantidad, seguida por la mina 1, y finalmente la mina 3.

En referencia a sólidos suspendidos totales (SST), la mina 3 cuenta con una mayor cantidad, a continuación, la mina 1 y finalmente la mina 2.

Por otro lado, los sólidos totales (ST), la mina 3 cuenta con un mayor número de sólidos totales, le sigue la mina 1, y finalmente la mina 2.

4.4.1.1.3 Conductividad eléctrica

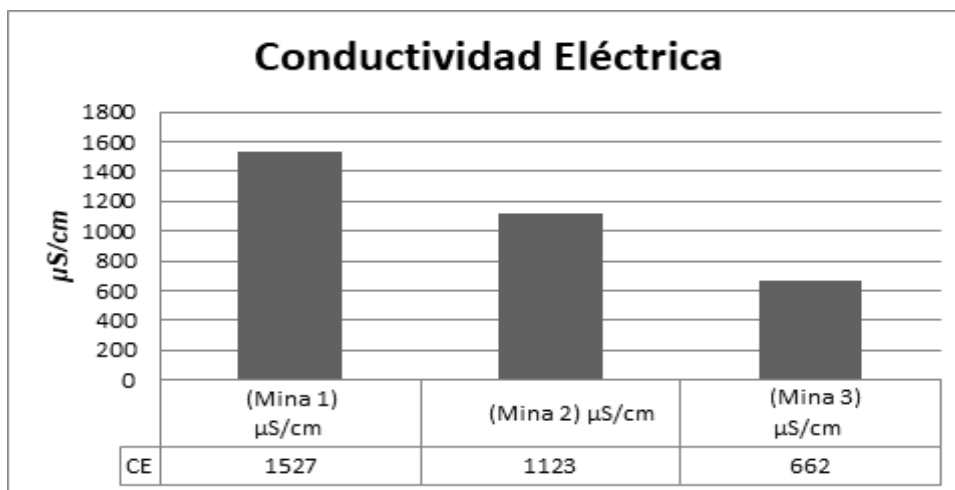


Figura 39. Conductividad eléctrica inicial de las 3 industrias mineras.

La conductividad eléctrica es uno de los indicadores de calidad del agua más utilizados ya que está directamente relacionada a otros factores, como son:

mineralización del agua, sólidos solubles, la sumatoria de aniones y cationes (Reynerio, González, Mesa, Benamor, de las Cuevas y Álvarez, 2011). En el caso de las aguas de industrias mineras, es común tener elevadas cantidades de minerales meteorizados debido a la voladura, es decir el agua queda mineralizada y cargada de iones y aniones.

Los valores inferiores a 200 $\mu\text{s/cm}$, son indicadores de aguas menos salinas, valores entre 400 - 700 $\mu\text{s/cm}$, indican presencia de calcio, magnesio y azufre. Por otro lado, valores de 700 - 1300 $\mu\text{s/cm}$ son indicadores de salinidad media, igualmente contienen calcio y magnesio, provienen de acumulaciones aluviales, valores de 1300 - 2000 $\mu\text{s/cm}$, indican salinidad muy alta y presencia de sodio, magnesio, cloro y azufre (Moral, 2018).

En el caso de la mina 1 tenemos una mina con una elevada conductividad eléctrica, en la mina 2, tenemos una conductividad eléctrica media, y en la mina 3 tenemos una baja conductividad eléctrica; sin embargo, se encuentran dentro del rango normal en minería que va desde 500 $\mu\text{s/cm}$ en adelante.

4.4.1.1.4 Color

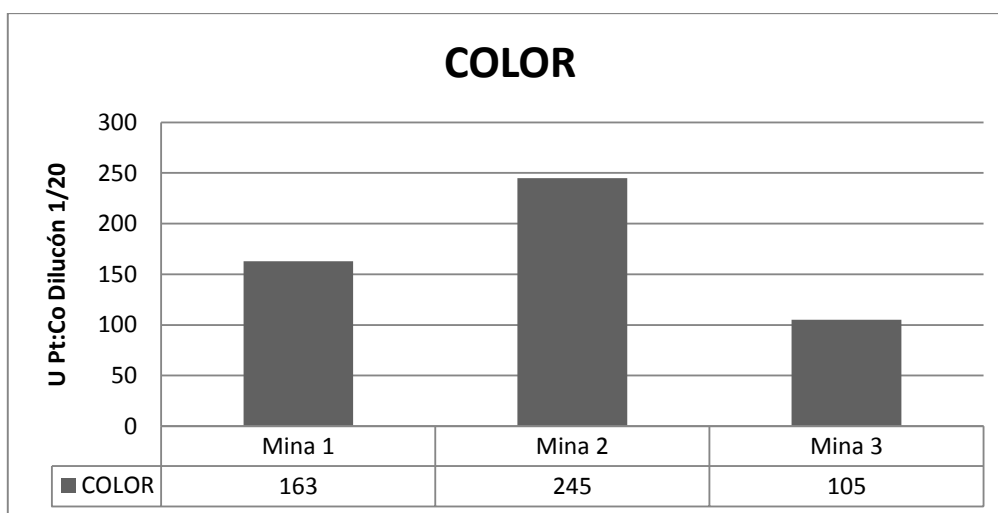


Figura 40. Medición de color inicial de las 3 industrias mineras.

En cuanto a color, la minería presenta tonos fuertes en matices rojizos, pardos amarillos y cafés, estos colores se deben en gran medida a las sales minerales disueltas, como hierro, magnesio, plomo, cromo entre otros (Ribeiro, Paim y Rocha, 2008).

4.4.1.2 Caracterización química

Los parámetros químicos analizados fueron: Demanda Química de Oxígeno, pH, y metales pesados.

4.4.1.2.1 Demanda Química de Oxígeno

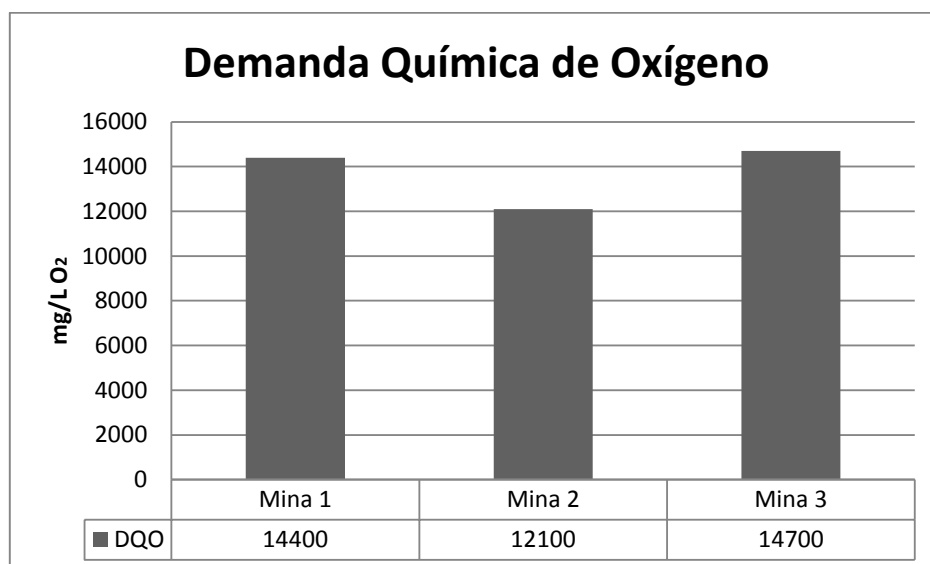


Figura 41. DQO inicial de las 3 industrias mineras.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO), es la cantidad de oxígeno necesaria para degradar la materia orgánica e inorgánica del agua (Ardila, Reyes, Arriola y Hernández, 2012). En el caso de la minería la carga inorgánica es elevada, y aun que el DQO se exprese como Materia Orgánica (MO), existen sustancias reductoras, como las sales de hierro, las cuales son consideradas materia inorgánica oxidable (Sánchez, 2015).

Como se puede apreciar, el DQO en los 3 tipos de agua residual de industrias mineras, es similar, ya que tienen compuestos similares aportados por la perforación y voladura dentro de las minas.

Dentro de aguas industriales mineras los valores de DQO, tienden a estar entre los 6000 a 20000 mg/L, es decir que las 3 minas se encuentran en valores dentro de rango (Aranibar, 2016).

4.4.1.2.2 Potencial de hidrogeno

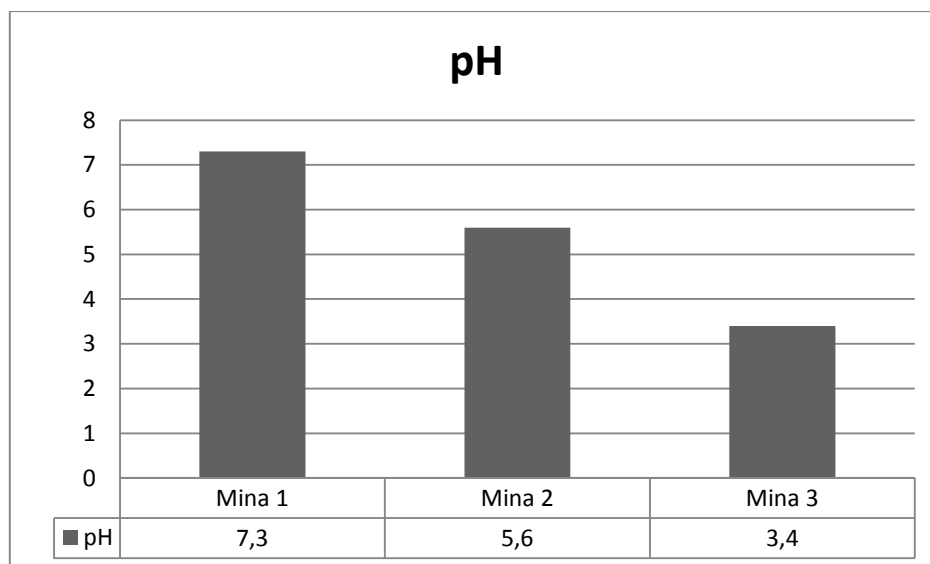


Figura 42. pH

El pH es un factor fundamental, ya que su rango, sobre todo en la minería tiene muchas implicaciones; por ejemplo: en un pH muy ácido hay mayor solubilidad de contaminantes como metales pesados, esto se debe a la hidrólisis y oxidación de sulfuros (Lillo, 2011). La acidez del pH depende en gran medida de la cantidad de sulfuros presentes en la mineralización de la zona, el componente que aporta la acidez es principalmente el ácido sulfúrico (Combatt, Martinez y Palencia, 2008).

En el caso de la mina 1, el pH es casi neutral, debido a la baja presencia de sulfuros, en este caso, se debe a que es un yacimiento mineral que se formó en

presencia de alta presión y alta temperatura. Por otro lado, La mina 2, tiene un pH ácido, tiene una presencia media de sulfuros ya que proviene de un yacimiento skarn, y finalmente la mina 3, que está asentada sobre yacimientos mesotermiales con elevada presencia de sulfuros.

4.4.1.2.3 Metales pesados

Los valores se pueden apreciar a mayor detalle en el Anexo 9.

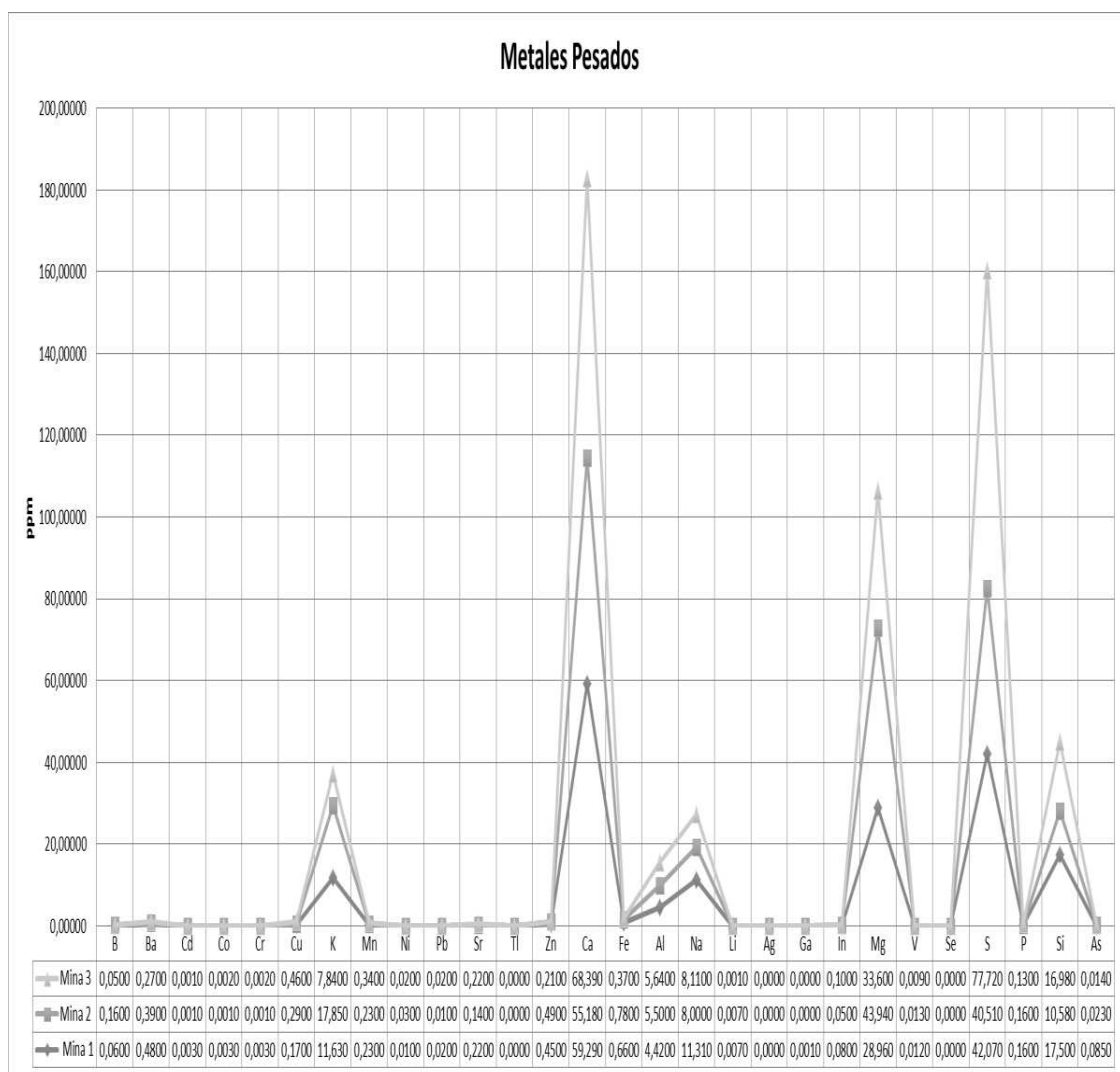


Figura 43. Metales pesados

como se puede observar en la Figura 43, los metales más elevados son potasio, calcio, magnesio, aluminio, sodio, hierro, azufre y silicio.

4.4.2 Caracterización final

Durante la caracterización final se midieron nuevamente los 42 parámetros en los cuales se incluyen: sólidos sedimentables, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, conductividad eléctrica, pH, color, turbidez, DQO y 33 metales pesados, de los cuales solo se analizaron 24 debido a que no se detectó la presencia de 9 de ellos (bismuto, talio, plata, rubidio, cesio, berilio, selenio, galio, telurio).

En la caracterización final se incluye el análisis estadístico. En esta investigación se realizó un diseño factorial completamente al azar, en el cual se incluyen 5 tratamientos incluyendo el blanco, cada una con sus respectivas 3 repeticiones, con un total de 36 unidades experimentales. Se cuenta con 3 tipos de agua de drenaje de mina cuya variación es el pH y 2 dosis de biocoagulante (2 ml y 4,5 ml). Las variables constantes en el diseño fueron: la cantidad de floculante, las revoluciones por minuto en el test de jarras y la temperatura del agua; y, las variables independientes fueron los 33 parámetros mencionados anteriormente (SSedT, ST, SST, SDT, CE, pH, color, turbidez, DQO y 24 metales pesados).

Además del análisis del cumplimiento de la normativa nacional e internacional por tratamiento.

4.4.2.1 Caracterización física

4.4.2.1.1 Tratamiento 1

El tratamiento 1 consto de 2 dosis de biocoagulante aplicado sobre el agua residual de la mina 1, cuyo pH es neutro. Las variables respuesta se pueden apreciar en la Tabla 11, cuyos porcentajes de reducción son los siguientes:

Tabla 11.

Porcentajes de reducción del tratamiento 1

Porcentajes de Reducción	SSedT (%)	ST (%)	SST (%)	SDT (%)	Turbidez (%)	Color (%)	CE (%)
Nivel 1 (2 ml)	incremento*	22,85	89,20	31,42	76,29	97,59	50,73
Nivel 2 (4,5 ml)	66,00	Incremento*	92,02	50,65	79,59	92,77	51,19

Nota: Los incrementos* son valores en los cuales no se presentó una reducción del parámetro.

Acorde a la información obtenida en la Tabla 11, podemos apreciar que ninguno de los 2 niveles es superior en todos los parámetros, sin embargo, el nivel 2 (4,5 ml de *Caesalpinia spinosa*) el porcentaje de reducción es ligeramente mayor en todos los parámetros.

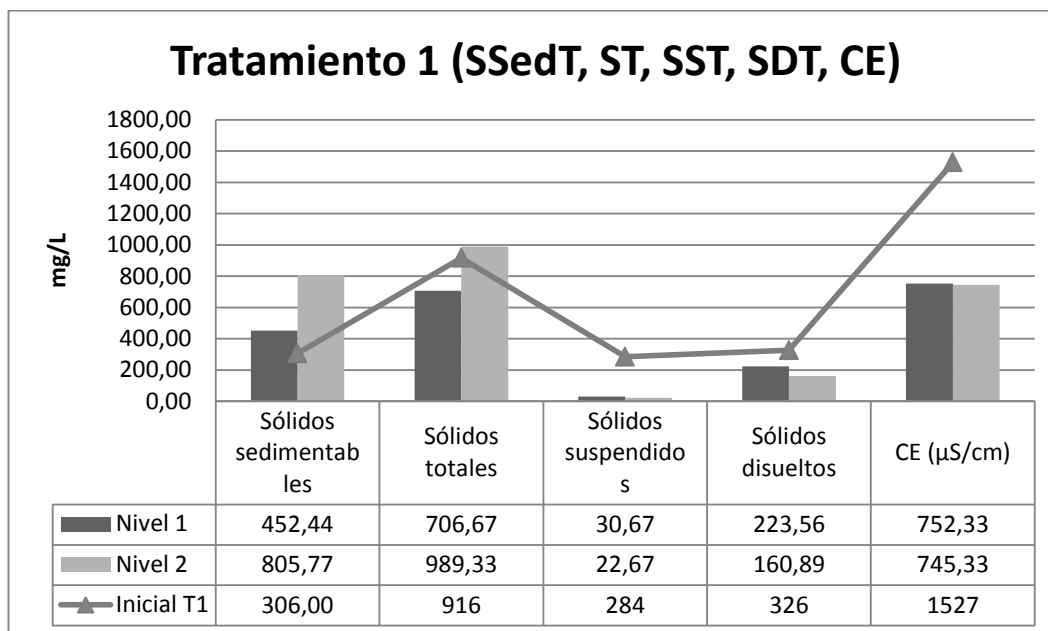


Figura 44. Tratamiento 1: final de SSedT, ST, SST, SDT y CE.

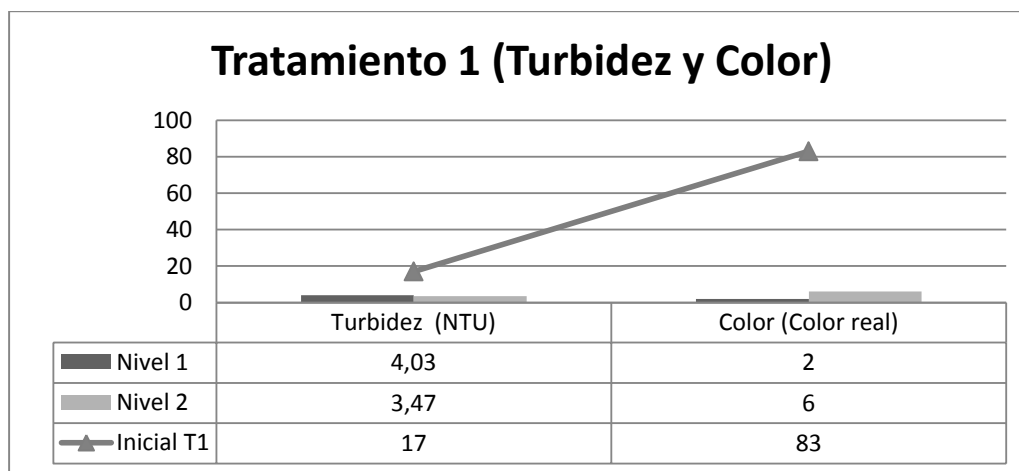


Figura 45. Tratamiento 1: final de Turbidez y color

La reducción de la turbidez empleando *Caesalpinia spinosa*, ya fue estudiada anteriormente por autores como Paredes y Banchón (2015) en el primer caso, Paredes obtuvo la reducción del 97 %; mientras que, Banchón al haber aplicado únicamente *Caesalpinia spinosa* redujo del 11 al 24 %, en el caso del tratamiento

1 se obtuvo en el nivel 1 (2 ml) un porcentaje de reducción del 76%, y en el caso del nivel 2 (4,5 ml) se llegó a un porcentaje de reducción del 79%.

4.4.2.1.2 Tratamiento 2

El tratamiento 2 consto de 2 dosis de biocoagulante aplicado sobre el agua residual de la mina 2, cuyo pH es ácido, los parámetros respuesta, se pueden apreciar en la Tabla 12, cuyos porcentajes de reducción son los siguientes:

Tabla 12.

Porcentajes de reducción del tratamiento 2

Porcentajes de Reducción	SSedT (%)	ST (%)	SST (%)	SDT (%)	Turbidez (%)	Color (%)	CE (%)
Nivel 1 (2ml)	Incremento*	Incremento*	95,38	53,12	93,61	87,24	37,13
Nivel 2 (4,5 ml)	Incremento*	Incremento*	84,58	39,48	97,70	89,85	33,75

Nota: Los incrementos* son valores en los cuales no se presentó una reducción del parámetro

En conformidad con la información mostrada en la Tabla 12, podemos apreciar que ninguno de los 2 niveles es superior en todos los parámetros, sin embargo, el nivel 1 (2 ml de *Caesalpinia spinosa*) obtuvo el mayor porcentaje de reducción en un mayor número de parámetros.

Nivel 1 (2ml)	Incremento*	39,09	93,16	Incremento*	89,60	84,85	12,59
Nivel 2 (4,5 ml)	Incremento*	55,64	95,33	Incremento*	91,88	67,27	21,95

Nota: Los incrementos* son valores en los cuales no se presentó una reducción del parámetro

Según con los datos de la Tabla 13, podemos apreciar que ninguno de los 2 niveles es superior en todos los parámetros, sin embargo, el nivel 2 (4,5 ml de *Caesalpinia spinosa*) obtuvo el mayor porcentaje de reducción en un mayor número de parámetros.

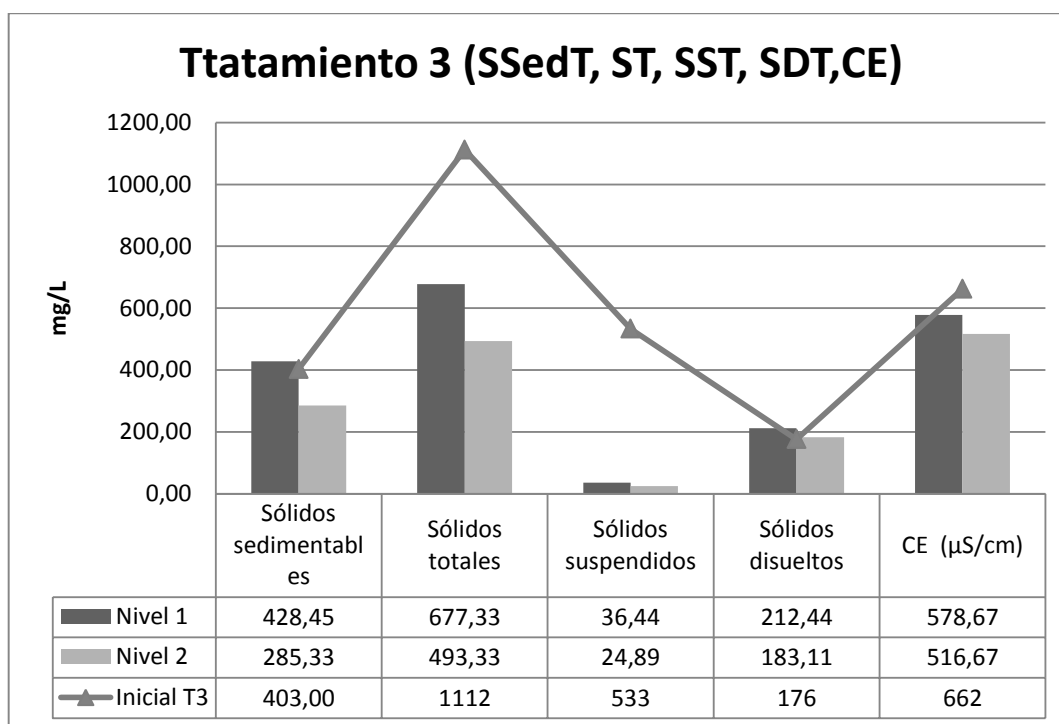


Figura 47. Tratamiento 3: final de SSedT, ST, SST, SDT y CE

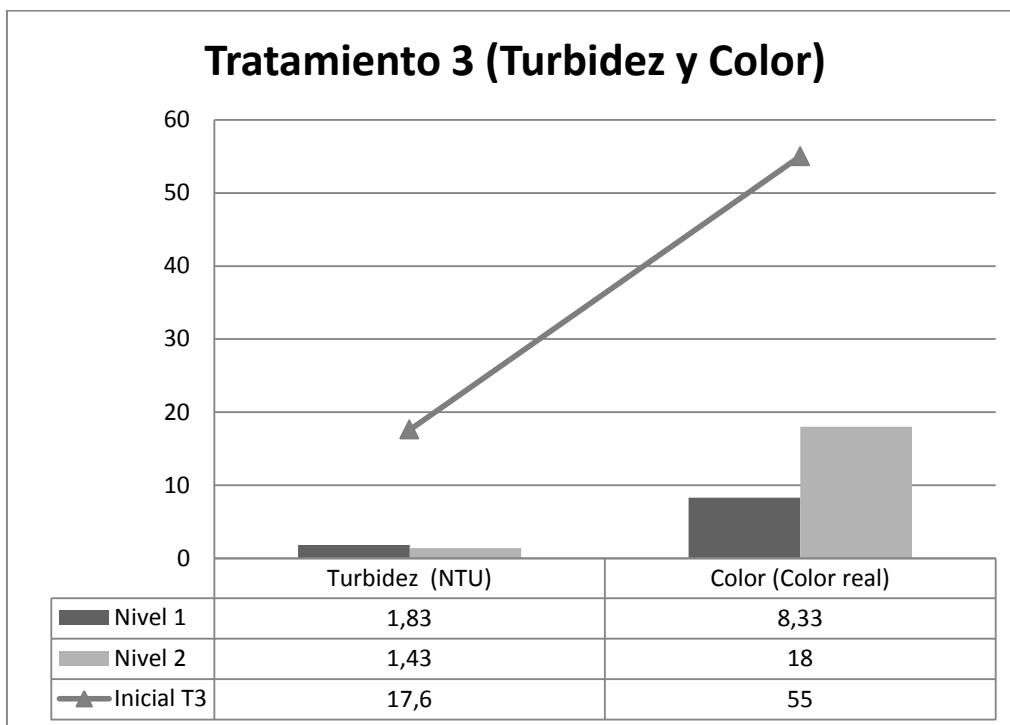


Figura 48. Tratamiento 3: final de Turbidez y color

En el tratamiento 3 los porcentajes de remoción de la *Caesalpinia spinosa* fueron los menores en el nivel 2, posiblemente debido a la alta acidez del agua, el nivel 1 (2ml) alcanzo un porcentaje de remoción del 89,6 %, por otra parte, el nivel 2 (4,5 ml) llevo a remover únicamente el 67,27 %.

4.4.2.1.4 Tratamiento 4

El tratamiento 4 se empleó 1 dosis de coagulante químico (PAC), aplicado sobre el agua residual de las 3 minas, cuyos pH son: neutro, ácido y muy ácido, los parámetros respuesta, se pueden apreciar en la Tabla 14, y cuyos porcentajes de reducción son los siguientes:

Tabla 14.

Porcentajes de reducción del tratamiento 4

Porcentajes de Reducción	SSedT (%)	ST (%)	SST (%)	SDT (%)	Turbidez (%)	Color (%)	CE (%)
Mina 1	Incremento*	Incremento*	47,73	Incremento*	82,35	Incremento*	7,88
Mina 2	Incremento*	Incremento*	Incremento*	Incremento*	80,43	41,16	Incremento*
Mina 3	Incremento*	Incremento*	58,56	Incremento*	60,80	Incremento*	Incremento*

Nota: Los incrementos* son valores en los cuales no se presentó una reducción del parámetro

Según los datos de la Tabla 14, podemos apreciar que ninguno de los niveles se redujo con éxito todos los parámetros, sin embargo, en la mina 1 (pH neutro), se obtuvo el mayor porcentaje de reducción en los parámetros de turbidez y CE.

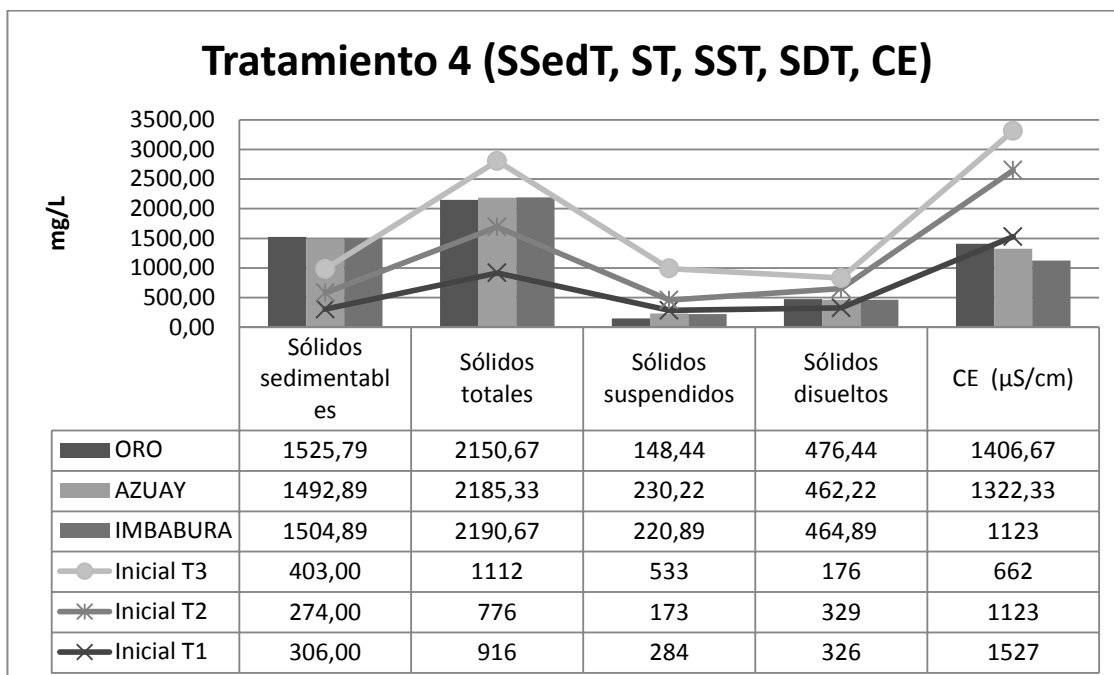


Figura 49. Tratamiento 4: final de SSedT, ST, SST, SDT y CE

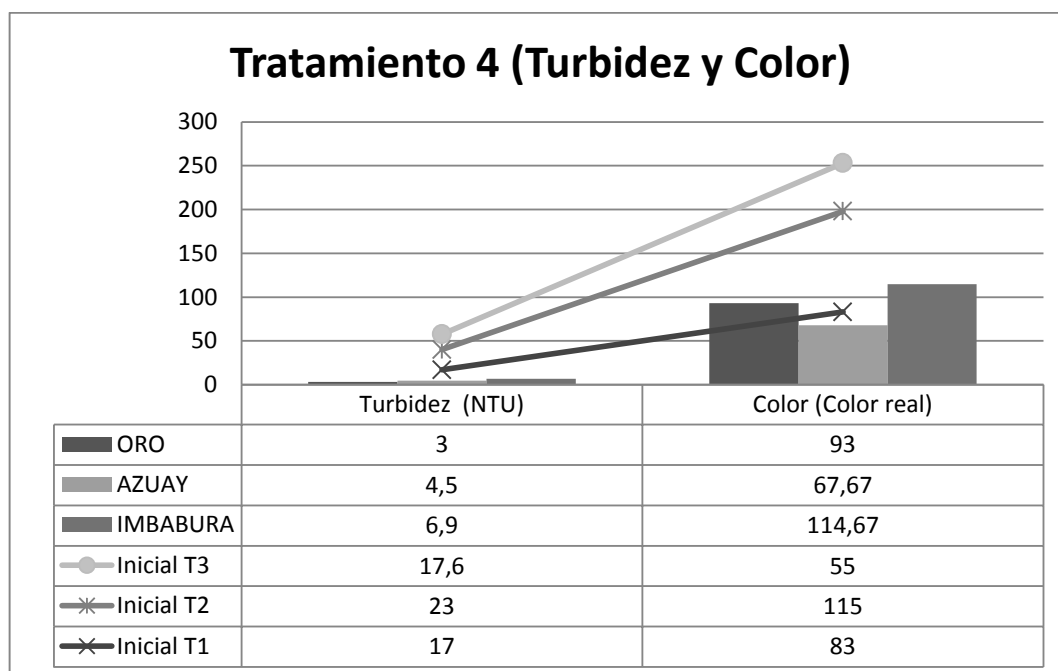


Figura 50. Tratamiento 4: final de Turbidez y color

El tratamiento 4 consto de la aplicación del coagulante químico con el fin de comparar el efecto del biocoagulante frente a un químico como el PAC, en este caso, el mejor porcentaje de remoción de turbidez (parámetro base), se logró en la mina 1 (pH neutro) con un valor de 82,35%, seguido por la mina 2 (pH ácido) con un porcentaje de remoción del 80,43%, y finalmente el nivel más bajo de remoción en la mina 3 (pH muy ácido), con un porcentaje del 60,80 %, comportándose de manera similar al biocoagulante.

4.4.2.1.5 Tratamiento 5

En el tratamiento 5, no se empleó ningún de coagulante o biocoagulante, sobre el agua residual de las 3 minas, cuyos pH son: neutro, ácido y muy ácido, los parámetros respuesta, se pueden apreciar en la Tabla 15, y cuyos porcentajes de reducción son los siguientes:

Tabla 15.

Porcentajes de reducción del tratamiento 5

Porcentajes de Reducción	SSedT (%)	ST (%)	SST (%)	SDT (%)	Turbidez (%)	Color (%)	CE (%)
Mina 1	34,00	Incremento*	35,68	Incremento*	Incremento*	Incremento*	32,83
Mina 2	28,57	Incremento*	11,11	2,33	Incremento*	2,32	15,52

Mina 3	29,20	Incremento*	20,53	Incremento*	Incremento*	Incremento*	5,19
--------	-------	-------------	-------	-------------	-------------	-------------	------

Nota: Los incrementos* son valores en los cuales no se presentó una reducción del parámetro.

De acuerdo con la información obtenida en la Tabla 15, podemos apreciar que ninguno de los niveles se redujo con éxito todos los parámetros en cuanto al blanco, sin embargo, en la mina 2 (pH ácido), se obtuvo el mayor porcentaje de reducción en un mayor número de parámetros, esto probablemente por la adición del floculante y la oxigenación aportada por el test de jarras.

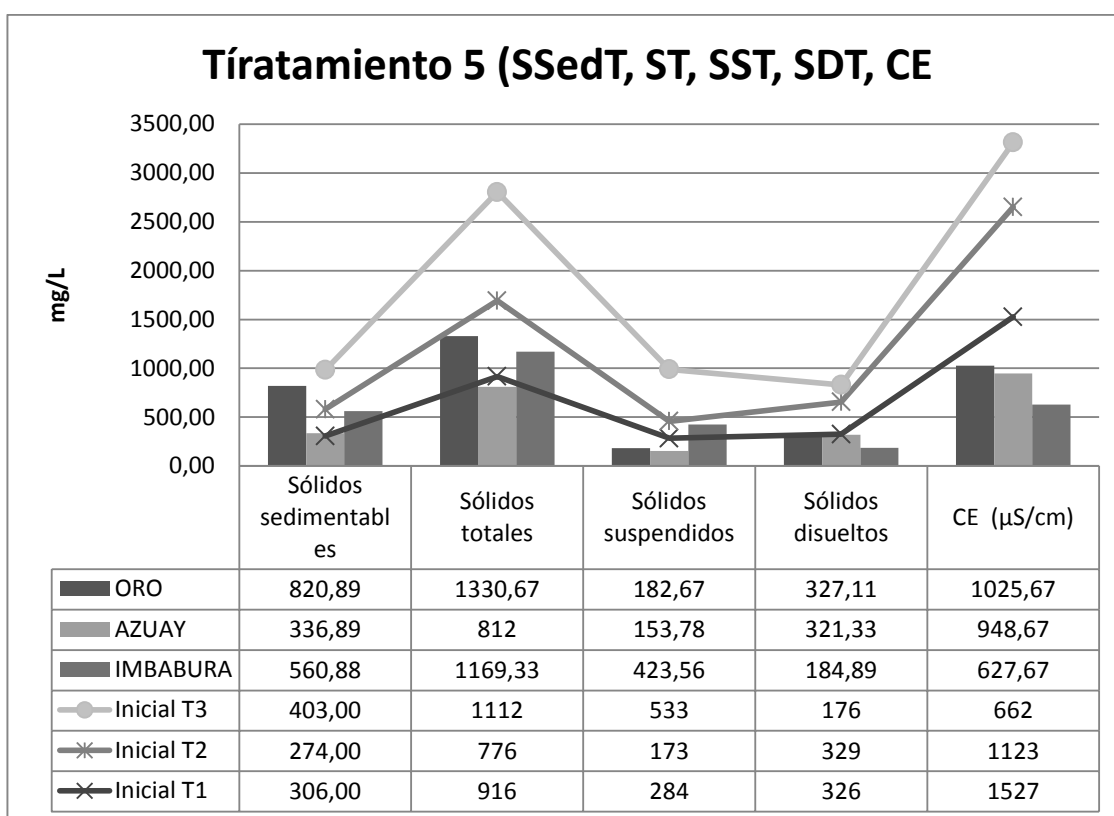


Figura 51. Tratamiento 5: final de SSedT, ST, SST, SDT y CE

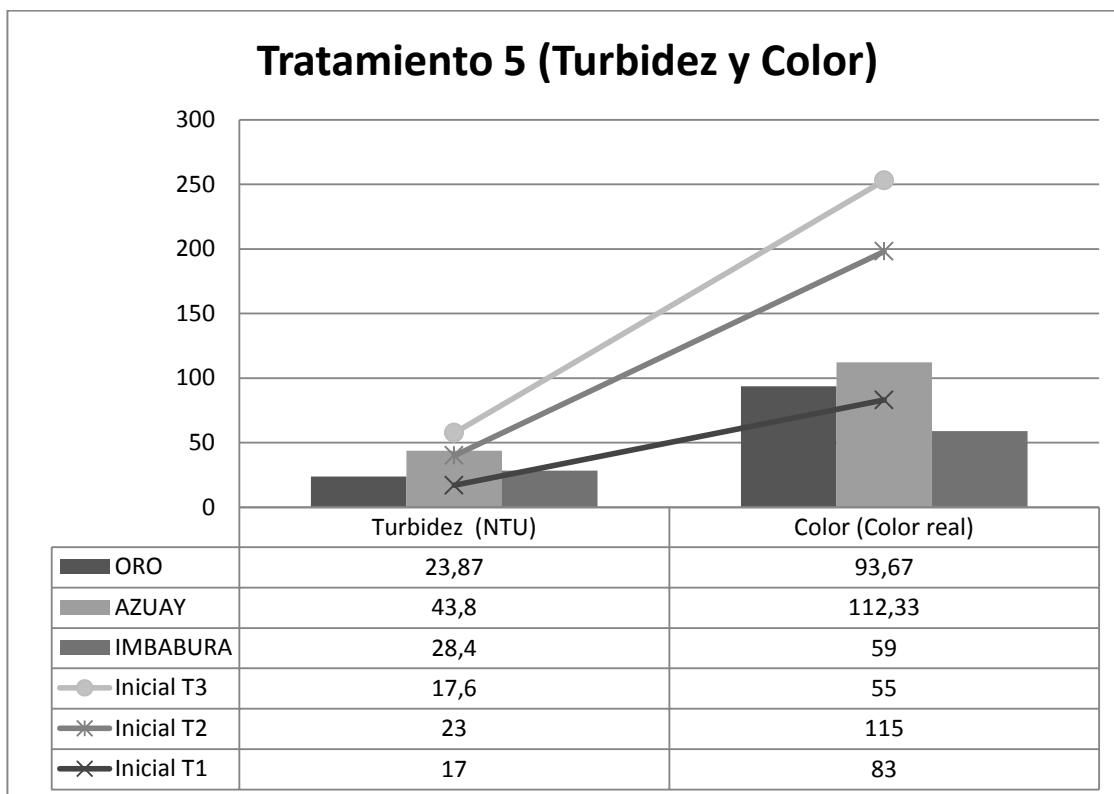


Figura 52. Tratamiento 5: final de Turbidez y Color

En el caso del tratamiento 5 no se aplicó ningún coagulante, ni biocoagulante, siendo este el blanco, de esta manera se verán los efectos reales y se podrá llevar un mejor control de los resultados, en todos los casos, se le dio al agua 1 hora para sedimentar.

En el tratamiento 5 los valores de turbidez aumentaron (Incremento*), probablemente por la aplicación de floculante (PA 0,01%) sin el efecto del coagulante y la agitación del test de jarras.

4.4.2.2 Caracterización química

4.4.2.2.1 pH y DQO

Tabla 16.

Eficiencia de remoción de DQO y pH en los tratamientos 1, 2 y 3 (Biocoagulante)

	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Porcentajes de Reducción	DQO (%)	DQO (%)	DQO (%)	pH (%)	pH (%)	pH (%)
Nivel 1 (2ml)	77,08	67,19	44,69	0	Incremento*	2,32
Nivel 2 (4,5 ml)	88,09	79,59	64,42	0,41	0	1,29

Como se puede apreciar en la Tabla 16, los cambios en el pH son mínimos, como se citó anteriormente, el pH no es consumido por el biocoagulante (Banchón, 2016). Por otro lado, el DQO, tuvo un porcentaje de remoción elevado, sin embargo, no logro ingresar en los rangos aprobados de normativa (500 mg/L).

Como se puede apreciar el mejor tratamiento en cuanto a remoción de DQO es el tratamiento 1, en el nivel 2 (4,5 ml) esto puede deberse a la elevada presencia de calcio y a su pH neutro de 7,33, seguido por el tratamiento 2, en el nivel 2 (4,5 ml)

cuyo pH es de 5,43 y finalmente tuvo sus niveles más bajos en el tratamiento 3 el cual cuenta con un pH de 3,88.

Tabla 17.

Eficiencia de remoción de DQO y pH en los tratamientos 4 y 5 (Coagulante químico (PAC) y blanco)

	<i>Tratamiento 4</i>	<i>Tratamiento 5</i>	<i>Tratamiento 4</i>	<i>Tratamiento 5</i>
<i>Porcentajes de Reducción</i>	<i>DQO</i>	<i>DQO</i>	<i>pH</i>	<i>pH</i>
<i>Mina 1</i>	<i>21,32</i>	<i>11,57</i>	<i>43,38</i>	<i>3,68</i>
<i>Mina 2</i>	<i>38,84</i>	<i>10,47</i>	<i>12,34</i>	<i>*Incremento</i>
<i>Mina 3</i>	<i>53,74</i>	<i>13,47</i>	<i>17,53</i>	<i>15,72</i>

En la Tabla 17, se puede apreciar que la variación en el pH, en cuanto al coagulante químico es mayor a la del biocoagulante, además, se puede apreciar valores menores de remoción de DQO, que incumplen la normativa ambiental nacional e internacional.

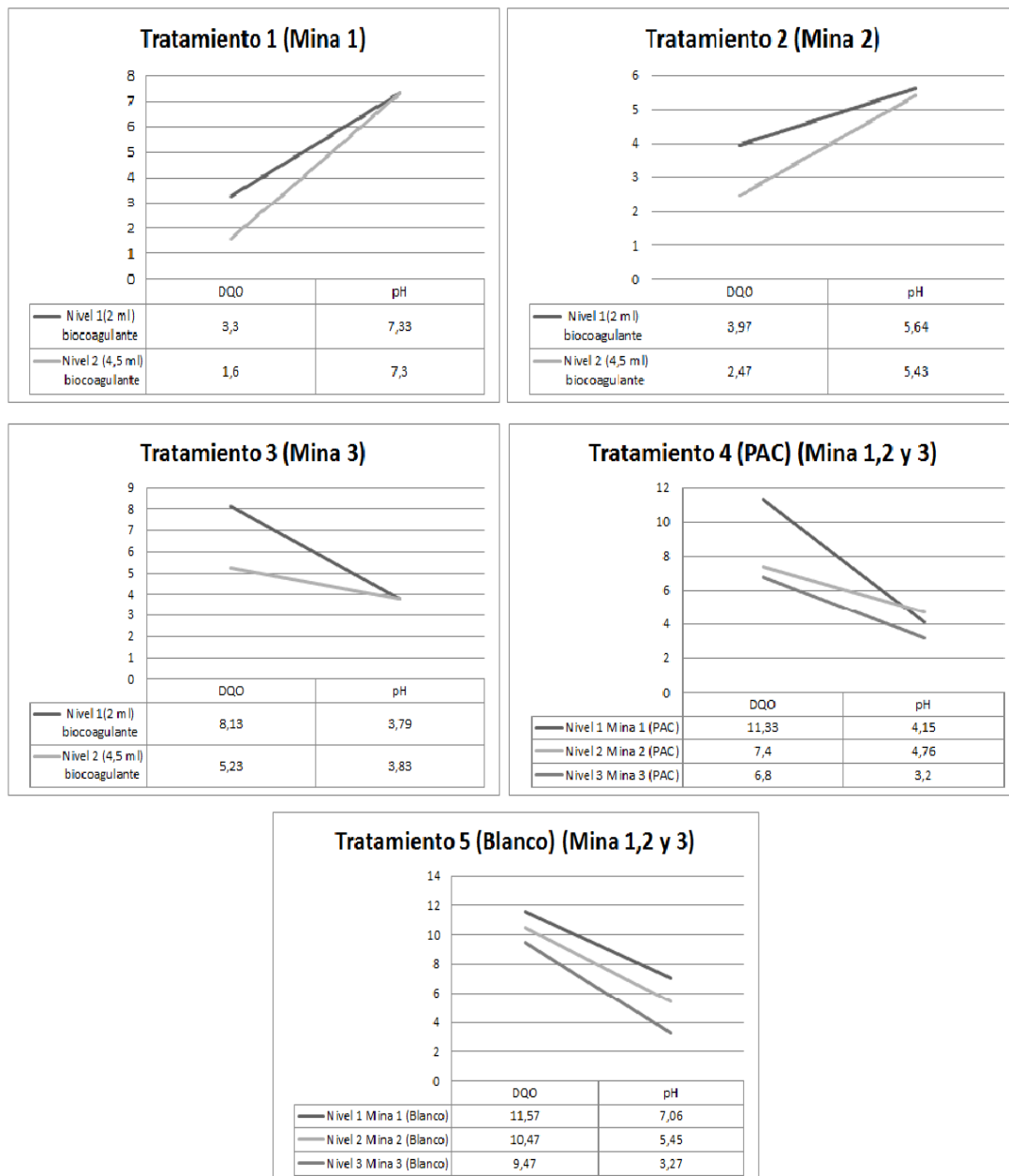


Figura 53. Parámetros químicos.

En la Figura 53, se puede apreciar el comportamiento del pH y el DQO, ambos parámetros químicos, en la mina 1 y 2 no se observan cambios bruscos de pH, del mismo modo en la mina 3 que contaba con un pH inicial súper ácido, con biocoagulante, no generó un cambio significativo en el mismo. Por otro lado, el

tratamiento 4, aplicando coagulante químico PAC, redujo el pH de manera más notable.

4.4.2.2.2 Metales pesados

Tabla 18.

Porcentajes de remoción de metales pesados

Eficiencia de remoción	B	Ba	Cd	Co	Cr	Cu
Tratamiento 1 nivel 1	Incremento*	56,94	100,00	55,56	44,44	95,49
Tratamiento 1 nivel 2	Incremento*	28,19	100,00	66,67	55,56	97,94
Tratamiento 2 nivel 1	98,13	0,85	Incremento*	Incremento*	Incremento*	Incremento*
Tratamiento 2 nivel 2	97,50	Incremento*	Incremento*	Incremento*	Incremento*	Incremento*
Tratamiento 3 nivel 1	79,33	Incremento*	Incremento*	Incremento*	Incremento*	Incremento*
Tratamiento 3	62,00	Incremento*	Incremento*	Incremento*	Incremento*	Incremento*

nivel 2		to*	to*	to*	to*	to*
Tratamiento 4 Nivel oro	Incremento*	Incremento*	44,44	Incremento*	Incremento*	Incremento*
Tratamiento 4 nivel Azuay	31,25	20,51	Incremento*	Incremento*	Incremento*	32,18
Tratamiento 4 nivel Imbabura	Incremento*	Incremento*	Incremento*	Incremento*	Incremento*	50,00
Tratamiento 5 nivel oro	33,33	13,19	33,33	22,22	Incremento*	11,76
Tratamiento 5 nivel Azuay	18,75	Incremento*	33,33	Incremento*	Incremento*	Incremento*
Tratamiento 5 nivel Imbabura	Incremento*	Incremento*	50,00	Incremento*	-150,00	33,33
	K	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
Tratamiento	39,03	44,20	0,00	90,00	Incremento	82,00

nto 1 nivel 1					to*	
Tratamie nto 1 nivel 2	5,21	43,77	10,00	86,67	Incremento*	93,56
Tratamie nto 2 nivel 1	41,56	Incremento*	Incremento*	Incremento*	Incremento*	74,49
Tratamie nto 2 nivel 2	33,82	Incremento*	Incremento*	Incremento*	Incremento*	63,95
Tratamie nto 3 nivel 1	Incremento*	Incremento*	Incremento*	60,00	Incremento*	Incremento*
Tratamie nto 3 nivel 2	Incremento*	Incremento*	Incremento*	Incremento*	Incremento*	Incremento*
Tratamie nto 4 Nivel oro	4,74	Incremento*	Incremento*	Incremento*	35,91	67,63
Tratamie nto 4 nivel Azuay	45,62	Incremento*	55,56	Incremento*	Incremento*	44,90
Tratamie	Incremento	3,92	0,00	Incremento	27,27	Incremento

nto 4 nivel Imbabura	to*			to*		to*
Tratamie nto 5 nivel oro	14,96	Incremento*	Incremento*	0,00	27,27	25,93
Tratamie nto 5 nivel Azuay	33,22	Incremento*	33,33	Incremento*	Incremento*	35,37
Tratamie nto 5 nivel Imbabura	Incremento*	34,31	Incremento*	Incremento*	16,67	-36,51
	Ca	Fe	Al	Na	Li	In
Tratamie nto 1 nivel 1	Incremento*	48,84	92,65	Incremento*	Incremento*	83,33
Tratamie nto 1 nivel 2	Incremento*	69,65	93,77	Incremento*	Incremento*	80,83
Tratamie nto 2 nivel 1	Incremento*	Incremento*	65,45	0,37	57,14	82,67
Tratamie	Incremento	1,07	73,79	1,46	57,14	62,67

nto 2 novel 2	to*					
Tratamie nto 3 nivel 1	36,49	Incremento*	Incremento*	48,86	Incremento*	Incremento*
Tratamie nto 3 nivel 2	41,12	Incremento*	Incremento*	0,06	Incremento*	3,33
Tratamie nto 4 Nivel oro	Incremento*	Incremento*	Incremento*	Incremento*	Incremento*	60,42
Tratamie nto 4 nivel Azuay	10,32	31,62	19,70	Incremento*	42,86	53,33
Tratamie nto 4 nivel Imbabura	10,13	Incremento*	15,01	Incremento*	Incremento*	30,00
Tratamie nto 5 nivel oro	18,19	22,73	1,43	17,30	47,62	62,50
Tratamie nto 5 nivel	Incremento*	40,60	35,58	Incremento*	14,29	Incremento*

Azuay						
Tratamiento 5 nivel Imbabura	15,55	Incremento*	12,06	7,19	Incremento*	60,00
	Mg	V	S	P	Si	As
Tratamiento 1 nivel 1	Incremento*	88,89	Incremento*	55,00	50,99	60,27
Tratamiento 1 nivel 2	Incremento*	83,33	Incremento*	49,79	50,38	60,59
Tratamiento 2 nivel 1	36,38	84,62	Incremento*	40,00	Incremento*	Incremento*
Tratamiento 2 nivel 2	33,60	87,18	Incremento*	68,33	Incremento*	Incremento*
Tratamiento 3 nivel 1	26,12	100,00	Incremento*	18,46	40,94	Incremento*
Tratamiento 3 nivel 2	30,58	100,00	Incremento*	Incremento*	42,96	Incremento*

Tratamiento 4 Nivel oro	Incremento*	66,67	Incremento*	22,92	26,48	47,45
Tratamiento 4 nivel Azuay	5,87	61,54	Incremento*	22,92	Incremento*	Incremento*
Tratamiento 4 nivel Imbabura	Incremento*	37,04	Incremento*	17,95	20,48	Incremento*
Tratamiento 5 nivel oro	Incremento*	36,11	Incremento*	16,67	15,50	62,75
Tratamiento 5 nivel Azuay	10,18	84,62	Incremento*	31,25	7,44	Incremento*
Tratamiento 5 nivel Imbabura	Incremento*	44,44	6,90	5,13	14,51	Incremento*

Con la información obtenida en la Tabla 18, podemos apreciar que en cuanto al biocoagulante, el tratamiento que removió una mayor cantidad de metales pesados fue el (T₂), aplicado en la mina 1, con un total de 17 (Ba (56,94%), Cd

(100%), Co (66,67%), Cr (55,56%), Cu (97,94%), K (39,03%), Mn (44,20%), Ni (10%), Pb (90%), Zn (93,56%), Fe (69,65%), Al (93,77%), In (83,33%), V (88,89%), P (55%), Si (50,99%), As (60,59%), seguida por la mina dos en la cual se removieron 12 metales (B (98,13%), Ba (1%), K (41,56%), Zn (74,49%), Fe (1,07%), Al (73,79%), Na (1,46%), Li (57,14%), In (82,67%), Mg (36,38%), V (87,18%), P (68,33%)) y, finalmente el tratamiento 3, aplicado en la mina 3 el cual removió 9 metales (B (79,33%), Pb (60%), Ca (41,12%), Na (48,86%), In (3,33%), Mg (30,58%), V (100%), P (18,46%), Si (42,96%)).

Por otro lado, el tratamiento 4 (Coagulante químico) el cual consto de la aplicación de PAC, removió 12 metales (Ba (31,25%), Cd (44,44%), Cu (32,18%), K (45,62%), Mn (3,92%), Ni (55,56%), Zn (67,63%), Al (19,70%), V (66,67%), P (22,92%), Si (26,48%), As (62,75%)).

A continuación, se presentan las gráficas de remoción por tratamiento.

4.4.2.2.1 Tratamiento 1

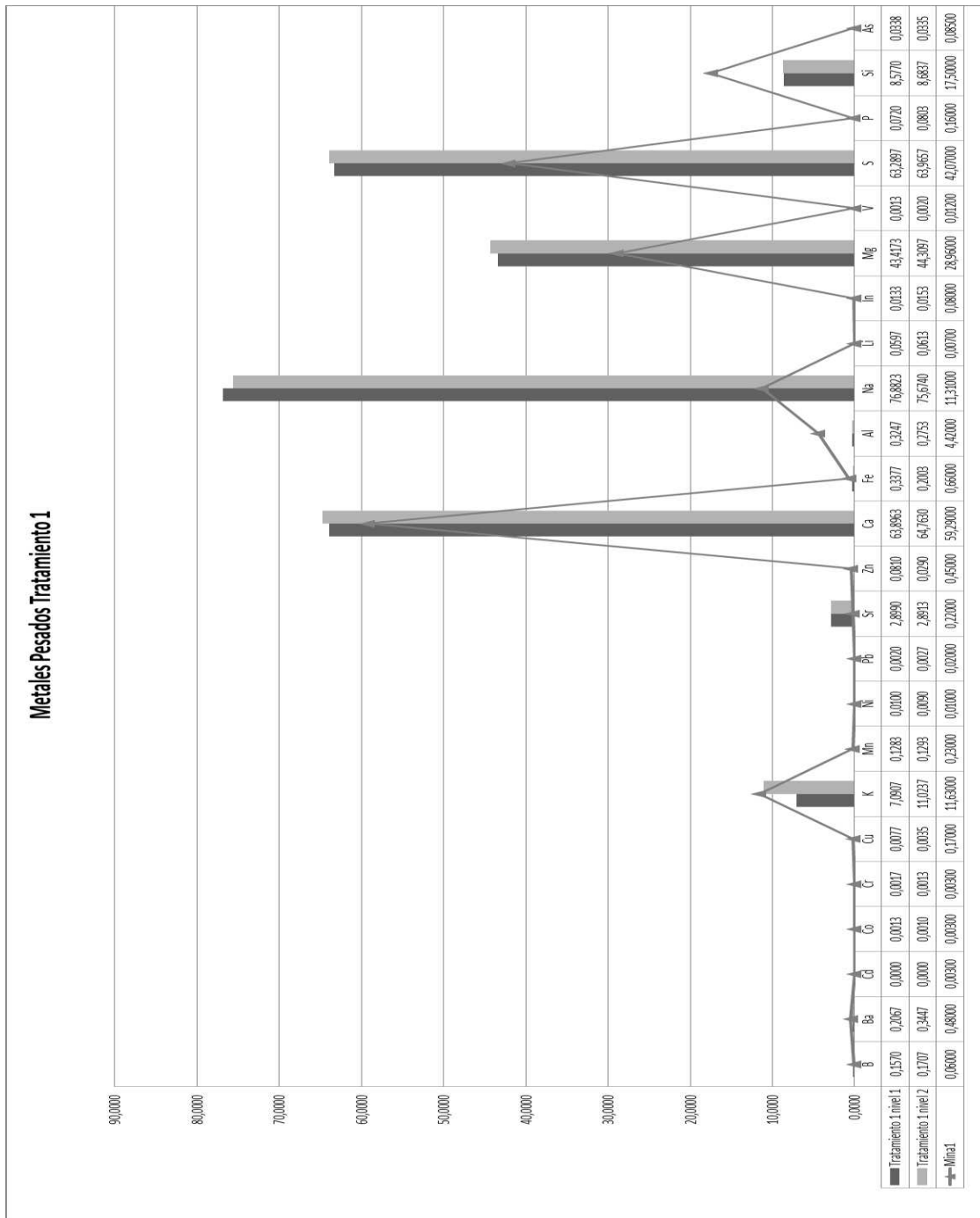


Figura 54. Metales pesados tratamiento 1

4.4.2.2.2 Tratamiento 2

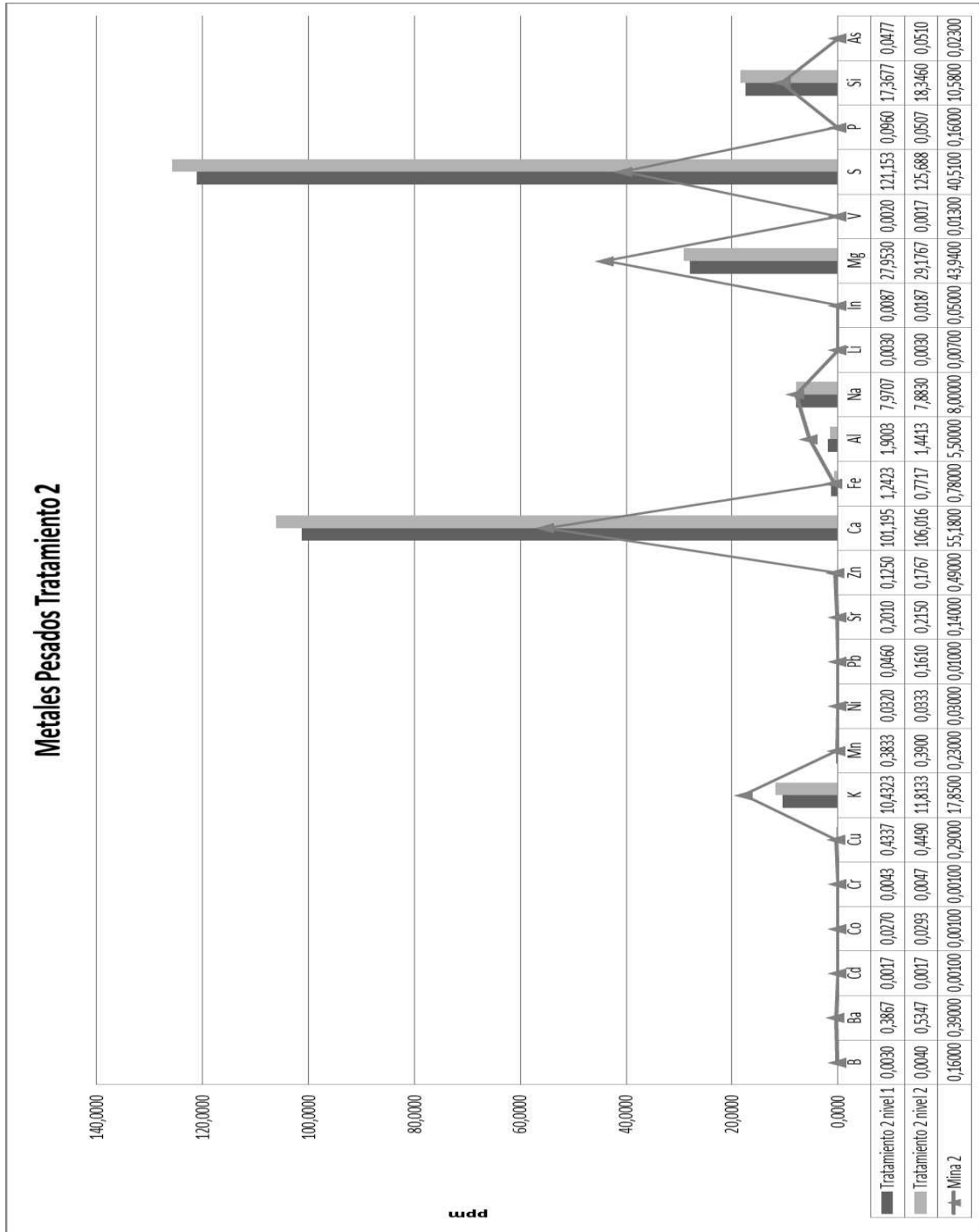


Figura 55. Metales pesados tratamiento 2

4.4.2.2.3 Tratamiento 3

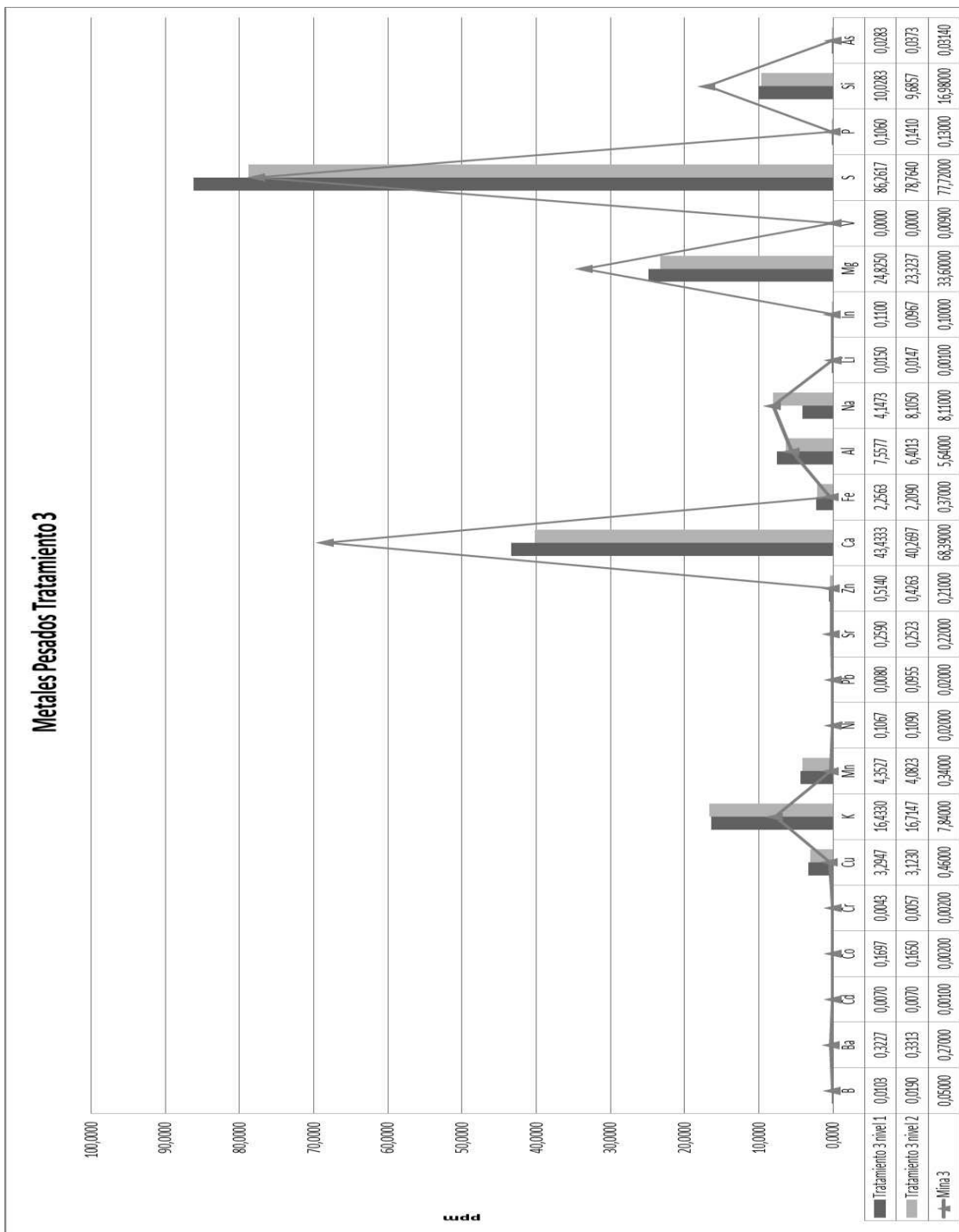


Figura 56. Metales pesados tratamiento 3

4.4.2.2.4 Tratamiento 4

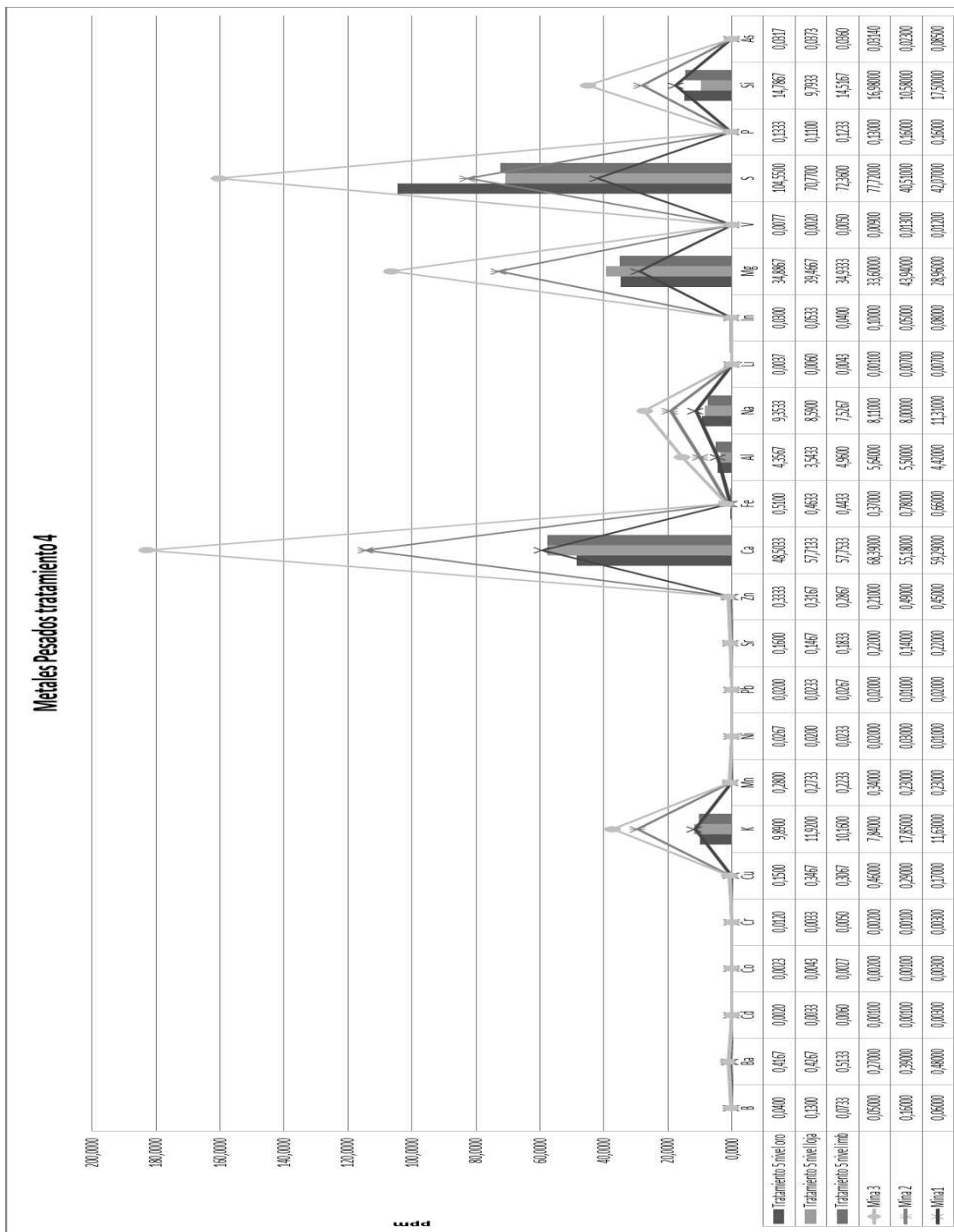


Figura 57. Metales pesados tratamiento 4

4.4.2.2.5 Tratamiento 5

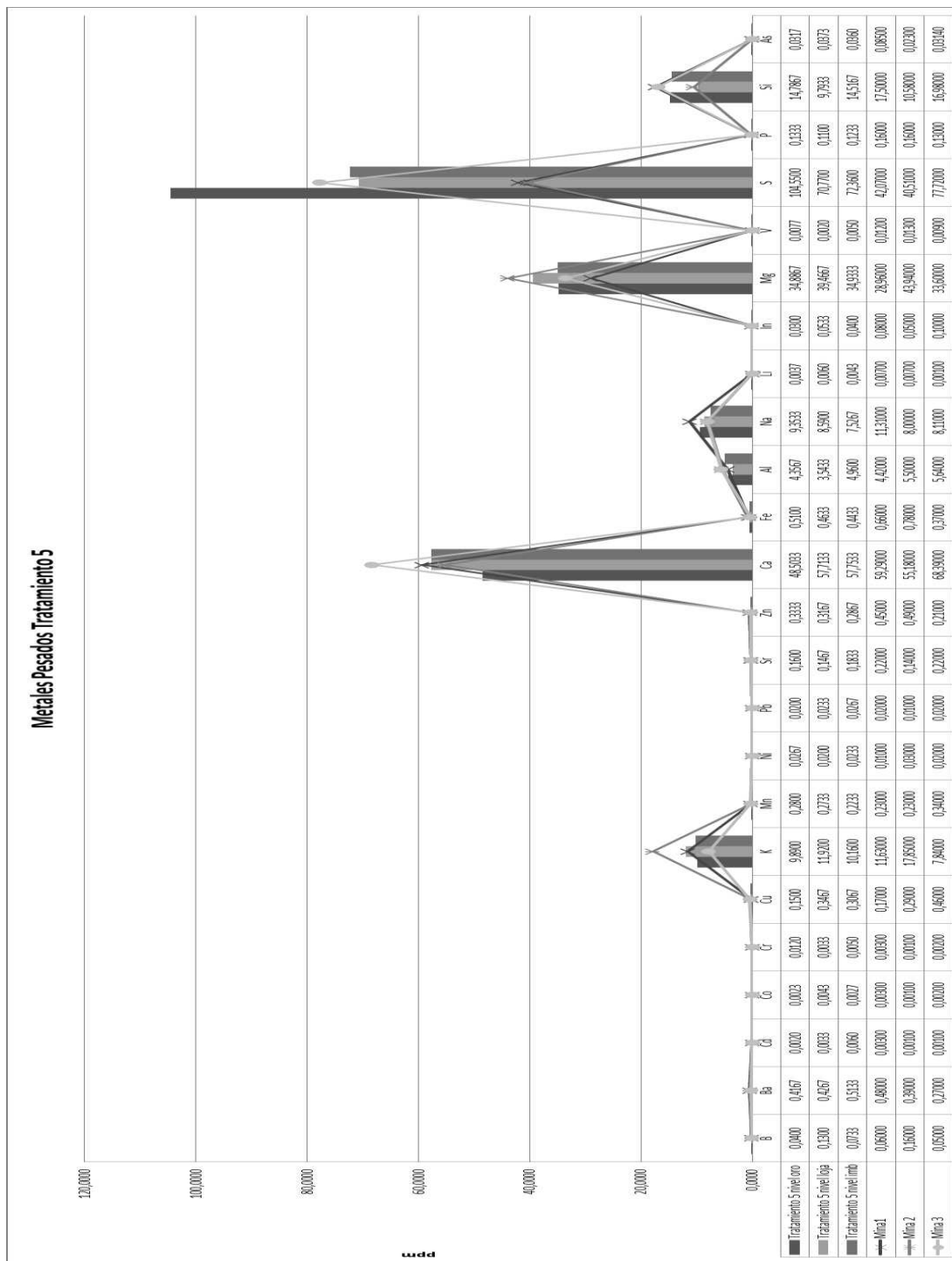


Figura 58. Tratamiento 5

4.4.3 Análisis de cumplimiento de normativa (Nacional e Internacional)

A continuación se representa el cumplimiento de la normativa nacional en cuanto a efluentes superficiales e internacional en cuanto a efluentes subterráneos, por otro lado las Tablas con las cifras exactas de los valores permisibles se encuentran en Anexos (Anexos 10 – 19).

4.4.3.1 Cumplimiento de la normativa nacional (Tratamiento 1)

En la Figura 59, podemos observar el cumplimiento de la normativa nacional en cuanto a efluentes superficiales, la cual fue citada en el capítulo 2, en el caso del tratamiento 1 aplicado a la mina 1 con pH neutro en sus dos dosis, cumple con todos los parámetros, a excepción del DQO el cual tuvo un porcentaje de remoción del 82,99%, sin embargo, no logro cumplir con la normativa

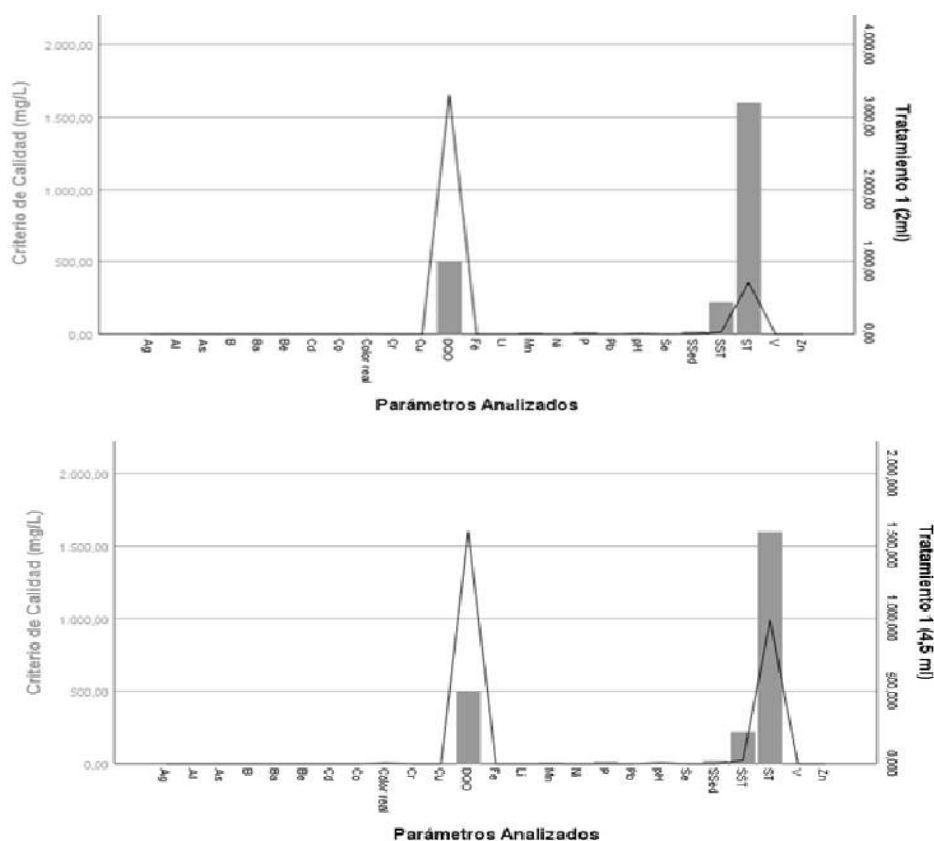


Figura 59. Cumplimiento nacional mina 1 (2 ml y 4,5 ml)

4.4.3.2 Cumplimiento de normativa internacional (Tratamiento 1)

En la Figura 60, podemos observar el cumplimiento de la normativa internacional en cuanto a vertidos de agua subterránea, la cual fue citada en el capítulo 2, en el caso del tratamiento 1 aplicado a la mina 1 con pH neutro, no cumple con los siguientes parámetros: magnesio, DQO y SST en el nivel 1.

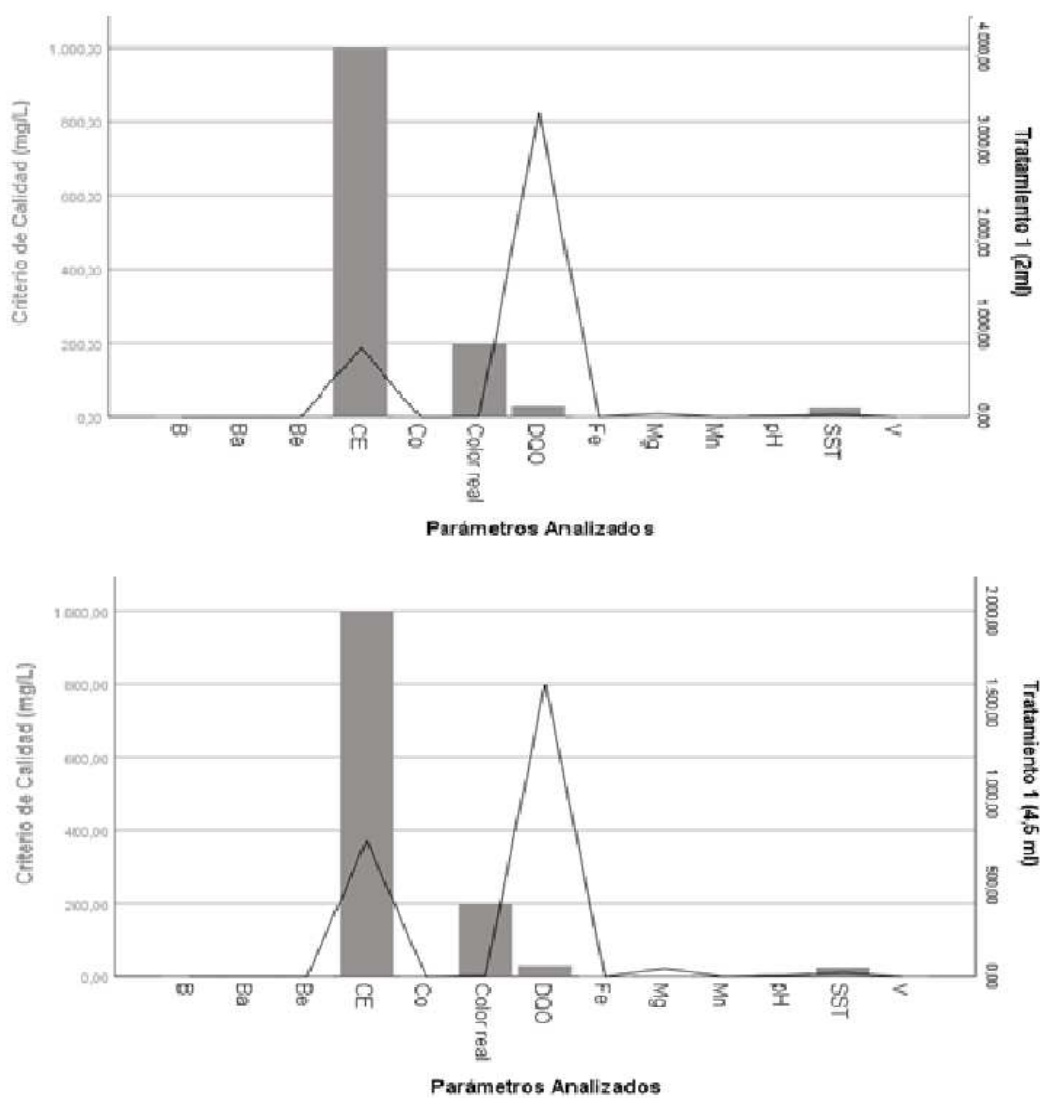


Figura 60. Cumplimiento internacional mina 1 (2 ml y 4,5 ml)

4.4.3.3 Cumplimiento de la normativa nacional (Tratamiento 2)

En la Figura 61, se presentan los parámetros de cumplimiento, en el caso del tratamiento 2, mina 2 (pH ácido) en sus dos dosis (2ml y 4,5 ml), los parámetros que no cumplieron con la normativa fueron: cobre, hierro, plomo, DQO, color y pH.

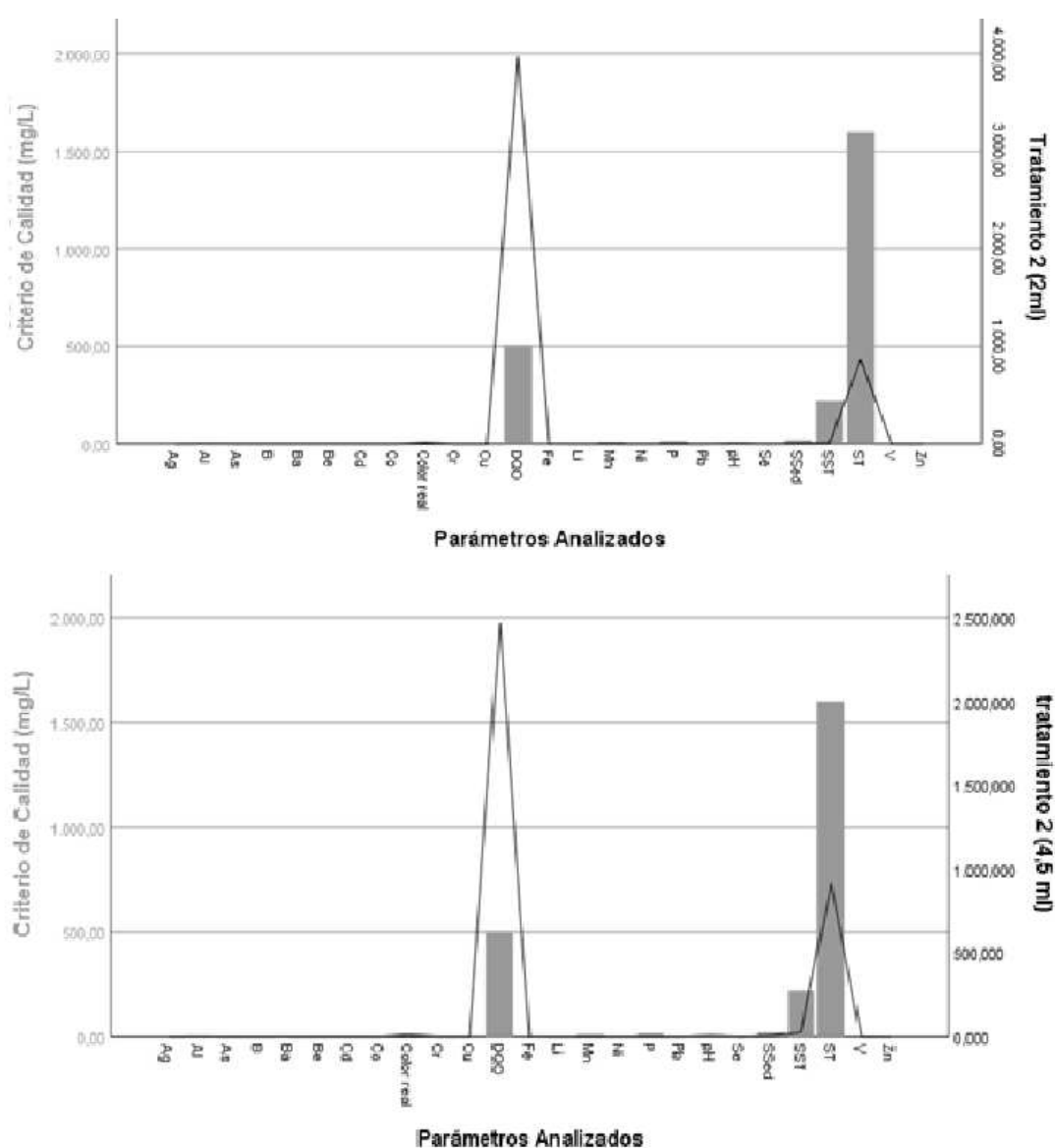


Figura 61. Cumplimiento nacional mina 2 (2 ml y 4,5 ml)

4.4.3.4 Cumplimiento de normativa internacional (Tratamiento 2)

En la Figura 62, se presentan los parámetros de cumplimiento, en el caso del tratamiento 2, mina 2 (pH ácido) en sus dos dosis (2 ml y 4,5 ml), los parámetros que no cumplieron con la normativa de manera general fueron: Mg, DQO, y en el nivel 2 (4,5 ml) SST, y pH.

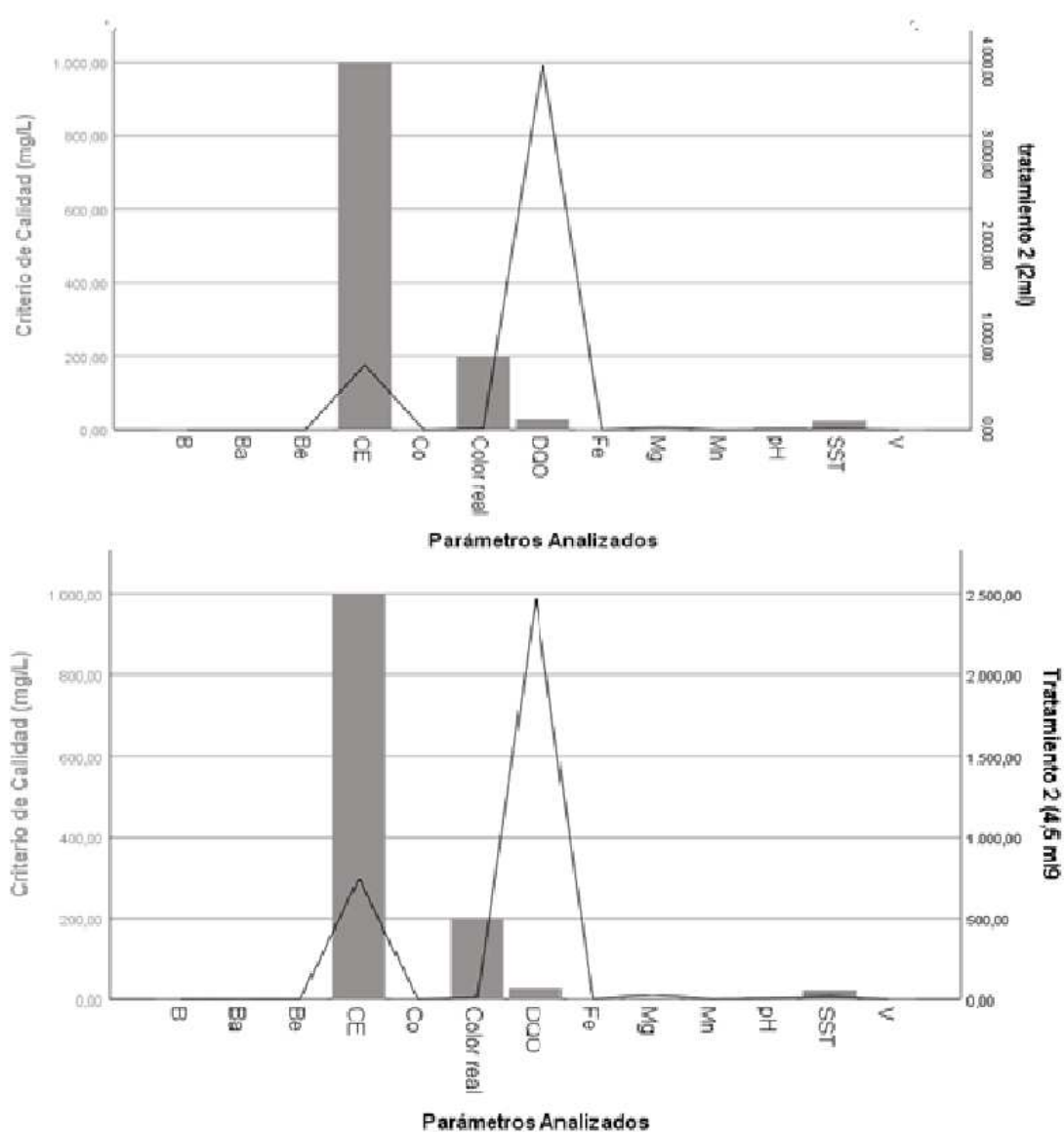


Figura 62. Cumplimiento internacional mina 2 (2 ml y 4,5 ml)

4.4.3.5 Cumplimiento de la normativa nacional (Tratamiento 3)

En la Figura 63, se encuentran los parámetros de cumplimiento de normativa en cuanto a aguas superficiales, el tratamiento 3, aplicado en la mina 3 (pH muy ácido) fue el menos efectivo en cuanto al uso de *Caesalpinia spinosa*, ya que no cumplió con los niveles establecidos por la normativa en los siguientes parámetros: aluminio, cadmio, hierro, plomo (nivel 2), níquel, zinc, DQO, color y pH.

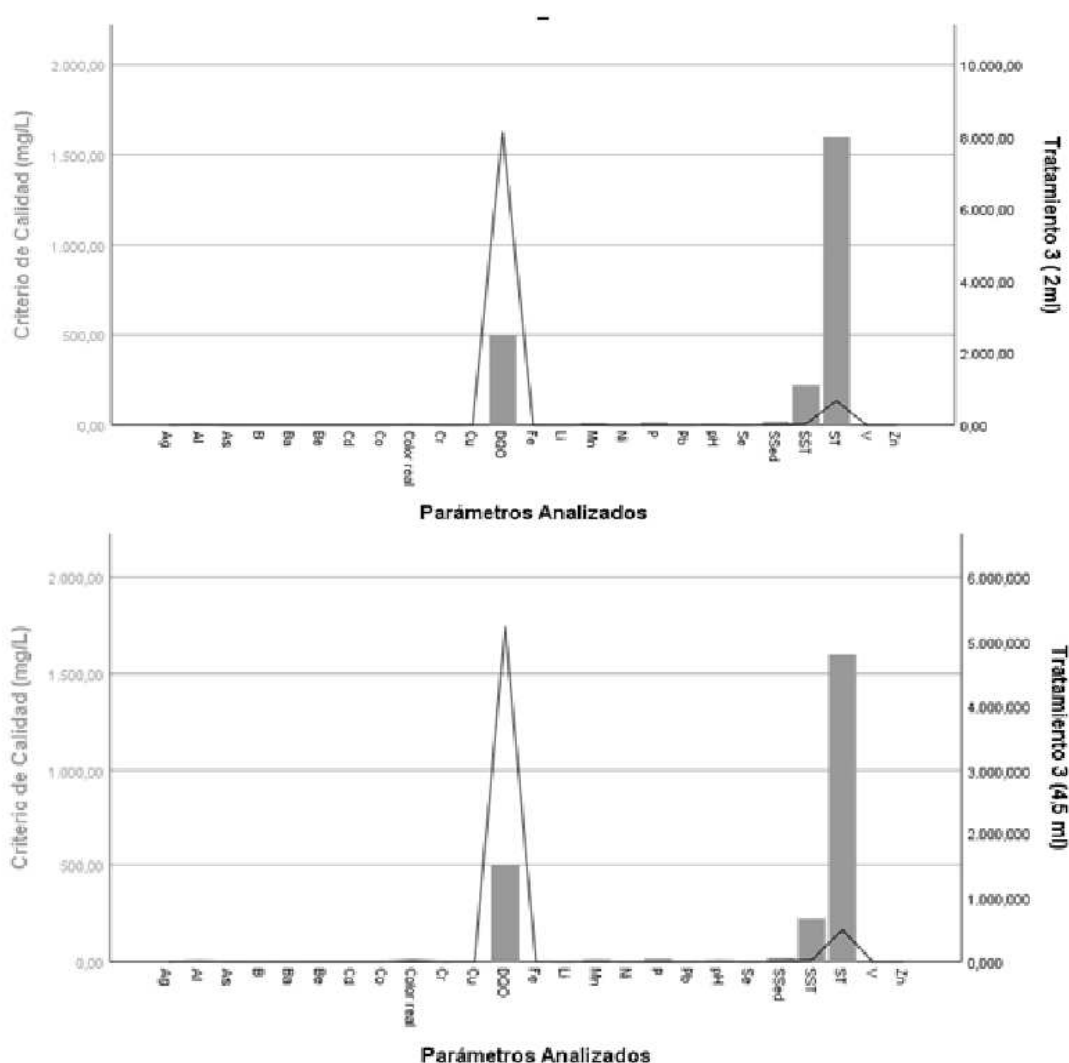


Figura 63. Cumplimiento nacional mina 3 (2 ml y 4,5 ml)

4.4.3.6 Cumplimiento de normativa internacional (Tratamiento 3)

En la Figura 64, se encuentran los parámetros de cumplimiento de normativa en cuanto a aguas subterráneas, el tratamiento 3, aplicado en la mina 3 (pH muy ácido) no se cumplió con los siguientes parámetros: hierro, magnesio, manganeso, DQO y pH, y en cuanto al nivel 2 (4,5 ml) SST.

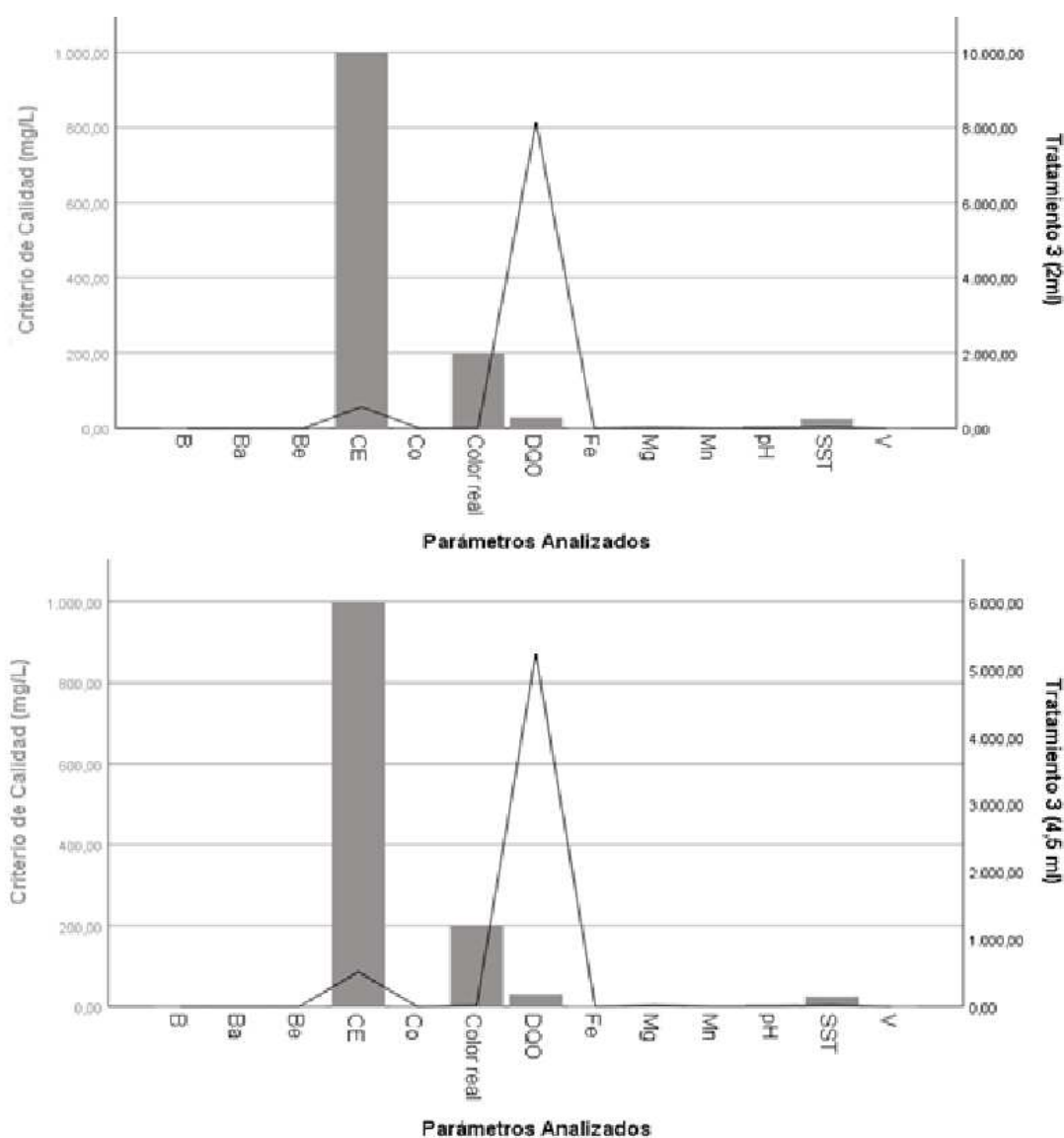


Figura 64. Cumplimiento internacional mina 3 (2 ml y 4,5 ml)

4.4.3.7 Cumplimiento de la normativa nacional (Tratamiento 4)

En la Figura 65, se encuentra el tratamiento 4, el cual consta de PAC, aplicado en la mina 1, 2 y 3, en este caso no se cumplió con los siguientes parámetros:

Mina 1: aluminio, cobre, hierro, plomo, zinc, SSedT, ST, DQO, color y pH.

Mina 2: cadmio, cobre, cadmio, hierro, plomo, zinc, SSedT, SST, ST, DQO, color y pH.

Mina 3: cadmio, cobre, hierro, plomo, zinc, SSedT, SST, ST, DQO, color, y pH.

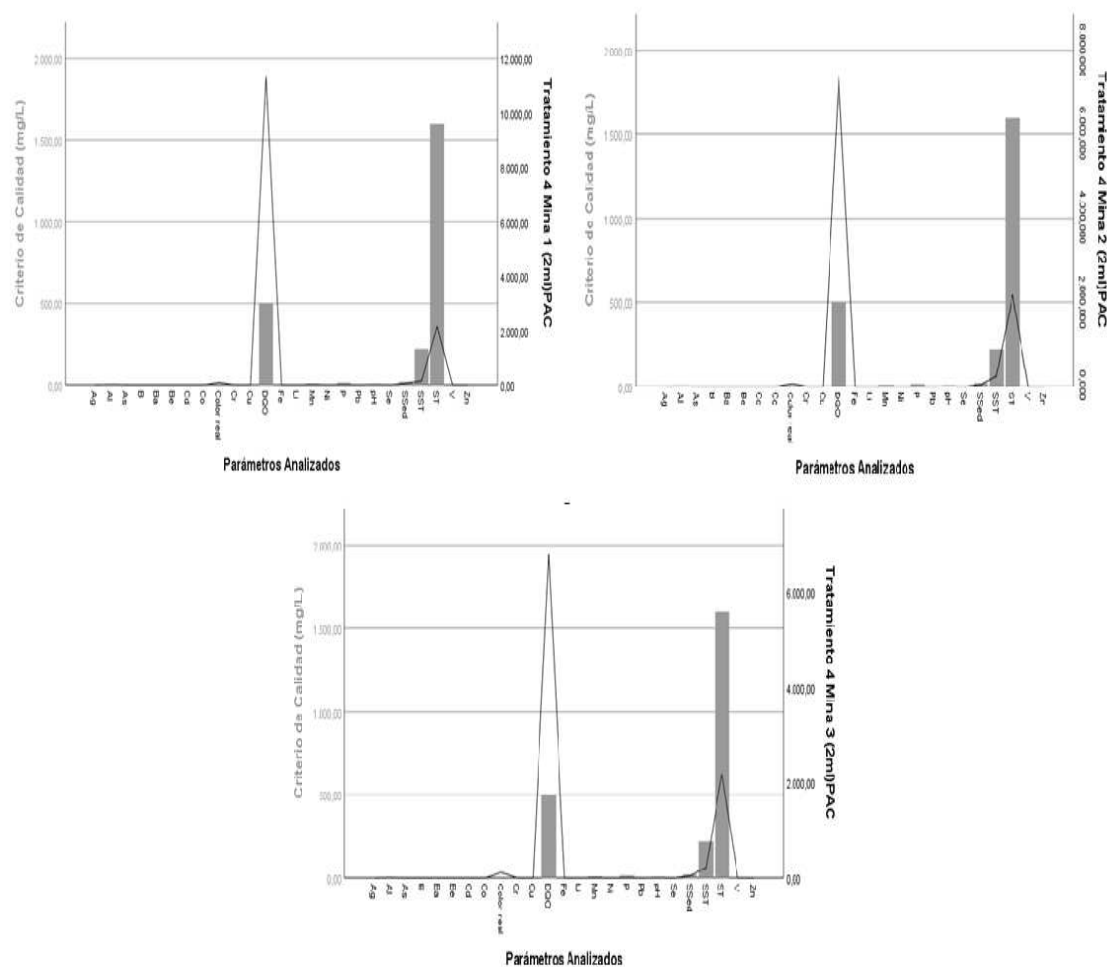


Figura 65. Cumplimiento internacional mina 1, 2 y 3 (PAC 2ml)

4.4.3.8 Cumplimiento de normativa internacional (Tratamiento 4)

En la Figura 66, se encuentra el tratamiento 4, el cual consta de PAC, aplicado en la mina 1,2 y 3, en este caso no se cumplió con los siguientes parámetros: hierro, DQO, pH y CE.

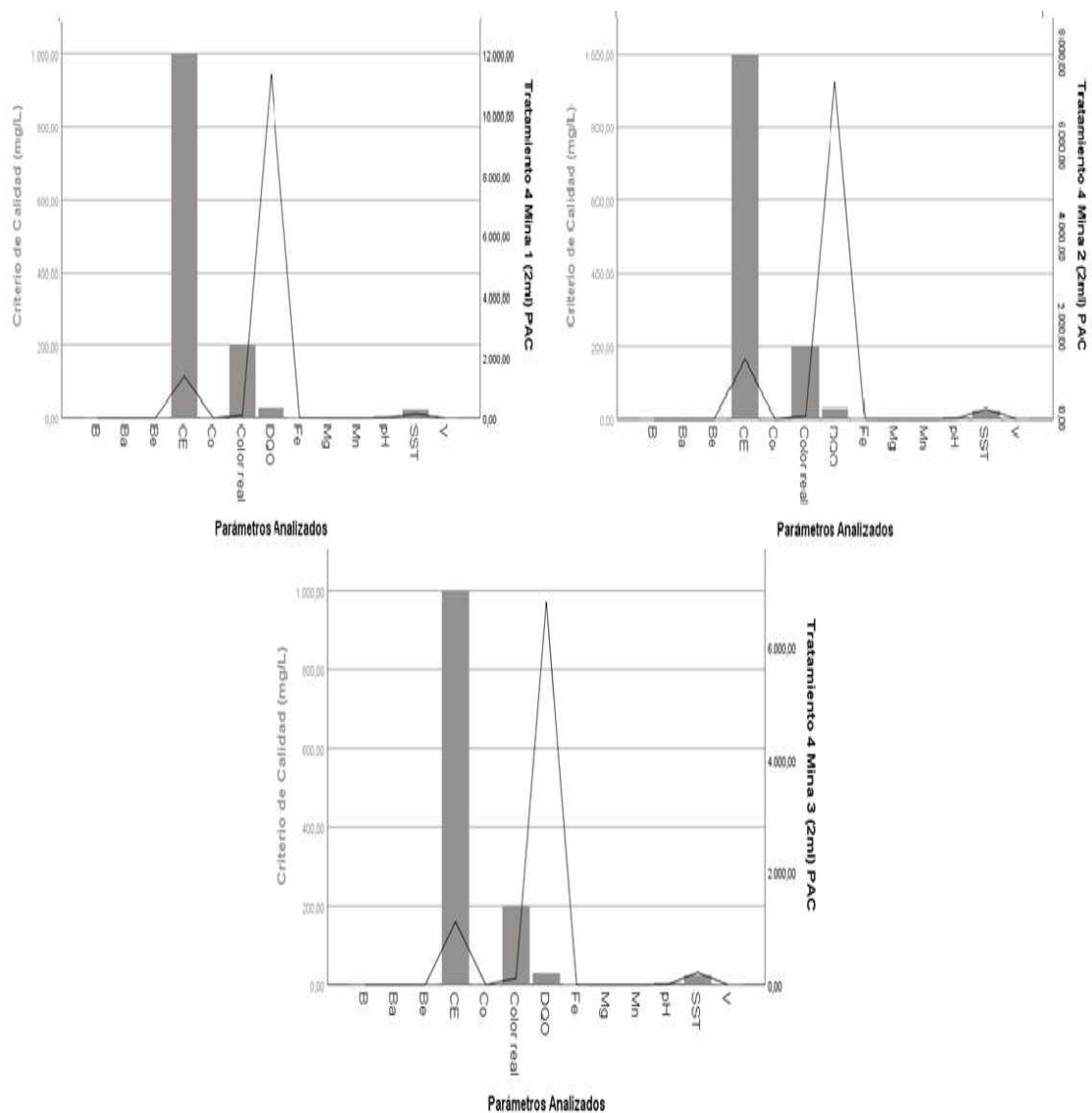


Figura 66. Tratamiento 4 Mina 3 (2ml)

4.4.3.9 Cumplimiento de la normativa nacional (Tratamiento 5)

En la Figura 67, se muestran los parámetros de cumplimiento del tratamiento 5 en el cual no se añadieron ningún tipo de coagulante ni biocoagulante, los parámetros que no se cumplieron en las 3 minas fueron: cadmio, hierro, cobre, plomo, níquel, zinc, DQO y color; por otra parte, el pH no cumplió la normativa en la mina 2 y 3, y en esta última también salen de normativa los sólidos suspendidos totales.

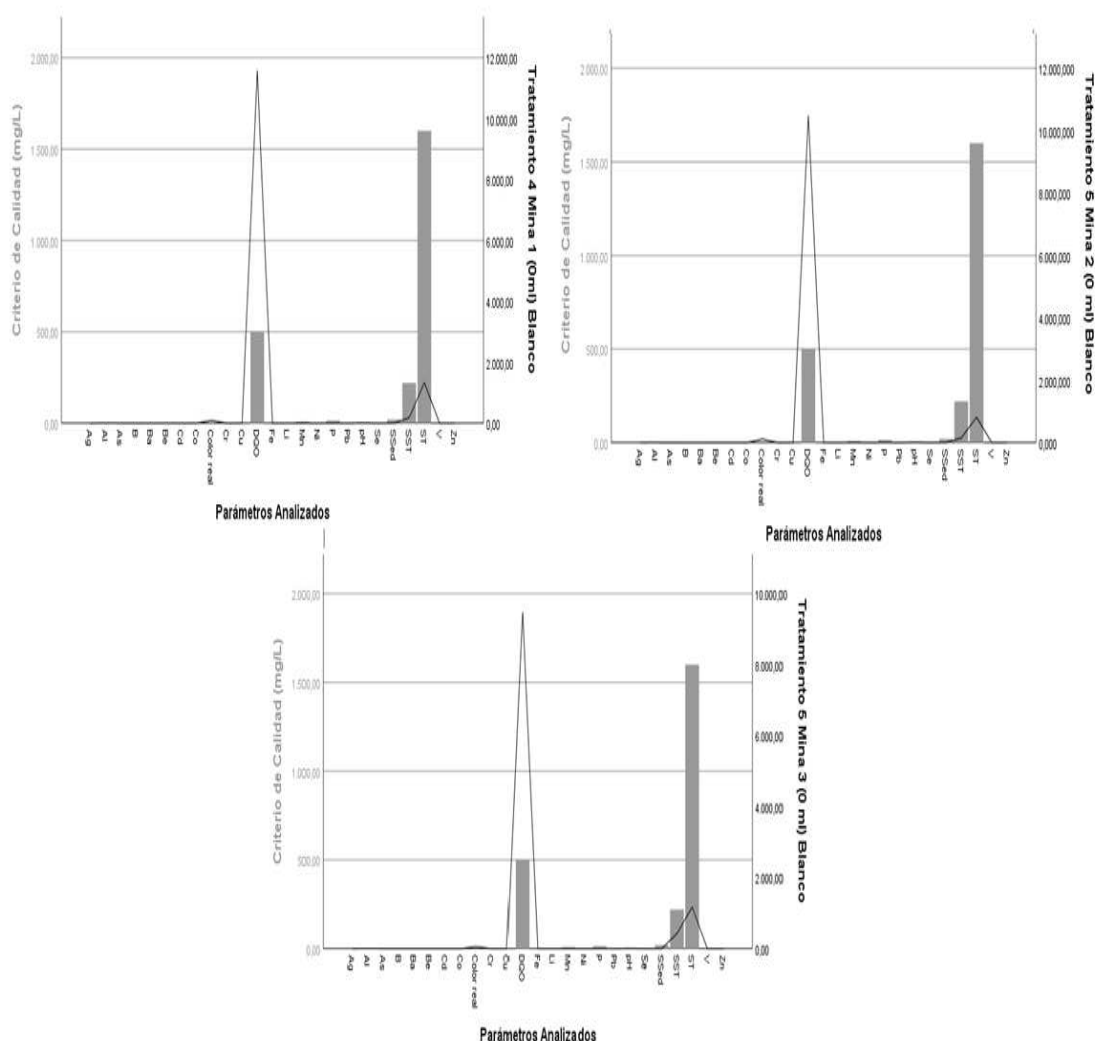


Figura 67. Tratamiento 5 Mina 3 (0 ml)

4.4.3.10 Cumplimiento de normativa internacional (Tratamiento 5)

En la Figura 68, se muestran los parámetros de cumplimiento del tratamiento 5 en el cual no se añadieron ningún tipo de coagulante ni biocoagulante, los parámetros que no se cumplieron en las 3 minas fueron: hierro, magnesio, SST, DQO, CE y en cuanto a la mina 2 y 3 no cumplen con el pH.

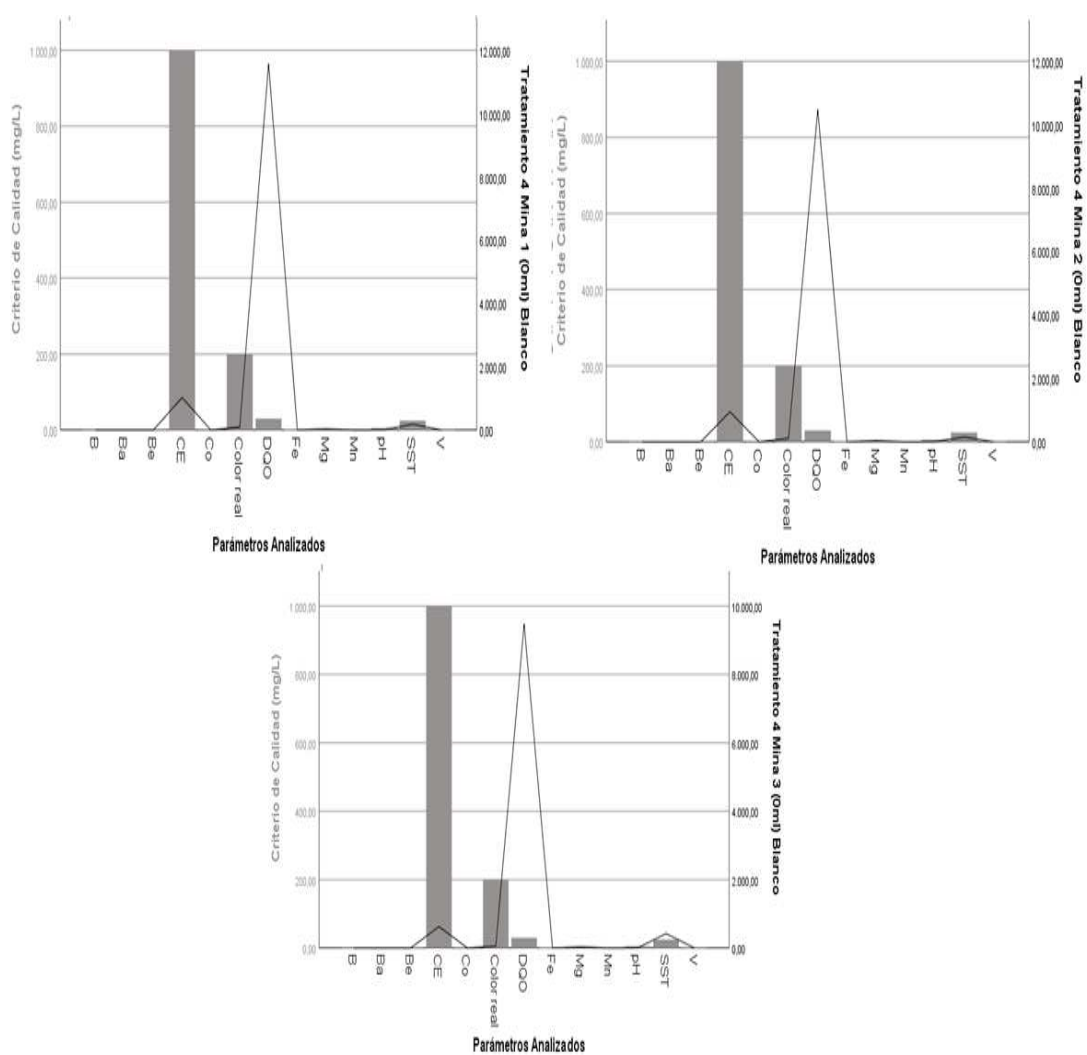


Figura 68. Tratamiento 5 Mina 3

4.4.4 Análisis estadístico

Después de hacer un análisis de la normalidad de los datos (anormales), tomando en cuenta que las variables son numéricas y que se realizó más de dos tratamientos se optó por realizar un ANOVA Kruskal Wallis para cada parámetro.

Se aplicó el programa InfoStat® para realizar el análisis estadístico y generar las gráficas.

Guía para la comprensión del ANOVA Kruskal Wallis:

Para el análisis de cada parámetro, se han planteado dos hipótesis:

Ho: La dosis de biocoagulante/coagulante y el pH no influyen sobre el parámetro

Hi: La dosis de biocoagulante/coagulante y el pH si influyen sobre el parámetro

Además, el criterio de análisis es:

Si $p > 0,05$ se acepta Ho

Si $p < 0,05$ se acepta Hi

Guía para la comprensión de análisis de pares:

El análisis de pares, es una prueba de significancia para determinar que tratamiento dentro del grupo sobresale, para realizarlo se comparan las medias, los elementos de diferenciación son las letras A, B y C, en los tratamientos que comparten letra, se define que no son estadísticamente diferentes.

Tratamientos:

El análisis compara 4 combinaciones dentro de cada uno de los tipos de agua

(T₁) 2:0 Dosis 1 de biocoagulante (2 ml)

(T₂) 4,5:0 Dosis 2 de biocoagulante (4,5 ml)

(T₃) 0:2 Coagulante químico (2 ml)

(T₄) 0:0 Blanco (0 ml)

Guía para la comprensión de cuadros de análisis

Las gráficas de los análisis estadísticos, son diagramas de cajas, en la cual se representa las medias (\bar{x}) y la desviación estándar (δ).

Su orden en todas las gráficas será:

(T₁) 2:0 Dosis 1 de biocoagulante (2 ml)

(T₂) 4,5:0 Dosis 2 de biocoagulante (4,5 ml)

(T₃) 0:2 Coagulante químico (2 ml)

(T₄) 0:0 Blanco (0 ml)

Están clasificadas de tal manera que se aprecia su eficiencia en cada tipo de agua (pH), siendo asignado el color gris para la mina 1 (pH 7,33), verde para la mina 2 (pH 5,43) y finalmente amarillo para la mina 3 (pH 3,88).

4.4.4.1 Sólidos totales

Tabla 19.

ANOVA Kruskal Wallis sólidos totales

pH	Variable	Biocoagulante	PAC	N	Medias	D.E	Medianas	H	P
3,88	Sólidos totales	0	0	3	1169	73	1144	10,38	0,0156

	s								
3,8 8	Sólido s totale s	0	2	3	2190	175	2280		
3,8 8	Sólido s totale s	2	0	3	677	19	668		
3,8 8	Sólido s totale s	4,5	0	3	493	83	464		
5,4 3	Sólido s totale s	0	0	3	812	30	808	7,82	0,049 3
5,4 3	Sólido s totale s	0	2	3	2185	290	2044		
5,4 3	Sólido s totale	2	0	3	866	144	944		

	s								
5,4 3	Sólido s totale s	4,5	0	3	913	50	884		
7,3 3	Sólido s totale s	0	0	3	1330	215	1208	10,38	0,015 6
7,3 3	Sólido s totale s	0	2	3	2150	421	2264		
7,3 3	Sólido s totale s	2	0	3	706	31	716		
7,3 3	Sólido s totale s	4,5	0	3	989	53	1012		

Acorde a la información arrojada por el ANOVA Kruskal Wallis, en base al parámetro sólidos totales, los tratamientos son significativos ya que el p-valor es < 0,05, esto quiere decir que para las 3 minas se acepta la hipótesis H_i (alternativa),

lo que significa que el efecto de la dosis de coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de sólidos.

Pruebas de significancia (De a Pares)

Tabla 20.

Prueba de significancia

<i>Pruebas de significancia (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
<i>4,5:0</i>	<i>2</i>	<i>A</i>		
<i>2:00</i>	<i>5</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	
<i>0:00</i>	<i>8</i>		<i>B</i>	<i>C</i>
<i>0:02</i>	<i>11</i>			<i>C</i>
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (5,43)</i>			
<i>0:00</i>	<i>3</i>	<i>A</i>		
<i>2:00</i>	<i>5</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	
<i>4,5:0</i>	<i>8</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	
<i>0:02</i>	<i>11</i>		<i>B</i>	
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (7,33)</i>			
<i>2:00</i>	<i>2</i>	<i>A</i>		
<i>4,5:0</i>	<i>5</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	
<i>0:00</i>	<i>8</i>		<i>B</i>	<i>C</i>

0:02	10,67			C
------	-------	--	--	---

Nota: Medias con una letra común, no son significativamente diferentes.

En la Tabla 20, podemos observar que el análisis de pares el cual se centra en la comparación de las medias, el cual nos indica que cuando un tratamiento comparte letras, no presenta diferencias estadísticas significativas.

En la mina 3 pH (3,88), las combinaciones T_2 y T_3 fueron significativamente diferentes, siendo superior el T_2 al tener una media menor, esto quiere decir que la dosis 2 de biocoagulante (4,5 ml) es la mejor en la mina 3.

Por otro lado, en la mina 2 pH (5,43), las combinaciones T_4 y T_3 , fueron significativamente diferentes, siendo la T_4 la mejor, es decir el blanco, en este caso el biocoagulante no surtió el mejor efecto.

En el caso de la mina 1 pH (7,33), las mejores combinaciones fueron T_1 y T_3 , las cuales son significativamente distintas, siendo la T_1 la más eficiente al tener una media más baja, es decir la dosis 1 de biocoagulante (2 ml).

En la Figura 69, se puede observar que en cuanto al pH 3,88 es decir la mina 3, los tratamientos T_2 y T_3 se solapan, sin embargo, por la amplitud de su desviación estándar, y al presentar una media más baja, el mejor tratamiento es el T_2 .

En cuanto a la mina 2 (pH 5,43), ninguno de los tratamientos se solapa, lo que indica que se genera un efecto estadísticamente diferente generado sobre las variables, en este caso el mejor tratamiento fue el blanco.

Finalmente, la mina 1 (pH 7,33), cuyo mejor resultado fue el tratamiento T_1 con una media menor y una baja desviación estándar.

En comparación con el estudio realizado por Paredes (2015), en el cual se logró remover 3% de los sólidos totales, los resultados no son muy distintos en agua de industrias mineras, aumentando un porcentaje mínimo de los sólidos totales, esto

3,88	Sólidos suspendidos	0	0	3	423	27	423	10,38	0,0156
3,88	Sólidos suspendidos	0	2	3	220	59	253		
3,88	Sólidos suspendidos	2	0	3	36	4	37		
3,88	Sólidos suspendidos	4,5	0	3	24	4	25		
5,43	Sólidos suspendidos	0	0	3	153	18	156	10,38	0,0156

5,4 3	Sólido s suspe ndido s	0	2	3	230	57,34	216		
5,4 3	Sólido s suspe ndido s	2	0	3	8	1,33	8		
5,4 3	Sólido s suspe ndido s	4,5	0	3	26	5,81	29		
7,3 3	Sólido s suspe ndido s	0	0	3	182	14,85	185	9,97	0,01 88
7,3 3	Sólido s suspe ndido s	0	2	3	148	30,88	140		

7,3 3	Sólidos suspendidos	2	0	3	30	1,34	30,67		
7,3 3	Sólidos suspendidos	4,5	0	3	22	3,52	24		

Para los sólidos suspendidos, el análisis de ANOVA Kruskal Wallis, muestra en la Tabla 21, que en los tratamientos existe diferencias significativas, por el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para las 3 minas se acepta la hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de sólidos suspendidos.

Pruebas de significancia (De a Pares)

Tabla 22.

Prueba de significancia

<i>Pruebas de significancia (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
<i>4,5:0</i>	<i>2</i>	<i>A</i>		
<i>2:00</i>	<i>5</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	
<i>0:02</i>	<i>8</i>		<i>B</i>	<i>C</i>

0:00	11			C
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (5,43)</i>			
2:00	3	A		
4,5:0	5	A	B	
0:00	8		B	C
0:02	11			C
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (7,33)</i>			
4,5:0	2	A		
2:00	5	A	B	
0:02	8		B	
0:00	10,67		B	

Nota: Medias con una letra común, no son significativamente diferentes.

En la Tabla 22, se representa el análisis de pares el cual se centra en la comparación de las medias, para comenzar, la mina 3 pH (3,88), las combinaciones (T₂) y (T₄) fueron significativamente diferentes, siendo superior el (T₂) al tener una media menor, esto quiere decir que la dosis 2 de biocoagulante (4,5 ml) es la mejor en la mina 3.

Por otro lado, en la mina 2 pH (5,43), las combinaciones (T₁) y (T₃), fueron significativamente diferentes, siendo la (T₁) la más efectiva, es decir la dosis 1 de biocoagulante (2 ml),

En el caso de la mina 1 pH (7,33), las mejores combinaciones fueron (T₂) y (T₄), las cuales son significativamente distintas, siendo la (T₂) la más eficiente al tener una media más baja, es decir la dosis (T₂) de biocoagulante (4,5 ml).

En la Figura 70 se puede observar que en cuanto al pH 3,88 es decir la mina 3, los tratamientos (T_1) y (T_2) se solapan, el (T_2) es más eficiente con una media y desviación estándar en cuanto al agua de mina 1.

En cuanto a la mina 2 (pH 5,43), el mejor tratamiento es el T_2 aplicado sobre la mina 2 con una media más baja por lo cual es más eficiente.

Finalmente, la mina 1 (pH 7,33), cuyo mejor resultado fue el tratamiento (2) con una media menor y una baja desviación estándar.

En el trabajo realizado por Bravo (2015), aplicando *Moringa oleífera*, se logró una reducción del 86,9% de sólidos suspendidos totales, en tanto que, con la *Caesalpinia spinosa* se logró una reducción de más del 95%, demostrando así su efectividad como biocoagulante.

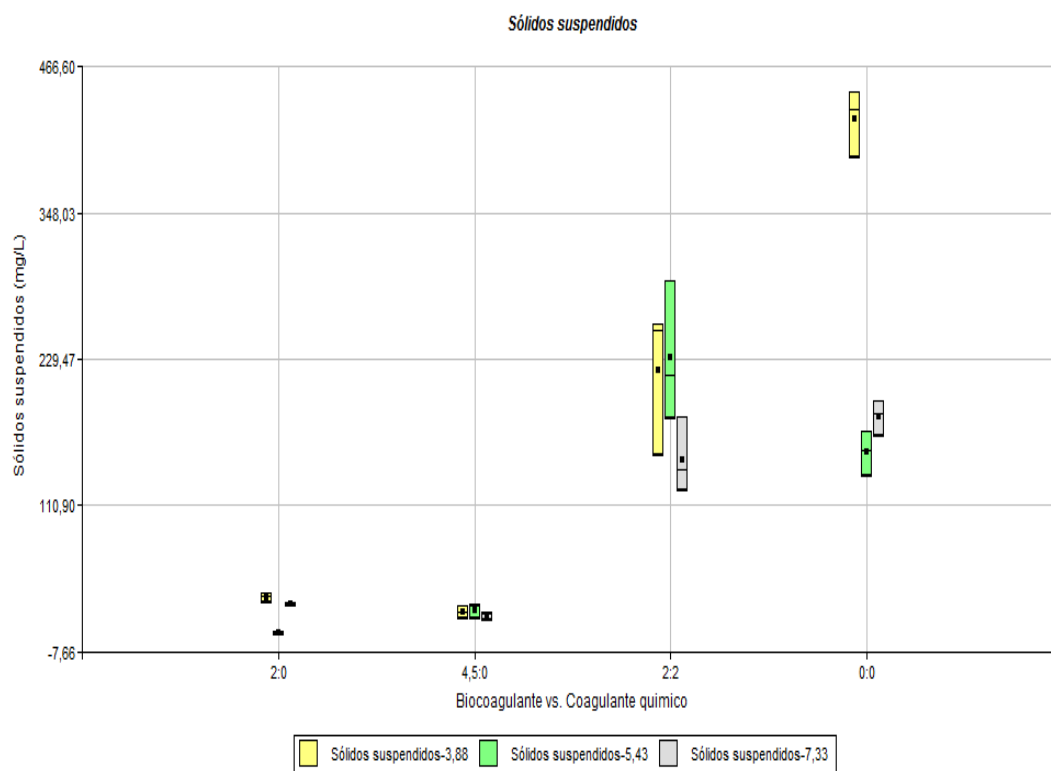


Figura 70. Sólidos suspendidos

4.4.4.3 Sólidos disueltos

Tabla 23.

ANOVA kruskal Wallis sólidos disueltos

<i>pH</i>	<i>Variabl e</i>	<i>Biocoa gulant e</i>	<i>PAC</i>	<i>N</i>	<i>Medias</i>	<i>D.E</i>	<i>H</i>	<i>P</i>
3,8 8	<i>Sólido s disuelt os</i>	0	0	3	184	10	9,36	0,024
3,8 8	<i>Sólido s disuelt os</i>	0	2	3	464	31		
3,8 8	<i>Sólido s disuelt os</i>	2	0	3	212	0,77		
3,8 8	<i>Sólido s disuelt os</i>	4,5	0	3	183	4,68		
5,4 3	<i>Sólido s disuelt</i>	0	0	3	321	18	9,46	0,0234

	os							
5,4 3	Sólido s disuelt os	0	2	3	462	0,77		
5,4 3	Sólido s disuelt os	2	0	3	154	14		
5,4 3	Sólido s disuelt os	4,5	0	3	199	78		
7,3 3	Sólido s disuelt os	0	0	3	327	28	10,38	0,0156
7,3 3	Sólido s disuelt os	0	2	3	476	36		
7,3 3	Sólido s disuelt os	2	0	3	223	5		

7,33	Sólidos disueltos	4,5	0	3	160	67		
------	-------------------	-----	---	---	-----	----	--	--

Los resultados de ANOVA Kruskal Wallis en la Tabla 23, para el parámetro sólidos disueltos, muestran que los tratamientos son significativos ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para las 3 minas se acepta la hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de sólidos disueltos.

Pruebas de significancia (De a Pares)

Tabla 24.

Prueba de significancia

<i>Pruebas de significancia (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
4,5:0	3,33	A		
0:00	3,67	A		
2:00	8	A	B	
0:02	11		B	
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (5,43)</i>			
4,5:0	3	A		
0:00	4	A		

2:00	8	A	B	
0:02	11		B	
Trat.	Ranks (7,33)			
4,5:0	2	A		
0:00	5	A	B	
2:00	8		B	C
0:02	11			C

Nota: Medias con una letra común, no son significativamente diferentes.

En la Tabla 24, se representa el análisis de pares el cual se centra en la comparación de las medias, en primer lugar, la mina 3 pH (3,88), las combinaciones (T₂) y (T₃) fueron significativamente diferentes, siendo superior el (T₂) al tener una media menor, esto quiere decir que la dosis 2 de biocoagulante (4,5 ml) es la mejor en la mina 3.

Así mismo, en la mina 2 pH (5,43), las combinaciones (T₂) y (T₃), fueron significativamente diferentes, siendo la (2) la más efectiva, es decir la dosis 2 de biocoagulante (4,5 ml),

En el caso de la mina 1 pH (7,33), igualmente las mejores combinaciones fueron (T₂) y (T₃), las cuales son significativamente distintas, siendo la (T₂) la más eficiente al tener una media más baja, es decir la dosis 2 de biocoagulante (4,5 ml).

En la Figura 71, se puede observar que en cuanto al pH 3,88 es decir la mina 3, los tratamientos (T₁) y (T₂) no se solapan, el tratamiento 2 es más eficiente con una media más baja en cuanto a la mina 1.

En cuanto a la mina 2 (pH 5,43), el mejor tratamiento es el 2 aplicado sobre la mina 2 con una media más baja por lo cual es más eficiente.

Finalmente, la mina 1 (pH 7,33), cuyo mejor resultado fue el tratamiento (T₂) con una media menor y una baja desviación estándar.

En este caso las mejores dosis para todas las minas fueron de 4,5 ml de biocoagulante es decir el tratamiento 2, alcanzando una remoción del 53%.

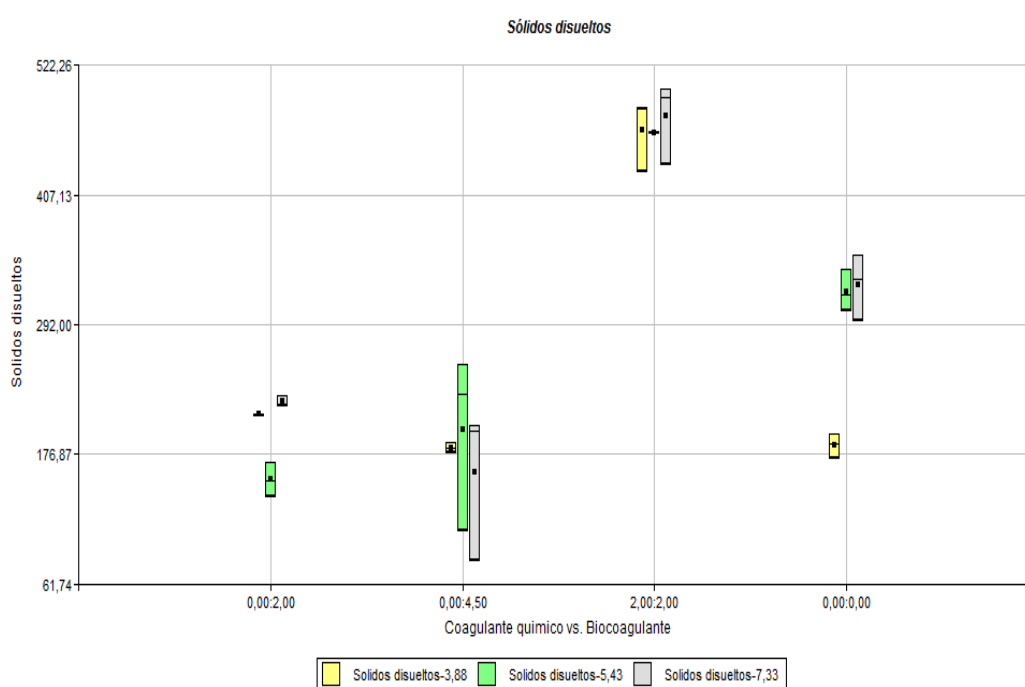


Figura 71. Sólidos disueltos

4.4.4.4 Sólidos sedimentables

Tabla 25.

ANOVA kruskal Wallis sólidos sedimentables

<i>pH</i>	<i>Variabl e</i>	<i>Biocoo gulant</i>	<i>PAC</i>	<i>N</i>	<i>Media s</i>	<i>D.E</i>	<i>H</i>	<i>P</i>
-----------	----------------------	--------------------------	------------	----------	--------------------	------------	----------	----------

		e						
3,88	Sólidos sedimentables	0	0	3	560	111	10,38	0,0156
3,88	Sólidos sedimentables	0	2	3	1504,89	186		
3,88	Sólidos sedimentables	2	0	3	428	19		
3,88	Sólidos sedimentables	4,5	0	3	285	82		
5,43	Sólidos sedimentables	0	0	3	336	59	9,46	0,0237

5,43	Sólidos sedimentables	0	2	3	1492	333		
5,43	Sólidos sedimentables	2	0	3	704	146		
5,43	Sólidos sedimentables	4,5	0	3	687	61		
7,33	Sólidos sedimentables	0	0	3	820	184	9,36	0,0249
7,33	Sólidos sedimentables	0	2	3	1525	423		
7,33	Sólidos	2	0	3	452	27		

	<i>sedimentables</i>							
7,33	<i>Sólidos sedimentables</i>	4,5	0	3	805	101		

ANOVA Kruskal Wallis, para el parámetro de sólidos sedimentables, muestra que los tratamientos son significativos ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para las 3 minas se acepta la hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de sólidos sedimentables.

Pruebas de significancia (De a Pares)

Tabla 26.

Prueba de significancia

<i>Pruebas de significancia (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
4,5:0	2	A		
2:00	5	A	B	
0:00	8		B	C
0:02	11			C

<i>Trat.</i>	<i>Ranks (5,43)</i>			
0:00	3	A		
4,5:0	4	A		
2:00	8	A	B	
0:02	11		B	
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (7,33)</i>			
2:00	2	A		
0:00	5	A	B	
4,5:0	8		B	C
0:02	11			C

Nota: Medias con una letra común, no son significativamente diferentes.

En la Tabla 26, se representa el análisis de pares el cual se centra en la comparación de las medias, en primer lugar, la mina 3 pH (3,88), las combinaciones (T₂) y (T₃) fueron significativamente diferentes, siendo superior el (T₂) al tener una media menor, esto quiere decir que la dosis 2 de biocoagulante (4,5 ml) es la mejor en la mina 3.

Por otro lado, en la mina 2 pH (5,43), las combinaciones (T₄) y (T₃), fueron significativamente diferentes, siendo la (T₄) la más efectiva, es decir el blanco, lo cual podría deberse al efecto del tratamiento mecánico ejercido por el test de jarras y la oxigenación producida por el mismo (García y Gonzales, 2015)

Para la mina 1 pH (7,33), igualmente las mejores combinaciones fueron (T₁) y (T₃), las cuales son significativamente distintas, siendo la (T₂) la más eficiente al tener una media más baja, es decir la dosis 1 de biocoagulante (2 ml).

En la Figura 72, se puede observar que en cuanto al pH 3,88 es decir la mina 3, los tratamientos (1) y (2) no se solapan, el tratamiento 2 es más eficiente con una media más baja en cuanto a la mina 1.

En tanto que en la mina 2 (pH 5,43), el mejor tratamiento es el 4 aplicado sobre la mina 2 con una media más baja por lo cual es más eficiente.

Finalmente, la mina 1 (pH 7,33), cuyo mejor resultado fue el tratamiento (2) con una media menor y una baja desviación estándar.

Estos datos se ajustan a los datos de sólidos suspendidos, los cuales se redujeron drásticamente en la mina 1 y 3, al igual que aquí aumentaron en la mina 1 y 3, cambiando su estado de disponibilidad, permitiendo que se sedimenten.

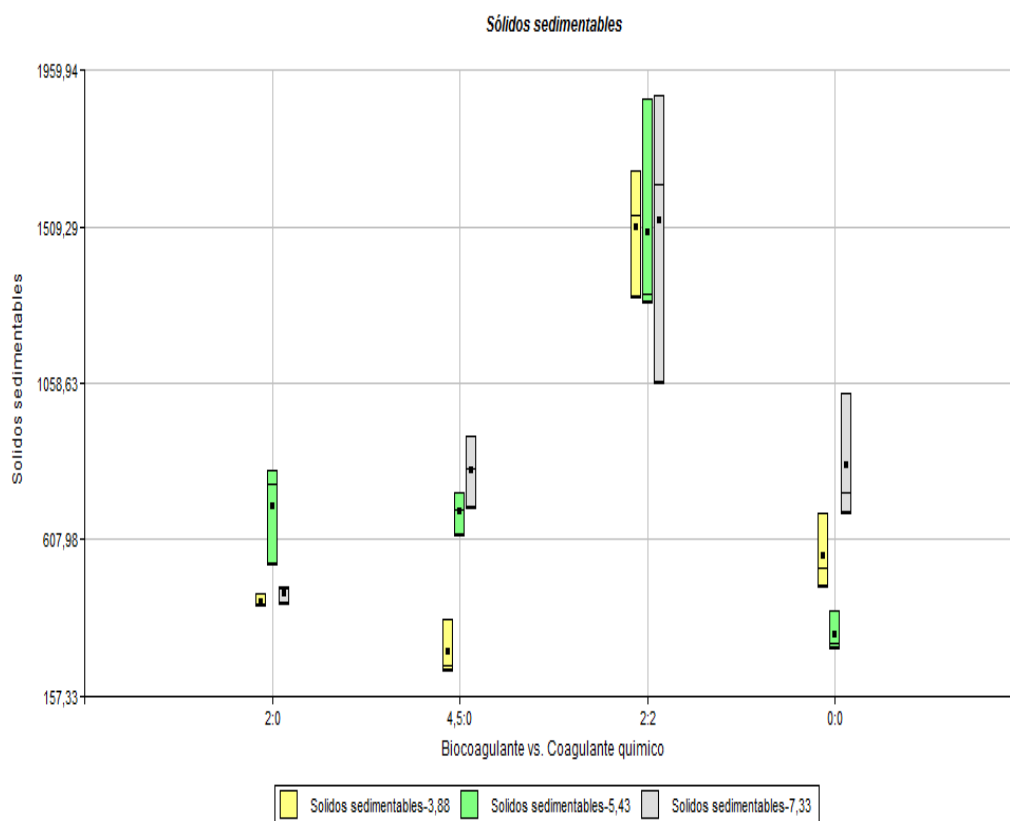


Figura 72. Sólidos sedimentables

4.4.4.5 Turbidez

Tabla 27.

ANOVA kruskal Wallis turbidez

<i>pH</i>	<i>Variab le</i>	<i>Bioco agulan te</i>	<i>PAC</i>	<i>N</i>	<i>Media s</i>	<i>D.E</i>	<i>H</i>	<i>P</i>
3,88	<i>Turbid ez</i>	0	0	3	28	4	9,46	0,023 7
3,88	<i>Turbid ez</i>	0	2	3	6,9	0,82		
3,88	<i>Turbid ez</i>	2	0	3	1,83	0,71		
3,88	<i>Turbid ez</i>	4,5	0	3	1,43	0,4		
5,43	<i>Turbid ez</i>	0	0	3	43,8	10,63	10,38	0,015 3
5,43	<i>Turbid ez</i>	0	2	3	4,5	0,78		
5,43	<i>Turbid ez</i>	2	0	3	1,47	0,67		

5,43	Turbidez	4,5	0	3	0,53	0,23		
7,33	Turbidez	0	0	3	23,87	3,91	7,51	0,057
7,33	Turbidez	0	2	3	3	0,05		
7,33	Turbidez	2	0	3	4,03	0,76		
7,33	Turbidez	4,5	0	3	3,47	0,97		

La información arrojada por el ANOVA Kruskal Wallis, para el parámetro turbidez, muestra que los dos primeros tratamientos (mina 2 y mina 3) son significativos ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para las 2 minas se acepta la hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de turbidez. Por otro lado, en la mina 1, se acepta la hipótesis H_o (nula), al poseer un p-valor $> 0,05$, lo cual significa que la dosis de coagulante/biocoagulante junto con el pH, no presentan un efecto significativo.

Tabla 28.

Prueba de significancia

<i>Pruebas de significancia (Comparación medias)</i>
--

<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
4,5:0	3	A		
2:00	4	A		
0:02	8	A	B	
0:00	11		B	
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (5,43)</i>			
4,5:0	2	A		
2:00	5	A	B	
0:02	8		B	C
0:00	11			C

Nota: Medias con una letra común, no son significativamente diferentes.

En la Tabla 28, se representa el análisis de pares el cual se centra en la comparación de las medias, en primer lugar, la mina 3 pH (3,88), las combinaciones (T₁), (T₂) y (T₄) fueron significativamente diferentes, siendo superior el (T₂) al tener una media menor, esto quiere decir que la dosis 2 de biocoagulante (4,5 ml) es la mejor en la mina 3.

Por otro lado, en la mina 2 pH (5,43), las combinaciones (T₂) y (T₄), fueron significativamente diferentes, siendo la (T₂) la más efectiva, lo que quiere decir que la dosis 2 de biocoagulante (4,5 ml) es la mejor en la mina 2.

En la Figura 73, se puede observar que en cuanto al pH 3,88 es decir la mina 3, los tratamientos (T₁) y (T₂), tienen las menores medias y desviaciones, sin embargo, el tratamiento (T₂), (4,5 ml) es más eficiente con una media más baja en cuanto a la mina 1.

Así mismo, la mina 2 (pH 5,43), cuyo mejor resultado fue el tratamiento (2) con una media menor y una baja desviación estándar.

En la mina 1 las medias fueron iguales, por este motivo los efectos del tratamiento no son significativos.

Los mejores porcentajes de remoción de turbidez fueron en el tratamiento T_1 y T_2 siendo 91% en ambos casos, de igual manera va concatenado al aumento de sólidos sedimentables en ambos tratamientos.

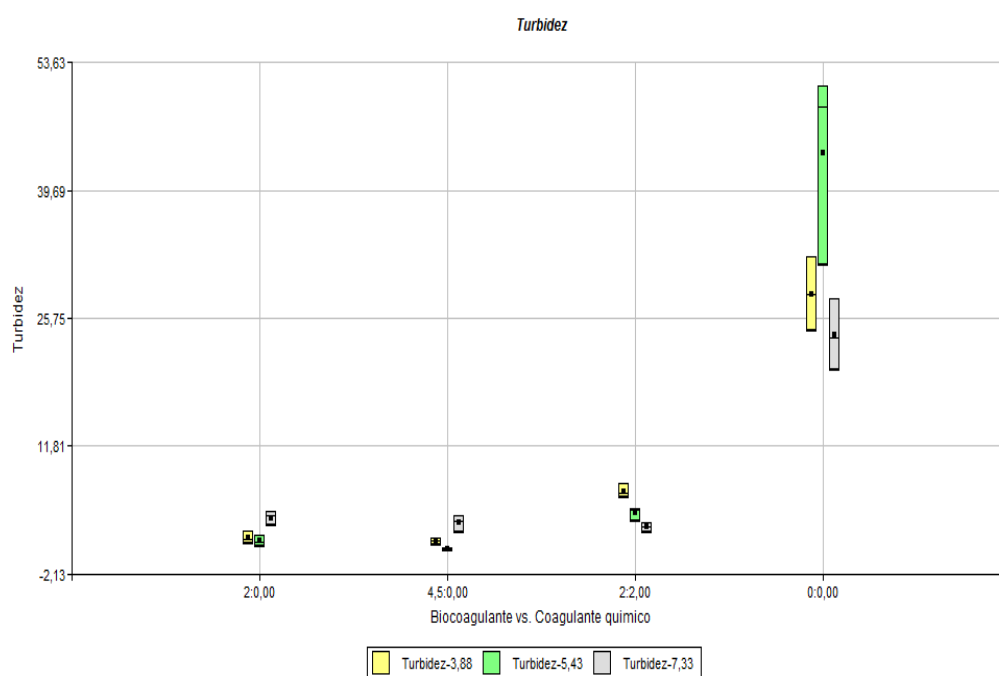


Figura 73. Turbidez.

4.4.4.6 Demanda Química de Oxígeno

Tabla 29.

ANOVA kruskal Wallis DQO

<i>pH</i>	<i>Variabl</i>	<i>Biocoa</i>	<i>PAC</i>	<i>N</i>	<i>Medias</i>	<i>D.E</i>	<i>H</i>	<i>P</i>
-----------	----------------	---------------	------------	----------	---------------	------------	----------	----------

	e	gulate						
3,8 8	DQO	0	0	3	9466	1150	7,37	0,060 2
3,8 8	DQO	0	2	3	6800	1571		
3,8 8	DQO	2	0	3	8133	1871		
3,8 8	DQO	4,5	0	3	5233	611		
5,4 3	DQO	0	0	3	10466	850	10,38	0,015 6
5,4 3	DQO	0	2	3	7400	608		
5,4 3	DQO	2	0	3	3966	665		
5,4 3	DQO	4,5	0	3	2466	208		
7,3 3	DQO	0	0	3	11566	901	9,46	0,023 4
7,3 3	DQO	0	2	3	11333	750		
7,3 3	DQO	2	0	3	3300	600		

7,3 3	DQO	4,5	0	3	1600	173		
----------	-----	-----	---	---	------	-----	--	--

El análisis de ANOVA Kruskal Wallis, para el parámetro DQO en la mina 1 (pH 7,33) y mina 2 (pH 5,43), son significativos, ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para las 2 minas se acepta la hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de DQO. Por otro lado, en la mina 3, se acepta la hipótesis H_o (nula), al poseer un p-valor $> 0,05$, lo cual significa que la dosis de coagulante/biocoagulante junto con el pH, no presentan un efecto significativo.

Pruebas de significancia (De a Pares)

Tabla 30.

Prueba de significancia

<i>Pruebas de significancia (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (5,43)</i>			
4,5:0	2	A		
2:00	5	A	B	
0:02	8		B	C
0:00	11			C
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (7,33)</i>			
2:00	2	A		
4,5:0	5	A	B	

0:00	9		B	
0:02	10		B	

Nota: Medias con una letra común, no son significativamente diferentes.

En la Tabla 30, se representa el análisis de pares, el cual se centra en la comparación de las medias, en primer lugar, la mina 2 pH (5,43), las combinaciones (T₂) y (T₃) fueron significativamente diferentes, siendo superior el (T₂) al tener una media menor, esto quiere decir que la dosis 2 de biocoagulante (4,5 ml) es la mejor en la mina 2.

Por otro lado, en la mina 1 pH (7,33), las combinaciones (T₁) y (T₃), fueron significativamente diferentes, siendo la (T₁) la más efectiva, lo que quiere decir que la dosis 1 de biocoagulante (2 ml) es la mejor en la mina 1.

En la Figura 74, se puede observar que en cuanto a la mina 2 (pH 5,43) es decir la mina 2, los tratamientos (T₁) y (T₂) tienen las menores medias y desviaciones, sin embargo, el tratamiento T₂ (4,5 ml) es más eficiente con una media más baja en cuanto a la mina 2.

Así mismo, la mina 1 (pH 7,33), cuyo mejor resultado fue el tratamiento (T₂) con una media menor al aplicar 4,5 ml de biocoagulante.

El mejor porcentaje de reducción de DQO se realizó en la mina 1 (pH 7,33), con un porcentaje de remoción del 88%, con la aplicación de la dosis 2 de biocoagulante (4,5 ml).

La DQO, en empresas mineras tiende a ser elevada debido al pH de sus drenajes, los cuales tienden a la acidez, este pH ácido, pone en forma disponible, metales pesados y otros elementos nocivos (Cisneros, 2017), por este motivo su reducción, aunque eficaz, no cumple con las normativas, ya que la *Caesalpinia spinosa* no remueve todo el espectro de elementos presente.

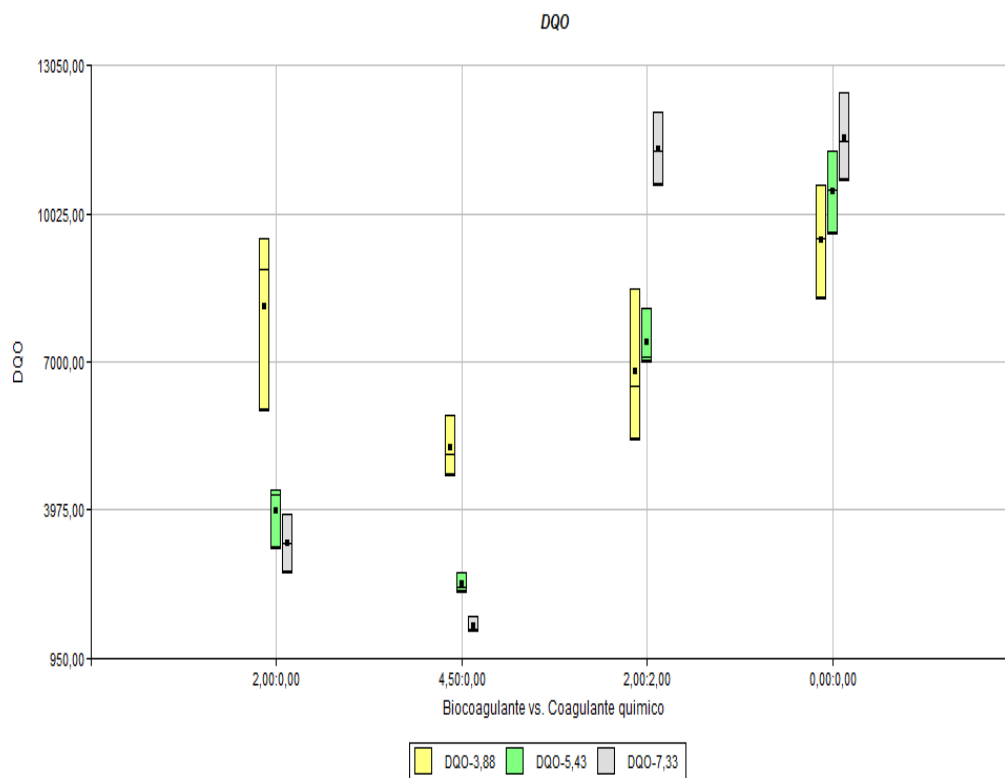


Figura 74. DQO

4.4.4.7 Color

Tabla 31.

ANOVA Kruskal Wallis color

<i>pH</i>	<i>Variabl e</i>	<i>Biocoa gulant e</i>	<i>PAC</i>	<i>N</i>	<i>Media s</i>	<i>D.E</i>	<i>H</i>	<i>P</i>
3,8 8	COLO R	0	0	3	59	8,89	10,38	0,0156

3,8 8	COLO R	0	2	3	114	7,09		
3,8 8	COLO R	2	0	3	8,33	2,08		
3,8 8	COLO R	4,5	0	3	18	3,61		
5,4 3	COLO R	0	0	3	112	3,06	9,35	0,0247
5,4 3	COLO R	0	2	3	67	14,19		
5,4 3	COLO R	2	0	3	14	7,23		
5,4 3	COLO R	4,5	0	3	11	1,53		
7,3 3	COLO R	0	0	3	93,67	4,04	9,13	0,0261
7,3 3	COLO R	0	2	3	93	4		

7,3 3	COLO R	2	0	3	0,67	1,15		
7,3 3	COLO R	4,5	0	3	6	4,58		

La Tabla 31, presenta el ANOVA Kruskal Wallis, para el parámetro color, los tratamientos resultan ser significativos ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para las 3 minas se acepta la hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de color.

Pruebas de significancia (De a Pares)

Tabla 32.

Prueba de significancia

<i>Pruebas de significancia (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
2:00	2	A		
4,5:0	5	A	B	
0:00	8		B	C
0:02	11			C
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (5,43)</i>			
4,5:0	2	A		

2:00	5	A		
0:02	8	A	B	
0:00	11		B	
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (7,33)</i>			
2:00	2,17	A		
4,5:0	4,83	A	B	
0:02	9,5		B	
0:00	9,5		B	

Nota: Medias con una letra común, no son significativamente diferentes.

En la Tabla 32, se representa el análisis de pares el cual se centra en la comparación de las medias, para comenzar, la mina 3 pH (3,88), las combinaciones (T₁) y (T₃) fueron significativamente diferentes, siendo superior el (T₁) al tener una media menor, esto quiere decir que la dosis 1 de biocoagulante (2 ml) es la mejor en la mina 3.

Por otro lado, en la mina 2 pH (5,43), las combinaciones (T₁), (T₂) y (T₄), fueron significativamente diferentes, siendo la (T₁) la más efectiva, es decir la dosis 1 de biocoagulante (2ml).

Para la mina 1 pH (7,33), igualmente las mejores combinaciones fueron (T₁), (T₃) y (T₄), las cuales son significativamente distintas, siendo la (T₁) la más eficiente al tener una media más baja, es decir la dosis 1 de biocoagulante (2 ml).

En la Figura 75, se puede observar que bajo pH 3,88 es decir la mina 3, los tratamientos (T₁) y (T₂) no se solapan, el tratamiento T₁ es más eficiente con una media más baja en cuanto a la mina 1(2 ml biocoagulante).

En la mina 2 (pH 5,43), el mejor tratamiento es el T₁ aplicado sobre la mina 2, con una dosis de 2 ml de biocoagulante tiene una media más baja.

Finalmente, la mina 1 (pH 7,33), cuyo mejor resultado fue el tratamiento (T₁) con una media menor y una baja desviación estándar al aplicar igualmente 2 ml de biocoagulante.

En sus niveles más significativos la mina 1, 2 y 3 tuvieron su mayor porcentaje de remoción, siendo 97%, 84% y 84% respectivamente, teniendo una mayor eficiencia en la mina 1 (pH 7,33).

El color está estrechamente relacionado a los SDT, y a la CE, esto se ratifica al observar que su tratamiento más eficaz fue mediante la aplicación del biocoagulante en todos los casos.

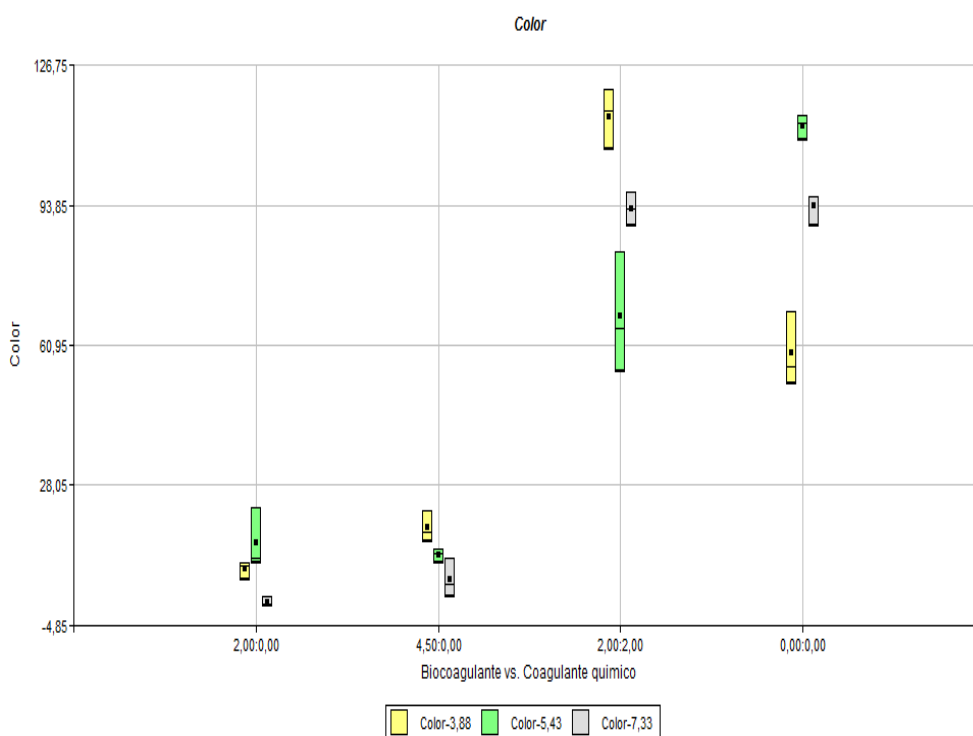


Figura 75. Color

4.4.4.8 Conductividad eléctrica

Tabla 33.

ANOVA kruskal Wallis conductividad eléctrica

<i>pH</i>	<i>Variabl e</i>	<i>Biocoa gulant e</i>	<i>PAC</i>	<i>N</i>	<i>Media s</i>	<i>D.E</i>	<i>H</i>	<i>P</i>
3,8 8	CE	0	0	3	627	25,11	10,38	0,0156
3,8 8	CE	0	2	3	1123	79,38		
3,8 8	CE	2	0	3	578	18,34		
3,8 8	CE	4,5	0	3	516	18,58		
5,4 3	CE	0	0	3	948	8,39	9,67	0,0216
5,4 3	CE	0	2	3	1322	126,26		
5,4 3	CE	2	0	3	706	28		

5,4 3	CE	4,5	0	3	744	27,87		
7,3 3	CE	0	0	3	1025	28,29	9,36	0,0249
7,3 3	CE	0	2	3	1406	159		
7,3 3	CE	2	0	3	752	54,99		
7,3 3	CE	4,5	0	3	745	36,23		

En el ANOVA Kruskal Wallis, representado en la Tabla 33, para el parámetro conductividad eléctrica, se puede ver que los tratamientos muestran diferencias significativas ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para las 3 minas se acepta la hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de conductividad eléctrica.

Pruebas de significancia (De a Pares)

Tabla 34.

Prueba de significancia

<i>Pruebas de significancia (Comparación medias)</i>
--

<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
4,5:0	2	A		
2:00	5	A	B	
0:00	8		B	C
0:02	11			C
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (5,43)</i>			
2:00	2,67	A		
4,5:0	4,33	A		
0:00	8	A	B	
0:02	11		B	
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (7,33)</i>			
4,5:0	3,33	A		
2:00	3,67	A		
0:00	8	A	B	
0:02	11		B	

Nota: Medias con una letra común, no son significativamente diferentes.

En la Tabla 34, se representa el análisis de pares el cual se centra en la comparación de las medias, para comenzar, la mina 3 pH (3,88), las combinaciones (T₂) y (T₃) fueron significativamente diferentes, siendo superior el (T₂) al tener una media menor, esto quiere decir que la dosis 2 de biocoagulante (4,5 ml) es la mejor en la mina 3.

En la mina 2 pH (5,43), las combinaciones (T₁), (T₂) y (T₃), fueron significativamente diferentes, siendo la (T₁) la más efectiva, es decir la dosis 1 de biocoagulante (2ml).

En el caso de la mina 1 pH (7,33), igualmente las mejores combinaciones fueron (T₁), (T₂) y (T₃), las cuales son significativamente distintas, siendo la (T₂) la más eficiente al tener una media más baja, es decir la dosis 2 de biocoagulante (4,5 ml).

En la Figura 76, se aprecia que en cuanto al pH 3,88 es decir la mina 3, los tratamientos (T₁) y (T₂) no se solapan, el tratamiento 2 es más eficiente con una media más baja en cuanto a la mina 3(4,5 ml biocoagulante).

En la mina 2 (pH 5,43), el mejor tratamiento fue el 1, aplicado sobre la mina 2, con una dosis de 2 ml de biocoagulante tiene una media más baja.

Finalmente, la mina 1(pH 7,33), cuyo mejor resultado fue el tratamiento (T₂) con una media menor y una baja desviación estándar al aplicar igualmente 4,5 ml de biocoagulante.

Las eficiencia de remoción, tienen el mismo patrón, siendo el 51% el porcentaje más alto en la mina 1 con una dosis de biocoagulante, de 4,5 ml, por otro lado, el 21% de remoción en la mina 2, con una dosis de biocoagulante de 2 ml, y, por último, una remoción de 37%, con una dosis de 4,5 ml.

La conductividad eléctrica está estrechamente relacionada a los sólidos disueltos, comparten comportamiento en cuanto a la mina 1 y mina 3 en función a sus mejores tratamientos, y en las 3 minas se presentan reducciones directamente proporcionales entre parámetros.

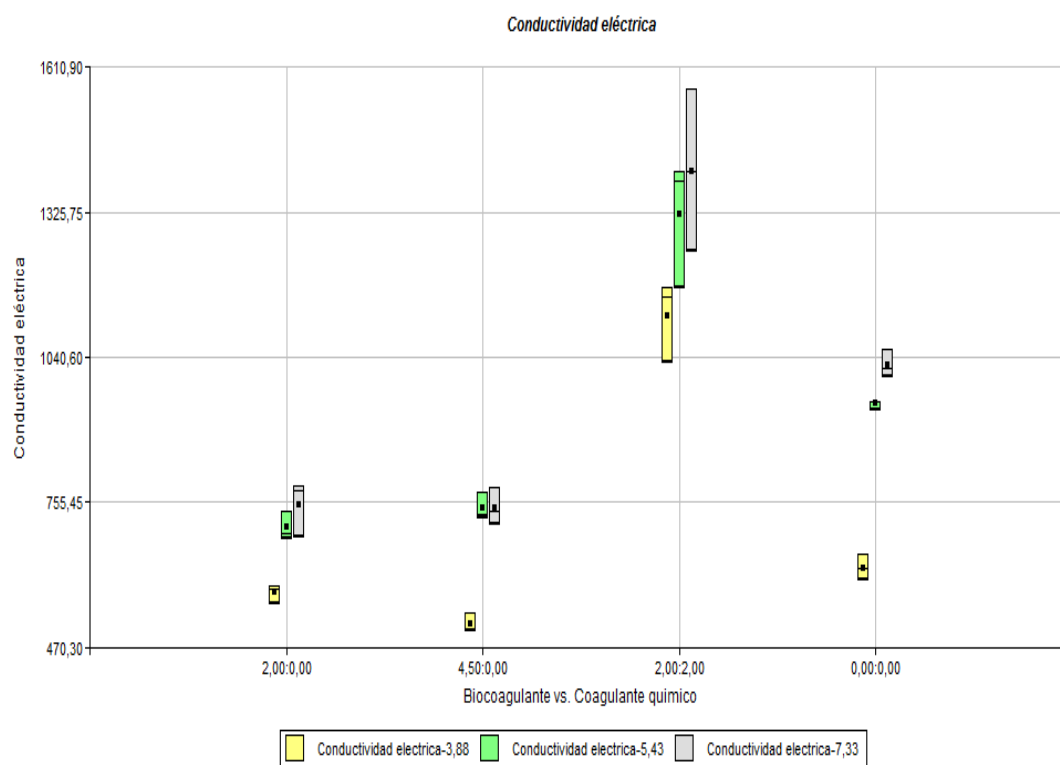


Figura 76. Conductividad eléctrica

4.4.4.9 pH

Tabla 35.

ANOVA kruskal Wallis pH

<i>pH</i>	<i>Variabl e</i>	<i>Biocoa gulant e</i>	<i>PAC</i>	<i>N</i>	<i>Media s</i>	<i>D.E</i>	<i>H</i>	<i>P</i>
3,8 8	<i>pH</i>	0	0	3	3,23	0,21	8,44	0,0378

3,8 8	pH	0	2	3	3,2	0,07		
3,8 8	pH	2	0	3	3,79	0,06		
3,8 8	pH	4,5	0	3	3,83	0,11		
5,4 3	pH	0	0	3	5,45	0,27	7,19	0,0653
5,4 3	pH	0	2	3	4,76	0,31		
5,4 3	pH	2	0	3	5,64	0,22		
5,4 3	pH	4,5	0	3	5,43	0,22		
7,3 3	pH	0	0	3	7,06	0,09	10,17	0,0169
7,3 3	pH	0	2	3	4,15	0,05		

7,3 3	pH	2	0	3	7,33	0,02		
7,3 3	pH	4,5	0	3	7,3	0,01		

Basándose en la información arrojada por el ANOVA Kruskal Wallis, en base al parámetro pH, los tratamientos dos primeros tratamientos (mina 1 y mina 3) son significativos ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para las 2 minas se acepta la hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de pH. Por otro lado, en la mina 2, se acepta la hipótesis H_o (nula), al poseer un p-valor $> 0,05$, lo cual significa que la dosis de coagulante/biocoagulante junto con el pH, no presentan un efecto significativo sobre el pH.

Pruebas de significancia (De a Pares)

Tabla 36.

Prueba de significancia

<i>Pruebas de significancia (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
0:00	3,33	A		
0:02	3,67	A		
2:00	9	A	B	
4,5:0	10		B	

<i>Trat.</i>	<i>Ranks (7,33)</i>			
0:02	2	A		
0:00	5	A	B	
4,5:0	8,17		B	C
2:00	10,83			C

Nota: Medias con una letra común, no son significativamente diferentes.

En la Tabla 36, se representa el análisis de pares el cual se centra en la comparación de las medias, en primer lugar, la mina 3 pH (3,88), las combinaciones (T₂), (T₃) y (T₄) fueron significativamente diferentes, siendo superior el (T₄) al tener una media menor, es decir el blanco.

Por otro lado, en la mina 2 pH (5,43), las combinaciones (T₁), (T₃) y (T₄), fueron significativamente diferentes, siendo la (T₃) la más efectiva, lo que quiere decir que el coagulante químico fue el que genero una diferencia más significativa.

En la Figura 77, se puede observar que en cuanto al pH 3,88 es decir la mina 3, los tratamientos (T₃) y (T₄), tienen las menores medias y desviaciones, sin embargo, el tratamiento T₄ (0 ml) es más eficiente con una media más baja en cuanto a la mina 1.

Así mismo, la mina 1 (pH 7,33), cuyo mejor resultado fue el tratamiento (T₃) con una media menor y una baja desviación estándar (PAC 2ml).

En el caso del pH, se busca una menor variación y una tendencia hacia la neutralidad, de manera que se pueda cumplir con la normativa, en este caso, es positivo que no se genere un efecto significativo sobre el pH, ya que quiere decir que no se está consumiendo la alcalinidad del agua, como fue citado anteriormente por Banchón (2015).

En cuanto al pH, el cual es un factor fundamental, para la coagulación y la biocoagulación, podemos apreciar que en la mina ácida se presenta un método de coagulación llamado absorción y neutralización de cargas (Andia, 2000), y la necesidad del nivel más alto de biocoagulante (4,5 ml); por otro lado, la mina neutra necesito el nivel más bajo de biocoagulante, además de que era la mina que tenía un menor nivel de turbidez, tuvo el mejor rango de acción, sin modificar el pH.

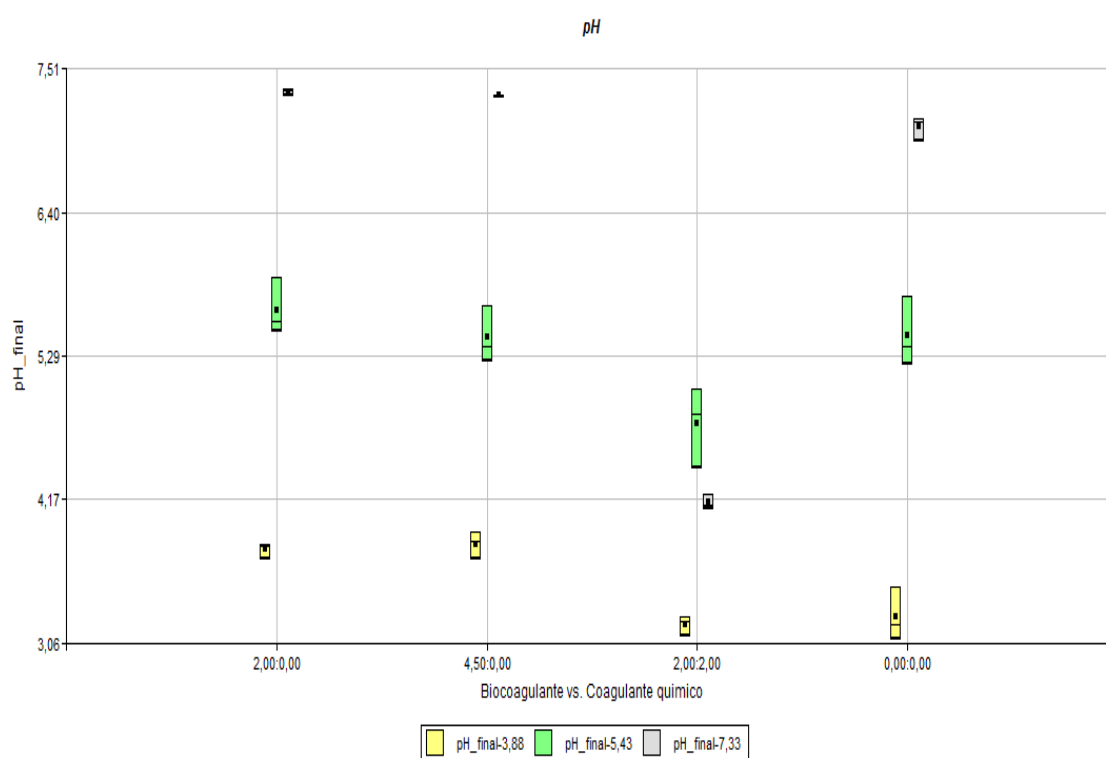


Figura 77. pH

4.4.4.10 Metales Pesados

Al analizar 24 metales pesados, fue necesario segmentarlos por 4 grupos de 5, y uno de 4 en el cual se realizó un ANOVA común, debido a la normalidad de los datos (P, As, S, K), de este modo se facilita la comprensión del análisis de datos.

Tabla 37.

ANOVA *kruskal Wallis* (B, Ba, Cd, Co, Cr)

<i>pH</i>	<i>Variabl e</i>	<i>Biocoa gulant e</i>	<i>PAC</i>	<i>N</i>	<i>Medias</i>	<i>D.E</i>	<i>H</i>	<i>P</i>
3,8 8	<i>B</i>	0	0	3	0,07	0,03	9,36	0,0213
3,8 8	<i>B</i>	0	2	3	0,01	2,1		
3,8 8	<i>B</i>	2	0	3	1,03	1,7		
3,8 8	<i>B</i>	4,5	0	3	1,203	2,3		
5,4 3	<i>B</i>	0	0	3	0,06	0,01	4,22	0,2359
5,4 3	<i>B</i>	0	2	3	0,13	0,04		
5,4 3	<i>B</i>	2	0	3	0,11	0,1		
5,4 3	<i>B</i>	4,5	0	3	0,04	0,03		
7,3 3	<i>B</i>	0	0	3	0,02	0,02	7,31	0,0627

7,3 3	<i>B</i>	0	2	3	0,11	0,05		
7,3 3	<i>B</i>	2	0	3	0,06	0,01		
7,3 3	<i>B</i>	4,5	0	3	0,24	0,3		
<i>pH</i>	<i>Variabl e</i>	<i>Biocoa gulant e</i>	<i>PAC</i>	<i>N</i>	<i>Medias</i>	<i>D.E</i>	<i>H</i>	<i>P</i>
3,8 8	<i>Ba</i>	0	0	3	0,51	0,01	4,85	0,1821
3,8 8	<i>Ba</i>	0	2	3	0,32	0,24		
3,8 8	<i>Ba</i>	2	0	3	0,19	0,07		
3,8 8	<i>Ba</i>	4,5	0	3	0,2	0,16		
5,4 3	<i>Ba</i>	0	0	3	0,43	0,08	6,28	0,0987
5,4 3	<i>Ba</i>	0	2	3	0,43	0,08		
5,4 3	<i>Ba</i>	2	0	3	0,28	0,02		

5,4 3	Ba	4,5	0	3	0,42	0,06		
7,3 3	Ba	0	0	3	0,2	0,04	4,44	0,2181
7,3 3	Ba	0	2	3	0,32	0,09		
7,3 3	Ba	2	0	3	0,21	0,01		
7,3 3	Ba	4,5	0	3	0,34	0,24		
pH	Variabl e	Biocoa gulant e	PAC	N	Medias	D.E	H	P
3,8 8	Cd	0	0	3	0,01	1,703	7,27	0,0376
3,8 8	Cd	0	2	3	1,703	5,8		
3,8 8	Cd	2	0	3	1,03	0		
3,8 8	Cd	4,5	0	3	1,03	5,804		
5,4 3	Cd	0	0	3	3,03	3,5	1,13	0,7488

5,4 3	<i>Cd</i>	0	2	3	3,03	3,2		
5,4 3	<i>Cd</i>	2	0	3	2,03	0		
5,4 3	<i>Cd</i>	4,5	0	3	2,03	1,53		
7,3 3	<i>Cd</i>	0	0	3	1,07	5,8	9,35	0,0132
7,3 3	<i>Cd</i>	0	2	3	3,703	5,8		
7,3 3	<i>Cd</i>	2	0	3	0	0		
7,3 3	<i>Cd</i>	4,5	0	3	0	0		
<i>pH</i>	<i>Variabl e</i>	<i>Biocoa gulant e</i>	<i>PAC</i>	<i>N</i>	<i>Medias</i>	<i>D.E</i>	<i>H</i>	<i>P</i>
3,8 8	<i>Co</i>	0	0	3	2,7	2,1	4,5	0,2067
3,8 8	<i>Co</i>	0	2	3	1,7	1,7		
3,8 8	<i>Co</i>	2	0	3	2,1	2,7		

3,8 8	Co	4,5	0	3	2,9	3,03		
5,4 3	Co	0	0	3	0,01	1,5	5,36	0,143
5,4 3	Co	0	2	3	4,3	0,02		
5,4 3	Co	2	0	3	0,01	2,3		
5,4 3	Co	4,5	0	3	2,3	0		
7,3 3	Co	0	0	3	1,6	5,8	3,81	0,2189
7,3 3	Co	0	2	3	1,3	5,8		
7,3 3	Co	2	0	3	1,3	5,8		
7,3 3	Co	4,5	0	3	6,7	5,8		
pH	Variabl e	Biocoa gulant e	PAC	N	Medias	D.E	H	P
3,8 8	Cr	0	0	3	0,01	1,03- 03	8,88	0,0247

3,8 8	Cr	0	2	3	1,7-03	5,8-04		
3,8 8	Cr	2	0	3	2,7-03	5,8-04		
3,8 8	Cr	4,5	0	3	3,3-03	5,8-04		
5,4 3	Cr	0	0	3	0,02	0,01	3,45	0,3243
5,4 3	Cr	0	2	3	3,3	3,2		
5,4 3	Cr	2	0	3	0,01	0,01		
5,4 3	Cr	4,5	0	3	0,01	0,02		
7,3 3	Cr	0	0	3	2,3	5,8	7,82	0,0361
7,3 3	Cr	0	2	3	0,01	3,5		
7,3 3	Cr	2	0	3	1,7	5,8		
7,3 3	Cr	4,5	0	3	1,3	5,8		

Según la Tabla 37, el ANOVA Kruskal Wallis, en base al parámetro B, el primer tratamiento (mina 3) es significativo ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para esta mina se acepta la hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de este parámetro. Por otro lado, en la mina 2 y 3, se aceptan las hipótesis H_o (nula), al poseer un p-valor $> 0,05$, lo cual significa que la dosis de coagulante/biocoagulante junto con el pH, no presentan un efecto significativo.

Para el B_a , en las minas 1, 2 y 3, se aceptan las hipótesis H_o (nulas), al poseer un p-valor $> 0,05$, lo cual significa que las dosis de coagulante/biocoagulante junto con el pH, no presentan un efecto significativo.

Del mismo modo, el parámetro C_d , en la mina 1 y 3 es significativo ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para estas minas se aceptan las hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de este parámetro. Por otro lado, en la mina 2, se acepta la hipótesis H_o (nula), al poseer un p-valor $> 0,05$, lo cual significa que la dosis de coagulante/biocoagulante junto con el pH, no presenta un efecto significativo.

En relación al parámetro C_o , en las minas 1, 2 y 3, se aceptan las hipótesis H_o (nulas), al poseer un p-valor $> 0,05$, lo cual significa que las dosis de coagulante/biocoagulante junto con el pH, no presentan un efecto significativo.

Finalmente, el parámetro C_r , en la mina 1 y 3 es significativo ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para estas minas se aceptan las hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de este parámetro. Por otro lado, en la mina 2, se acepta la hipótesis H_o (nula), al poseer un p-valor $> 0,05$, lo cual significa que la dosis de coagulante/biocoagulante junto con el pH, no presenta un efecto significativo.

Pruebas de significancia (De a Pares)

Tabla 38.

Prueba de significancia

<i>Pruebas de significancia B (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
2:00	3,33	A		
4,5:0	3,67	A		
0:02	8	A	B	
0:00	11		B	
<i>Pruebas de significancia Ba (Comparación medias)</i>				
<i>Pruebas de significancia Cd (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
2:00	3,5	A		
4,5:0	5	A		
0:02	6,5	A	B	
0:00	11		B	
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (7,33)</i>			
0:02	3,5	A		
0:00	3,5	A		

4,5:0	8	A	B	
2:00	11		B	
<i>Pruebas de significancia Co (Comparación medias)</i>				
<i>Pruebas de significancia Cr (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
2:00	2,33	A		
4,5:0	5,33	A	B	
0:02	7,5	A	B	
0:00	10,83		B	
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (7,33)</i>			
0:02	3,33	A		
0:00	4,67	A		
4,5:0	7	A	B	
2:00	11		B	

Nota: Medias con una letra común, no son significativamente diferentes.

En la Tabla 38, se representa el análisis de pares, centrado en la comparación de las medias, en primer lugar, el B, en la mina 3 pH (3,88), las combinaciones (T₁), (T₂) y (T₄) fueron significativamente diferentes, siendo superior el (T₁) al tener una media menor, esto quiere decir que la dosis 1 de biocoagulante (2 ml) es la mejor en la mina 3.

El Ba, Co, no son significativos, por este motivo no se generó el análisis de pares.

En cambio, el Cd, presento los siguientes valores en el análisis de pares, en primer lugar, la mina 3 pH (3,88), las combinaciones (T₁), (T₂) y (T₄) fueron significativamente diferentes, siendo superior el (T₁) al tener una media menor, esto quiere decir que la dosis 1 de biocoagulante (2 ml) es la mejor en la mina 2.

Para la mina 1 pH (7,33), las combinaciones (T₁), (T₃) y (T₄), fueron significativamente diferentes, siendo la (T₃) la más efectiva, lo que quiere decir que el coagulante químico PAC (2 ml) fue más eficiente en la mina 1.

Así mismo, el Cr, tiene un comportamiento similar al Cd, presentando los siguientes valores en el análisis de pares, en primer lugar, la mina 3 pH (3,88), las combinaciones (1) y (4) fueron significativamente diferentes, siendo superior el (1) al tener una media menor, esto quiere decir que la dosis 1 de biocoagulante (2 ml) es la mejor en la mina 2.

Por otro lado, en la mina 1 pH (7,33), las combinaciones (T₁), (T₃) y (T₄), fueron significativamente diferentes, siendo la (T₃) la más efectiva, lo que quiere decir que el coagulante químico PAC (2 ml) fue más eficiente en la mina 1.

Como se puede apreciar en la Figura 78, el B, tuvo su media más baja en el tratamiento 1 en la mina 3(3,88), lo cual concuerda con el análisis de pares. En cuanto al Ba y al Co, al no presentar diferencias significativas se aprecia que tienen medias y desviaciones muy similares, por lo cual no se ejerce un efecto sobre ellos.

En cambio, el Cr y el Cd, comparten comportamientos, ejerciendo efecto sobre la mina 1 (pH 7,33) y la mina 3 (pH 5,43), neutro y ácido respectivamente, en ambos casos el mejor tratamiento fue el 1, el cual consiste en la aplicación de 2 ml de biocoagulante.

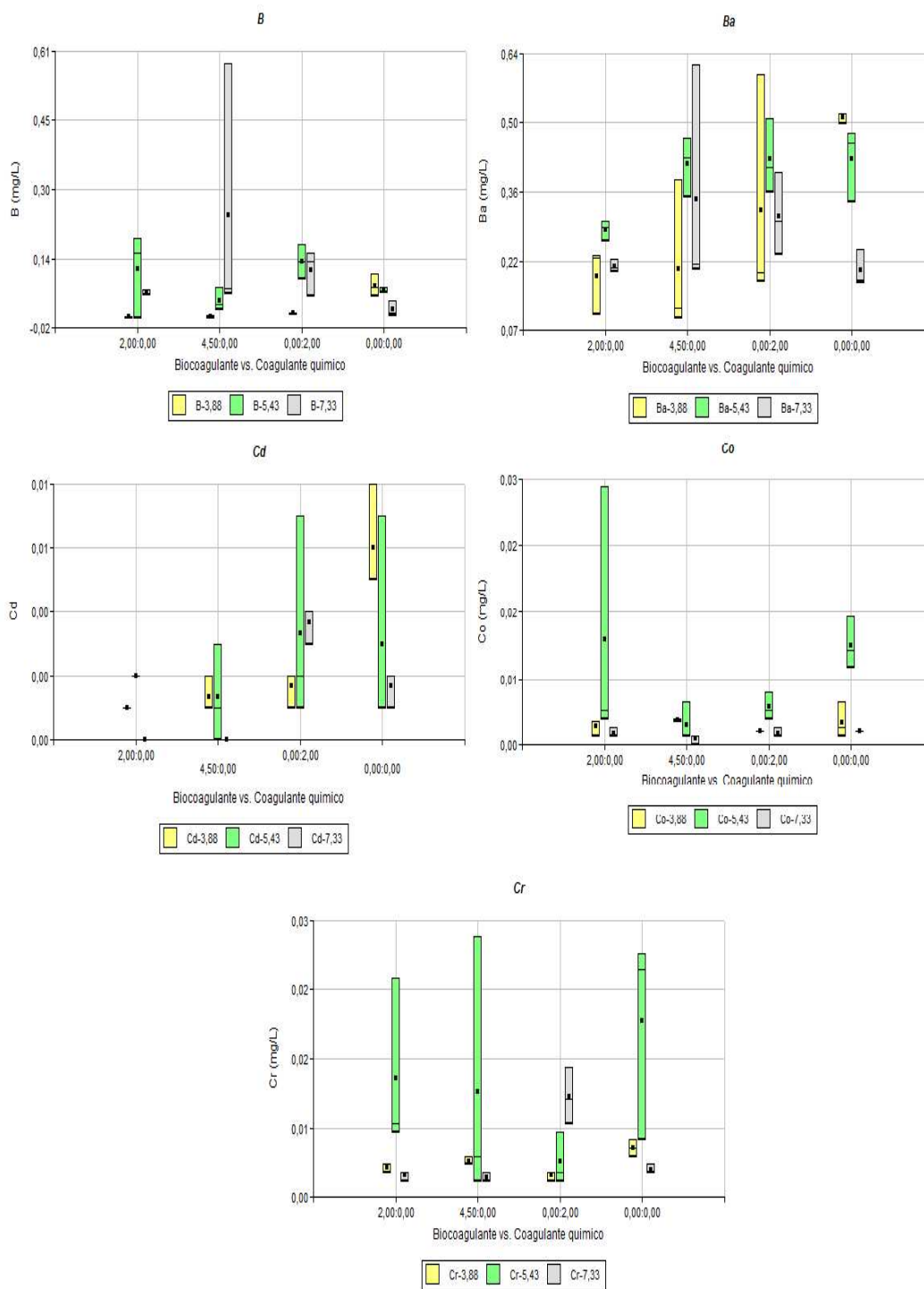


Figura 78. Diagrama de cajas (B, Ba, Cr, Co, Cd)

Tabla 39.

ANOVA *kruskal Wallis* (Cu, Mn, Ni, Pb, Sr)

<i>pH</i>	<i>Variabl e</i>	<i>Biocoa gulante</i>	<i>PAC</i>	<i>N</i>	<i>Medias</i>	<i>D.E</i>	<i>H</i>	<i>P</i>
3, 88	<i>Cu</i>	0	0	3	0,31	0,03	9,46	0,0237
3, 88	<i>Cu</i>	0	2	3	3,29	0,12		
3, 88	<i>Cu</i>	2	0	3	0,43	0,01		
3, 88	<i>Cu</i>	4,5	0	3	0,45	0,03		
5, 43	<i>Cu</i>	0	0	3	0,23	0,21	2,28	0,516
5, 43	<i>Cu</i>	0	2	3	0,35	0,05		
5, 43	<i>Cu</i>	2	0	3	0,27	0,2		
5, 43	<i>Cu</i>	4,5	0	3	0,15	0,07		
7, 33	<i>Cu</i>	0	0	3	3,12	0,06	9,67	0,0216

7, 33	<i>Cu</i>	0	2	3	0,2	0,14		
7, 33	<i>Cu</i>	2	0	3	0,01	0,01		
7, 33	<i>Cu</i>	4,5	0	3	2,303	2,1		
<i>pH</i>	<i>Variabl e</i>	<i>Biocoa gulante</i>	<i>PAC</i>	<i>N</i>	<i>Medias</i>	<i>D.E</i>	<i>H</i>	<i>P</i>
3, 88	<i>Mn</i>	0	0	3	0,22	0,06	8,64	0,0345
3, 88	<i>Mn</i>	0	2	3	0,24	0,01		
3, 88	<i>Mn</i>	2	0	3	0,38	0,01		
3, 88	<i>Mn</i>	4,5	0	3	0,39	0,01		
5, 43	<i>Mn</i>	0	0	3	0,33	0,06	0,6	0,8954
5, 43	<i>Mn</i>	0	2	3	0,27	0,11		
5, 43	<i>Mn</i>	2	0	3	0,29	0,09		
5, 43	<i>Mn</i>	4,5	0	3	0,28	0,11		

43								
7,33	Mn	0	0	3	0,17	0,02	8,64	0,0335
7,33	Mn	0	2	3	0,25	0,09		
7,33	Mn	2	0	3	0,13	3,03		
7,33	Mn	4,5	0	3	0,13	3,803		
pH	Variab le	Biocoa gulante	PAC	N	Medias	D.E	H	P
3,88	Ni	0	0	3	0,02	0,01	9,67	0,0206
3,88	Ni	0	2	3	0,11	3,5		
3,88	Ni	2	0	3	0,03	2,03		
3,88	Ni	4,5	0	3	0,03	1,503		
5,43	Ni	0	0	3	0,02	0,01	1,64	0,6213
5,43	Ni	0	2	3	0,02	0,01		

5, 43	Ni	2	0	3	0,03	0,01		
5, 43	Ni	4,5	0	3	0,03	0,01		
7, 33	Ni	0	0	3	0,11	0,01	9,46	0,0157
7, 33	Ni	0	2	3	0,01	0,01		
7, 33	Ni	2	0	3	0,01	0		
7, 33	Ni	4,5	0	3	0,01	0		
pH	Variabl e	Biocoa gulante	PAC	N	Medias	D.E	H	P
3, 88	Pb	0	0	3	0,03	0,02	9,81	0,0196
3, 88	Pb	0	2	3	2,7	4,6		
3, 88	Pb	2	0	3	0,05	2,6		
3, 88	Pb	4,5	0	3	0,16	0,19		
5, 43	Pb	0	0	3	0,02	0,02	4,27	0,2103

43								
5, 43	Pb	0	2	3	0,02	0,01		
5, 43	Pb	2	0	3	0,05	0,02		
5, 43	Pb	4,5	0	3	0,02	0,01		
7, 33	Pb	0	0	3	0,06	0,1	5,65	0,1231
7, 33	Pb	0	2	3	0,03	0,01		
7, 33	Pb	2	0	3	1,3	1,2		
7, 33	Pb	4,5	0	3	2,7	5,8		
pH	Variabl e	Biocoa gulante	PAC	N	Medias	D.E	H	P
3, 88	Sr	0	0	3	0,18	0,03	8,75	0,0329
3, 88	Sr	0	2	3	0,26	4,4-03		
3, 88	Sr	2	0	3	0,2	2,6-03		

3, 88	Sr	4,5	0	3	0,22	0,01		
5, 43	Sr	0	0	3	0,16	0,03	0,94	0,816
5, 43	Sr	0	2	3	0,15	0,07		
5, 43	Sr	2	0	3	0,14	0,06		
5, 43	Sr	4,5	0	3	0,16	0,03		
7, 33	Sr	0	0	3	0,25	0,01	9,46	0,023
7, 33	Sr	0	2	3	0,15	0,01		
7, 33	Sr	2	0	3	0,9	0,08		
7, 33	Sr	4,5	0	3	0,89	0,01		

Según la Tabla 39, el ANOVA Kruskal Wallis, para el Cu, aplicado en la mina 1 y la mina 3, las diferencias son significativas ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para estas dos minas se acepta la hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de este parámetro. Por otro lado, en la mina 2, se aceptan las hipótesis H_o (nula), al poseer un p-valor $> 0,05$, lo cual significa que la

dosis de coagulante/biocoagulante junto con el pH, no presentan un efecto significativo.

Así mismo, el parámetro Mn, comparte el comportamiento de Cu, el análisis aplicado en la mina 1 y la mina 3 es significativo ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para estas dos minas se acepta la hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de este parámetro. Por otro lado, en la mina 2, se aceptan las hipótesis H_o (nula), al poseer un p-valor $> 0,05$, lo cual significa que la dosis de coagulante/biocoagulante junto con el pH, no presentan un efecto significativo.

De la misma manera, el parámetro Ni, comparte el comportamiento de Cu y Mn, este análisis aplicado en la mina 1 y la mina 3 es significativo ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para estas dos minas se acepta la hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de este parámetro. Por otro lado, en la mina 2, se aceptan las hipótesis H_o (nula), al poseer un p-valor $> 0,05$, lo cual significa que la dosis de coagulante/biocoagulante junto con el pH, no presentan un efecto significativo.

Por otro lado, el parámetro Pb, aplicado únicamente en la mina 3 es significativo ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para esta mina se acepta la hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de este parámetro. Por otro lado, en la mina 1 y 2, se aceptan las hipótesis H_o (nula), al poseer un p-valor $> 0,05$, lo cual significa que la dosis de coagulante/biocoagulante junto con el pH, no presentan un efecto significativo.

Finalmente, el parámetro Sr, aplicado en la mina 2 (pH 5,43), es significativo ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para esta mina se acepta la hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de

coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de este parámetro.

Pruebas de significancia (De a Pares)

Tabla 40.

Prueba de significancia

<i>Pruebas de significancia Cu (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
<i>0:00</i>	<i>2</i>	<i>A</i>		
<i>2:00</i>	<i>6</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	
<i>4,5:0</i>	<i>7</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	
<i>0:02</i>	<i>11</i>		<i>B</i>	
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (7,33)</i>			
<i>4,5:0</i>	<i>2,67</i>	<i>A</i>		
<i>2:00</i>	<i>4,33</i>	<i>A</i>		
<i>0:02</i>	<i>8</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	
<i>0:00</i>	<i>11</i>		<i>B</i>	
<i>Pruebas de significancia Mn (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
<i>0:02</i>	<i>2</i>	<i>A</i>		
<i>0:00</i>	<i>6</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	

2:00	7	A	B	
4,5:0	11		B	
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (7,33)</i>			
2:00	2,67	A		
4,5:0	4,33	A		
0:00	8	A	B	
0:02	11		B	
<i>Pruebas de significancia Ni (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
0:00	2	A		
2:00	5,67	A	B	
4,5:0	7,33	A	B	
0:02	11		B	
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (7,33)</i>			
4,5:0	2	A		
2:00	6	A	B	
0:02	7	A	B	
0:00	11		B	
<i>Pruebas de significancia Pb (Comparación medias)</i>				

<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
0:02	2	A		
0:00	5	A	B	
2:00	8,5		B	
4,5:0	10,5		B	
<i>Pruebas de significancia Sr (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
0:00	3,33	A		
2:00	4	A		
4,5:0	7,67	A	B	
0:02	11		B	
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (7,33)</i>			
0:02	2	A		
0:00	5	A	B	
4,5:0	9		B	
2:00	10		B	

Nota: Medias con una letra común, no son significativamente diferentes

En la Tabla 40, se representa el análisis de pares, centrado en la comparación de las medias, en primer lugar, el Cu, en la mina 3 pH (3,88), las combinaciones (T₄) y (T₃) fueron significativamente diferentes, siendo superior el (T₄) al tener una media menor, esto quiere decir el blanco fue el mejor. Por otro lado, en la mina 1,

las combinaciones (T₁), (T₂) y (T₄), fueron significativamente diferentes, sin embargo, el tratamiento (T₂) fue el más significativo, es decir el biocoagulante en dosis 4,5 ml.

Por otro lado, el Mn, cuyas mejores combinaciones fueron (T₂) y (T₃), las cuales fueron significativamente distintas, sin embargo la media más baja la presenta la combinación (T₃) siendo el PAC en la mina 3 (pH 3,88), en la mina 1 (pH 7,33), las mejores combinaciones fueron (T₁), (T₂) y (T₃), la menor media la tuvo el tratamiento 1, es decir el biocoagulante en dosis 2 ml.

El Ni, comparte su comportamiento en parte con el Cu, en la mina 3 pH (3,88), las combinaciones (T₄) y (T₃) fueron significativamente diferentes, siendo superior el (T₄) al tener una media menor, esto quiere decir el blanco fue el mejor. Por otro lado, en la mina 1, las combinaciones (T₁), (T₂) y (T₄), fueron significativamente diferentes, sin embargo, el tratamiento (T₂) fue el más significativo, es decir el biocoagulante en dosis 4,5 ml.

En cambio, el Pb, únicamente fue significativo en la mina 3, en las combinaciones (T₁), (T₂) y (T₃), los cuales fueron significativamente diferentes, sin embargo, la menos media se encontró en la combinación (T₃) es decir el PAC.

Finalmente, el Sr, el cual fue significativo en la mina 2 (pH 5,43), siendo la mejor combinación la 3, la cual tuvo la menor media y desviación estándar, es decir el PAC (2 ml).

Como se puede apreciar en la Figura 79, el Cu, tuvo su media más baja en el tratamiento 2 en la mina 3 (3,88), lo cual concuerda con el análisis de pares. De igual manera el Ni tiene un comportamiento similar al Cu, siendo el tratamiento T₂ el más significativo en la mina 1 (pH 7,33).

En cambio, el parámetro Mn, se puede observar que en cuanto al pH 3,88 es decir la mina 3, los tratamientos (T₃) y (T₄) tienen las menores medias y desviaciones,

sin embargo, el tratamiento T₃ es decir PAC (2 ml) es más eficiente con una media más baja en cuanto a la mina 3.

Así mismo, la mina 1 (pH 7,33), cuyo mejor resultado fue el tratamiento (1) con una media menor y una baja desviación estándar (biocoagulante 2ml).

El Pb, fue significativo únicamente en la mina 3 (pH 3,88) el cual tuvo su mejor combinación en el tratamiento 3 es decir el PAC, de igual manera el Sr, fue significativo únicamente sobre la mina 2 (pH 7,33) e igualmente el mejor tratamiento fue con PAC (2 ml).

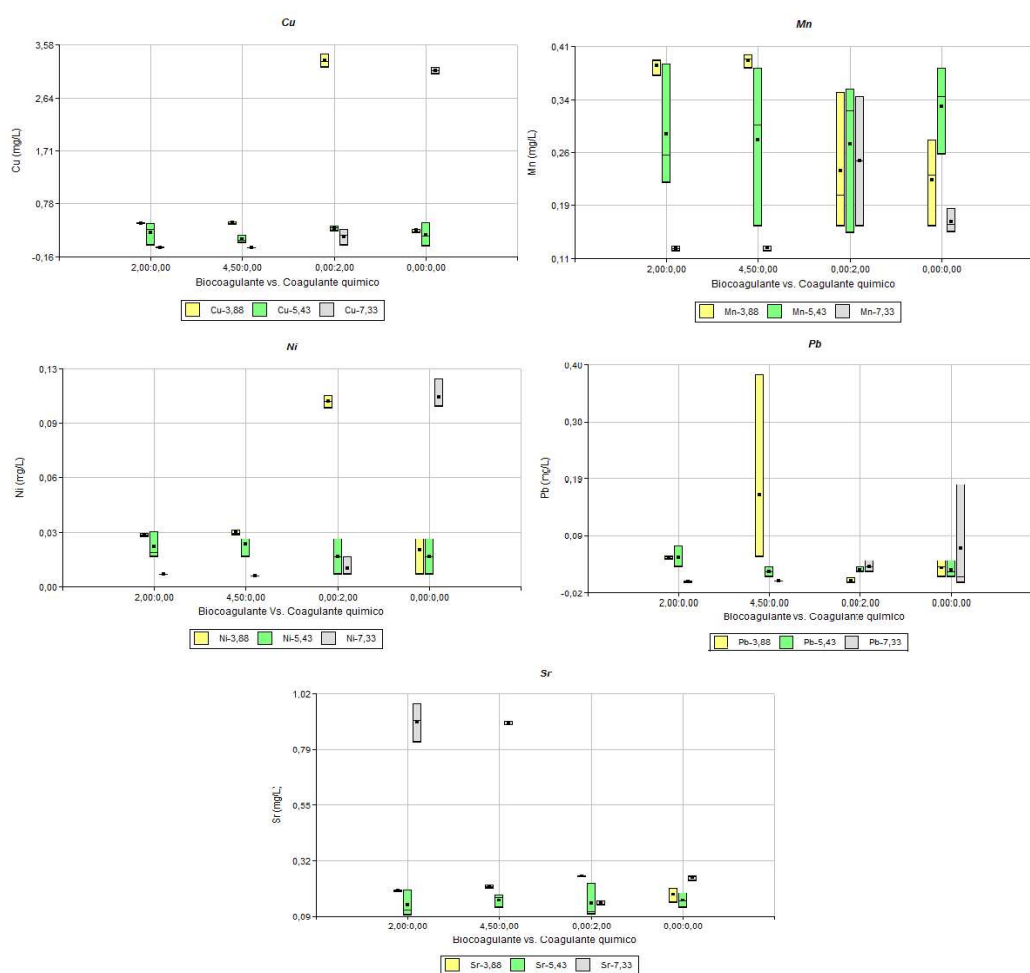


Figura 79. Diagrama de cajas (Cu, Mn, Ni, Pb, Sr)

Tabla 41.

ANOVA *kruskal Wallis* (Zn, Ca, Fe, Mg, Ni)

<i>pH</i>	<i>Variabl e</i>	<i>Biocoa gulant e</i>	<i>PAC</i>	<i>N</i>	<i>Media s</i>	<i>D.E</i>	<i>H</i>	<i>P</i>
3,8 8	Zn	0	0	3	0,29	0,2	8,44	0,0373
3,8 8	Zn	0	2	3	0,51	0,04		
3,8 8	Zn	2	0	3	0,13	0,01		
3,8 8	Zn	4,5	0	3	0,18	0,01		
5,4 3	Zn	0	0	3	0,37	0,2	3,81	0,2799
5,4 3	Zn	0	2	3	0,32	0,11		
5,4 3	Zn	2	0	3	0,15	0,06		
5,4 3	Zn	4,5	0	3	0,33	0,18		
7,3 3	Zn	0	0	3	0,43	0,01	9,97	0,0188

7,3 3	Zn	0	2	3	0,27	0,15		
7,3 3	Zn	2	0	3	0,08	0,03		
7,3 3	Zn	4,5	0	3	0,03	4,4-03		
<i>pH</i>	<i>Variabl e</i>	<i>Biocoa gulant e</i>	<i>PAC</i>	<i>N</i>	<i>Media s</i>	<i>D.E</i>	<i>H</i>	<i>P</i>
3,8 8	Ca	0	0	3	57,75	11,14	10,38	0,0156
3,8 8	Ca	0	2	3	43,43	3,06		
3,8 8	Ca	2	0	3	101	1,63		
3,8 8	Ca	4,5	0	3	106	3,01		
5,4 3	Ca	0	0	3	61,46	8,67	5,36	0,1473
5,4 3	Ca	0	2	3	57,71	13,68		
5,4 3	Ca	2	0	3	77,09	19,84		

5,4 3	Ca	4,5	0	3	48	4,43		
7,3 3	Ca	0	0	3	40,27	2,92	9,05	0,0286
7,3 3	Ca	0	2	3	49,48	6,29		
7,3 3	Ca	2	0	3	63,9	1,47		
7,3 3	Ca	4,5	0	3	64,76	0,65		
<i>pH</i>	<i>Variabl e</i>	<i>Biocoa gulant e</i>	<i>PAC</i>	<i>N</i>	<i>Media s</i>	<i>D.E</i>	<i>H</i>	<i>P</i>
3,8 8	Fe	0	0	3	0,44	0,21	8,74	0,0329
3,8 8	Fe	0	2	3	2,26	0,08		
3,8 8	Fe	2	0	3	1,24	0,83		
3,8 8	Fe	4,5	0	3	0,77	0,04		
5,4 3	Fe	0	0	3	0,54	0,05	6,85	0,077

5,4 3	<i>Fe</i>	0	2	3	0,46	0,09		
5,4 3	<i>Fe</i>	2	0	3	1,6	1,44		
5,4 3	<i>Fe</i>	4,5	0	3	0,51	0,25		
7,3 3	<i>Fe</i>	0	0	3	2,21	0,02	9,46	0,0237
7,3 3	<i>Fe</i>	0	2	3	0,53	0,21		
7,3 3	<i>Fe</i>	2	0	3	0,34	0,02		
7,3 3	<i>Fe</i>	4,5	0	3	0,2	0,06		
<i>pH</i>	<i>Variabl e</i>	<i>Biocoa gulant e</i>	<i>PAC</i>	<i>N</i>	<i>Media s</i>	<i>D.E</i>	<i>H</i>	<i>P</i>
3,8 8	<i>Mg</i>	0	0	3	34,93	8,48	9,67	0,0216
3,8 8	<i>Mg</i>	0	2	3	24,83	0,75		
3,8 8	<i>Mg</i>	2	0	3	27,95	0,25		

3,8 8	Mg	4,5	0	3	29,18	0,64		
5,4 3	Mg	0	0	3	38,73	3,33	1,15	0,7641
5,4 3	Mg	0	2	3	39,43	0,67		
5,4 3	Mg	2	0	3	39,29	9,71		
5,4 3	Mg	4,5	0	3	34,89	6,39		
7,3 3	Mg	0	0	3	23,32	0,44	8,44	0,0378
7,3 3	Mg	0	2	3	41,36	3,07		
7,3 3	Mg	2	0	3	43,42	1,07		
7,3 3	Mg	4,5	0	3	44,31	0,51		
pH	Variabl e	Biocoa gulant e	PAC	N	Media s	D.E	H	P
3,8 8	Na	0	0	3	7,53	1,77	3,82	0,2815

3,8 8	Na	0	2	3	4,15	1,47		
3,8 8	Na	2	0	3	7,97	5,56		
3,8 8	Na	4,5	0	3	7,88	4,84		
5,4 3	Na	0	0	3	9,25	1,37	1,15	0,7641
5,4 3	Na	0	2	3	8,59	1,84		
5,4 3	Na	2	0	3	48,1	74,79		
5,4 3	Na	4,5	0	3	9,35	2,31		
7,3 3	Na	0	0	3	8,11	5,67	8,54	0,0361
7,3 3	Na	0	2	3	10	1,08		
7,3 3	Na	2	0	3	76,88	1,72		
7,3 3	Na	4,5	0	3	75,67	7,29		

En la Tabla 41, se muestra el análisis ANOVA Kruskal Wallis, para el Zn, aplicado en la mina 1 y la mina 3, según ella; las diferencias son significativas ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para estas dos minas se acepta la hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de este parámetro. Por otro lado, en la mina 2, se aceptan las hipótesis H_o (nula), al poseer un p-valor $> 0,05$, lo cual significa que la dosis de coagulante/biocoagulante junto con el pH, no presentan un efecto significativo.

Así mismo, el parámetro Ca, comparte el comportamiento de Mg, el análisis aplicado en la mina 1 y la mina 3 es significativo ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para estas dos minas se acepta la hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de estos parámetros. Por otro lado, en la mina 2 (Ca y Mg), se aceptan las hipótesis H_o (nula), al poseer un p-valor $> 0,05$, lo cual significa que la dosis de coagulante/biocoagulante junto con el pH, no presentan un efecto significativo.

De la misma manera, el parámetro Fe, comparte el comportamiento de Ca y Mg, este análisis aplicado en la mina 1 y la mina 3 es significativo ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para estas dos minas se acepta la hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de este parámetro. Por otro lado, en la mina 2, se aceptan las hipótesis H_o (nula), al poseer un p-valor $> 0,05$, lo cual significa que la dosis de coagulante/biocoagulante junto con el pH, no presentan un efecto significativo.

Finalmente, el parámetro Na, aplicado en la mina 2 (pH 5,43), es significativo ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para esta mina se acepta la hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de

coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de este parámetro.

Pruebas de significancia (De a Pares)

Tabla 42.

Prueba de significancia

<i>Pruebas de significancia Zn (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
2:00	2	A		
4,5:0	6	A	B	
0:00	7,67	A	B	
0:02	10,33		B	
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (7,33)</i>			
4,5:0	2	A		
2:00	5	A	B	
0:02	8,33		B	
0:00	10,67		B	
<i>Pruebas de significancia Ca (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
0:02	2	A		
0:00	6	A	B	

2:00	7,67	A	B	
4,5:0	10,33		B	
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (7,33)</i>			
0:00	2	A		
0:02	5	A	B	
2:00	8,33		B	
4,5:0	10,67		B	
<i>Pruebas de significancia Fe (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
0:00	2	A		
4,5:0	6,33	A	B	
2:00	7	A	B	
0:02	10,67		B	
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (7,33)</i>			
4,5:0	2	A		
2:00	6	A	B	
0:02	7	A	B	
0:00	11		B	
<i>Pruebas de significancia Mg (Comparación medias)</i>				

<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
0:02	2	A		
2:00	5	A	B	
4,5:0	8,67		B	
0:00	10,33		B	
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (7,33)</i>			
0:00	2	A		
0:02	5	A	B	
2:00	8,33	A	B	
4,5:0	10,67		B	
<i>Pruebas de significancia Na (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
0:02	3	A		
0:00	4	A	B	
2:00	9		B	C
4,5:0	10			C

Nota: Medias con una letra común, no son significativamente diferentes

En la Tabla 42, se representa el análisis de pares el cual se centra en la comparación de las medias, en primer lugar, el Zn, en la mina 3 pH (3,88), las combinaciones (T₁) y (T₃) fueron significativamente diferentes, siendo superior el (T₁) al tener una media menor, esto quiere decir la dosis 1 de biocoagulante fue la

mejor. Por otro lado, en la mina 1, las combinaciones (T_1), (T_3) y (T_4), fueron significativamente diferentes, sin embargo, el tratamiento (T_2) fue el más significativo, es decir el biocoagulante en dosis 4,5 ml.

Por otro lado, el Ca y Mg, cuyas mejores combinaciones fueron (T_2) y (T_3), las cuales fueron significativamente distintas, sin embargo, la media más baja la presenta la combinación (T_3) siendo el PAC en la mina 3 (pH 3,88), en la mina 1 (pH 7,33), las mejores combinaciones fueron (2) y (4), la menor media la tuvo el tratamiento 3, es decir el PAC.

En cambio, el Na, únicamente fue significativo en la mina 3, en las combinaciones (T_1), (T_2) y (T_3), los cuales fueron significativamente diferentes, sin embargo, la menor media se encontró en la combinación (T_3) es decir el PAC.

Finalmente, el Fe, el cual fue significativo en la mina 3 (pH 3,88), siendo la mejor combinación la T_4 , es decir el blanco, en cambio en la mina 1 (pH 7,33) tuvo como mejor combinación con la media más baja el tratamiento 2, es decir biocoagulante (4,5 ml)

Como puede verse en la Figura 80, el Zn, tuvo su media más baja en el tratamiento T_1 en la mina 3 (3,88), lo cual concuerda con el análisis de pares. De igual manera el Ca tiene un comportamiento similar al Mg, siendo el tratamiento T_3 el más significativo en la mina 1 (pH 7,33).

En cambio, el parámetro Mn, se puede observar que en cuanto al pH 3,88 es decir la mina 3, los tratamientos (3) y (4) tienen las menores medias y desviaciones, sin embargo, el tratamiento T_3 es decir PAC (2 ml) es más eficiente con una media más baja en cuanto a la mina 3.

Así mismo, el Na, en la mina 1 (pH 7,33), cuyo mejor resultado fue el tratamiento (3) con una media menor y una baja desviación estándar (PAC ml).

El Fe, fue significativo en la mina 3 (pH 3,88) el cual tuvo su mejor combinación en el tratamiento T₄ es decir el blanco, a diferencia de la mina 1 (pH 7,33) cuya mejor combinación la obtuvo de la combinación 2 es decir 4,5 ml de biocoagulante.

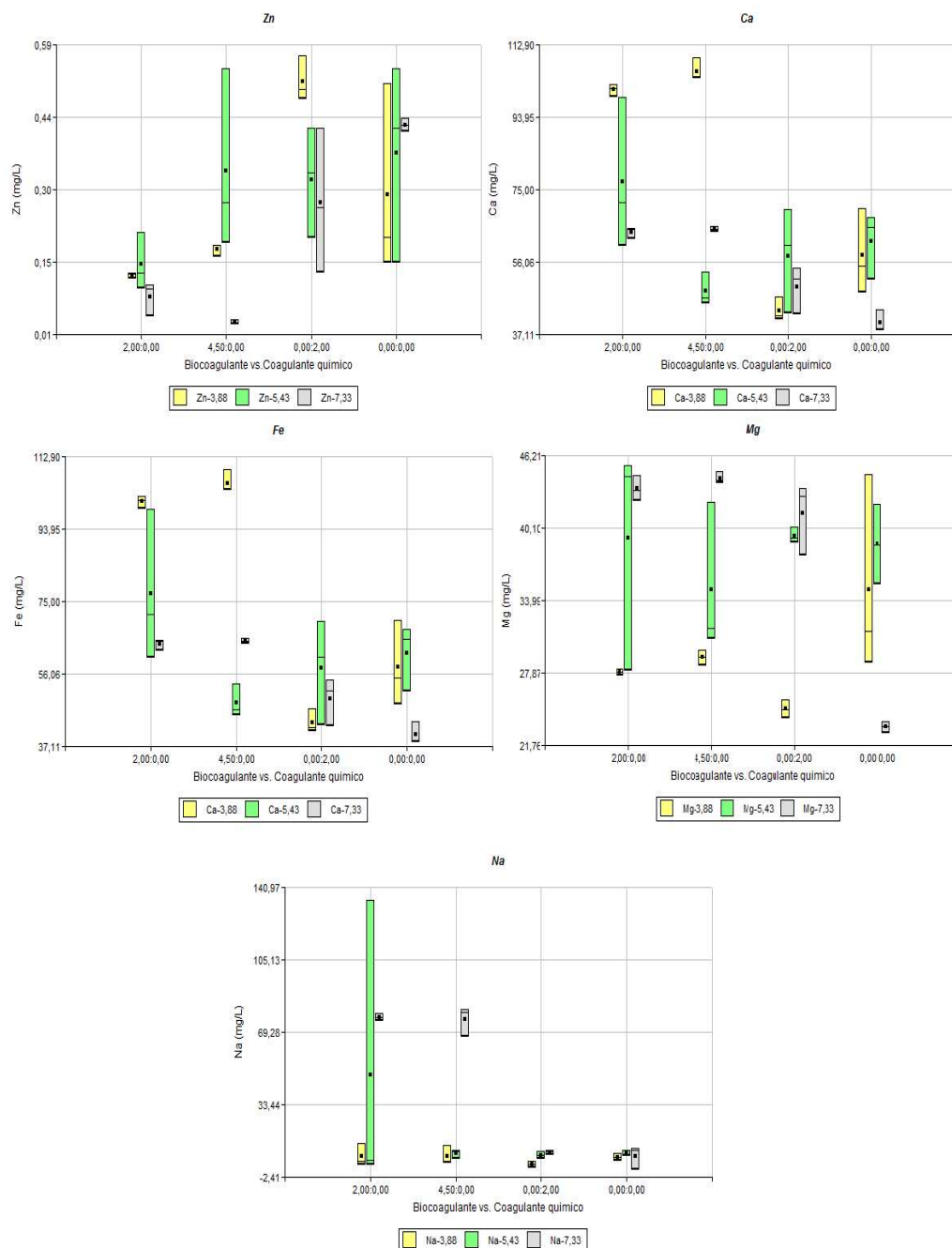


Figura 80. Diagrama de cajas (Zn, Ca, Fe, Mg y Na)

Tabla 43.

ANOVA *kruskal Wallis* (Li, In, Al, V, Si)

<i>pH</i>	<i>Variabl e</i>	<i>Biocoo gulant e</i>	<i>PAC</i>	<i>N</i>	<i>Medias</i>	<i>D.E</i>	<i>H</i>	<i>P</i>
3,8 8	<i>Li</i>	0	0	3	4,3-03	2,1-03	6,58	0,0547
3,8 8	<i>Li</i>	0	2	3	0,02	0		
3,8 8	<i>Li</i>	2	0	3	3,03- 03	0		
3,8 8	<i>Li</i>	4,5	0	3	3,03-3	0		
5,4 3	<i>Li</i>	0	0	3	1,3-03	5,8-04	3,83	0,2645
5,4 3	<i>Li</i>	0	2	3	0,01	4,4-03		
5,4 3	<i>Li</i>	2	0	3	0,03	0,04		
5,4 3	<i>Li</i>	4,5	0	3	3,7-03	2,5-03		
7,3 3	<i>Li</i>	0	0	3	0,01	5,8-04	9,97	0,0173

7,3 3	<i>Li</i>	0	2	3	4,03- 03	1,0-03		
7,3 3	<i>Li</i>	2	0	3	0,06	1,5-03		
7,3 3	<i>Li</i>	4,5	0	3	0,06	5,8-04		
<i>pH</i>	<i>Variabl e</i>	<i>Biocoa gulant e</i>	<i>PAC</i>	<i>N</i>	<i>Medias</i>	<i>D.E</i>	<i>H</i>	<i>P</i>
3,8 8	<i>In</i>	0	0	3	0,04	0,02	9,99	0,0185
3,8 8	<i>In</i>	0	2	3	0,11	1,0-03		
3,8 8	<i>In</i>	2	0	3	0,01	0,01		
3,8 8	<i>In</i>	4,5	0	3	0,02	0,01		
5,4 3	<i>In</i>	0	0	3	0,07	0,04	3,63	0,2982
5,4 3	<i>In</i>	0	2	3	0,05	0,04		
5,4 3	<i>In</i>	2	0	3	0,03	0,04		

5,4 3	<i>In</i>	4,5	0	3	0,03	0,03		
7,3 3	<i>In</i>	0	0	3	0,1	0,01	8,44	0,0329
7,3 3	<i>In</i>	0	2	3	0,02	0,01		
7,3 3	<i>In</i>	2	0	3	0,01	0,01		
7,3 3	<i>In</i>	4,5	0	3	0,02	0,01		
<i>pH</i>	<i>Variabl e</i>	<i>Biocoa gulant e</i>	<i>PAC</i>	<i>N</i>	<i>Medias</i>	<i>D.E</i>	<i>H</i>	<i>P</i>
3,8 8	<i>Al</i>	0	0	3	4,96	0,93	8,64	0,034
3,8 8	<i>Al</i>	0	2	3	5,56	0,46		
3,8 8	<i>Al</i>	2	0	3	1,9	0,68		
3,8 8	<i>Al</i>	4,5	0	3	1,44	0,26		
5,4 3	<i>Al</i>	0	0	3	4,79	1,44	1,15	0,764

5,4 3	Al	0	2	3	3,54	0,53		
5,4 3	Al	2	0	3	12,01	15,56		
5,4 3	Al	4,5	0	3	4,36	1,41		
7,3 3	Al	0	0	3	5,4	0,06	9,46	0,0237
7,3 3	Al	0	2	3	4,42	0,37		
7,3 3	Al	2	0	3	0,32	0,02		
7,3 3	Al	4,5	0	3	0,28	0,14		
pH	Variabl e	Biocoa gulant e	PAC	N	Medias	D.E	H	P
3,8 8	V	0	0	3	3,3-03	4,9-03	4,13	0,2102
3,8 8	V	0	2	3	0	0		
3,8 8	V	2	0	3	1,3-03	1,5-03		

3,8 8	V	4,5	0	3	1,7-03	5,8-04		
5,4 3	V	0	0	3	0,01	4,7	5,55	0,1322
5,4 3	V	0	2	3	1,3-03	1,5		
5,4 3	V	2	0	3	4,0-03	2,6		
5,4 3	V	4,5	0	3	0,01	3,2		
7,3 3	V	0	0	3	0	0	8,4	0,0312
7,3 3	V	0	2	3	0,01	2,6-03		
7,3 3	V	2	0	3	1,3-03	5,8-04		
7,3 3	V	4,5	0	3	1,3-03	1,2-03		
pH	Variabl e	Biocoa gulant e	PAC	N	Medias	D.E	H	P
3,8 8	Si	0	0	3	14,52	0,94	10,38	0,0156

3,8 8	Si	0	2	3	10,03	9,95		
3,8 8	Si	2	0	3	17,37	17,6		
3,8 8	Si	4,5	0	3	18,35	18,05		
5,4 3	Si	0	0	3	13,5	11,85	4,59	0,2044
5,4 3	Si	0	2	3	9,79	9,79		
5,4 3	Si	2	0	3	12,87	11,56		
5,4 3	Si	4,5	0	3	14,79	14,27		
7,3 3	Si	0	0	3	9,69	9,76	9,67	0,0216
7,3 3	Si	0	2	3	14,29	13,81		
7,3 3	Si	2	0	3	8,58	8,53		
7,3 3	Si	4,5	0	3	8,63	8,64		

El análisis ANOVA Kruskal Wallis, mostrada en la Tabla 43, para el parámetro Li, el primer tratamiento (mina 1) la diferencia es significativa ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para esta mina se acepta la hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de este parámetro. Por otro lado, en la mina 2 y 3, se aceptan las hipótesis H_o (nula), al poseer un p-valor $> 0,05$, lo cual significa que la dosis de coagulante/biocoagulante junto con el pH, no presentan un efecto significativo.

De igual manera con el parámetro V, el primer tratamiento (mina 1) es significativo ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para esta mina se acepta la hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de este parámetro. Por otro lado, en la mina 2 y 3, se aceptan las hipótesis H_o (nula), al poseer un p-valor $> 0,05$, lo cual significa que la dosis de coagulante/biocoagulante junto con el pH, no presentan un efecto significativo.

Por otro lado, los parámetros In, Al, y Si comparten el mismo comportamiento, el análisis aplicado en la mina 1 y la mina 3 es significativo ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para estas dos minas se acepta la hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de estos parámetros. Por otro lado, en la mina 2 (In, Al y Si), se aceptan las hipótesis H_o (nula), al poseer un p-valor $> 0,05$, lo cual significa que la dosis de coagulante/biocoagulante junto con el pH, no presentan un efecto significativo.

Pruebas de significancia (De a Pares)

Tabla 44.

Prueba de significancia

<i>Pruebas de significancia L_i (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (7,33)</i>			
0:02	2	A		
0:00	5	A	B	
2:00	8,33		B	
4,5:0	10,67		B	
<i>Pruebas de significancia I_n (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
2:00	2	A		
4,5:0	5,33	A	B	
0:00	7,67	A	B	
0:02	11		B	
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (7,33)</i>			
2:00	3	A		
4,5:0	4,67	A		
0:02	7,33	A	B	

0:00	11		B	
<i>Pruebas de significancia AI (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
0:02	2,67	A		
0:00	4,33	A	B	
2:00	9,33		B	
4,5:0	9,67		B	
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (7,33)</i>			
0:00	3	A		
0:02	4	A		
2:00	8	A	B	
4,5:0	11		B	
<i>Pruebas de significancia V (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (7,33)</i>			
0:00	2,5	A		
4,5:0	6,17	A	B	
2:00	6,33	A	B	
0:02	11		B	
<i>Pruebas de significancia Si (Comparación medias)</i>				

<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
0:02	2	A		
0:00	5	A	B	
2:00	8		B	C
4,5:0	11			C
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (7,33)</i>			
2:00	2,67	A		
4,5:0	4,33	A		
0:00	8	A	B	
0:02	11		B	

Nota: Medias con una letra común, no son significativamente diferentes

En la Tabla 44, se representa el análisis de pares, centrada en la comparación de las medias, en primer lugar, el Li, en la mina 1 pH (7,33), las combinaciones (T₁), (T₂) y (T₃) fueron significativamente diferentes, siendo superior el (T₃) al tener una media menor, esto quiere decir la dosis de PAC fue la mejor.

De igual manera el V, fue significativo en la mina 1 pH (7,33), las combinaciones (T₃) y (T₄), fueron significativamente diferentes, siendo superior el (T₄) al tener una media menor, esto quiere que el blanco, fue el mejor.

Por otro lado, el In, cuyas mejores combinaciones fueron (T₁) y (T₃), las cuales fueron significativamente distintas, sin embargo, la media más baja la presenta la combinación (T₁) siendo el biocoagulante (2 ml) la mejor opción en la mina 3, en la mina 1 (pH 7,33), las mejores combinaciones fueron (T₁) y (T₄), la menor media la tuvo el tratamiento T1, es decir biocoagulante (2 ml).

En cambio, el Al, en la mina 3 pH (3,88), tuvo sus mejores combinaciones en (T₂) y (T₃) fueron significativamente diferentes, siendo superior el (T₃) al tener una media menor, esto quiere decir que el PAC fue el mejor. Por otro lado, en la mina 1, las combinaciones (T₂), (T₃) y (T₄), fueron significativamente diferentes, sin embargo, el tratamiento (T₄) fue el más significativo, es decir el blanco.

Del mismo modo, el Si, fue significativo en la mina 3 pH (3,88), tuvo sus mejores combinaciones en (T₂) y (T₃) fueron significativamente diferentes, siendo superior el (T₃) al tener una media menor, esto quiere decir que el PAC fue el mejor. Por otro lado, en la mina 1, las combinaciones (T₁), (T₃), fueron significativamente diferentes, sin embargo, el tratamiento (T₁) fue el más significativo, es decir el biocoagulante (2ml).

Como se puede apreciar en la Figura 81, el Li, tuvo su media más baja en el tratamiento 3 en la mina 1 (7,33), lo cual concuerda con el análisis de pares. De igual manera el V tuvo su media más baja con la combinación T₄ en la mina 1 (7,33).

En cambio, los parámetros In, Al, y Si, existieron efectos significativos en la mina 1 y 3, por un lado, el In, tuvo su efecto más significativo y su media más baja en el tratamiento 1 es decir mediante la aplicación de 2 ml de biocoagulante en ambas minas, se puede apreciar que la mina dos tuvo una elevada desviación estándar motivo por el cual no fue significativa.

Por otro lado, el Al, como se puede ver en la gráfica, fue más preciso en la mina 1 en cuanto al blanco, y en la mina 3 con la aplicación de PAC.

Y finalmente el Si, el cual fue significativo en la mina 1 y 3, en la primera tuvo un mejor resultado con la combinación 1 es decir biocoagulante (2 ml), y en la mina 3 tuvo un mejor efecto el PAC (2 ml).

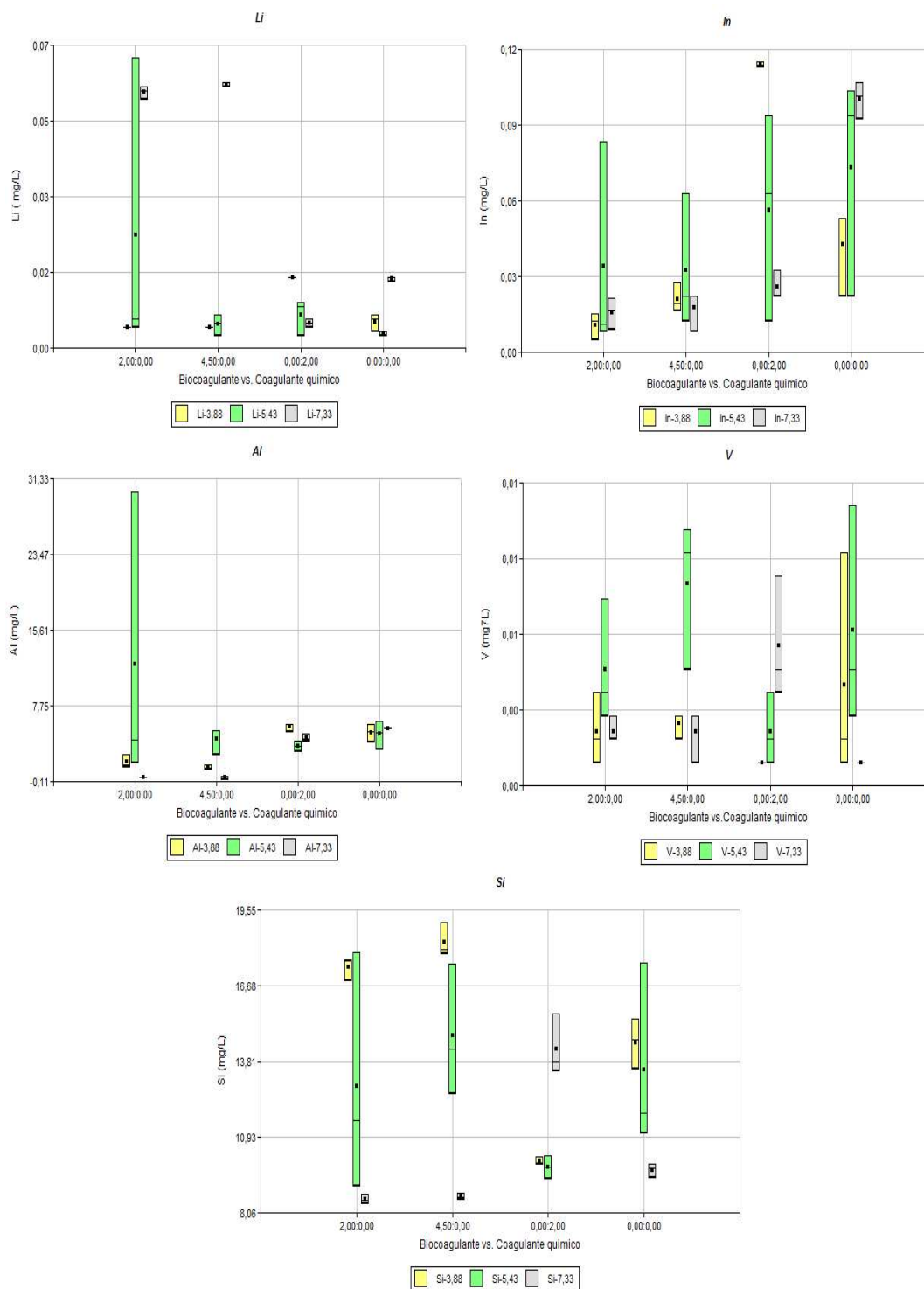


Figura 81. Diagrama de cajas (Li, In, Al, V, Si)

Tabla 45.

ANOVA (P, As, S, K)

<i>pH</i>	<i>Variabl e</i>	<i>Biocoa gulante</i>	<i>PAC</i>	<i>N</i>	<i>Medias</i>	<i>D.E</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
3, 88	<i>P</i>	0	0	3	0,12	0,03	2,47	0,5232
3, 88	<i>P</i>	0	2	3	0,11	0,03		
3, 88	<i>P</i>	2	0	3	0,11	0,03		
3, 88	<i>P</i>	4,5	0	3	0,14	0		
5, 43	<i>P</i>	0	0	3	0,11	0,01	5,29	0,1502
5, 43	<i>P</i>	0	2	3	0,12	0,04		
5, 43	<i>P</i>	2	0	3	0,1	0,05		
5, 43	<i>P</i>	4,5	0	3	0,05	0,02		
7, 33	<i>P</i>	0	0	3	0,13	0,03	4,71	0,1934
7, 33	<i>P</i>	0	2	3	0,12	0,05		

33								
7,33	<i>P</i>	2	0	3	0,07	0,05		
7,33	<i>P</i>	4,5	0	3	0,08	0,03		
<i>pH</i>	<i>Variab le</i>	<i>Biocoa gulante</i>	<i>PAC</i>	<i>N</i>	<i>Medias</i>	<i>D.E</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
3,88	<i>As</i>	0	0	3	0,04	0,03	9,67	0,0206
3,88	<i>As</i>	0	2	3	0,02	2,9-03		
3,88	<i>As</i>	2	0	3	0,01	5,8-04		
3,88	<i>As</i>	4,5	0	3	0,02	1,2-03		
5,43	<i>As</i>	0	0	3	0,02	0,01	8,24	0,0355
5,43	<i>As</i>	0	2	3	0,04	0,01		
5,43	<i>As</i>	2	0	3	0,02	3,5-03		
5,43	<i>As</i>	4,5	0	3	0,02	0		

7, 33	As	0	0	3	0,03	4,0-03	6,59	0,0862
7, 33	As	0	2	3	0,04	0,01		
7, 33	As	2	0	3	0,03	1,4-03		
7, 33	As	4,5	0	3	0,03	7,5-04		
<i>pH</i>	<i>Variabl e</i>	<i>Biocoa gulante</i>	<i>PAC</i>	<i>N</i>	<i>Medias</i>	<i>D.E</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
3, 88	S	0	0	3	72,36	10,33	9,46	0,0237
3, 88	S	0	2	3	107	7,16		
3, 88	S	2	0	3	86,26	4,15		
3, 88	S	4,5	0	3	78,76	1,94		
5, 43	S	0	0	3	70,77	24,1	8,64	0,0345
5, 43	S	0	2	3	68,93	18,24		
5, 43	S	2	0	3	121,15	2,08		

43								
5,43	S	4,5	0	3	125,69	5,02		
7,33	S	0	0	3	104,55	11,98	5,36	0,1473
7,33	S	0	2	3	74,24	34,77		
7,33	S	2	0	3	63,29	1,43		
7,33	S	4,5	0	3	63,97	0,71		
<i>pH</i>	<i>Variab le</i>	<i>Biocoa gulante</i>	<i>PAC</i>	<i>N</i>	<i>Medias</i>	<i>D.E</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
3,88	K	0	0	3	10,16	1,62	5,35	0,1473
3,88	K	0	2	3	11,52	5,11		
3,88	K	2	0	3	16,43	1,73		
3,88	K	4,5	0	3	16,71	1,9		
5,43	K	0	0	3	11,92	2,69	3,36	0,3395

5, 43	K	0	2	3	9,71	2,02		
5, 43	K	2	0	3	10,43	1,21		
5, 43	K	4,5	0	3	11,81	0,77		
7, 33	K	0	0	3	9,89	2	1,15	0,764
7, 33	K	0	2	3	11,08	4,87		
7, 33	K	2	0	3	7,09	4,29		
7, 33	K	4,5	0	3	10,36	0,72		

Según la Tabla 45, el ANOVA, en base al parámetro P, se aceptan las hipótesis H_0 (nula), para las tres minas, al poseer un p-valor $> 0,05$, lo cual significa que la dosis de coagulante/biocoagulante junto con el pH, no presentan un efecto significativo.

Del mismo modo, para el parámetro K, se aceptan las hipótesis H_0 (nula), para las tres minas, al poseer un p-valor $> 0,05$, lo cual significa que la dosis de coagulante/biocoagulante junto con el pH, no presentan un efecto significativo.

Por otro lado, con el parámetro As, las minas 1 y 2 tienen diferencias significativas, ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para estas dos minas se aceptan las hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de

coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de este parámetro, lo mismo sucede con el parámetro S, ya de igual manera las minas 1 y 2 tienen diferencias significativas, ya que el p-valor es $< 0,05$, esto quiere decir que para estas dos minas se aceptan las hipótesis H_i (alternativa), lo que significa que el efecto de la dosis de coagulante/biocoagulante y el pH, tienen un efecto sobre la concentración de este parámetro, mientras que para la mina 1 en relación a los parámetros As y S, se aceptan las hipótesis H_o (nula), al poseer un p-valor $> 0,05$, lo cual significa que la dosis de coagulante/biocoagulante junto con el pH, no presentan un efecto significativo.

Pruebas de significancia (De a Pares)

Tabla 46.

Prueba de significancia

<i>Pruebas de significancia P (Comparación medias)</i>				
<i>Pruebas de significancia As (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
<i>2:00</i>	<i>2</i>	<i>A</i>		
<i>4,5:0</i>	<i>5</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	
<i>0:02</i>	<i>8,67</i>		<i>B</i>	
<i>0:00</i>	<i>10,33</i>		<i>B</i>	
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (5,43)</i>			
<i>4,5:0</i>	<i>2,5</i>	<i>A</i>		
<i>2:00</i>	<i>5</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	

0:00	8,17	A	B	
0:02	10,33		B	
<i>Pruebas de significancia S (Comparación medias)</i>				
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (3,88)</i>			
0:00	3	A		
4,5:0	5	A		
2:00	8	A	B	
0:02	11		B	
<i>Trat.</i>	<i>Ranks (5,43)</i>			
0:00	3,33	A		
0:02	3,67	A		
2:00	8,67	A	B	
4,5:0	10,33		B	
<i>Pruebas de significancia K (Comparación medias)</i>				

Nota: Medias con una letra común, no son significativamente diferentes.

En la Tabla 46, se representa el análisis de pares, centrado en la comparación de las medias, en primer lugar, el parámetro P, el cual no presenta significancia estadística, por lo cual no genera comparación de medias, por otro lado, el As, el cual si presenta diferencias significativas, en primer lugar la mina 2 (pH 5,43), cuyas mejores combinaciones fueron (T₂) y (T₄) las cuales tienen las menores medias y desviaciones, sin embargo, el tratamiento T₂, es decir el biocoagulante (4,5 ml) es más eficiente con una media más baja en cuanto a la mina 3. En

cambio, en la mina 3 (pH 3,88), las mejores combinaciones fueron la T₁ y la T₃, las cuales tienen las menores medias y desviaciones, sin embargo, el tratamiento 1 (biocoagulante 2ml), es el mejor para esta mina.

Así mismo, el parámetro S, presenta diferencias significativas entre la mina 2 y 3, en este caso la mejor combinación para ambas fue (T₄), con las medias y desviaciones más bajas.

Finalmente, el parámetro K, al igual que el parámetro P, no presenta significancia estadística.

Como se puede apreciar en la Figura 82, el P, tuvo su media más baja en el tratamiento 1 en la mina 1(7,33), sin embargo, este resultado no está ligado a la dosis de biocoagulante. En cuanto al As, las mejores medias y desviaciones, se encontraron en el tratamiento 1 y 2, en el caso de la mina 2 el tratamiento 2 es más eficiente (4,5 ml biocoagulante), por otro lado, en la mina 3, el tratamiento 1 es más eficiente (2 ml de biocoagulante)

En cambio, como se puede apreciar en la gráfica las medias más bajas en el parámetro S, se encuentran en el tratamiento 4 (blanco), en la mina 2 y 3 por igual.

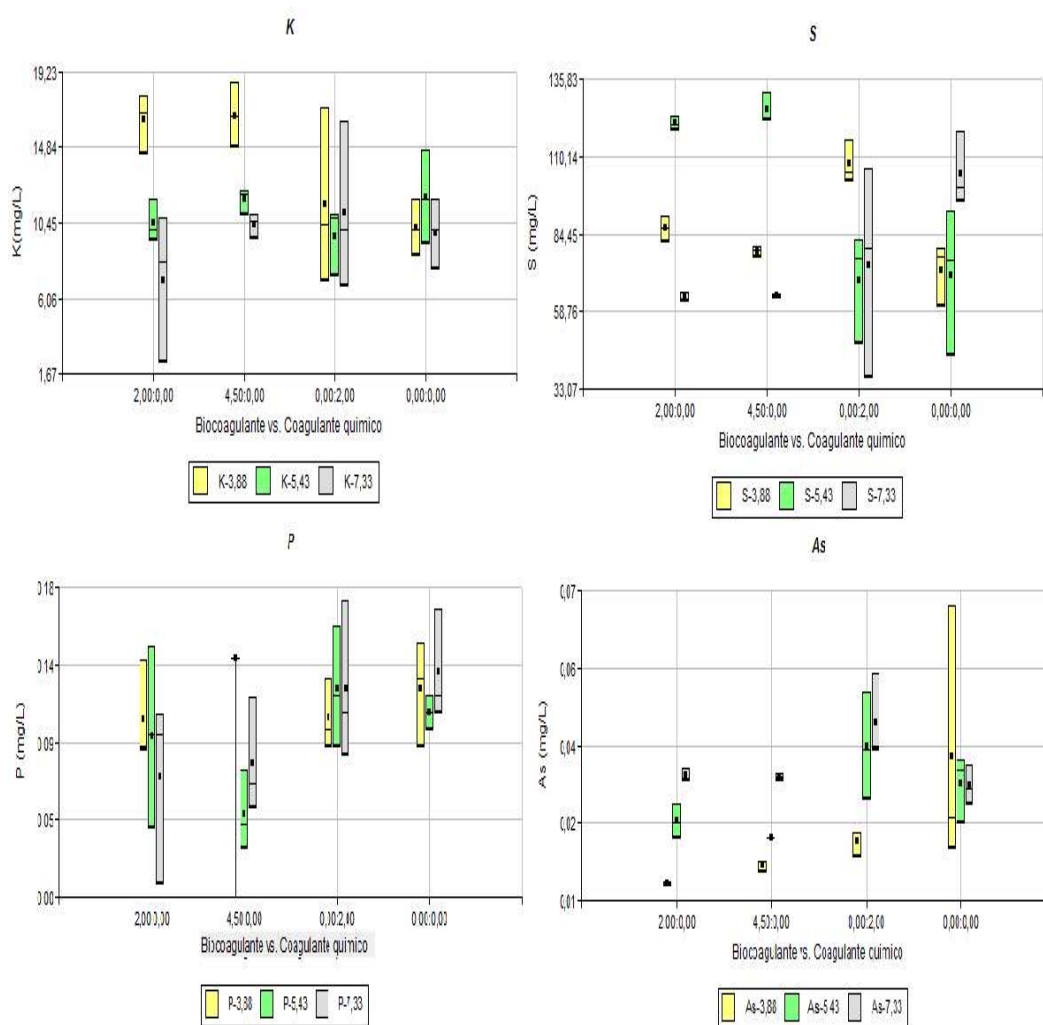


Figura 82. Diagrama de cajas (K, S, P, As)

4.4.5 Resumen del Análisis estadístico

Tabla 47.

Análisis estadístico por tratamiento

Resumen del Análisis estadístico

Parámetro	Mina 1 (pH 7,33)	Mina 2 (pH 5,43)	Mina 3 (pH 3,88)
ST	T ₁	T ₄	T ₂
SST	T ₂	T ₁	T ₂
SDT	T ₂	T ₂	T ₂
SSedT	T ₁	T ₄	T ₂
Turbidez	X	T ₂	T ₂
DQO	T ₁	T ₂	X
Color	T ₁	T ₂	T ₁
CE	T ₂	T ₁	T ₂
pH	T ₃	X	T ₄
B	X	X	T ₁
Ba	X	X	X
Cd	T ₃	X	T ₁
Co	X	X	X
Cr	T ₃	X	T ₁
Cu	T ₂	X	T ₄
Mn	T ₁	X	T ₃
Ni	T ₂	X	T ₄
Pb	X	X	T ₃

Sr	T ₃	X	T ₄
Zn	T ₂	X	T ₁
Ca	T ₄	X	T ₃
Fe	T ₂	X	T ₄
Mg	T ₄	X	T ₃
Na	X	X	T ₃
Li	T ₃	X	X
In	T ₄	X	T ₁
Al	T ₄	X	T ₃
V	T ₄	X	X
Si	T ₁	X	T ₃
P	X	X	X
As	T ₁	T ₂	X
K	X	X	X
S	X	T ₄	T ₄

Nota: Como se definió en las guías de comprensión, los tratamientos tienen la siguiente nomenclatura: (T₁) biocoagulante 2ml, (T₂) biocoagulante 4,5 ml, (T₃) PAC 2ml, (T₄) Blanco, (X) no se presenta efecto significativo.

En la Tabla 47, se aprecian los tratamientos aplicados para cada parámetro, en cuanto a sólidos, en la mina 1, predominan los tratamientos T₁ y T₂, es decir el biocoagulante, por otro lado, en la mina 2, no se define un patrón establecido, en la mina 3, el único tratamiento predominante es el T₂ (4,5 ml de biocoagulante).

De igual manera en el parámetro turbidez, predomina el T₂ (2 ml biocoagulante) en la mina 2 y 3, En cuanto a DQO, en la mina 1 el T₁ es significativo y en la mina 2 el T₂.

En cuanto al parámetro color, en la mina 1 y 3 el T₁ es significativo, y en la mina 2 el T₂.

En cambio, el parámetro conductividad eléctrica, en la mina 1 y 3 el T₂ es significativo y en la mina 2 el T₁.

En todos los parámetros mencionados anteriormente, los tratamientos más significativos se realizaron con T₁ y T₂, es decir mediante la aplicación de biocoagulante en sus dos niveles.

Por otro lado, el T₁, removi6 de manera significativa en la mina 1: Mn, Si, As, mientras que en la mina 2: Cr, Cd, Zn e In.

En segundo lugar, el T₂, removi6 en la mina 1: Cu, Ni, Zn, Fe, por otro lado, en la mina 2 remueve As.

4.4.6 Determinaci6n general de eficiencia por tratamientos (Eficiencias de remoci6n, cumplimiento de normativa, significancia estadística)

Tabla 48.

Comparaci6n entre tratamientos

Mina 1					
<i>Nomenclatura</i>	<i>Composici6n</i>	<i>Eficiencia de remoci6n (%)</i>	<i>Cumplimiento de normativa Nacional</i>	<i>Cumplimiento de normativa Internacional</i>	<i>Mayor significancia estadística</i>

T_1	<i>Biocoagulante 2ml</i>	7/9	24/25	10/13	8/33
T_2	<i>Biocoagulante 4,5 ml</i>	7/9	24/25	11/13	7/33
T_3	<i>Coagulante químico</i>	4/9	16/25	9/13	5/33
T_4	<i>Blanco</i>	2/9	17/25	9/13	4/33
Mina 2					
<i>Nomenclatura</i>	<i>Composición</i>	<i>Eficiencia de remoción (%)</i>	<i>Cumplimiento de normativa Nacional</i>	<i>Cumplimiento de normativa Internacional</i>	<i>Mayor significancia estadística</i>
T_1	<i>Biocoagulante 2ml</i>	6/9	18/25	11/13	2/33
T_2	<i>Biocoagulante 4,5 ml</i>	7/9	18/25	9/13	5/33
T_3	<i>Coagulante químico</i>	3/9	14/25	9/13	0/33
T_4	<i>Blanco</i>	2/9	17/25	7/13	3/33
Mina 3					

<i>Nomenclatura</i>	<i>Composición</i>	<i>Eficiencia de remoción (%)</i>	<i>Cumplimiento de normativa Nacional</i>	<i>Cumplimiento de normativa Internacional</i>	<i>Mayor significancia estadística</i>
T_1	<i>Biocoagulante 2ml</i>	6/9	16/25	8/13	6/33
T_2	<i>Biocoagulante 4,5 ml</i>	6/9	15/25	7/13	6/33
T_3	<i>Coagulante químico</i>	3/9	14/25	9/13	7/33
T_4	<i>Blanco</i>	1/9	16/25	7/13	6/33

Nota: Como se definió en las guías de comprensión, los tratamientos tienen la siguiente nomenclatura: (T_1) biocoagulante 2ml, (T_2) biocoagulante 4,5 ml, (T_3) PAC 2ml, (T_4) Blanco.

Sobre las 33 variables, se realizaron 4 tipos de estudio, en primer lugar, el porcentaje de remoción, seguido por el análisis de cumplimiento de normativa (nacional e internacional) y finalmente el análisis estadístico para definir si sus efectos son significativos.

Tabla 49.

Comparación de tratamientos

Mina 1		
<i>Nomenclatura</i>	<i>Composición</i>	<i># cumplimiento</i>
T_1	Biocoagulante 2ml	44

T_2	Biocoagulante 4,5 ml	46
T_3	Coagulante químico	32
T_4	Blanco	30
Mina 2		
Nomenclatura	Composición	# cumplimiento
T_1	Biocoagulante 2ml	33
T_2	Biocoagulante 4,5 ml	36
T_3	Coagulante químico	24
T_4	Blanco	27
Mina 3		
Nomenclatura	Composición	# cumplimiento
T_1	Biocoagulante 2ml	31
T_2	Biocoagulante 4,5 ml	33
T_3	Coagulante químico	31
T_4	Blanco	30

Nota: Como se definió en las guías de comprensión, los tratamientos tienen la siguiente nomenclatura: (T_1) biocoagulante 2ml, (T_2) biocoagulante 4,5 ml, (T_3) PAC 2ml, (T_4) Blanco.

Tomando en cuenta, los 4 estudios realizados en las 3 minas, el tratamiento más eficiente, es el T₂, esto quiere decir que la mejor dosis de biocoagulante fue de 4,5 ml, superando al PAC en las 3 minas.

La mina en la que hubo un mayor cumplimiento a nivel general fue la mina 1 con 46, seguida por la mina 2 con 36 y finalmente la mina 3 con 33.

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

La presente investigación se realizó con la especie *Caesalpinia spinosa*, que fue escogida después de una amplia revisión bibliográfica. Sus taninos se emplearon en un campo nuevo e innovador para los biocoagulantes, como es la industria minera, de la cual se seleccionaron 3 tipos de drenaje minero en función a sus pH.

En estos 3 tipos de agua de industria minera (neutral, ácida y muy ácida), se analizaron 33 parámetros, entre físicos (ST, SST, SDT, SSedT, CE, color y turbidez) y químicos (pH, DQO y 24 metales pesados), antes y después de la aplicación de los tratamientos. De igual manera se comparó el uso del biocoagulante con un coagulante químico (PAC) para evaluar de mejor manera su eficiencia.

Para determinar las condiciones óptimas de biocoagulación, se realizó un estudio de solventes previo aplicando el método SLE+MAE, el parámetro seleccionado para calcular la eficiencia de los mismos, fue la turbidez, cuyos valores iniciales fueron los siguientes: mina 1 (17 NTU), mina 2 (23 NTU), mina 3 (17,6 NTU), en base a los porcentajes de remoción de este parámetro, se seleccionó el metanol, el cual es un solvente polar orgánico, que facilita la solubilidad de los taninos, y al contar con un pH neutro, no acidifica el agua de mina de por si ácida.

Una vez seleccionado el solvente, pasó por una prueba de composición para determinar la relación (m/v), la cual fue 1/30, esta prueba consto de 29 combinaciones a las cuales se sometió a procesos de filtración, hidrolisis, calentamiento rápido (microondas), con estas pruebas se escogió la composición 29, la cual alcanzo un 90,03 % de remoción.

En base al biocoagulante preparado con las especificaciones mencionadas anteriormente, se realizaron 3 estudios para determinar la eficiencia del mismo sobre cada tipo de mina.

En primer lugar, se realizó un análisis sobre la eficiencia de remoción sobre cada parámetro, los más representativos fueron en el T₂ (4,5 ml de biocoagulante): mina 1 (SST (92%), SDT (50%), CE (51,19%), color (92,77%) y turbidez (79,59%)), mina 2 SST (84,58%), SDT (39,48%), CE (33,75%), color (89%) y turbidez (97,70%)) y mina 3 SST (95,33%), CE (21,95%), color (67,7%) y turbidez (91,88%)).

En segundo lugar el análisis de metales pesados, en donde el biocoagulante, aplicado en la mina 1, redujo un total de 17 parámetros (Ba (56,94%), Cd (100%), Co (66,67%), Cr (55,56%), Cu (97,94%), K (39,03%), Mn (44,20%), Ni (10%), Pb (90%), Zn (93,56%), Fe (69,65%), Al (93,77%), In (83,33%), V (88,89%), P (55%), Si (50,99%), As (60,59%)), seguido por la mina dos en la cual se removieron 12 metales (B (98,13%), Ba (1%), K (41,56%), Zn (74,49%), Fe (1,07%), Al (73,79%), Na (1,46%), Li (57,14%), In (82,67%), Mg (36,38%), V (87,18%), P (68,33%)) y, finalmente la mina 3 el cual se removió 9 metales (B (79,33%), Pb (60%), Ca (41,12%), Na (48,86%), In (3,33%), Mg (30,58%), V (100%), P (18,46%), Si (42,96%)).

También se realizó un análisis del cumplimiento de la normativa nacional, en cuanto a efluentes superficiales e internacional; en cuanto a efluentes subterráneos, que aún no están normados en el Ecuador. La Tabla de normativa nacional cuenta con 25 parámetros, mientras que la internacional cuenta con 13. Los resultados de esta prueba fueron los siguientes: en cuanto al T₂ (4,5 ml de biocoagulante): mina 1 (cumplimiento nacional: 24/25 y cumplimiento internacional: 11/13), mina 2 (cumplimiento nacional: 18/25 y cumplimiento internacional: 9/13), mina 3 (cumplimiento nacional: 15/25 y cumplimiento internacional: 7/13), teniendo mejores resultados sobre la mina 1 (pH neutro).

En cuanto a la significancia estadística, la mina uno tuvo mejores resultados en el T₁ (2 ml de biocoagulante), por otro lado, en la mina 2, la mayor significancia se encontró en el T₂ (4,5 ml de biocoagulante) y en cuanto a la mina 3, el mejor tratamiento fue el T₃(2 ml de PAC).

En el balance de los 3 estudios, el tratamiento que logro una mayor eficiencia de remoción, mayor cumplimiento de la norma y sobre todo una considerable significancia estadística, fue el T₂ (4,5 ml de biocoagulante) aplicado sobre la mina 1 (pH 7,33).

Finalmente se determinó que la *Caesalpinia spinosa* no genera cambios bruscos de pH y genera una cantidad menor de lodos residuales.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda la aplicación de más técnicas innovadoras y sus combinaciones a la hora de extraer biocoagulantes, además, realizar pruebas con un mayor número de solventes.

De igual manera se recomienda ampliar esta investigación realizando un análisis de contenido de taninos (%), sobre todo en relación a la presencia o ausencia de luz al realizar la preparación del biocoagulante y su conservación.

Por otro lado, se recomienda realizar un análisis de biodegradabilidad de los lodos residuales generados por la *Caesalpinia spinosa* vs. los generados por los coagulantes químicos.

REFERENCIAS

- Abad, I., y Velilla, N. (2018). Una introducción al uso e interpretación de las técnicas básicas de caracterización de los minerales. *Revista Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 26(3), 265. Recuperado el 5 de noviembre de 2019 de <https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/343212/434359>
- Aguilar, J. (2018). Evaluación de la calidad del biosólido obtenido mediante el proceso de digestión anaerobia termofílica, de los lodos residuales de la laguna de estabilización de la ciudad de Juliaca. Recuperado el 9 de agosto de 2019 de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9220>
- Anache, K. (2016). Evaluación del empleo del licor neutralizado para la dilución del floculante. Recuperado el 25 de julio de 2019 de <http://ninive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/2633/Keyler.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Andrinolo, D., Giannuzzi, L., y Bauzá, L. (2013). Efecto de tratamientos químicos en ensayos de laboratorio para la mitigación de ambientes lacustres eutrofizados. VII Congreso de Medio Ambiente. Recuperado el 8 de julio de 2019 de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26586/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Aranibar, M. (2016). Aplicación del reactivo fenton para la remoción de DQO del lixiviado de un depósito de seguridad a escala laboratorio. Recuperado el 18 de septiembre del 2019 de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3105/aranibar-blanco-maria-del-rosario.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

- Ardila, A., Reyes, J., Arriola, E., y Hernández, S. (2012). Remoción fotocatalítica de DQO, DBO5 y COT de efluentes de la industria farmacéutica. *Revista politécnica*, 8(15), 9-17. Recuperado el 13 de junio de 2019 de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/39656970/v8n15a1.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DRemocion_fotocatalitica_de_dqo_dbo5_y_co.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20200115%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20200115T233835Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=45271d7d2fb828831ec6008cf563075afbd63137c43141c014ace290796d7caa
- Ávila, P. (2016). Hacia una ecología política del agua en Latinoamérica. *Revista de Estudios sociales*, (55), 18-31. Recuperado el 25 de julio de 2019 de <https://journals.openedition.org/revestudsoc/9602>
- Banchón, C., Baquerizo, R., Muñoz, D., y Zambrano, L. (2016). Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. *Enfoque UTE*, 7(4), 111-126. Recuperado el 21 de junio de 2019 de <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/enfoqueute/v7n4/1390-6542-enfoqueute-7-04-00111.pdf>
- Banco Central del Ecuador. (2017). Reporte de Minería. Recuperado el 17 de septiembre de 2019 de <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/ReporteMinero012017.pdf>
- Barajas, C y León, A. (2015). Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) en el proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red

neuronal artificial. Recuperado el 13 de junio de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2916/Barajasclaudia2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Barragán, D., Centeno, A., y Guayara, M. (2018). Análisis de alta conductividad y dureza en agua dulce y su potencial incidencia en la salud humana caso aplicativo región de San Antonio, Municipio de Anapoima Cundinamarca. Recuperado el 17 de septiembre de 2019 de <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5810/GUAYARA%2c%20BARRAGAN%20Y%20CENTENO%20PROYECTO%20DE%20GRADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Beltrán, L., Larrahondo, J., y Cobos, D. (2018). Tecnologías emergentes para disposición de relaves: oportunidades en Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (44), 5-20. Recuperado el 23 de junio de 2019 <http://www.scielo.org.co/pdf/bcdt/n44/0120-3630-bcdt-44-00005.pdf>

Bravo, M. (2015). Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales. Recuperado el 11 de enero de 2019 de <https://pdfs.semanticscholar.org/9f7d/b166ffb515185ca060557cfff66f59bf1cea.pdf>

Bravo, M., y Gutiérrez, J. (2016). Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas del río Pollo en Otuzco empleando semillas de *Caesalpinia spinosa* (Tara). Recuperado el 22 de agosto de 2019 de http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3275/BravoGuerreiro_M%20-%20GutierrezLopez_J.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Broncano, L., y Rosario, N. (2017). Eficiencia del *Tropaeolum Tuberosum* y la cáscara de *Solanum Tuberosum* como coagulante para la remoción de turbiedad, color y sólidos disueltos, en el río Lullán, provincia de Caraz,

Ancash-2016. Recuperado el 29 de septiembre de 2019 de http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1976/T033_46281051_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Calle, L., y Zambrano, C (2015). *Optimización del proceso de floculación y coagulación de la planta potabilizadora de la junta de agua potable de Bayas*. Recuperado el 8 de diciembre de 2019 de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22162/1/tesis.pdf.pdf>

Cerón, V. (2016). Estudio para la determinación y dosificación óptima de coagulantes en el proceso de clarificación de aguas crudas en la potabilización de aguas de la empresa Empoobando E. SP. SP. *Universidad de Nariño. Facultad deficiencias exactas y naturales. 114p. Recuperado el 20 de diciembre de 2019 de http://sired.udenar.edu.co/3769/1/tg_vcp.pdf*

Cisneros, D. (2017). *Propuesta metodológica de tratamiento pasivo basado en sustrato alcalino disperso para la remediación ambiental de metales pesados provenientes de drenaje ácido de mina*. Recuperado el 5 de julio de 2019 de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/18915/1/CD-8308.pdf>

Combatt, E., Martínez, Z., y Palencia, M. (2008). Generación de acidez por oxidación de piritita en suelos sulfatados ácidos interiores de clima cálido. *Temas agrarios*, 13(1), 32-39.

Dávalos, J., Romero, V., Sánchez, J., Chávez, J., y Valderrama, A. (2017). Caracterización, mediante espectrometría de masas de alta resolución MALDI/FT-ICR, de taninos hidrolizables de la tara (*Caesalpinia spinosa*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(1), 106-114.

Recuperado el 7 de septiembre de 2019 de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2017000100010&script=sci_arttext.

De La Cruz, P. (2004) Aprovechamiento Integral y Racional de la Tara *Caesalpinia spinosa* - *Caesalpinia tinctoria*. *Revista del Instituto de Investigación de la facultad de ingeniería geológica, minera, metalúrgica y geográfica*, 7(14), 64-73. Recuperado el 10 de julio de 2019 de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/liigeo/article/view/733/584>

Díaz, J. (2014). *Coagulantes-floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas* (Tesis de maestría). Recuperado el 12 de septiembre de 2019 de <https://es.scribd.com/document/356278277/Coagulantes-Floculantes-Organicos-e-Inorganicos-Elaborados-de-Plantas-y-Del-Reciclaje-de-La-Chatarra-Para-El-Tratamiento-de-Aguas-Contaminadas>

Hoyos, P., Merle, J., Labidi, J., y Charrier, F. (2018). Tannins extraction: A key point for their valorization and cleaner production. *Journal of Cleaner Production*. Recuperado el 12 de junio de 2019 de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618329822>

Huarino, M. (2011). Efecto antibacteriano de *Caesalpinia spinosa* (tara) sobre flora salival mixta. Recuperado el 3 de febrero del 2020 de http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/2809/Huarino_am.pdf?sequence=1&isAllowed=y

FAO. (1997). Control de la Desertificación en América Latina y el Caribe. Recuperado el 12 de julio de 2019 de http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/redes/sisag/arcboles/default.htm

- Cupe, B., y Juscamaita, J. (2018). Tratamiento de lodos residuales de una industria cervecera a través de fermentación homoláctica para la producción acelerada de abono orgánico. *Revista ecología aplicada*, 17(1), 107-118. doi: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v17i1.1179>
- Francisca, F., y Carro, M. (2014). Remoción de arsénico en agua mediante procesos de coagulación-floculación. *Revista. int. contam. ambie*, 30(2), 171-184. Recuperado el 4 de julio del 2019 de <http://scielo.org.mx/pdf/rica/v30n2/v30n2a5.pdf>
- Gallardo, D., Bruguera, N., Díaz, J., y Cabrera, I. (2015). Impacto provocado por la minería en la zona de Santa Lucía: evaluación físico-química. *Minería & Geología*, 31(4), 100-120. Recuperado el 16 de diciembre de 2019 de <https://www.redalyc.org/pdf/2235/223543341007.pdf>
- García, M. (2016). *Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de la concentración de coliformes fecales y totales*. Recuperado el 8 de septiembre de 2019 de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12044/1/UPS-CT005866.pdf>.
- Fuentes, N., Molina, E., y Ariza, C. (2017). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del Al₂(SO₄)₃ para clarificación de aguas. *Producción+ Limpia*, 11(2). DOI: 10.22507/pml.v11n2a4
- Gutiérrez, R. (2016). Las huellas de la investigación sobre contaminación minera en Oruro y Potosí. *Revista Boliviana de Ciencias Sociales*, 12(27). Recuperado el 17 de julio del 2019 de <http://www.scielo.org.bo/pdf/rbcst/v12n27/v12n27a03.pdf>

- Guevara, J. (2017). Generación de acidez por la presencia de sulfuros en el futuro tajo del proyecto minero "El Galeno". Recuperado el 7 de septiembre de 2019 de <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2782>
- Hernández, J., Urbina, Y., Aguilar, M., García, M., y Landaeta, J. (2015) DOSIS ÓPTIMA EN MEZCLAS DE SULFATO DE ALUMINIO Y POLÍMEROS NATURALES PARA LA CLARIFICACIÓN DEL RÍO TUY. Recuperado el 3 de agosto del 2019 de <http://www.postgradovipi.50webs.com/archivos/agrollania/2015/agro8.pdf>
- Hurtado, J., Baron, K. (2017). Propuesta de tratamiento físico-mecánico de las aguas subterráneas con problemas de dureza del Parque Residencial Puertas del Sol Distrito de la Victoria–Lambayeque. Recuperado el 12 de agosto de 2019 de <https://es.scribd.com/document/413226222/Tesis-Jose-Amador-Hurtado-Muguerza>
- Jin, Z., Wang, B., y Chen, Z. (2010). Microwave-assisted extraction of tannins from Chinese herb *Agrimonia pilosa* Ledeb. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(21), 2229-2234. doi: 10.5897/JMPR10.378
- Julio, I., Peláez, C., y Molina, F. (2016). Evaluación de la co-digestión anaerobia de lodos de aguas residuales municipales con residuos de alimentos. *Revista Ion*, 29(1), 63-70. Recuperado el 8 de julio de 2019 de <https://www.redalyc.org/pdf/3420/342046466006.pdf>
- Leal, T. (2015). Drenajes Ácidos de Mina Formación y Manejo. *Revista ESAICA*, 1(1), 53-57. Recuperado el 19 de diciembre de 2019 de https://www.researchgate.net/publication/296639939_Drenajes_acidos_de_mina_formacion_y_manejo/fulltext/56eb7fe008ae9dcdd82acbc5/Drenajes-acidos-de-mina-formacion-y-manejo.pdf

- Leonard, A., y Conrad, A. (2018). *La historia de las Cosas: De cómo nuestra obsesión por las cosas está destruyendo el planeta, nuestras comunidades y nuestra salud. Y una visión del cambio. (1.a ed.)*[versión electrónica]. Recuperado de [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=IM1wDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Leonard,+A.,+y+Conrad,+A.+\(2018\).+La+historia+de+las+Cosas:+De+c%C3%B3mo+nuestra+obsesi%C3%B3n+por+las+cosas+est%C3%A1+destruyendo+el+planeta,+nuestras+comunidades+y+nuestra+salud.+Y+una+visi%C3%B3n+del+cambio.+Fondo+de+Cultura+Econ%C3%B3mica.&ots=EFv4LQ5Ph&sig=sWHhk8hd3KYyVFfporLoWK2p00I#v=onepage&q=Leonard%2C%20A.%2C%20y%20Conrad%2C%20A.%20\(2018\).%20La%20historia%20de%20las%20Cosas%3A%20De%20c%C3%B3mo%20nuestra%20obsesi%C3%B3n%20por%20las%20cosas%20est%C3%A1%20destruyendo%20el%20planeta%2C%20nuestras%20comunidades%20y%20nuestra%20salud.%20Y%20una%20visi%C3%B3n%20del%20cambio.%20Fondo%20de%20Cultura%20Econ%C3%B3mica.&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=IM1wDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Leonard,+A.,+y+Conrad,+A.+(2018).+La+historia+de+las+Cosas:+De+c%C3%B3mo+nuestra+obsesi%C3%B3n+por+las+cosas+est%C3%A1+destruyendo+el+planeta,+nuestras+comunidades+y+nuestra+salud.+Y+una+visi%C3%B3n+del+cambio.+Fondo+de+Cultura+Econ%C3%B3mica.&ots=EFv4LQ5Ph&sig=sWHhk8hd3KYyVFfporLoWK2p00I#v=onepage&q=Leonard%2C%20A.%2C%20y%20Conrad%2C%20A.%20(2018).%20La%20historia%20de%20las%20Cosas%3A%20De%20c%C3%B3mo%20nuestra%20obsesi%C3%B3n%20por%20las%20cosas%20est%C3%A1%20destruyendo%20el%20planeta%2C%20nuestras%20comunidades%20y%20nuestra%20salud.%20Y%20una%20visi%C3%B3n%20del%20cambio.%20Fondo%20de%20Cultura%20Econ%C3%B3mica.&f=false)
- Lillo, J. (2011). *Impactos de la minería en el medio natural*. Grupo de Geología Universidad Rey Juan Carlos. Recuperado el 12 de diciembre de 2019 de <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-15564/Impactos%20de%20la%20miner%C3%ADa%20-%20Javier%20Lillo.pdf>
- Lorenzo, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 40(2), 10-17. Recuperado el 21 de diciembre de 2019 de <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf>
- Millán, F., Mathison, J., Alvares, M., y Jarbough, W. (2003). Estudio comparativo de la dureza del agua en el estado Mérida y algunas localidades del centro

y occidente de Venezuela. *Ciencia e Ingeniería*, 24(1), 39-46. Recuperado el 9 de junio de 2019 de https://www.researchgate.net/profile/Fernando_Millan4/publication/307099044_Estudio_Comparativo_de_la_Dureza_del_Agua_en_el_Estado_Merida_y_algunas_localidades_del_Centro_y_Occidente_de_Venezuela/links/57c18ec308aeda1ec38ce8ec.pdf

Meza, M., Riaños, K., Mercado, I., Olivero, R., y Jurado, M. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 95-104. doi: <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018009>

Montilla, M., Capote, T., Matute, S., Montilla, M., Padrón, D y Iglesias, P. (2019) ABSORCIÓN DE HIERRO TOTAL EN PLANTAS ACUÁTICAS COMO FITORREMIADORA EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES. Recuperado el 6 de agosto de 2019 de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/37964348/articulo3-ASA-UCLA.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DABSORCION_DE_HIERRO_TOTAL_EN_PLANTAS_ACU.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20200116%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20200116T033130Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=47a902f7c336b8042f0f06f6a25c30cb861d2f22d4aef96e59315ade02c12a1a

Moral, F. (2018). Concentración de iones mayoritarios en las aguas de la red fluvial de la cuenca del Guadalquivir y sus condicionantes geológicos. *Geogaceta*, 64, 71-74. Recuperado el 8 de agosto de 2019

de

<http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/16589/Concentracion.pdf?sequence=2>

Moreno, M., Peña, L., y Álvarez, R. (2017). Implementación del Método para la Determinación de Isótopos Estables de Carbono ($\delta^{13}\text{C}$) en Carbones Mediante Espectrometría de Masas de Relaciones Isotópicas (IRMS). *Revista Investigaciones y Aplicaciones Nucleares*, (1), 50-59. DOI: <https://doi.org/10.32685/2590-7468/invapnuclear.1.2017.21>

Nuñez, J., Quiala, E., M., Mestanza, S., Gómez R., Cuadrado, F., y Leiva, M. (2017). Establecimiento de un banco clonal de *Caesalpinia spinosa* (Mol.) O. Kuntz mediante selección de árboles plus e injerto. *Revista Biotecnología vegetal*, 17(1). Recuperado el 8 de junio de 2019 de <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/536/html>

Pacheco, A. (2019). El agua subterránea en el medio ambiente minero y su importancia en los planes de cierre. Recuperado el 8 de junio de 2019 de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/35692882/TecHidro-L2_Aguas_Subterranas.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DEL_AGUA_SUBTERRANEA_EN_EL_MEDIO_AMBIENTE.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20200116%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20200116T035716Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=45ad7c2b0713b438b39164eb4a8aad3c5bd7ddf13fc8be80d5a1f5497d55d449

- Paredes, L. (2015). *Biocoagulación: tratamiento de aguas residuales de la industria de la curtiembre*. Recuperado el 9 de junio de 2019 de <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/2504>
- Pérez, M. (2016). Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de metales pesados (PB). Recuperado el 19 de agosto de 2019 de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12045>
- Pérez, W. y Torres, W. (2019). Optimización de parámetros en la purificación del agua a base de biopolímeros orgánicos de goma de tara (*Caesalpinia Spinosa*) y moringa (*Moringa Oleífera*). Recuperado de 16 de agosto de 2019 de <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1887?show=full>
- Ramírez, H., y Jaramillo, J. (2016). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 136-153. Recuperado el 5 de septiembre del 2019 de <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/1303/1359>
- Ramírez, S, Araque, C. (1998). Evaluación fisiológica y nutricional del efecto de los taninos en los principales sorgos graníferos (*Sorghum bicolor* (L) moench) cultivados en Colombia. Recuperado el 3 de junio de 2019 de http://webdelprofesor.ula.ve/ciencias/chataing/Cursos/productos_naturales/taninos_2.pdf
- Ramírez, J., Pastor, L., Doñate, S., Lardin, C., Aymerich, E., Romaguera, R. (2019). Aplicación de óxido de hierro en polvo para la reducción de sulfuro de hidrógeno en el biogás de un digestor anaerobio en vía seca. *Tecnoaqua*, (39), 58-65. Recuperado el 8 de enero de 2019 de
- Reinoso, J., Serrano, C., y Orellana, D. (2017). Contaminantes emergentes y su impacto en la salud. Recuperado el 8 de septiembre de 2019 de

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/30096/1/07%20Contaminantes%20Emergentes%2055-59%20%281%29.pdf>

Reveló, A, Proaño, D, y Banchón. (2015). Biocoagulación de aguas residuales de industria textilera mediante extractos de *Caesalpinia spinosa*. Recuperado el 7 de septiembre de 2019 de https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Banchon/publication/314356134_Biocoagulacion_de_aguas_residuales_de_industria_textilera_mediante_extractos_de_Caesalpinia_spinosa_Textile_wastewater_biocoagulation_by_Caesalpinia_spinosa_extracts/links/58c0c8c192851c2adfeb2a7f/Biocoagulacion-de-aguas-residuales-de-industria-textilera-mediante-extractos-de-Caesalpinia-spinosa-Textile-wastewater-biocoagulation-by-Caesalpinia-spinosa-extracts.pdf

Reynerio, J., González, P., Mesa, O., Benamor, O., de las Cuevas, R., y Álvarez, G. (2011). Patrones hidrogeoquímicos en el agua de Cuenca Norte de Matanzas aplicando conductividad eléctrica y relaciones matemáticas. *Revista de Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 32(2), 14-26. Recuperado el 19 de junio de 2019 de <http://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/viewFile/18/18>

Rhazi, Hannache, Oumam, Sesbou, Charrier, Pizzi y Charrier-El Bouhtoury, F. (2015). Green extraction process of tannins obtained from Moroccan *Acacia mollissima* barks by microwave: Modeling and optimization of the process using the response surface methodology RSM. *Arabian Journal of Chemistry*. Recuperado el 12 de septiembre de 2019 de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535215001343>

Ribeiro, B., Paim, T., y Rocha, S. (2008). Utilización de hidróxido de magnesio en la precipitación de metales pesados. *Revista la Fac Ing*, 22, 26-32. Recuperado el 17 de agosto de 2019 de <http://www.revistaingenieria.uda.cl/Publicaciones/220003.pdf>

- Rodríguez, J. (2018). Propuesta metodológica para tratamiento de lodos provenientes de plantas de potabilización en la sabana de Bogotá. Recuperado el 18 de agosto de 2019 de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11289/Proyecto%20695-764%20Nicolas%20Rodr%C3%adguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Romero, F. M., Armienta, M. A., Gutiérrez, M. E., & Villaseñor, G. (2008). Factores geológicos y climáticos que determinan la peligrosidad y el impacto ambiental de jales mineros. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 24(2), 43-54. Recuperado el 19 de junio de 2019 de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992008000200001&script=sci_arttext
- Romero, M. (2017). Disminución De La Carga Orgánica Del Efluente Del Camal Municipal El Porvenir Mediante El Tratamiento Con Sulfato De Aluminio Al 1%. Recuperado el 18 de agosto de 2019 de http://181.224.246.201/bitstream/handle/UCV/22475/castro_rm.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ruiz, L. (2018). Validación de métodos de ensayo para determinación de pH, conductividad, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos y sólidos disueltos en aguas en el Laboratorio Ambiental Environovalab. Recuperado el 2 de julio de 2019 de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15362/1/T-UCE-0017-0095-2018.pdf>
- Salguero, K. (2017). Inertización de relaves mineros utilizando la vitrificación para su aprovechamiento en la construcción. Recuperado el 3 de febrero del 2020 de <http://7labs.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3086/1/tesis%20kimberly%20salguero.pdf>

- Samaniego, A. (2015). *Determinación de la concentración letal media cl50 producida por sulfato de aluminio so43al2 en alevines de tilapia roja oreochromis sp y en postlarvas de camarón litopenaeus vannamei* (Bachelor's thesis, Machala: Universidad Técnica de Machala). Recuperado el 24 de junio de 2019 de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/2697/1/CD128_TESIS.pdf
- Semiglia, T. (2015). *Necesidad de reformar la ley de minería referente a la vulneración de los derechos colectivos y la destrucción de la naturaleza*. Recuperado el 8 de agosto de 2019 de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/8187/1/Tania%20Y%20aqueлина%20Semiglia%20Caicedo.pdf>
- Tello, C. (2017). *Generación de lodos activos a partir de coagulantes naturales y efluentes parcialmente degradados de reactores biológicos de Udlapark*. Recuperado el 15 de junio de 2019 de <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/7624/1/UDLA-EC-TIAM-2017-01.pdf>
- Trigoso, F., y Tejeda, E. (2017). Estudio teórico experimental aplicando sonicación-coagulación a un efluente doméstico. Recuperado el 3 de agosto de 2019 de http://cybertesis.uni.pe/bitstream/uni/13292/1/trigoso_vf.pdf
- Trujillo, E., Martínez, V., & Flores, N. S. (2008). Ajuste del equilibrio químico del agua potable con tendencia corrosiva por dióxido de carbono. *Información tecnológica*, 19(6), 89-101. Recuperado el 17 de agosto de 2019 de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v19n6/art10.pdf>
- Vargas, J. (2016). Análisis de la rentabilidad de la tara (*Caesalpinia spinosa*) en la Región Apurímac. Recuperado el 18 de junio de 2019 de

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2825/E16-V37-T.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Venegas, S., Guevara, A., Cabrera, P. (2017). Evaluación del impacto que tendrá en la economía del Ecuador el inicio de la producción de los depósitos de materiales metálicos. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(1), 8-16. DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.50>

Vilavila, S. (2018). Determinación de la remoción de la turbidez de agua del río Ayaviri en la zona de captación para consumo humano empleando polímero de goma de Tara-Puno, 2018. Recuperado el 16 de junio de 2019 de https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/1830/Samira_Tesis_Licenciatura_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

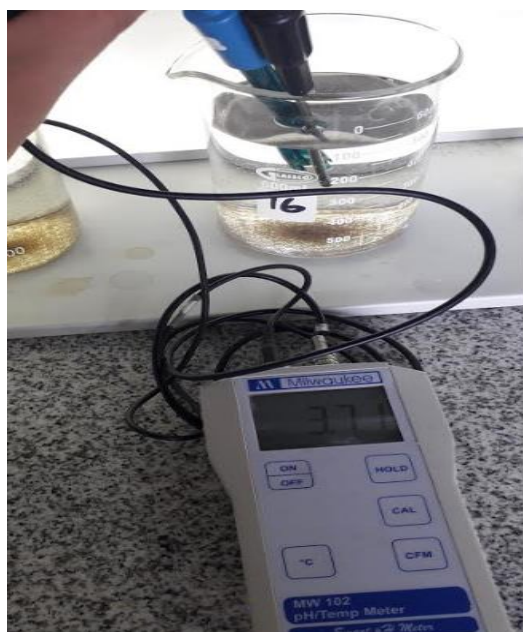
Zambonino, J. (2013). Análisis de alternativas para el tratamiento de aguas industriales del Ingenio Azucarero del Norte IANCEM. Recuperado el 3 de agosto de 2019 de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/609/1/T-UCE-0012-141.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Toma de pH inicial de cada mina



Anexo 2. Muestreo de pH final



Anexo 3. Recorrido por las minas



Anexo 4. Primera prueba en Test de Jarras (sin filtrar)



Anexo 5. Resultado final de la prueba de dosis óptima



Anexo 6. Sólidos sedimentables



Anexo 7. Tubos de ensayo para la medición de turbidez, pH, conductividad eléctrica y color.



Anexo 8. Muestras para la determinación de metales pesados.



Anexo 9. Cumplimiento de normativa nacional (Tratamiento 1)

Parámetros analizados	Expresado como	unidad	Criterio de calidad	Tratamiento 1 nivel 1 (2 ml)	Tratamiento 1 nivel 2 (4,5 ml)	Cumplimiento	
Aluminio	Al	mg/L	5	0,3247	0,2753	✓	✓
Arsénico	As	mg/L	0,1	0,0338	0,0335	✓	✓
Bario	Ba	mg/L	1	0,206666667	0,344666667	✓	✓
Berilio	Be	mg/L	0,1	0	0	✓	✓
Boro	B	mg/L	0,75	0,157	0,1707	✓	✓
Cadmio	Cd	mg/L	0,001	0	0	✓	✓
Cromo	Cr	mg/L	0,05	0,0017	0,0013	✓	✓
Cobalto	Co	mg/L	0,2	0,0013	0,001	✓	✓
Cobre	Cu	mg/L	0,02	0,0077	0,0035	✓	✓
Hierro	Fe	mg/L	0,3	0,3	0,2003	✓	✓
Plomo	Pb	mg/L	0,01	0,002	0,0027	✓	✓
Litio	Li	mg/L	2,5	0,059	0,061	✓	✓
Manganeso	Mn	mg/L	10	0,1283	0,1293	✓	✓

Níquel	Ni	mg/L	0,025	0,01	0,009	✓	✓
Fosforo	P	mg/L	15	0,072	0,08	✓	✓
Selenio	Se	mg/L	0,01	0,0073	0,0025	✓	✓
Plata	Ag	mg/L	0,01	0	0	✓	✓
Vanadio	V	mg/L	0,1	0,0013	0,002	✓	✓
Zinc	Zn	mg/L	0,18	0,081	0,029	✓	✓
Sólidos sedimentales	SSed	mg/L	20	2,97	0,17	✓	✓
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	220	30,67	22,67	✓	✓
Sólidos totales	ST	mg/L	1600	706,67	989,33	✓	✓
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	500	3300	1600	x	x
Color	Color real	Unidades de color	Inapreciable en	2	6	✓	✓

		real	dilución 1/20				
Potencial de Hidrógeno	pH		6,5-9	7,33	7,3	✓	✓

Anexo 10. Cumplimiento de normativa nacional (Tratamiento 2)

Parámetros analizados	Expresado como	unidad	Criterio de calidad	Tratamiento 2 nivel 1 (2 ml)	Tratamiento 2 nivel 2 (4,5 ml)	Cumplimiento	
Aluminio	Al	mg/L	5	1,9	1,4	✓	✓
Arsénico	As	mg/L	0,1	0,04	0,05	✓	✓
Bario	Ba	mg/L	1	0,3867	0,5347	✓	✓
Berilio	Be	mg/L	0,1	0	0	✓	✓
Boro	B	mg/L	0,75	0,003	0,004	✓	✓
Cadmio	Cd	mg/L	0,001	0,0017	0,0017	✓	✓
Cromo	Cr	mg/L	0,05	0,0043	0,0047	✓	✓
Cobalto	Co	mg/L	0,2	0,027	0,029	✓	✓
Cobre	Cu	mg/L	0,02	0,43	0,44	x	X

Hierro	Fe	mg/L	0,3	1,24	0,77	x	X
Plomo	Pb	mg/L	0,01	0,04	0,04	x	X
Litio	Li	mg/L	2,5	0,003	0,003	✓	✓
Manganes o	Mn	mg/L	10	0,38	0,39	✓	✓
Níquel	Ni	mg/L	0,025	0,03	0,03	x	X
Fosforo	P	mg/L	15	0,09	0,05	✓	✓
Selenio	Se	mg/L	0,01	0	0,001	✓	✓
Plata	Ag	mg/L	0,01	0	0	✓	✓
Vanadio	V	mg/L	0,1	0,002	0,001	✓	✓
Zinc	Zn	mg/L	0,18	0,12	0,17	✓	✓
Sólidos sedimental es	SSed	mg/L	20	5,37	4,5	✓	✓
Sólidos suspendid os totales	SST	mg/L	220	8	26,6	✓	✓
Sólidos totales	ST	mg/L	1600	866	913	✓	✓
Demanda Química de	DQO	mg/L	500	3970	2470	x	x

Oxigeno							
Color	Color real	Unidades de color real	Inapreciable en dilución 1/20	14	11	x	x
Potencial de Hidrógeno	pH		6,5-9	5,64	5,43	x	x

Anexo 11. Cumplimiento de normativa nacional (Tratamiento 3)

Parámetros analizados	Expresado como	unidad	Criterio de calidad	Tratamiento 3 nivel 1 (2 ml)	Tratamiento 3 nivel 2 (4,5 ml)	Cumplimiento	
Aluminio	Al	mg/L	5	7,55	6,4	x	x
Arsénico	As	mg/L	0,1	0,02	0,03	✓	✓
Bario	Ba	mg/L	1	0,32	0,33	✓	✓
Berilio	Be	mg/L	0,1	0	0	✓	✓
Boro	B	mg/L	0,75	0,01	0,01	✓	✓
Cadmio	Cd	mg/L	0,001	0,007	0,007	x	x
Cromo	Cr	mg/L	0,05	0,0043	0,0057	✓	✓
Cobalto	Co	mg/L	0,2	0,1	0,1	✓	✓

Cobre	Cu	mg/ L	0,02	3,29	3,12	x	x
Hierro	Fe	mg/ L	0,3	2,25	2,2	x	x
Plomo	Pb	mg/ L	0,01	0,008	0,09	✓	x
Litio	Li	mg/ L	2,5	0,01	0,01	✓	✓
Manganes o	Mn	mg/ L	10	4,35	4,08	✓	✓
Níquel	Ni	mg/ L	0,025	0,1	0,1	X	x
Fosforo	P	mg/ L	15	0,106	0,141	✓	✓
Selenio	Se	mg/ L	0,01	0,005	0,0025	✓	✓
Plata	Ag	mg/ L	0,01	0	0,02	✓	✓
Vanadio	V	mg/ L	0,1	0	0	✓	✓
Zinc	Zn	mg/ L	0,18	0,51	0,42	x	X
Sólidos sediménta les	SSed	mg/ L	20	6,83	5	✓	✓
Sólidos suspendid os totales	SST	mg/ L	220	36,44	24,89	✓	✓
Sólidos totales	ST	mg/ L	1600	677	493	✓	✓
Demanda Química de	DQO	mg/ L	500	8130	5230	X	X

Oxigeno							
Color	Color real	Unidades de color real	Inapreciable en dilución 1/20	8	18	X	X
Potencial de Hidrógeno	pH		6,5-9	3,79	3,83	X	X

Anexo 12. Cumplimiento de normativa nacional (Tratamiento 4).

Parámetros analizados	Expresado como	unidad	Criterio de calidad	Tratamiento 4 Mina 1 (2 ml)	Tratamiento 4 Mina 2(2 ml)	Tratamiento 4 Mina 3(2 ml)2	Cumplimiento		
Aluminio	Al	mg/L	5	12	4,41	4,79	X	✓	✓
Arsénico	As	mg/L	0,1	0,044	0,039	0,019	✓	✓	✓
Bario	Ba	mg/L	1	0,48	0,31	0,42	✓	✓	✓
Berilio	Be	mg/L	0,1	0	0	0	✓	✓	✓
Boro	B	mg/L	0,75	0,16	0,11	0,06	✓	✓	✓
Cadmio	Cd	mg/L	0,001	0,0017	0,0037	0,003	✓	X	X

Cromo	Cr	mg/L	0,05	0,013	0,011	0,02	✓	✓	✓
Cobalto	Co	mg/L	0,2	0,01	0,0013	0,011	✓	✓	✓
Cobre	Cu	mg/L	0,02	0,2	0,19	0,23	X	X	X
Hierro	Fe	mg/L	0,3	1,59	0,53	0,54	X	X	X
Plomo	Pb	mg/L	0,01	0,047	0,03	0,02	X	X	X
Litio	Li	mg/L	2,5	0,025	0,004	0,0013	✓	✓	✓
Manganes o	Mn	mg/L	10	0,28	0,25	0,32	✓	✓	✓
Níquel	Ni	mg/L	0,025	0,025 3	0,013	0,02	✓	✓	✓
Fosforo	P	mg/L	15	0,12	0,12	0,1	✓	✓	✓
Selenio	Se	mg/L	0,01	0	0	0	✓	✓	✓
Plata	Ag	mg/L	0,01	0,001	0	0	✓	✓	✓
Vanadio	V	mg/L	0,1	0,004	0,005	0,0057	✓	✓	✓
Zinc	Zn	mg/L	0,18	0,14	0,27	0,37	✓	X	X
Sólidos sedimental es	SSed	mg/L	20	61	49	46	X	X	X
Sólidos suspendid os totales	SST	mg/L	220	148	230	221	✓	X	X

Sólidos totales	ST	mg/L	1600	2150	2185	2190	X	X	X
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	500	11330	7400	6800	X	X	X
Color	Color real	Unidades de color real	Inapreciable en dilución 1/20	93	67	114	X	X	X
Potencial de Hidrógeno	pH		6,5-9	4,15	4,76	3,2	X	X	X

Anexo 13. Cumplimiento de normativa nacional (Tratamiento 5)

Parámetros analizados	Expresado como	unidad	Criterio de calidad	Tratamiento 5 Mina 1 (2 ml)	Tratamiento 5 Mina 2 (2 ml)	Tratamiento 5 Mina 2 (2 ml)	Cumplimiento		
Aluminio	Al	mg/L	5	4,35	3,54	4,96	✓	✓	✓
Arséni	As	mg/L	0,1	0,03	0,03	0,03	✓	✓	✓

co									
Bario	Ba	mg/L	1	0,4	0,4	0,5	✓	✓	✓
Berilio	Be	mg/L	0,1	0	0	0	✓	✓	✓
Boro	B	mg/L	0,75	0,04	0,13	0,07	✓	✓	✓
Cadmi o	Cd	mg/L	0,00 1	0,002	0,003	0,006	x	x	x
Cromo	Cr	mg/L	0,05	0,012	0,003	0,005	✓	✓	✓
Cobalt o	Co	mg/L	0,2	0,002	0,004	0,002	✓	✓	✓
Cobre	Cu	mg/L	0,02	0,15	0,34	0,3	x	x	x
Hierro	Fe	mg/L	0,3	0,51	0,46	0,44	x	x	x
Plomo	Pb	mg/L	0,01	0,02	0,023	0,026	x	x	x
Litio	Li	mg/L	2,5	0,003 7	0,006	0,0043	✓	✓	✓
Manga neso	Mn	mg/L	10	0,28	0,27	0,22	✓	✓	✓
Níquel	Ni	mg/L	0,02 5	0,026	0,02	0,023	x	✓	✓
Fosfor o	P	mg/L	15	0,13	0,11	0,12	✓	✓	✓
Seleni	Se	mg/L	0,01	0	0	0	✓	✓	✓

o									
Plata	Ag	mg/L	0,01	0	0	0	✓	✓	✓
Vanadio	V	mg/L	0,1	0,0077	0,002	0,005	✓	✓	✓
Zinc	Zn	mg/L	0,18	0,33	0,31	0,28	x	x	x
Sólidos sedimentables	SSed	mg/L	20	0,33	0,5	1,77	✓	✓	✓
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	220	182	153	423	✓	✓	x
Sólidos totales	ST	mg/L	1600	1330	812	1169	✓	✓	✓
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	500	11570	10470	9470	x	x	x
Color	Color	Unidad	Inap	93	112	59	x	x	x

	real	des de color real	reci able en dilu ción 1/20						
Poten cial de Hidróg eno	pH		6,5- 9	7,06	5,45	3,27	✓	x	x

Anexo 14. Cumplimiento de normativa internacional (Tratamiento 1)

Pará metros analiza dos	Expres ado como	unida d	Criterio de calidad	Tratamie nto 1 nivel 1 (2 ml)	Tratamien to 1 nivel 2 (4,5 ml)	Cumplimient o	
Bario	Ba	mg/L	1	0,2	0,3	✓	✓
Berilio	Be	mg/L	1	0	0	✓	✓
Boro	B	mg/L	1	0,15	0,17	✓	✓
Cobalt o	Co	mg/L	1	0,0013	0,001	✓	✓
Hierro	Fe	mg/L	2	0,33	0,2	✓	✓
Magne sio	Mg	mg/L	1	43	44	x	x
Manga neso	Mn	mg/L	1	0,12	0,12	✓	✓
Vanadi o	V	mg/L	1	0,0013	0,002	✓	✓

Sólidos en suspensión	SST	mg/L	25	30	22	x	✓
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	30	3300	1600	x	x
Color	Color real	mg Pt:Co	200	2	6	✓	✓
Potencial de Hidrógeno	pH	Ud de pH	5,5 – 9	7,3	7,3	✓	✓
Conductividad eléctrica	CE	us/cm	1000	752	745	✓	✓

Anexo 15. Cumplimiento de normativa internacional (Tratamiento 2)

Parámetros analizados	Expresado como	unidad	Criterio de calidad	Tratamiento 2 nivel 2 (2 ml)	Tratamiento 2 nivel 2 (4,5 ml)	Cumplimiento	
Bario	Ba	mg/L	1	0,38	0,53	✓	✓
Berilio	Be	mg/L	1	0	0	✓	✓
Boro	B	mg/L	1	0,003	0,004	✓	✓
Cobalto	Co	mg/L	1	0,02	0,02	✓	✓
Hierro	Fe	mg/L	2	1,24	0,77	✓	✓

Magnesio	Mg	mg/L	1	27	29	x	x
Manganeso	Mn	mg/L	1	0,38	0,39	✓	✓
Vanadio	V	mg/L	1	0,002	0,0017	✓	✓
Sólidos en suspensión	SST	mg/L	25	8	16	✓	x
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	30	3970	2470	x	x
Color	Color real	mg Pt: Co	200	14	11	✓	✓
Potencial de Hidrógeno	pH	Ud de pH	5,5 – 9	5,64	5,43	✓	x
Conductividad eléctrica	CE	us/cm	1000	706	744	✓	✓

Anexo 16. Cumplimiento de normativa internacional (Tratamiento 3)

Parámetros analizados	Expresado como	unidad	Criterio de calidad	Tratamiento 1 nivel 3 (2 ml)	Tratamiento 3 nivel 2 (4,5 ml)	Cumplimiento	
Bario	Ba	mg/L	1	0,32	0,33	✓	✓

Berilio	Be	mg/L	1	0	0	✓	✓
Boro	B	mg/L	1	0,01	0,01	✓	✓
Cobalto	Co	mg/L	1	0,16	0,16	✓	✓
Hierro	Fe	mg/L	2	2,25	2,2	x	x
Magnesio	Mg	mg/L	1	24	23	x	x
Manganeso	Mn	mg/L	1	4	4	x	x
Vanadio	V	mg/L	1	0	0	✓	✓
Sólidos en suspensión	SST	mg/L	25	36	24	✓	x
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	30	8130	5230	x	x
Color	Color real	mg Pt:Co	200	8	18	✓	✓
Potencial de Hidrógeno	pH	Ud de pH	5,5 – 9	3,79	3,83	x	x
Conductividad eléctrica	CE	us/cm	1000	578	516	✓	✓

Anexo 17. Cumplimiento de normativa internacional (Tratamiento 4)

Parámetros analizados	Expresado como	unidad	Criterio de calidad	Tratamiento 1 nivel 4 Mina 1(2 ml)	Tratamiento 4 Mina 2 (2 ml)	Tratamiento 4 Mina 3 (2 ml)	Cumplimiento		
							✓	✓	✓
Bario	Ba	mg/L	1	0,48	0,31	0,42	✓	✓	✓
Berilio	Be	mg/L	1	0	0	0	✓	✓	✓
Boro	B	mg/L	1	0,16	0,11	0,06	✓	✓	✓
Cobalto	Co	mg/L	1	0,01	0,001	0,011	✓	✓	✓
Hierro	Fe	mg/L	2	12	4	4	x	x	x
Magnesio	Mg	mg/L	1	0,004	0,005	0,005	✓	✓	✓
Manganeso	Mn	mg/L	1	0,02	0,01	0,02	✓	✓	✓
Vanadio	V	mg/L	1	0,003	0	0	✓	✓	✓
Sólidos en suspensión	SST	mg/L	25	148	230	220	✓	✓	✓
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	30	11330	7400	6800	x	x	x
Color	Color real	mg Pt:Co	200	93	67	114	✓	✓	✓
Potencial	pH	Ud de	5,5 – 9	4,15	4,76	3,3	x	x	x

de Hidrógeno		pH							
Conductividad eléctrica	CE	us/cm	1000	1406	1322	1123	x	x	x

Anexo 18. Cumplimiento de normativa internacional (Tratamiento 5)

Parámetros analizados	Expresado como	unidad	Criterio de calidad	Tratamiento 5 Mina 1(2 ml)	Tratamiento 5 Mina 2 (2 ml)	Tratamiento 5 Mina 3 (2 ml)	Cumplimiento		
Bario	Ba	mg/L	1	0,41	0,42	0,51	✓	✓	✓
Berilio	Be	mg/L	1	0	0	0	✓	✓	✓
Boro	B	mg/L	1	0,04	0,13	0,07	✓	✓	✓
Cobalto	Co	mg/L	1	0,0023	0,0043	0,0027	✓	✓	✓
Hierro	Fe	mg/L	2	4	3	4	x	x	x
Magnesio	Mg	mg/L	1	34	39	34	x	x	x
Manganeso	Mn	mg/L	1	0,28	0,27	0,22	✓	✓	✓
Vanadio	V	mg/L	1	0,0077	0,002	0,005	✓	✓	✓

Sólidos en suspensión	SST	mg/L	25	182	153	423	x	x	x
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	30	11570	10470	9470	x	x	x
Color	Color real	mg Pt:Co	200	93	112	59	✓	✓	✓
Potencial de Hidrógeno	pH	Ud de pH	5,5 – 9	7,06	5,45	3,27	✓	x	x
Conductividad eléctrica	CE	us/cm	1000	1025	948	627	x	x	x

