

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO



T E S I S

**Evaluación de metales pesados del agua generado por los
procesos metalúrgicos y propuesta de tratamiento en
Compañía Minera Caolín – 2023**

Para optar el grado académico de Maestro en

Gestión del Sistema Ambiental

Autor:

Bach. Euclides GONZALES CAJAHUAMAN

Asesor:

Mg. Carlos Edwin ROJAS VICTORIO

Cerro de Pasco – Perú – 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO



T E S I S

**Evaluación de metales pesados del agua generado por los
procesos metalúrgicos y propuesta de tratamiento en
Compañía Minera Caolín – 2023**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

**Dr. Eusebio ROQUE HUAMAN
PRESIDENTE**

**Mg. Jonás Ananías RAMOS MARTÍNEZ
MIEMBRO**

**Mg. David Odon SOSA POMA
MIEMBRO**



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Escuela de Posgrado
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 0117-2024- DI-EPG-UNDAC

La Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por:
Euclides GONZALES CAJAHUAMAN

Escuela de Posgrado:
MAESTRÍA EN GESTIÓN DEL SISTEMA AMBIENTAL

Tipo de trabajo:
TESIS

TÍTULO DEL TRABAJO:
“EVALUACIÓN DE METALES PESADOS DEL AGUA GENERADO POR LOS PROCESOS METALÚRGICOS Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO EN COMPAÑÍA MINERA CAOLÍN - 2023”

ASESOR (A): Mg. Carlos Edwin ROJAS VICTORIO

Índice de Similitud:
19%

Calificativo
APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 25 de junio del 2024



Firmado digitalmente por:
BALDEON DIEGO Jheysen
Luis FAU 20154805048 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 26/06/2024 19:31:37-0500

DOCUMENTO FIRMADO DIGITALMENTE
Dr. Jheysen Luis BALDEON DIEGO
DIRECTOR

DEDICATORIA

El presente lo dedico a DIOS JEHOVA por todas las bendiciones, también a mis padres Ginez GONZALES ORTEGA y Martha Angélica CAJAHUAMAN POMACINO por su inmenso apoyo en cada etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A mi Alma Mater, la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, a los docentes que, con sus conocimientos, enseñanzas fueron parte de mi formación profesional y a mis colegas de trabajo por los consejos para desarrollar eficazmente este trabajo de investigación.

Al gerente general, profesionales y trabajadores de la Compañía Minera por brindarme las facilidades necesarias para el desarrollo oportuno del este trabajo de investigación.

Agradecimiento especial al Ing. Carlos Edwin ROJAS VICTORIO, por sus consejos y excelente asesoramiento que hizo posible cumplir los objetivos propuestos de la presente investigación.

RESUMEN

Según el Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales, estipulados por la Escuela de Posgrado, de la “Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión” presento el trabajo de Tesis Intitulada “**Evaluación de metales pesados del agua generado por los procesos metalúrgicos y propuesta de tratamiento en Compañía Minera Caolín – 2023**” con la finalidad de optar el grado de Maestro en Gestión del Sistema Ambiental.

La investigación evalúa el grado de contaminación por metales pesados en el agua, provenientes de los procesos operativos de Minera Caolín, lo que será de gran provecho para proponer tratamiento del agua con el fin de cumplir con los Límites Máximos Permisibles y de información para prevenir los efectos ambientales.

Finalizada la investigación, se pudo corroborar mediante resultado, que la concentración de metales pesados en el agua que genera la minera Caolín, sobrepasan los Límites Máximos Permisibles dispuestos en el D.S. N° 010-2010-MINAM “Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas”, pues se pudo identificar la concentración promedio en el relave de Zn 6.82 mg/L, Cu 3.52 mg/L, Fe 14.38 mg/L, Pb 5.54 mg/L, As 6.25 mg/L, CN 1.64 mg/L y sólidos totales en suspensión 480 mg/L y aceites y grasas en 31.6 mg/L valores que exceden lo permitido por LMP según D.S. N° 010-2010-MINAM, por lo que si no se trata eficientemente antes de su vertimiento significaría de manera inminente impactos ambientales negativos, así como la afectación a la salud de la población del entorno, así como a las actividades que se desarrollan tales como la ganadería y agricultura. Lo que refirió proponer tratamiento del agua para su vertimiento, se planteó la propuesta de la Planta de Tratamiento de agua para efluentes de Cía. Minera Caolín en dos circuitos, que consta de un acondicionador como regulador de pH usando el hidróxido de Calcio al 2%,

dos tanques de neutralización, un clarificador, poza rompe presión, dos pozas de sedimentación donde se usa el floculante aniónico y tres pozas de clarificación. Se realizó las pruebas piloto en laboratorio, lo que resulto el efluente tratado con concentraciones de Cd Total 0.007 mg/L, Hg Total 0.0015 mg/L, Zn Total 0.855 mg/L, Cr Hexavalente 0.074 mg/L, Cu 0.395 mg/L, Fe disuelto 1.052 mg/L, Pb Total 0.108 mg/L, As Total 0.068 mg/L, CN Total 0.716 mg/L, Solidos Totales en suspensión 43 mg/L, pH de 8.05, Aceites y Grasas 16.20 mg/L lo que significa la alta eficiencia del proceso que cumple con los Límites Máximos Permisibles para descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas según lo dispuesto en el D.S. N° 010-2010-MINAM, lo que significó el cumplimiento de los objetivos del presente trabajo de investigación, concientizando en promover un minería responsable, respetuosa del medio ambiente y de beneficio para la población en general.

Palabras clave: Metales pesados, Límites Máximos Permisibles, Tratamiento de agua, Compañía minera Caolín.

ABSTRACT

According to the General Regulations of Academic Degrees and Professional Titles, stipulated by the Graduate School, of the “Daniel Alcides Carrión National University”, I present the thesis work entitled “Evaluation of heavy metals in water generated by metallurgical processes and treatment proposal in Caolín Mining Company – 2023” with the purpose of opting for the degree of Master in Environmental System Management.

The research evaluates the degree of contamination by heavy metals in the water, coming from the operational processes of the Kaolín Mining, which will be of great benefit to propose water treatment in order to comply with the Maximum Permissible Limits and information to prevent environmental effects.

Once the investigation was completed, it was possible to corroborate through results that the concentration of heavy metals in the water generated by the Kaolin mining company exceeds the Maximum Permissible Limits established in the D.S. N° 010-2010-MINAM “Maximum Permissible Limits for the discharge of liquid effluents from Mining-Metallurgical Activities”, since the average concentration in the tailings of Zn 6.82 mg/L, Cu 3.52 mg/L, Fe 14.38 mg/L , Pb 5.54 mg/L, As 6.25 mg/L, CN- 1.64 mg/L and total suspended solids 480 mg/L and oils and greases at 31.6 mg/L values that exceed what is allowed by LMP according to D.S. N° 010-2010-MINAM, so if it is not treated efficiently before dumping it would imminently mean negative environmental impacts, as well as affecting the health of the surrounding population, as well as the activities that are carried out such. such as livestock and agriculture. What referred to proposing water treatment for discharge, the proposal of the Water Treatment Plant for Cía effluents was raised. Kaolin mining in two circuits, which consists of a conditioner as a pH regulator using 2% calcium hydroxide, two neutralization tanks, a clarifier, a pressure-breaking

pond, two sedimentation ponds where the anionic flocculant is used and three clarification. Pilot tests were carried out in the laboratory, resulting in the treated effluent with concentrations of Total Cd 0.007 mg/L, Total Hg 0.0015 mg/L, Total Zn 0.855 mg/L, Hexavalent Cr 0.074 mg/L, Cu 0.395 mg/L , Dissolved Fe 1.052 mg/L, Total Pb 0.108 mg/L, Total As 0.068 mg/L, CN- Total 0.716 mg/L, Total Solids in suspension 43 mg/L, pH 8.05, Oils and Fats 16.20 mg/L which means the high efficiency of the process that complies with the Maximum Permissible Limits for the discharge of liquid effluents from mining and metallurgical activities as provided in the D.S. N° 010-2010-MINAM, which meant the fulfillment of the objectives of this research work, raising awareness of promoting responsible mining, respectful of the environment and of benefit to the population in general.

Keywords: Heavy metals, Maximum Permissible Limits, Water treatment, Caolín mining company.

INTRODUCCIÓN

La actual investigación tiene por objetivo, cumplir con los “Límites Máximos Permisibles para descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas” en la Compañía Minera Caolín, basado en la evaluación de los metales pesados presentes en el agua generada post procesos, incluyendo la propuesta de tratamiento de acuerdo a la cantidad de contaminantes, siendo así el dimensionamiento mediante modelos matemáticos en los procesos de neutralización, acondicionamiento, sedimentación, clarificación que servirán para diseñar la propuesta de tratamiento de efluentes con el fin de cumplir con lo exigido en el D.S. N° 010-2010-MINAM. De esta manera se busca mitigar los impactos ambientales que se pudieran ocasionar dentro de las zonas, población, flora y fauna relacionada con la actividad de la minera, así mismo concientizar a la población e instituciones relacionadas con el cuidado y protección del medio ambiente, tomando así el interés para proteger y conservar de la biodiversidad del lugar, evitando de esta manera influir negativamente en la contaminación quizás irreversible que se pudiera ocasionar.

El presente trabajo de investigación tomo como referencia lo realizado por **Salas Urviola (2014)**, En su estudio, “Determinación de metales pesados en las aguas del río Ananea debido a la actividad minera aurífera, Puno – Perú”, donde se adoptó como metodología la Espectrometría de Absorción Atómica utilizando la tecnología ICP (Inductively Coupled Plasma) durante 3 eventos de muestreo en Marzo, Junio y Agosto, enfocándose en la concentración de los siguientes metales pesados Hg, As, Cr, Cd, Cu, Zn y Pb. Determinándose que el total de metales, a excepción del Hg y Cd, resultaron muy por encima de lo permitido respecto a los Límites Máximos Permisibles. Lo que indica que la actividad minera está causando una grave contaminación, con los impactos biológicos y ecológicos previstos en los organismos de interés a medio y largo plazo.

Además, la población usuaria del agua, también se ve afectada por algunos de los metales analizados.

El autor

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	2
1.3. Formulación del problema.....	4
1.3.1. Problema general	4
1.3.2. Problemas específicos	4
1.4. Formulación de objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivo específicos	5
1.5. Justificación de la investigación	5
1.5.1. Justificación Teórica.....	5
1.5.2. Justificación Practica	6
1.5.3. Justificación Social.....	6
1.6. Limitaciones de la investigación.....	7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio	8
2.1.1.	Antecedentes Nacionales	8
2.1.2.	Antecedentes Internacionales	10
2.2.	Bases teóricas - científicas.....	12
2.3.	Definición de términos básicos	35
2.4.	Formulación de hipótesis	39
2.4.1.	Hipótesis general	39
2.4.2.	Hipótesis específicas	39
2.5.	Identificación de variables.....	40
2.5.1.	Variable Independiente.....	40
2.5.2.	Variable dependiente	40
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores.....	40

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación	42
3.2.	Nivel de investigación.....	42
3.3.	Métodos de investigación	43
3.4.	Diseño de investigación	43
3.5.	Población y muestra	43
3.5.1.	Población	43
3.5.2.	Muestra	46
3.6.	Técnicas e instrumento de recolección de datos.....	50

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	52
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	52
3.9. Tratamiento estadístico	52
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica.....	52

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	54
4.1.1. Coordenadas de Ubicación de los puntos de monitoreo.....	57
4.1.2. Parámetros de Monitoreo	61
4.1.3. Parámetros Físico- Químicos	62
4.1.4. Operaciones metalúrgicas de la minera caolin	63
4.1.5. Diseño de la propuesta de planta de tratamiento	66
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados	76
4.2.1. Resultados de análisis de monitoreo.....	76
4.2.2. Resultados diseño de planta de tratamiento.....	97
4.3. Prueba de hipótesis	105
4.4. Discusión de resultados.....	107

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas de ubicación.....	3
Tabla 2: Operacionalización de variables e indicadores	40
Tabla 3: Punto de ubicación de estación de monitoreo – Compañía Minera Caolín ...	46
Tabla 4: Punto de ubicación de estación de monitoreo – Cuerpo Receptor.....	48
Tabla 5: Instrumento de recolección de datos de información.....	51
Tabla 6: Coordenadas de ubicación de los puntos de monitoreo para evaluar la calidad de efluentes	57
Tabla 7: Parámetros de monitoreo y metodología usada para la evaluación de agua ..	61
Tabla 8: Parámetros de monitoreo Físico – Químicos aplicado al trabajo de investigación para evaluación de agua	63
Tabla 9: Datos obtenidos de minera Caolín	66
Tabla 10: Volumen Acondicionador de hidróxido de calcio	67
Tabla 11: Dimensiones de Tanque de Neutralización.....	69
Tabla 12: Determinación de la profundidad del clarificador	71
Tabla 13: Dimensiones del Clarificador.....	72
Tabla 14: Dimensiones de Pozo Rompe Presión.....	73
Tabla 15: Dimensiones de Pozo de Sedimentación.....	74
Tabla 16: Dimensiones de Pozo de clarificación	76
Tabla 17: Resultados Según Puntos de Monitoreo de Efluentes Minera Caolín - Junio	77
Tabla 18: Resultados Según Puntos de Monitoreo de Efluentes Minera Caolín - Junio	78
Tabla 19: Resultados Según Puntos de Monitoreo de Efluentes Minera Caolín - Julio	79

Tabla 20: Resultados Según Puntos de Monitoreo de Efluentes Minera Caolín - Julio	80
Tabla 21: Resultados Según Puntos de Monitoreo de Efluentes Minera Caolín - Agosto	81
Tabla 22: Resultados Según Puntos de Monitoreo de Efluentes Minera Caolín - Agosto	82
Tabla 23: Resultado Prueba de Jarras sin Floculante	98
Tabla 24: Resultado Prueba de Jarras con Floculante e hidróxido de calcio	98
Tabla 25: Resultado de Efluente tratado en planta de tratamiento de agua	103
Tabla 26: Resultado Prueba de Normalidad	106

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación.....	3
Figura 2: Ciclo del Agua.....	13
Figura 3: Efluente de planta de procesamiento de minerales.....	30
Figura 4: Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas	31
Figura 5: Exigencia de Límites Máximos Permisibles de efluentes	32
Figura 6: Proceso de tratamiento de efluente de mina	34
Figura 7: Calculo del area de la Unidad Minera Caolín y centro poblado Yacutinco .	45
Figura 8: Puntos de monitoreo dentro de la unidad minera según las coordenadas de visita en campo	47
Figura 9: Puntos de Monitoreo de cuerpo receptor	49
Figura 10: Mapa de Localización del centro poblado de Yacutinco.....	56
Figura 11: Puntos de monitoreo General para evaluación de metales pesados en agua	59
Figura 12: Coordenadas de ubicación para Evaluación de metales pesados en agua ..	60
Figura 13: Flowsheet planta concentradora polimetálica compañía minera CAOLIN .	65
Figura 14: Flowsheet planta de tratamiento de agua – Cía. Minera Caolín.....	99
Figura 15: Flowsheet planta de tratamiento de agua recirculación – Cía. Minera Caolín	102
Figura 16: Resultado de Prueba de Hipótesis	107

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Concentración de Cadmio Total según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos	83
Gráfico 2: Concentración de Mercurio Total según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos	84
Gráfico 3: Concentración de Zinc Total según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos	85
Gráfico 4: Concentración de Cromo Hexavalente según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos	86
Gráfico 5: Concentración de Cobre Total según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos	87
Gráfico 6: Concentración de Hierro disuelto según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos	88
Gráfico 7: Concentración de Plomo Total según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos	89
Gráfico 8: Concentración de Arsenico Total según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos	90
Gráfico 9: Concentración de Cianuro Total según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos	91
Gráfico 10: Concentración de Solidos Totales en suspensión según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos.....	92
Gráfico 11: Concentración de pH según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos.....	93
Gráfico 12: Concentración de Aceites y Grasas según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos	94

Gráfico 13: Resultado de efluente tratado en cumplimiento a limites maximos permisibles.....	104
---	-----

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

Las aguas utilizadas por las mineras polimetálicas requieren ser evaluadas antes de ser vertidos a los cuerpos receptores con el fin de no afectar a la calidad de agua de los cuerpos receptores, esto implica realizar una investigación acerca de la concentración de metales pesados que contienen estas aguas después de ser utilizadas en los procesos operativos de la minera Caolín, así como los parámetros físicos y químicos que si son vertidas sin ser evaluadas, pueden ser perjudiciales para la población del entorno, así como a la ganadería y agricultura desarrollada en las zonas aledañas a las operaciones de la Minera.

El presente estudio sirve para que la Minera Caolín e instituciones relacionadas con el cuidado y protección del medio ambiente sean concientes de la importancia del cuidado y conservación de la biodiversidad del lugar; también para que través de la propuesta de tratamiento de las aguas industriales se logre cumplir con lo estipulado en relación a los Límites Máximos Permisibles para

descarga de efluentes Minero Metalúrgicas evitando de esta manera influir negativamente en la contaminación del cuerpo receptor.

Del mismo modo sirve de fundamento para futuras investigaciones sobre este tema y otros en el que se precise estudios ambientales, y en la mayoría de los casos informa a las empresas mineras que los daños que se pueden causar son irreversibles y por lo tanto destruyen el ecosistema de la zona.

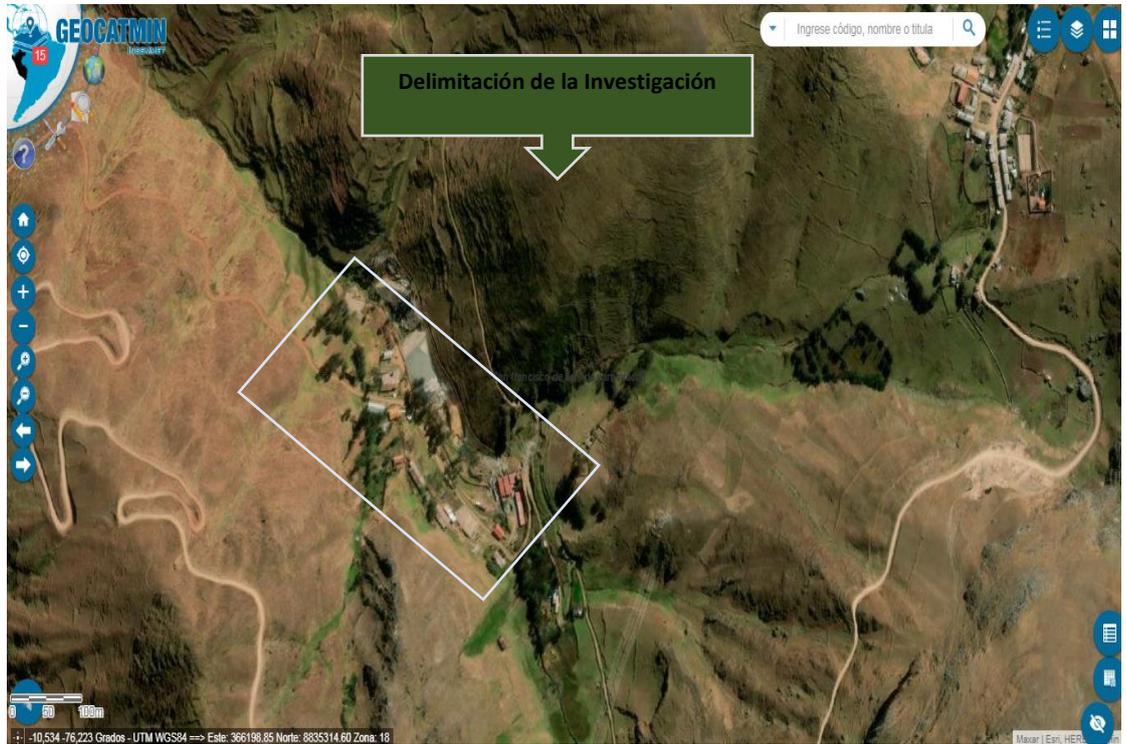
1.2. Delimitación de la investigación

Espacio

El desarrollo de esta investigación se llevo a cabo en las instalaciones de la Compañía minera Caolín

- ✓ **Distrito:** San Francisco de Asis de Yarusyacan
- ✓ **Centro Poblado:** Yacutinco
- ✓ **Provincia:** Pasco
- ✓ **Departamento:** Pasco

Figura 1:
Mapa de ubicación



Fuente: Geotcamin – Elaboración propia

Tabla 1:
Coordenadas de ubicación

COORDENADAS DE UBICACIÓN	
E	: 365843.04
N	: 8835083.73
ZONA:	18

Fuente: Elaboración propia

Temporal

EL periodo de investigación del presente estudio se dio durante 08 meses del año 2023

Social

Se delimito a la población del entorno de influencia y a los trabajadores de la Compañía minera Caolín

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿De qué manera se realizará la evaluación de metales pesados del agua generado por los procesos metalúrgicos y la propuesta de tratamiento en compañía minera Caolín - 2023?

1.3.2. Problemas específicos

- ✓ ¿Cuáles son los procesos metalúrgicos que afectan la concentración de metales pesados del agua generado por Compañía Minera Caolín - 2023?
- ✓ ¿De qué manera se evaluará la concentración en mg/L de los metales pesados del agua generado por los procesos metalúrgicos de Compañía minera Caolín - 2023?
- ✓ ¿En qué medida mejorara la propuesta de tratamiento para cumplir con los dispuesto en el D.S. 010-2010-MINAM en las aguas generadas por los procesos metalúrgicos de Compañía Minera Caolín?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar los metales pesados del agua generado por los procesos metalúrgicos y la propuesta de tratamiento en compañía minera Caolín – 2023

1.4.2. Objetivos específicos

- ✓ Identificar los procesos metalúrgicos que afectan la concentración de metales pesados del agua generado por Compañía Minera Caolín - 2023
- ✓ Determinar la concentración en mg/L de los metales pesados del agua generado por los procesos metalúrgicos de Compañía minera Caolín – 2023
- ✓ Sugerir la propuesta de tratamiento para cumplir con los dispuesto en el D.S. 010-2010-MINAM en las aguas generadas por los procesos metalúrgicos de Compañía Minera Caolín

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación Teórica

La incidencia ambiental producto de la actividad minera se da a raíz de las operaciones de extracción y procesamiento de los recursos mineros, sin tomar en cuenta donde provienen, ya sea a tajo abierto, subterráneos, proceso de flotación o lixiviación, dichas operaciones generan relaves mineros compuestos por metales pesados y productos químicos usados en el proceso minero, como ácidos, metales ionizados, el cianuro de sodio y reactivos químicos. El impacto ambiental que genera son muy graves y desestabilizan los ecosistemas, repercuten en el flujo de agua superficial y en general a la salud humana de la población del entorno, todo ello como consecuencia de una eliminación y gestión inadecuada de las relaveras, es por ello la importancia de evaluar las concentraciones de metales pesados que contienen estos efluentes antes de ser vertidos a cuerpos receptores y proponer soluciones para cumplir con los Límites Máximos Permisibles exigidos. (Ledesma Velita, 2018)

1.5.2. Justificación Práctica

En el caso de la Minera Caolín el relave generado post operaciones no es evaluado en laboratorio, para así determinar el grado de contaminación por concentración de metales pesados en los efluentes generados y tampoco tienen un tratamiento adecuado para cumplir con los Límites Máximos Permisibles exigidos por ley. Por ello con el presente trabajo de investigación se pretende proporcionar la información de las concentraciones de los metales pesados encontrados en los efluentes generados debido a las operaciones de la Minera Caolín, evaluando estos de acuerdo a los Límites Máximos Permisibles para descarga de efluente de operaciones Minero Metalúrgicas del Ministerio del Ambiente (D.S. N° 010-2010-MINAM), por consiguiente, permite entender el grado de contaminación. Los resultados obtenidos, permitirán disponer de información necesaria para la toma de decisiones sobre el tratamiento de las aguas industriales generadas por esta minera antes de ser vertidos al río. (Maguiña Sambrano, 2012)

1.5.3. Justificación Social

Los efluentes generados por la minera genera un desequilibrio en la calidad del agua y por ende en el ambiente, afectando a la población, flora y fauna del entorno de las actividades mineras, todo ello se puede llegar a controlar, evaluando la concentración de metales pesados contenidos en los efluentes y propiciando un correcto tratamiento a través de una planta de tratamiento de agua industrial para cumplir con lo dispuesto en los Límites Máximos Permisibles (D.S. N° 010-2010-MINAM), garantizando así el cuidado de los cuerpos receptores de los efluentes y área impactada, así como de su población y la sociedad en general. (Cabral Cerra, 2020)

1.6. Limitaciones de la investigación

No se tiene acceso a estudios detallados de la concentración de metales pesados en el agua post operaciones de la Minera Caolín, Yarusyacan, Provincia de Pasco.

Se tiene investigaciones realizadas en el río Tingo que es el cuerpo receptor principal de las microcuencas, entre ellas la que dota de Agua a la Minera Caolín, en donde se determinó que el “Cobre está por encima de los Estándares de Calidad Ambiental, mientras en Zinc y Plomo reportan valores inferiores a las permisibles” (Gamboa Morales, 2018)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes Nacionales

De acuerdo a Salas Urviola (2014), En su estudio intitulado, “Determinación de metales pesados en las aguas del río Ananea debido a la actividad minera aurífera, Puno – Perú”, donde se usó la Espectrometría de Absorción Atómica utilizando la tecnología Inductively Coupled Plasma ICP, que consistió en realizar 3 eventos de muestreo en Marzo, Junio y Agosto, enfocándose en la concentración de los siguientes metales pesados Hg, As, Cr, Cd, Cu, Zn y Pb. Determinándose que el total de metales, a excepción del Hg y Cd, resultaron muy por encima de lo permitido respecto a los Límites Máximos Permisibles. Lo que indica que la actividad minera está causando una grave contaminación, con los impactos biológicos y ecológicos previstos en los organismos de interés a medio y largo plazo. Además, la población usuaria del agua, también se ve afectada por algunos de los metales analizados.

Según, Huaranga Moreno et al. (2012) en su publicación “Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche, 1980 – 2010, La Libertad – Perú” determino la concentración de Fe, Cu, Pb, Cd, As, Zn, presentes en las corrientes de agua, suelos y cultivos de la cuenca del río Moche, para ello mediante ocho estaciones y cuatro sectores, arrojando como resultado en la cuenca alta y baja de Fe 557 ppm, 83.4 ppm; Pb 100 ppm, 0.82 ppm; Cd 4.5 ppm, 0.012 ppm; Cu 6.9 ppm, 1.24 ppm; Zn 262 ppm, 0.38 ppm y As 9 ppm, 0.016 ppm respectivamente. Con respecto a la concentración en los cultivos se obtuvieron resultados en partes por millón de Fe 0.65, encontrándose en el cultivo de la Yuca. Según estos resultados se llego a la conclusión que en la cuenca alta se produjo mayor contaminación del recurso hídrico, mientras que el cultivo que presento mayor contaminación fue la *Manihot esculentus* (Yuca) presente en la cuenca media.

Según **Capacoila Coila** (2017) en su Tesis “Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas superficiales del rio Coata” se centró en determinar la concentración de Al, Cd, Cr, Fe, Mn, y Hg evaluando de esa manera el grado de contaminación de sus aguas superficiales, debido a que la población consume directamente el agua de las riberas del rio, contaminándose así por la gran cantidad de agua residual y residuos generados en la ciudad de Juliaca. Según lo dicho se utilizó la siguiente metodología en donde se determinó los puntos de muestreo y bajo ciertos periodos de muestreo donde se tomaron muestras de agua superficial, presentando como resultado Al 1.043 ppm, Cd 0.005 ppm, Cromo 0.006 ppm, Fe 0.856 ppm, Mn 0.460 ppm y Hg 0.002 ppm. Se concluyo que los niveles de Al, Fe, Mn superan los permitido, en tanto el Cd,

Cr, Hg están dentro de lo permitido en los Estándares de Calidad Ambiental para Agua del Ministerio del Ambiente.

2.1.2. Antecedentes Internacionales

Según, **Gómez Álvarez et al. (2004)** en su Publicación “Metales pesados en el agua superficial del río San Pedro durante 1997 y 1999”, el propósito fue examinar los niveles y distribución de metales pesados totales (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn), el pH, la conductividad eléctrica y los sulfatos en el agua superficial del río San Pedro. Se siguió la metodología recomendada por la Comisión Nacional del Agua (CNA 1993), el Field Manual for Water Quality Sampling (AWRC y ADEQ 1995) y el Handbook for Sampling and Sample Preparation of Water and Wastewater (EPA 1982). Los resultados muestran la presencia de altos niveles de algunos metales pesados totales (Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn), conductividad eléctrica y sulfatos. Además, se observaron valores bajos de pH en ambas etapas, especialmente en las estaciones de muestreo cercanas a la explotación minera. Se concluye que la explotación minera en la región es la principal fuente de contaminación del río San Pedro, mientras que las descargas de aguas residuales sin tratamiento de la ciudad de Cananea son consideradas la segunda fuente de contaminación más significativa de este río.

Según, **Arranz González & Cala Rivero (2011)** en su Investigación “Evaluación de la movilidad de metales pesados en residuos mineros de flotación de minería metálica en la provincia de Huelva”, el propósito fue investigar la movilidad de Ag, As, Cu, Pb y Zn en muestras compuestas superficiales (0-20 cm) de diversas presas de lodos piríticos en la provincia de Huelva, España. Para ello, se empleó una metodología que incluyó la caracterización físico-química, mineralógica (utilizando Difracción de Rayos X), extracción secuencial en siete

fracciones y el test TCLP (Procedimiento de Lixiviación Característica de Toxicidad). Los resultados indicaron que los valores de pH permanecieron estables (cerca de 4,97) después de la adición del reactivo de extracción del método TCLP, lo cual difirió significativamente de los valores de pH de los extractos acuosos. Esto podría resultar en una subestimación de las formas movilizables en comparación con la solubilidad en agua. Se concluyó que, debido a la presencia de minerales específicos o a la preferencia del ión acetato por algunos elementos, la evaluación de la movilidad de metales en los lodos piríticos a través del ensayo TCLP plantea interrogantes.

Según **Vera Cabezas et al.** (2016) en su Publicación “Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como Biosorbente”, el objetivo del estudio se centró en la utilización del bagazo de caña de azúcar como biosorbente para la eliminación de plomo y cadmio de las aguas residuales mineras. La metodología empleada incluyó el análisis elemental del bagazo para determinar el porcentaje de carbono, hidrógeno y nitrógeno en muestras en estado sólido y líquido, así como análisis de infrarrojo para identificar grupos funcionales característicos y microscopía electrónica de barrido (SEM) para la caracterización morfológica del bagazo de caña. Además, se utilizó el Método de la derivada del pH para calcular el punto de carga cero. Los resultados mostraron que para el plomo se logró una remoción del 97.66% a un pH de 5, mientras que para el cadmio se obtuvo una remoción del 77.81% a un pH de 6. Se concluyó que, al aumentar la concentración de la especie metálica, se incrementó la capacidad máxima de biosorción del bagazo de caña. Se observó que el proceso de biosorción del plomo fue más eficiente a un pH de 5, con una

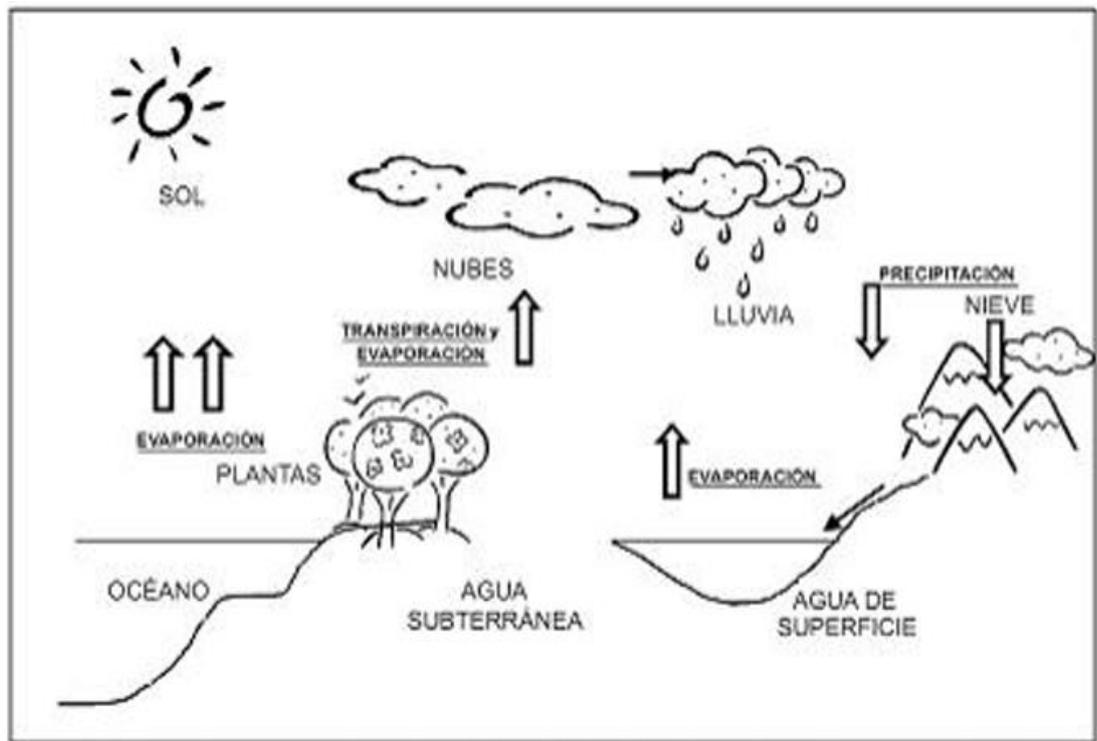
remoción del 97.66%, mientras que, para el cadmio, se logró una remoción del 80% a un pH de 6.

2.2. Bases teóricas - científicas

El Agua

(Fernández Cirelli, 2012) “El agua desempeña un papel fundamental en la existencia y progreso de las sociedades, siendo un elemento esencial para la vida. Abarcando más del 70% de la superficie terrestre, se distribuye en una variedad de formas, desde océanos y ríos hasta lagos y el subsuelo. Es la base misma de la vida, regula el clima global y moldea activamente el entorno terrestre. Sus propiedades únicas la convierten en un recurso vital: actúa como un solvente versátil, participa en procesos metabólicos cruciales y exhibe una alta capacidad para retener calor, además de expandirse al congelarse. La mayor parte del agua del planeta, cerca del 97.5%, reside en los océanos, dejando apenas un 2.5% como agua dulce. De esta fracción, los glaciares y el hielo polar representan aproximadamente el 80%, seguidos por el agua subterránea con un 19%, y solo un mínimo 1% está disponible fácilmente en la superficie, principalmente en forma de lagos (52%) y humedales (38%).”

Figura 2:
Ciclo del Agua



Fuente: (Fernández Cirelli, 2012)

Usos del agua

La demanda del agua siempre estará dada por los usos naturales sumado a los usos antrópicos.

Usos naturales

- ✓ Ríos
- ✓ Plantas
- ✓ Ecosistemas
- ✓ Transporte de sedimentos
- ✓ Reservas naturales

Los usos Antrópicos

- ✓ Domestico
- ✓ Recreación

- ✓ Agricultura
- ✓ Ganadería
- ✓ Minería
- ✓ Industria
- ✓ Energía

Indicadores de la calidad del agua

La noción de calidad del agua es un tema complejo que presenta desafíos en su definición. Se enfoca en dos aspectos fundamentales: la composición química y la cantidad de elementos presentes en el agua. Sin embargo, existe un tercer aspecto, externo a las características inherentes del agua, que radica en las necesidades específicas de cada uso del recurso hídrico. Los indicadores son herramientas que reflejan una cualidad o característica del agua sujeta a evaluación. A menudo, se recurre a parámetros físicos, químicos y biológicos como indicadores para valorar su calidad.

Indicadores físicos

Entre los indicadores físicos se definen los siguientes:

- ✓ Turbidez
- ✓ sólidos en suspensión
- ✓ color
- ✓ olor y sabor
- ✓ temperatura
- ✓ conductividad

La turbidez es un parámetro comúnmente utilizado en aguas naturales como un indicador de la presencia de sólidos, especialmente coloidales. Estos sólidos pueden ser el resultado de la erosión y transporte de materia coloidal,

como arcilla, fragmentos de roca y sustancias del lecho, por parte de los ríos en su curso. También pueden provenir de la descomposición de fibras vegetales y de los aportes de aguas residuales domésticas o industriales, como jabones. La medición de la turbidez se basa en la cantidad de luz que es reflejada cuando atraviesa el agua con un ángulo de 90° , lo cual es un fenómeno asociado al efecto Tyndall que caracteriza a los sistemas coloidales.

El color nos indica que La presencia de sustancias extrañas en el agua se detecta mediante indicadores que pueden ser resultado de materia en suspensión o de la existencia de sustancias disueltas. Estas sustancias pueden derivar de compuestos orgánicos naturales, como taninos y ácidos húmicos, o ser introducidas artificialmente a través de vertidos industriales. La evaluación se realiza a través de métodos espectrofotométricos, los cuales analizan el color de la luz que atraviesa una muestra de agua filtrada para determinar su color real. En el caso de compuestos disueltos que afectan el olor y sabor del agua, estos parámetros son altamente subjetivos y resulta complicado estandarizar las mediciones debido a la sensibilidad a las percepciones individuales.

La temperatura ejerce influencia sobre la mayoría de los procesos biológicos presentes en los ecosistemas acuáticos y modifica la solubilidad de los gases disueltos en el agua. Los cambios de temperatura en el agua son ocasionados por las fluctuaciones ambientales propias del ciclo estacional. Sin embargo, el factor antropogénico más relevante es la utilización del agua como agente refrigerante, especialmente en instalaciones de centrales térmicas.

La conductividad es su capacidad para conducir electricidad, la cual es resultado de las sales disueltas en ella. Este parámetro no se limita a una especie particular, sino que abarca el conjunto de iones presentes. La conductividad se ve

influenciada por la naturaleza del terreno por el que fluye el agua, así como por la presencia de vertidos de aguas residuales, ya que los iones que estas contienen no son eliminados durante los procesos de depuración. La medición de este parámetro se utiliza para detectar la presencia de vertidos y evaluar la idoneidad del agua para su reutilización en riego, y se lleva a cabo mediante un conductímetro.

Indicadores químicos

Entre los indicadores químicos tenemos

- ✓ pH
- ✓ Dureza
- ✓ oxígeno disuelto
- ✓ materia orgánica
- ✓ nutrientes, plaguicidas
- ✓ metales pesados.

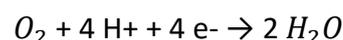
El pH es la concentración de iones hidrógeno ($\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$), influye en los equilibrios de diversas sustancias químicas, determinando su acidez o alcalinidad y afectando procesos como la solubilidad de los metales. La amplitud del rango de acidez compatible con la vida es limitada y crucial. En las aguas naturales, el pH generalmente oscila entre 6 y 9.

La dureza se define como la cantidad total de cationes multivalentes presentes, siendo los principales el calcio y el magnesio. Por lo general, se calcula sumando las concentraciones de estos dos elementos como $\text{dureza} = [\text{Ca}_2] + [\text{Mg}_2]$, expresadas en miligramos por litro de carbonato de calcio equivalente. Por ejemplo, si una muestra de agua contiene 0.0010 moles de calcio y magnesio $[\text{Ca}_2] + [\text{Mg}_2]$ por litro, su dureza se expresaría como 100 miligramos de CaCO_3 ,

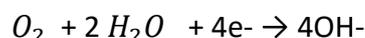
ya que la masa molar del CaCO_3 es de 100 gramos, lo que equivale a 100 mg para 0.0010 moles. La principal manifestación de la dureza del agua es la formación de sales insolubles de jabón. Las aguas se clasifican según su dureza en blandas (0-60 mg/L CaCO_3), moderadamente blandas (60-120 mg/L CaCO_3) y duras (>120 mg/L CaCO_3). La dureza se determina mediante una titulación con EDTA. Si es necesario medir los niveles de calcio y magnesio por separado, se recomienda realizar la determinación mediante absorción atómica.

El oxígeno disuelto es un indicador ampliamente utilizado en el entorno fluvial debido a su participación en numerosos procesos acuáticos. Su presencia proviene del intercambio con la atmósfera y de la fotosíntesis realizada por los organismos productores primarios. Por otro lado, es consumido por microorganismos en procesos de oxidación de materia orgánica e inorgánica, así como en la respiración. Su determinación se lleva a cabo mediante el método de Winkler, que implica la precipitación del oxígeno como óxido de manganeso, su redisolución en medio ácido y la valoración mediante una técnica de yodometría. **(Baird, 2001; Peral, 2006).**

El principal agente oxidante presente en las aguas naturales es el oxígeno molecular que se encuentra disuelto, O_2 . En la reacción, cada átomo de oxígeno experimenta una reducción desde su estado de oxidación inicial, que es cero, hasta alcanzar un estado de -2 en el H_2O ó en el OH^- . La hemirreacción que tiene lugar en disolución ácida es:



mientras que la que ocurre en disolución básica es:



La cantidad de oxígeno disuelto en el agua es limitada debido a su baja capacidad de disolución, lo que resulta en una situación precaria desde la perspectiva ecológica. Para la reacción:

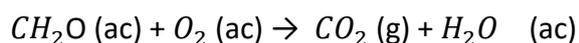


La constante de equilibrio relevante en este contexto es la constante de la Ley de Henry, KH, que para el oxígeno a 25°C es $1,3 \times 10^{-3} \text{ mol } L^{-1} \text{ atm}^{-1}$:

$$KH = [O_2 (ac)]/P_{O_2} = 1,3 \times 10^{-3} \text{ mol } L^{-1} \text{ atm}^{-1}$$

Dado que la presión parcial de oxígeno, P_{O_2} , en el aire seco es de 0,21 atm, la solubilidad del O_2 es de 8,7 miligramos por litro de agua (87 ppm). Debido a que las solubilidades de los gases aumentan a medida que la temperatura disminuye, la cantidad de O_2 disuelta a 0°C (14,7 ppm) es mayor que la cantidad disuelta a 35°C (7,0 ppm).

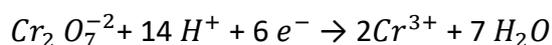
La materia orgánica se define como un conjunto de compuestos con una variedad de composiciones y estructuras químicas, pero comparten una característica común: su capacidad para reaccionar con el oxígeno en un proceso de oxidación. El oxígeno disuelto en el agua oxida la materia orgánica. Para simplificar, se puede considerar que esta materia orgánica es un hidrato de carbono polimérico, como por ejemplo los tejidos vegetales, con una fórmula empírica aproximada de CH_2O . La reacción de oxidación puede expresarse como:



La capacidad de la materia orgánica en una muestra de agua natural para consumir oxígeno se conoce como demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Se evalúa experimentalmente mediante la medición de la concentración de oxígeno

disuelto al inicio y al final de un período de cinco días, durante el cual una muestra sellada de agua se mantiene en la oscuridad a una temperatura constante, generalmente de 20 o 25°C. Las reacciones de oxidación en la muestra son catalizadas por microorganismos presentes en el agua natural. La demanda de oxígeno determinada mediante este ensayo, a menudo abreviada como BDO_5 , representa aproximadamente el 80% de la que se obtendría si el experimento se prolongara por un período más largo.

Para realizar una determinación más rápida de la demanda de oxígeno, se puede evaluar la demanda química de oxígeno (DQO) de una muestra de agua. En este caso, se utiliza el ion dicromato en lugar de O_2 , para determinar los valores de DQO. La semirreacción de reducción para el dicromato cuando oxida la materia orgánica es:



En la práctica, se agrega un exceso de dicromato a la muestra, y este exceso se valora con un reductor, el ion Fe^{+2} , hasta alcanzar el punto final. El número de moles de O_2 que la muestra requiere para completar la oxidación es aproximadamente 1.5 veces el número de moles de dicromato, ya que este último acepta seis electrones por ion, mientras que el O_2 sólo acepta cuatro.

La dificultad con la DQO como medida de la demanda de oxígeno radica en que la disolución ácida de dicromato es tan oxidante que puede oxidar sustancias que en aguas naturales consumen oxígeno muy lentamente y, por lo tanto, no representan una amenaza real para el contenido de oxígeno en el agua. En otras palabras, el dicromato puede oxidar sustancias que no serían oxidadas por el O_2 durante la determinación de la DBO.

Es común que las aguas contaminadas con sustancias orgánicas asociadas con animales, residuos de alimentos o aguas residuales tengan una demanda de oxígeno que exceda la máxima solubilidad de equilibrio del oxígeno disuelto. En tales circunstancias, a menos que el agua se airee continuamente, el oxígeno disuelto se agota rápidamente y los peces mueren.

Existen otros dos parámetros utilizados para determinar la cantidad de sustancias orgánicas presentes en las aguas naturales. El carbono orgánico total (COT) se utiliza para la materia orgánica disuelta y suspendida en el agua. Por ejemplo, en agua subterránea, este parámetro tiene un valor de aproximadamente un miligramo por litro, lo que equivale a 1 parte por millón (ppm) de carbono. El parámetro de carbono orgánico disuelto (COD) se utiliza para caracterizar el material orgánico que está disuelto. En aguas superficiales, el COD tiene un promedio de alrededor de 5 ppm, aunque puede llegar a valores diez veces mayores en aguas pantanosas. Para aguas residuales no tratadas, los valores típicos de COD son de cientos de ppm.

Resumen, las mediciones de materia orgánica se llevan a cabo mediante:

- a) La oxidación llevada a cabo por microorganismos, conocida como demanda bioquímica de oxígeno (DBO);
- b) La oxidación mediante un oxidante químico estándar, que puede ser dicromato de potasio (DQO) o permanganato de potasio (oxidabilidad);
- c) La oxidación completa de la materia orgánica, medida como el carbono orgánico total (COT).

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es el método más cercano a los procesos naturales en el medio acuático. Se supone que en la muestra existen microorganismos capaces de facilitar la oxidación de la materia orgánica

mediante el oxígeno disuelto en el agua. La cantidad de oxígeno consumido, medida y reportada en miligramos de O_2 , varía con el tiempo. Por esta razón, la determinación se lleva a cabo durante 5 días, siendo así la DBO_5 . Se requiere una temperatura estándar de 20°C para la medición, y como la reacción implica la detección de cambios en el oxígeno, se realiza en condiciones de oscuridad. El valor de saturación de oxígeno a 20°C es de 9 mg/L.

Este método exhibe una variabilidad inherente, ya que implica una reacción entre compuestos desconocidos con microorganismos no identificados. Se evalúa un parámetro global, lo que significa que distintas concentraciones de compuestos pueden generar el mismo valor de DBO. En ensayos realizados en diferentes laboratorios, los resultados pueden variar desde un exceso del 112% hasta un defecto del 58%. Para aguas naturales, los valores típicos de DBO se sitúan alrededor de 10 mg/L, mientras que para aguas residuales urbanas tratadas pueden alcanzar los 500 mg/L, y para desechos de cerdos pueden llegar hasta los 15000 mg/L. Aunque la DBO es una medida representativa de los procesos en el entorno natural, es importante tener en cuenta que no proporciona resultados inmediatos (requiere 5 días) y que la materia orgánica no es el único consumidor de oxígeno. La oxidación del amonio comienza a ser significativa después de 7 días. Los métodos de oxidación química, como la DQO con dicromato de potasio o la oxidabilidad con permanganato de potasio, involucran la reacción con sustancias que son difíciles de biodegradar. Por lo tanto, los valores de DQO tienden a ser más altos en general, y la relación entre DBO y DQO no es lineal. En términos generales, la relación DQO/DBO para aguas residuales urbanas es aproximadamente de 2, y valores más altos pueden indicar la presencia de aguas residuales industriales con productos químicos difíciles de biodegradar.

Metales pesados en el agua

Se denominan metales pesados a los elementos químicos que tienen un peso atómico que va desde 63,55 (Cu) hasta 200,59 (Hg) y presentan un peso específico superior a 4 g/cm³.

Es importante señalar que esta categoría abarca prácticamente todos los elementos metálicos de interés económico y, por ende, de interés minero. Lo que hace que los metales pesados sean tóxicos no son sus características inherentes en general, sino más bien el tipo de compuestos que forman en un medio específico y las concentraciones en las que pueden encontrarse.

Es relevante recordar que, de hecho, muchos de estos elementos son necesarios para el funcionamiento adecuado de los organismos vivos en pequeñas concentraciones. Ejemplos de estos metales incluyen cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, vanadio, estroncio y zinc. El hierro, en particular, es esencial para la formación de la hemoglobina.

Los metales pesados pueden estar presentes en aguas naturales, aunque sus concentraciones son muy bajas en ausencia de contaminación. Pueden encontrarse en forma de coloides, sólidos en suspensión o disueltos, lo que afecta su biodisponibilidad de manera diferente.

Cabe resaltar que un exceso de estos metales disueltos en el agua genera distorsión grave a las propiedades tanto físicas como químicas, lo que inminentemente afecta directamente a los factores involucrados en el uso de estas aguas, en el caso de la ganadería, agricultura, acuicultura, uso propias de la humanidad.

Clasificación del agua

(Félez Santafé, 2009) “A partir del siglo XIX, comenzó a notarse un aumento en la polución y contaminación de las aguas, como resultado del crecimiento de la población mundial y el desarrollo urbano e industrial. El agua presente en la naturaleza ha ido acumulando a lo largo de su ciclo hidrológico diversas sustancias, tanto de origen natural como resultado de la actividad humana, las cuales definen sus características y posibles aplicaciones. Estas sustancias pueden ser clasificadas como orgánicas o biodegradables, e inorgánicas o resistentes a la biodegradación, y pueden encontrarse disueltas (solubles) o en suspensión (insolubles).”

$\frac{3}{4}$ partes de la materia orgánica existente es agua, y las sustancias sólidas, que pueden encontrarse disueltas o en suspensión, como se mencionó anteriormente, consisten en:

- ✓ Bacterias fallecidas, que representan aproximadamente el 30%.
- ✓ Grasas, principalmente derivadas de ácidos grasos no asimilados, grasas producidas por bacterias y grasas provenientes de residuos celulares, que constituyen entre el 10% y el 20%.
- ✓ Sustancias inorgánicas, que conforman cerca del 20%.
- ✓ Restos no digeridos, aproximadamente un 30%, los cuales son componentes sólidos de los jugos digestivos, como pigmentos biliares y células muertas.

Podemos categorizar las aguas residuales según su procedencia, lo cual implica una clasificación relativa de su composición.

Aguas Residuales Urbanas (ARU)

Se refieren a los desechos producidos en áreas urbanas, como resultado de las actividades típicas de estos entornos. Los contribuyentes de estas aguas son:

Aguas negras, fecales o aguas sanitarias son aquellas que se mezclan con los desechos corporales y se contaminan una vez que han sido utilizadas por las personas. Esta mezcla proviene de los inodoros de los hogares, así como de los establecimientos comerciales, entre otros lugares.

Aguas de lavado doméstico comúnmente llamadas aguas grises, son aquellas que provienen de los usos domésticos antes de combinarse con las aguas fecales. Estas aguas incluyen residuos del lavado de ropa, la limpieza del hogar, los desperdicios de comida, entre otros. Contienen partículas en suspensión como tierra, arena, materia orgánica, grasas, detergentes y sales diversas.

Aguas de drenaje de calles suelen tener un volumen reducido y su grado de contaminación varía según las condiciones locales.

Agua de lluvia y lixiviados son formas de agua que caen de las nubes en forma líquida o sólida. Este tipo de agua nunca está completamente pura, ya que contiene gases disueltos y diversos iones que provienen del entorno atmosférico, especialmente notorio en áreas industriales y zonas urbanas densamente pobladas donde la atmósfera está altamente contaminada.

Las aguas residuales urbanas muestran una cierta uniformidad en términos de composición y carga contaminante, ya que los aportes tienden a ser consistentes entre diferentes áreas urbanas. Sin embargo, esta uniformidad presenta variaciones significativas, ya que las características de cada vertido

urbano están influenciadas por factores como la densidad poblacional, la presencia de industrias dentro del área urbana, el tipo de industria, entre otros.

Aguas residuales Industriales

Las aguas residuales industriales son aquellas que provienen de actividades comerciales o empresariales donde el agua se utiliza en procesos de producción, transformación o manipulación. A diferencia de las aguas residuales urbanas, presentan una gran variabilidad en caudal y composición. Esta variabilidad no solo se observa entre diferentes tipos de industrias, sino también dentro de una misma categoría industrial. En ocasiones, las industrias no generan vertidos de manera continua, sino en momentos específicos del día o del año, dependiendo de la naturaleza de la producción y los procesos industriales. Además, estas aguas suelen estar más contaminadas que las aguas residuales urbanas, con una contaminación que es más difícil de eliminar. La alta carga contaminante combinada con la variabilidad hace que el tratamiento de estas aguas sea complejo. Por lo tanto, intentar simplificar el problema al aplicar técnicas utilizadas para las aguas residuales urbanas puede llevar a errores. Es necesario realizar un estudio específico para comprender las características de las aguas residuales de cada industria. Antes de abordar los problemas de contaminación y tratamiento, es fundamental comprender en profundidad el uso del agua dentro de la industria. No existe un enfoque universal de depuración, y es importante entender la distribución del agua dentro de las líneas de producción, así como su consumo, para relacionarlo con la calidad de las aguas residuales. Dado que las aguas residuales industriales son muy complejas y no pueden ser encasilladas en una clasificación específica, se han propuesto varias clasificaciones sin que ninguna sea universalmente aceptada. La más común se

basa en el tipo de industria que las genera, con el objetivo de agruparlas según su composición cualitativa más probable.

Según la capacidad de biodegradación de la materia orgánica presente, se pueden identificar tres categorías de aguas:

- ✓ Aguas industriales con materia orgánica o con presencia de nitrógeno y fósforo, o sin esta presencia.
- ✓ Aguas industriales que únicamente contienen sustancias minerales, con o sin compuestos tóxicos.
- ✓ Aguas residuales mixtas.

Una alternativa de clasificación considera el nivel de daño potencial que ciertas sustancias contaminantes pueden causar a los organismos acuáticos.

- ✓ Aguas residuales industriales que contienen sustancias químicas contaminantes que no afectan la vida acuática.
- ✓ Aguas residuales industriales cuyas sustancias contaminantes son perjudiciales para la vida acuática.
- ✓ Aguas residuales industriales que contienen sustancias tóxicas que pueden interferir o disminuir la vida acuática.

Esta clasificación es bastante relativa, ya que involucra, entre otros aspectos, considerar los conceptos de concentración y dilución.

La palabra concentración se refiere a la cantidad de sustancias disueltas en un volumen específico de disolvente. Es un concepto relativo de nocividad de las sustancias orgánicas, ya que es necesario medirlo para tener una referencia. En este contexto, la concentración indica la cantidad de sustancias disueltas contenidas en una unidad de volumen o peso de la disolución o del disolvente. Determinar esta concentración ha sido una preocupación importante para muchos

investigadores, ya que conociéndola, es posible optimizar el tratamiento biológico de aguas residuales en presencia de tóxicos de diversa intensidad para los microorganismos. Esto incluye tanto la dosis letal media (DL50, la concentración de tóxico que resulta en la muerte del 50% de los organismos experimentales en un tiempo determinado, generalmente 24 horas) como la dosis mínima mortal (la dosis mínima de tóxico que provoca la muerte aparente de una clase específica de organismos durante el tiempo del experimento). Encontrar estas concentraciones es complejo debido a la gran variedad de organismos y las interacciones sinérgicas y antagónicas que pueden ocurrir entre las diversas sustancias presentes en el agua.

En cuanto a la dilución, esta consiste principalmente en mezclar las aguas residuales con aguas limpias para reducir la concentración de tóxicos por debajo de niveles nocivos, es decir, alcanzar la dilución límite. Esta dilución límite se refiere a la concentración de tóxicos que no causa daño en un tiempo específico a los organismos considerados. La evacuación de aguas residuales mediante dilución, que implica verter aguas residuales tratadas o no tratadas en cuerpos de agua sin contaminar, se fundamenta en este principio. Históricamente, esto era común para pequeñas cantidades de aguas residuales urbanas no tratadas, pero en la actualidad se realiza únicamente en casos excepcionales de fuerza mayor, incluso cuando el coeficiente de dilución es mayor a 1:6, considerado suficiente para aguas negras. En general, al verter aguas residuales urbanas tratadas en un cauce receptor, es necesario tener en cuenta el efecto de dilución.

Aguas Mixtas

La calidad y cantidad de las aguas residuales generadas por una población están fuertemente influenciadas por la incorporación periódica o accidental de

vertidos industriales. Respecto a la calidad, las variaciones en la carga de las aguas residuales industriales, tanto cualitativa como cuantitativamente, pueden perturbar el funcionamiento de las depuradoras, especialmente cuando las industrias alteran sus programas de producción. Una sobrecarga de materia orgánica incrementa la demanda de oxígeno, generando lodos voluminosos y de baja densidad que sedimentan con dificultad. En depuradoras de lechos bacterianos, esto puede provocar una abundante vegetación, resultando en obstrucciones y malos olores. Las variaciones cualitativas en la carga orgánica, como cambios en la estructura química de las materias orgánicas presentes en los efluentes, obligan a los microorganismos a desarrollar nuevos sistemas enzimáticos, lo cual requiere un periodo de adaptación a las condiciones ecológicas del medio, como pH, temperatura, presión osmótica y la presencia de elementos tóxicos.

Un aumento notable en el caudal de un vertido durante un período prolongado reduce el tiempo de permanencia de las aguas residuales en la depuradora, disminuyendo su eficiencia. El tratamiento conjunto de las aguas residuales urbanas e industriales es la solución más efectiva para el problema de la depuración de efluentes. Por ello, en el estudio de la depuración de aguas residuales, es fundamental comprender la acción tóxica de ciertas sustancias, ya que estas pueden ralentizar o incluso anular la acción de los microorganismos responsables de la depuración.

A pesar de los posibles inconvenientes causados por contaminantes específicos en las aguas mixtas, siempre que sea posible, se recomienda que la industria trate sus aguas residuales junto con las urbanas, ya que esto ofrece varias ventajas.

- ✓ División de los costos de depuración: Un tamaño mayor de la planta depuradora reduce el costo operativo por unidad de carga contaminante.
- ✓ Las aguas residuales urbanas aportan nutrientes como nitrógeno y fósforo a las aguas residuales industriales que carecen de estos elementos.
- ✓ Se asegura una depuración más uniforme de las aguas residuales. No obstante, el aporte de las aguas residuales industriales puede causar algunos inconvenientes, por lo que es necesario controlarlas.
 - La homogeneidad de las aguas residuales
 - La uniformidad del caudal
 - El pH
 - Que el contenido en aceites y grasas no sea excesivo

El correcto funcionamiento de una planta depuradora de aguas residuales mixtas requiere que las aguas residuales que llegan cumplan con los siguientes requisitos:

- ✓ No tener una temperatura superior a 60 °C
- ✓ La concentración de grasas no debe ser superior a 100 mg/l
- ✓ No deben existir residuos tóxicos inflamables o explosivos
- ✓ El pH debe estar comprendido entre 5,5 y 9,0
- ✓ Las aguas no deben presentar una DBO5 que exceda el nivel calculado para el óptimo funcionamiento de la planta depuradora.
- ✓ Los sólidos en suspensión no deben superar los 350 mg/l
- ✓ Se deben fijar límites para el volumen de aguas residuales industriales que se admiten.

Límites máximos permisibles para descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas

Los Límites Máximos Permisibles se encuentra regulado por el estado peruano según el D.S. N° 010-2010-MINAM donde señala lo siguiente:

El efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas es cualquier flujo regular o estacional de sustancias líquidas descargadas en los cuerpos receptores, que proviene de:

- a) Cualquier labor, excavación o movimiento de tierras realizado en el terreno con el objetivo de desarrollar actividades mineras o actividades relacionadas, incluyendo exploración, explotación, beneficio, transporte y cierre de minas, así como campamentos, sistemas de abastecimiento de agua o energía, talleres, almacenes, vías de acceso de uso industrial, entre otros.
- b) Cualquier instalación de procesamiento de minerales, que involucre procesos como trituración, molienda, flotación, separación gravimétrica, separación magnética, amalgamación, reducción, tostación, sinterización, fundición, refinación, lixiviación, extracción por solventes, electrodeposición, entre otros. **(Ministerio del Ambiente, 2010)**

Figura 3:

Efluente de planta de procesamiento de minerales



Fuente: Grupo VENTO 2018

Conforme a las regulaciones establecidas, los efluentes generados por las actividades mineras deben cumplir con los Límites Máximos Permisibles establecidos por la legislación, con el objetivo de evitar que los cuerpos receptores se vean perjudicados por la elevada concentración de metales pesados.

Figura 4:

Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio anual
pH		6 - 9	6 - 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0,8
Arsénico Total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio Total	mg/L	0,05	0,04
Cromo Hexavalente(*)	mg/L	0,1	0,08
Cobre Total	mg/L	0,5	0,4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1,6
Plomo Total	mg/L	0,2	0,16
Mercurio Total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc Total	mg/L	1,5	1,2

Fuente: D.S. N°010-2010-MINAM

Planta de tratamiento de agua

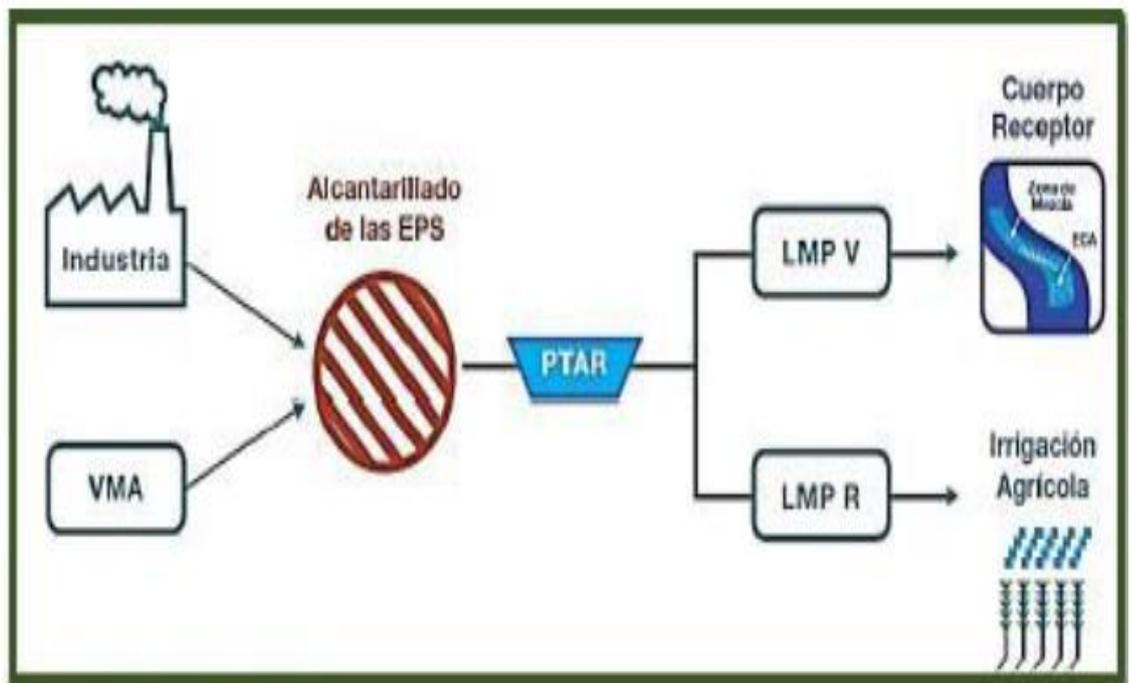
El propósito principal de la planta de tratamiento es eliminar las partículas sólidas suspendidas en el agua (metales pesados, arenas, partículas), reducir la materia orgánica, contaminantes y restaurar el oxígeno para que pueda ser vertido en el cuerpo receptor de forma segura al medio ambiente y sin alterarlo, para lograr este fin se realiza una serie de procesos físicos, químicos y biológicos.

**Fuentes de generación de efluentes generados por la industria
minero-metalúrgicas:**

- ✓ Efluentes de plantas de procesamiento de minerales
- ✓ Drenaje ácido de relaves
- ✓ Drenaje de Mina
- ✓ Aguas de mina
- ✓ Residuos de campamento minero

Figura 5:

Exigencia de Límites Máximos Permisibles de efluentes



Fuente: SUNASS 2016

Proceso de tratamiento de agua

Para el tratamiento de los efluentes se tiene varios procesos que intervienen, a continuación, detallaremos cada uno de ellos.

Pre-Tratamiento

Es la etapa donde básicamente se remueve cierta cantidad de sólidos presentes en los efluentes, esta es la etapa donde se realiza un proceso físico.

Tratamiento Primario

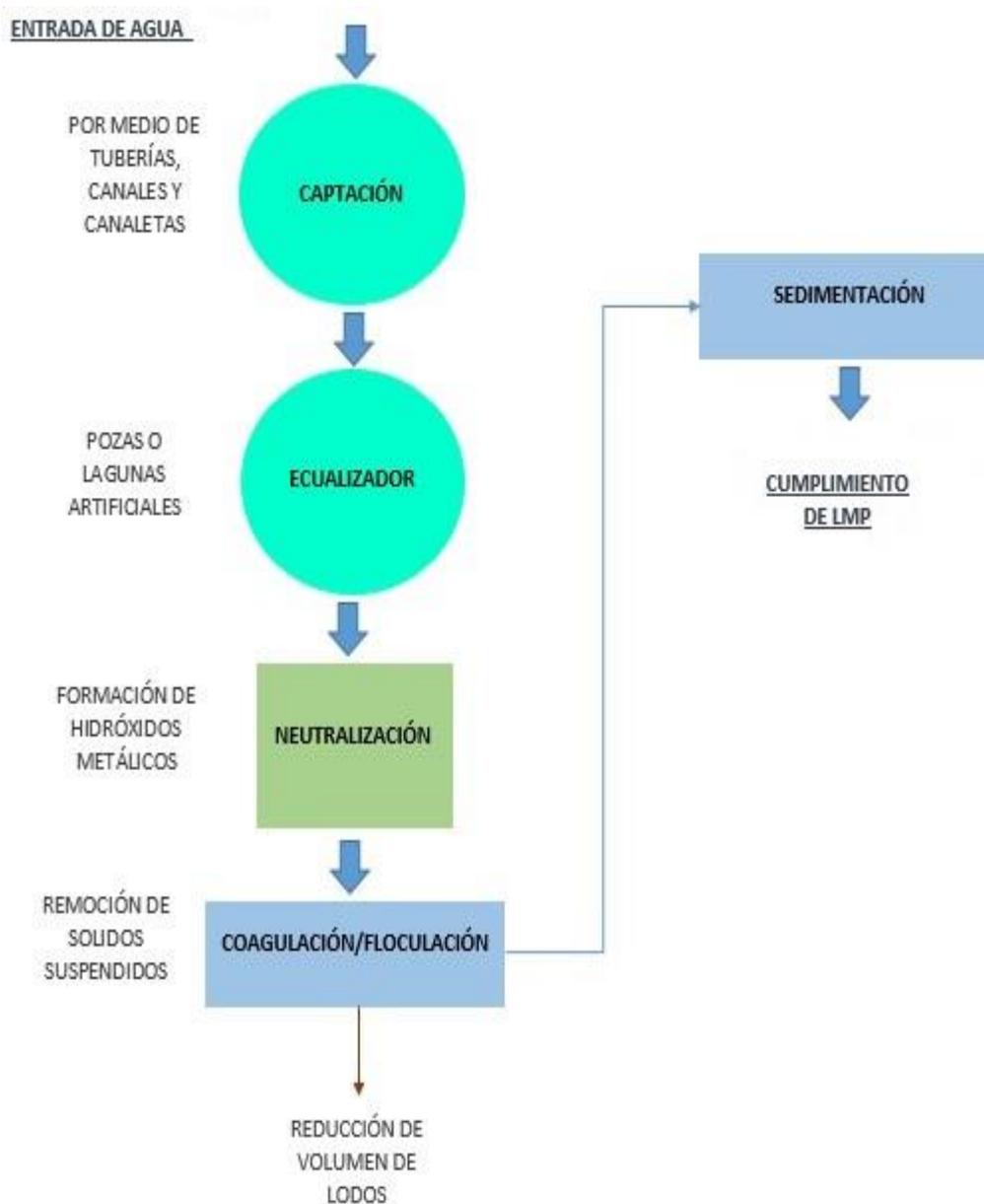
Este es el tratamiento donde ya se eliminan los sólidos gruesos en suspensión, se eliminan más del 90% de los sólidos presentes en los efluentes.

Dentro de este tratamiento primario se realizan los siguientes procesos.

- ✓ Ecuilización
- ✓ Neutralización
- ✓ Oxidación
- ✓ Coagulación
- ✓ Floculación
- ✓ Clarificación

Estos procesos permiten eliminar metales pesados, sólidos en suspensión, grasas y aceites, lo que en este proyecto de investigación se analizará la manera eficiente de obtener agua de calidad cumpliendo la normativa presente en el D.S. 010-2010-MINAM.

Figura 6:
Proceso de tratamiento de efluente de mina



Fuente: FLOWEN COMPANY 2016

Cabe indicar que el proceso de tratamiento descrito no es estandarizado, ya que de acuerdo a la naturaleza de la mineralogía de la mina y de los metales pesados que contiene cada efluente de cada unidad minera se buscara la manera más eficiente, minimizando costos y buscado la viabilidad del tratamiento, ese es el trabajo de investigación en lo que se enfocara el presente proyecto.

Tratamiento terciario

Con el tratamiento terciario es posible limpiar el agua de contaminantes como metales pesados, compuestos orgánicos, pues permite purificar los desechos de las aguas industriales, es un proceso físico-químico y es caro, pero con este proceso se puede cumplir con los ECA (Estándares de Calidad Ambiental) y se utilizan procesos como microfiltración, ultrafiltración, osmosis inversa, proceso redox.

2.3. Definición de términos básicos

Planta de Tratamiento de Agua Industrial

El objetivo de la planta de tratamiento de agua industrial es mitigar o eliminar la alta concentración de los componentes físicos y químicos presentes en el agua, con el fin de garantizar su seguridad para los seres humanos, la flora y la fauna cuando se descarga en el medio ambiente, cumpliendo con los límites establecidos por la normativa. **(Diaz Meza, 2018)**

Evaluación Química del agua

El análisis químico del agua implica la evaluación de minerales y compuestos que se encuentran tanto disueltos como en suspensión, incluyendo parámetros como el pH, sólidos totales (TS) y elementos químicos disueltos. **(García de la Fuente, 2013)**

Evaluación Física del agua

El análisis físico de agua permite contrastar parámetros como el olor, color, sabor, la conductividad y temperatura. **(García de la Fuente, 2013)**

Límites Máximos Permisibles

La determinación de la concentración o nivel de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el efluente líquido de

actividades minero-metalúrgicas, cuya superación puede provocar daños a la salud, al bienestar humano y al medio ambiente. Su observancia es obligatoria según las normativas establecidas por el Ministerio del Ambiente y las entidades que integran el sistema de gestión ambiental. **(Ministerio del ambiente, 2010)**

Monitoreo de efluentes líquidos

Examinación regular y ordenada de la calidad de un efluente en un sitio de control específico, realizada mediante la medición de parámetros en el terreno, la recolección de muestras y el análisis de propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas de estas, de acuerdo con el protocolo establecido para el monitoreo de aguas y efluentes. **(D.S. N° 010-2010 Ministerio del Ambiente)**

Evaluación de metales pesados en agua

Los metales pesados presentes en el agua, como el plomo, hierro, cobre, zinc, arsénico, cromo, cadmio, magnesio y ciertos reactivos químicos empleados en las instalaciones de procesamiento de minerales, no experimentan degradación biológica ni química en el corto plazo en el entorno natural. Por consiguiente, se los considera tóxicos para la mayoría de los organismos. **(Huaranga Moreno et al. 2012)**

Concentración de metales Pesados

Los metales pesados pueden experimentar cambios, pero los componentes metálicos persisten en el entorno, pudiendo ser acumulados en organismos durante períodos prolongados, ya sea como iones o como parte de compuestos orgánicos. **(Metales pesados - Facsa, 2017)**

Reactivos Químicos

Los reactivos químicos son compuestos empleados en análisis, mediciones de concentración de distintas sustancias, separación de componentes

en muestras, así como en labores científicas e investigaciones tecnológicas.

(Reactivos químicos - Wikipedia, 2015)

Agua de clase III: Aguas designadas para el riego de vegetales consumidos crudos y para el suministro de bebida a animales, clasificadas como clase III. **(Ministerio del ambiente, 2017)**

Estándares de Calidad Ambiental

Establecen los límites máximos aceptables de contaminantes en el entorno. El objetivo es asegurar la preservación de la calidad ambiental a través de la implementación de herramientas avanzadas de gestión ambiental y evaluaciones exhaustivas.

Punto de control de Efluentes líquidos

Sitios autorizados por la autoridad correspondiente en los que es obligatorio cumplir con los Límites Máximos Permisibles. **(D.S. N° 010-2010 Ministerio del Ambiente).**

Coagulación

Se trata del procedimiento mediante el cual se desestabilizan las partículas en suspensión para disminuir las fuerzas de separación entre ellas, lo que ocasiona que se unan formando pequeñas agrupaciones conocidas como microfloculos, cuya densidad es mayor que la del agua. Por otro lado, la floculación está vinculada a los procesos de transporte dentro del líquido para permitir el contacto entre las partículas. **(Maricruz Vargas & Guillermo Romero 2010)**

Conductividad eléctrica del agua

La conductividad eléctrica del agua se refiere a su capacidad para conducir corriente eléctrica. En el Sistema Internacional de Unidades, se mide en siemens por metro (S/m), aunque comúnmente se utiliza $\mu\text{S}/\text{cm}$ a una temperatura

de 25°C por su conveniencia. Esta propiedad está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua, las cuales se disocian en iones que permiten el paso de la corriente eléctrica. La solubilidad de estas sales varía según la temperatura del agua, lo que ocasiona que la conductividad también fluctúe en función de la temperatura. (Catro, Zuñiga & Alvarado 2017)

Temperatura

La temperatura representa la energía cinética promedio de las partículas en un sistema. Se puede cuantificar en grados Celsius (°C) o en Kelvin (K).

Agua para consumo humano

Agua adecuada para el consumo humano y para todos los usos domésticos habituales, incluyendo el aseo personal. (Ministerio de salud, 2018)

Calidad de agua

La calidad del agua se refiere a las propiedades químicas, físicas y biológicas que presenta el agua, y estas características varían según el propósito para el que se vaya a utilizar. Es el conjunto de atributos del agua que pueden influir en su idoneidad para un uso determinado y en su función dentro de los ecosistemas. (**Calidad del Agua - La Ciencia del Agua para Escuelas, 2017**)

Operaciones Mineras

Son aquellas operaciones comprendidas como minado, perforación, Chancado, molienda, flotación, espesamiento, filtración. (Operaciones mineras - Wikipedia, 2009)

pH

La medida que indica la acidez o alcalinidad de una sustancia o solución se conoce como pH, representada en una escala del 0 al 14. En esta escala, un pH

de 7 se considera neutro, lo que indica que la sustancia o solución no es ni ácida ni alcalina. (pH - Wikipedia, 2008)

Programa de monitoreo

El documento esencial que debe ser cumplido por el titular minero y que detalla la ubicación de los puntos de control de los efluentes y el cuerpo receptor, así como los parámetros y la frecuencia de monitoreo para cada punto específico en un centro de actividades minero-metalúrgicas. (D.S. N° 010-2010 Ministerio del Ambiente)

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Si evaluamos correctamente los metales pesados entonces podremos decir que el agua generada por compañía minera Caolín cumplirá con las características que exige los límites máximos permisibles

2.4.2. Hipótesis específicas

- ✓ Si Identificando correctamente los procesos metalúrgicos podremos decir cuales afectan a la concentración de metales pesados del agua generado por Compañía Minera Caolín – 2023
- ✓ Determinando la concentración en mg/L de los metales pesados del agua generado los procesos metalúrgicos de Compañía minera Caolín podremos afirmar si es significativo
- ✓ Si implementamos la propuesta de tratamiento en las aguas generados por los procesos metalúrgicos de Compañía minera Caolín, entonces podremos afirmar si cumplimos con lo dispuesto en el D.S. 010-2010-MINAN

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable Independiente

Evaluación de metales pesados en agua.

2.5.2. Variable dependiente

Propuesta de Tratamiento; Planta de Tratamiento de Agua Industrial

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 2:

Operacionalización de variables e indicadores

DEFINICIÓN DE VARIABLES	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES
<p>Independiente</p> <p>Evaluación de metales pesados en agua.</p>	<p>los metales pesados en el agua como el Pb, Fe, Cu, Zn, As, Cr, Cd, Mg, y algunos reactivos químicos utilizados en las plantas de tratamiento de minerales, en el corto plazo no se degradan, biológica ni químicamente en la naturaleza; por lo que son considerados tóxicos para la mayor parte de organismos. Campos (1990) sostiene que los compuestos que contienen metales pesados, se pueden alterar, pero los elementos metálicos permanecen</p>	<p>Concentración de metales pesados en agua</p>	<p>Concentración en partes por millón de cobre</p> <p>concentración en partes por millón de plomo</p> <p>concentración en partes por millón de Hierro</p> <p>concentración en partes por millón de Zinc</p> <p>concentración en partes por millón de Arsénico</p> <p>concentración en partes por millón de Cadmio</p> <p>Concentración en partes por millón de cromo</p>

	<p>en el ambiente, pudiendo ser acumulados como iones o como integrantes de compuestos orgánicos en los organismos por largos períodos de tiempo. (Huaranga Moreno et al. 2012)</p>	<p>Reactivos Químicos</p>	<p>concentración en partes por millón de cianuro</p>
<p>Dependiente</p> <p>Propuesta de Tratamiento; Planta de Tratamiento de Agua Industrial</p>	<p>Planta de tratamiento de Agua Industrial tiene como propósito eliminar o reducir la elevada concentración de los componentes físicos, químicos que están presentes en el agua que pueda ser nociva para los seres humanos, la flora y la fauna de manera el agua sea dispuesta en el ambiente en forma segura cumpliendo con los Límites Máximos Permisibles. (Diaz Meza, 2018)</p>	<p>Composición Química del agua</p>	<p>pH Temperatura Contenido Metálico conductividad eléctrica</p>
		<p>Composición Física del agua</p>	<p>Olor del agua Color del Agua Temperatura</p>
		<p>Límites Máximos Permisibles</p>	<p>Monitoreo de descarga de Efluente</p>

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo **aplicado**, dado que los resultados obtenidos pueden ser utilizados por las entidades interesadas como referencia para aplicaciones prácticas. (Férrandez Collado & Baptista Lucio, 2005)

3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es **descriptivo**, se evaluó la concentración de metales pesados, así como los parámetros físicos-químico del agua generado debido a las operaciones de minera Caolín. Los datos se obtendrán del laboratorio acreditado para realizar el análisis de metales pesados, también se hace referencia a una propuesta de tratamiento de los efluentes generados por la mina para llegar a cumplir con los Límites Máximos Permisibles.

La investigación de tipo descriptivo se centra en detallar las características y cualidades de los sujetos, grupos, objetos o fenómenos, con el fin de recopilar información o datos para su análisis posterior, ya sea de forma individual o

conjunta, en relación con las variables de estudio. **(Férrandez Collado & Baptista Lucio, 2005)**

3.3. Métodos de investigación

En la investigación, se ha aplicado el método científico. Según Cerda Gutiérrez (2000), se destacó la importancia de emplear un sistema que siga una secuencia lógica y ordenada para avanzar en el conocimiento.

Este enfoque sigue un sistema lógico para abordar y resolver un problema específico, con el objetivo de demostrar su validez mediante el uso de técnicas e instrumentos adecuados. **(Niño Rojas, 2011)**

3.4. Diseño de investigación

Esta investigación es de diseño **No experimental – longitudinal**, porque el fin de la investigación es determinar la concentración de metales en los efluentes generados por las operaciones de minera Caolín, pudiendo así realizar una propuesta de planta de tratamiento de aguas industriales para cumplir con los Límites Máximos Permisibles exigidos.

En el diseño de investigación **No – experimental**, se examinan los fenómenos o eventos en su entorno natural, ya que no se puede manipular la variable independiente frente a las demás ni influir en ellas, dado que sus efectos ya han ocurrido. **(Férrandez Collado & Baptista Lucio, 2005)**

El diseño de investigación **longitudinal** implica la recopilación de datos cualitativos y cuantitativos, utilizando medidas continuas o repetidas, para seguir a individuos específicos a lo largo de un período extenso. **(Férrandez Collado & Baptista Lucio, 2005)**

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población se describe como un grupo de elementos, ya sea finito o infinito, que comparten características comunes y cuyas conclusiones de la investigación se aplicarán. Esta población está delimitada por el problema y los objetivos del estudio. **(Arias, 2006)**

La población de la presente investigación está comprendida por las actividades de beneficio de minerales como Chancado, Molienda, Flotación, espesamiento, transportes ubicados en las Instalaciones de Compañía Minera Caolín y zona aledaña comprendida por el centro poblado Yacutinco.

Figura 7:

Calculo del área de la Unidad Minera Caolín y centro poblado Yacutinco



Fuente: Elaboración Propia – Geocatmin v3

3.5.2. Muestra

El muestreo en la investigación se llevó a cabo utilizando la técnica **no probabilística**, específicamente el muestreo por conveniencia, donde se seleccionó la muestra que mejor se adaptara al estudio. Este enfoque de muestreo implica elegir una muestra que sea conveniente para los propósitos de la investigación. (Niño Rojas, 2011)

Constará de 7 puntos de monitoreo las cuales estarán distribuidos de 4 puntos de monitoreo dentro de la unidad minera y 3 puntos de monitoreo en el cuerpo receptor.

Tabla 3:

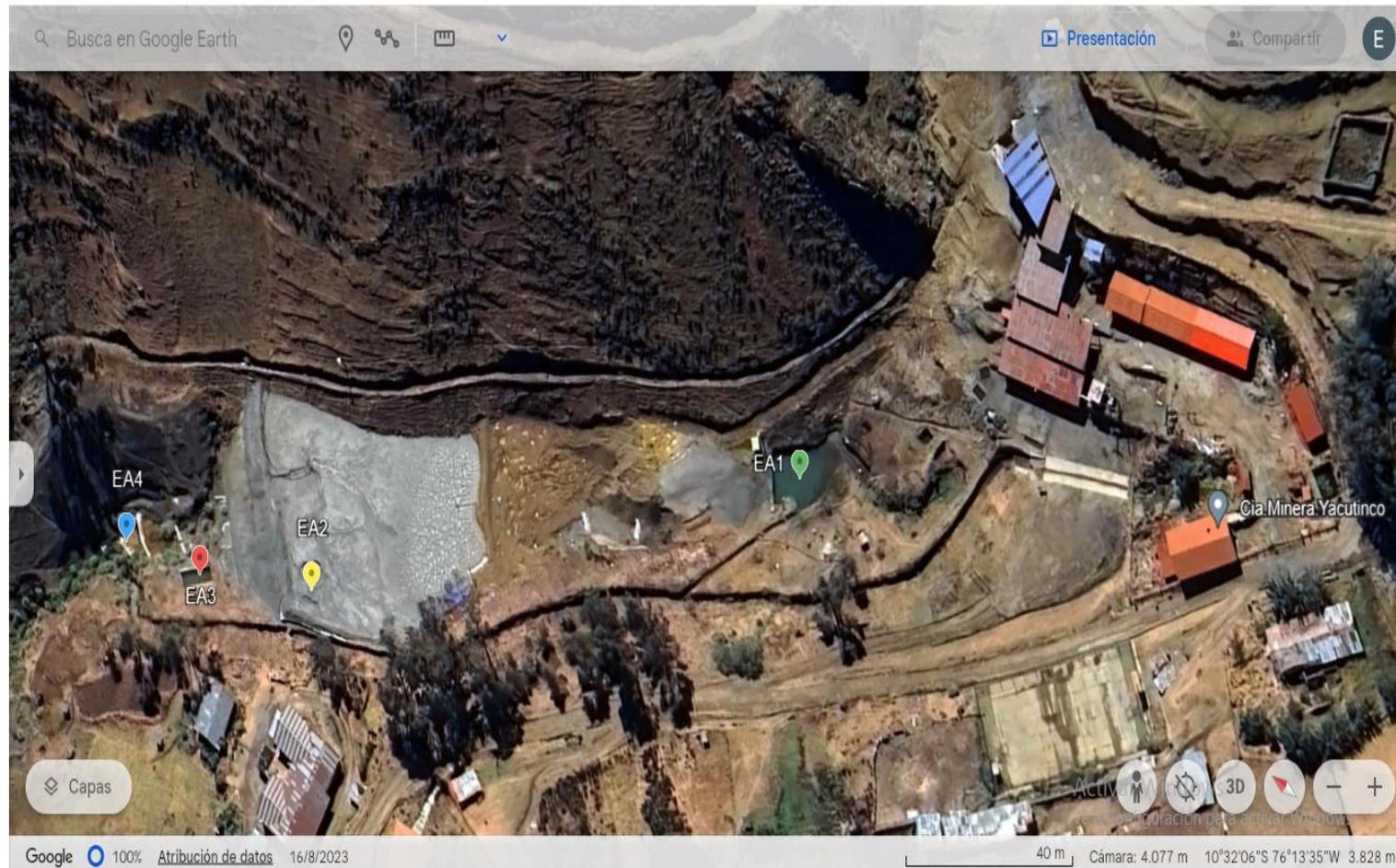
Punto de ubicación de estación de monitoreo – Compañía Minera Caolín

Punto de Monitoreo	Coordenadas WGS 84			Ubicación
	Este	Norte	Zona	
EA1	365784	8835135	18	Pozo de rebose (a 20 metros de la sección de espesamiento)
EA2	365729	8835186	18	Cancha de Relave
EA3	365687	8835245	18	Pozo de sedimentación (a 12 metros de la cancha de relaves)
EA4	365679	8835262	18	Descarga de efluente

Fuente: Elaboración Propia

Figura 8:

Puntos de monitoreo dentro de la unidad minera según las coordenadas de visita en campo



Fuente: Elaboración propia - Google Earth

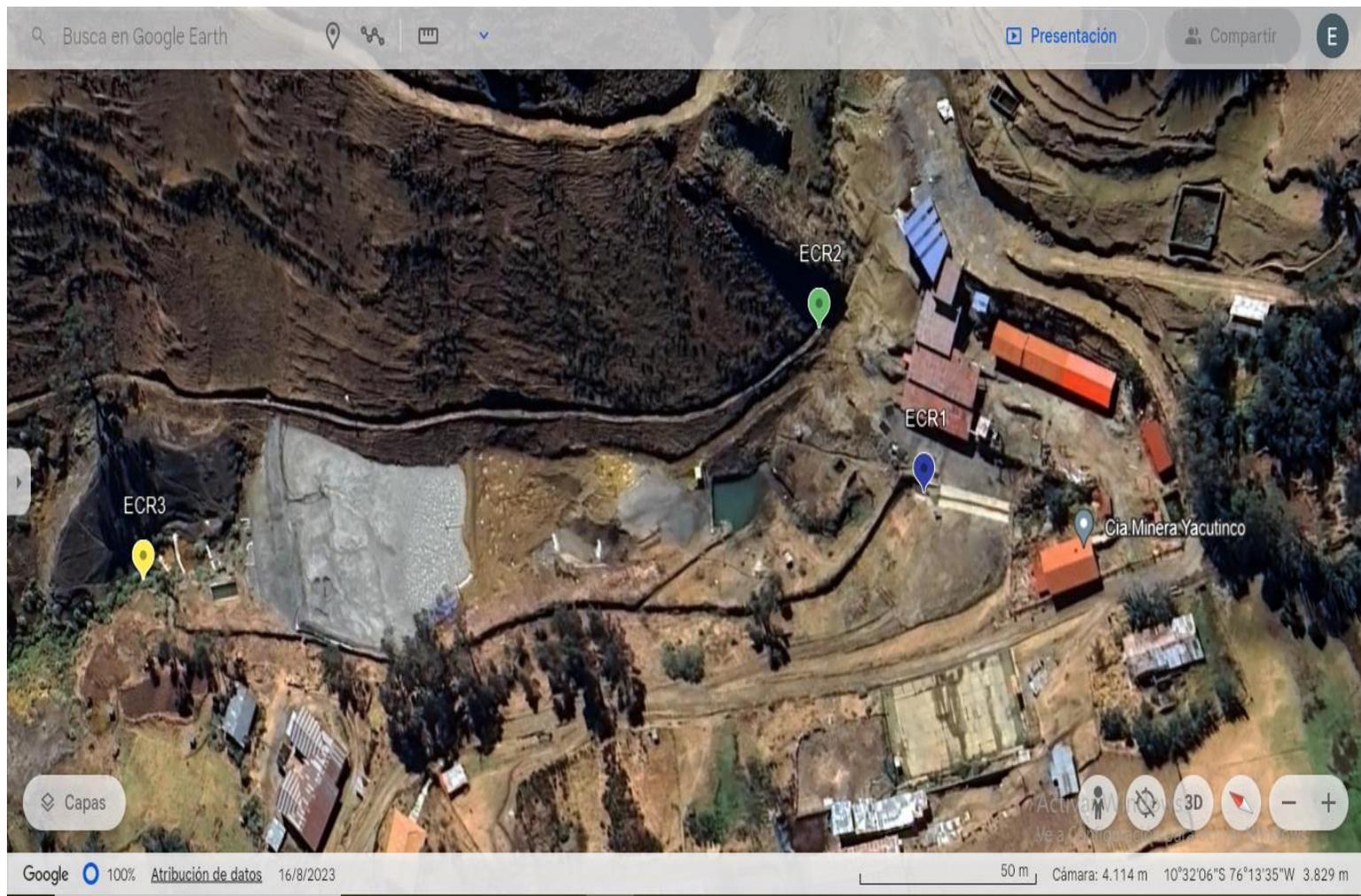
Tabla 4:

Punto de ubicación de estación de monitoreo – Cuerpo Receptor

Punto de Monitoreo	Coordenadas WGS 84			Ubicación
	Este	Norte	Zona	
ECR1	365815	8835086	18	Aguas arriba de río Machcan
ECR2	365827	8835126	18	Agua arriba del río Pocachan
ECR3	365672	8835266	18	Punto de descarga en el río Yacutinco

Fuente: Elaboración Propia

Figura 9:
Puntos de Monitoreo de cuerpo receptor



Fuente: Elaboración Propia - Google Earth

3.6. Técnicas e instrumento de recolección de datos

El método de recolección de datos sigue un proceso particular, mediante el cual se recopila la información necesaria para la investigación. (Niño Rojas, 2011)

Los instrumentos empleados en la recolección de datos para la investigación fueron.

- ✓ pH-metro
- ✓ Monitoreo de Evaluación de Agua
- ✓ Laptop
- ✓ GPS
- ✓ Software AutoCAD
- ✓ Software METSIM
- ✓ Equipo de Absorción Atómica
- ✓ Software Microsoft Office Excel, Office Word
- ✓ Ficha para recolección de datos
- ✓ Materiales de escritorio

Tabla 5:

Instrumento de recolección de datos de información

INSTRUMENTO PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE OBSERVACIÓN

I. IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

COORDENADAS WGS UTM 84		ZONA	UBICACIÓN DEL PUNTO	PUNTO
ESTE	NORTE			

II. EVALUACION DE PARAMETROS INSITU

			ANÁLISIS IN SITU			
PUNTO DE MUESTREO	FECHA	HORA	pH	Temperatura	Olor	Color

Responsable de recolección de muestra		Firma

Fuente: Elaboración propia

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

(Chavez, 2001) define la validez como “La eficacia con que un instrumento mide lo que se pretende”. (Hérrandez, 2003) precisa que “La confiabilidad de un instrumento de medición se evalúa a través de varios métodos y se relaciona con el grado en que su uso repetido con el mismo sujeto produce resultados consistentes”. Con el propósito de realizar la validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación se utilizó la validación del contenido mediante el juicio de expertos por lo que se buscó determinar cuan representativo son los ítems dispuestos para la presente investigación.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se emplea el enfoque estadístico en el tratamiento de los datos mediante el programa IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versión 25. Este software facilita la captura y análisis de datos para la elaboración de tablas y gráficos.

También previo al procesamiento de datos, se realiza una selección base de datos mediante el software Microsoft Excel 2019.

3.9. Tratamiento estadístico

El estudio aplicará los fundamentos esenciales de la estadística descriptiva, incluyendo la Prueba de Normalidad. Dependiendo de la distribución de los datos, se llevará a cabo la Prueba T de Student para una muestra.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

La investigación evalúa la concentración de metales pesados en los efluentes post procesos para cumplir con los Límites Máximos permisibles en la minera Caolín, por lo que se plantea un proceso de tratamiento para el efluente que garantice el cumplimiento según normativa, lo que nos lleva a entender que

es de gran interés debido a que buscan que el impacto al medio ambiente sea nula o insignificante garantizando el bienestar humano y del ecosistema del entorno.

Para la presente investigación se trabajará de manera coordinada con la Empresa Minera Caolín, debido a que las muestras se obtendrán dentro de las instalaciones del mismo, por ello se solicitara los permisos y documentos necesarios para dicho propósito.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

Para el presente trabajo de investigación, se identificó los puntos de monitoreo para la evaluación del agua. Las Fechas que se realizaron el monitoreo fueron los días 7 al 11 de Junio, 5 al 9 de Julio, 3 al 7 de Agosto en diferentes días, dicho monitoreo se realizó de acuerdo al “ Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes del Ministerio de Energía y Minas y Normativa vigente” la cual establece procedimientos, metodologías de observación , muestreo, medición y análisis de datos ambientales con el fin de definir características del efluente antes de ser vertido, generando así información precisa, confiable que determina el cumplimiento del D.S. 010-2010-MINAM.

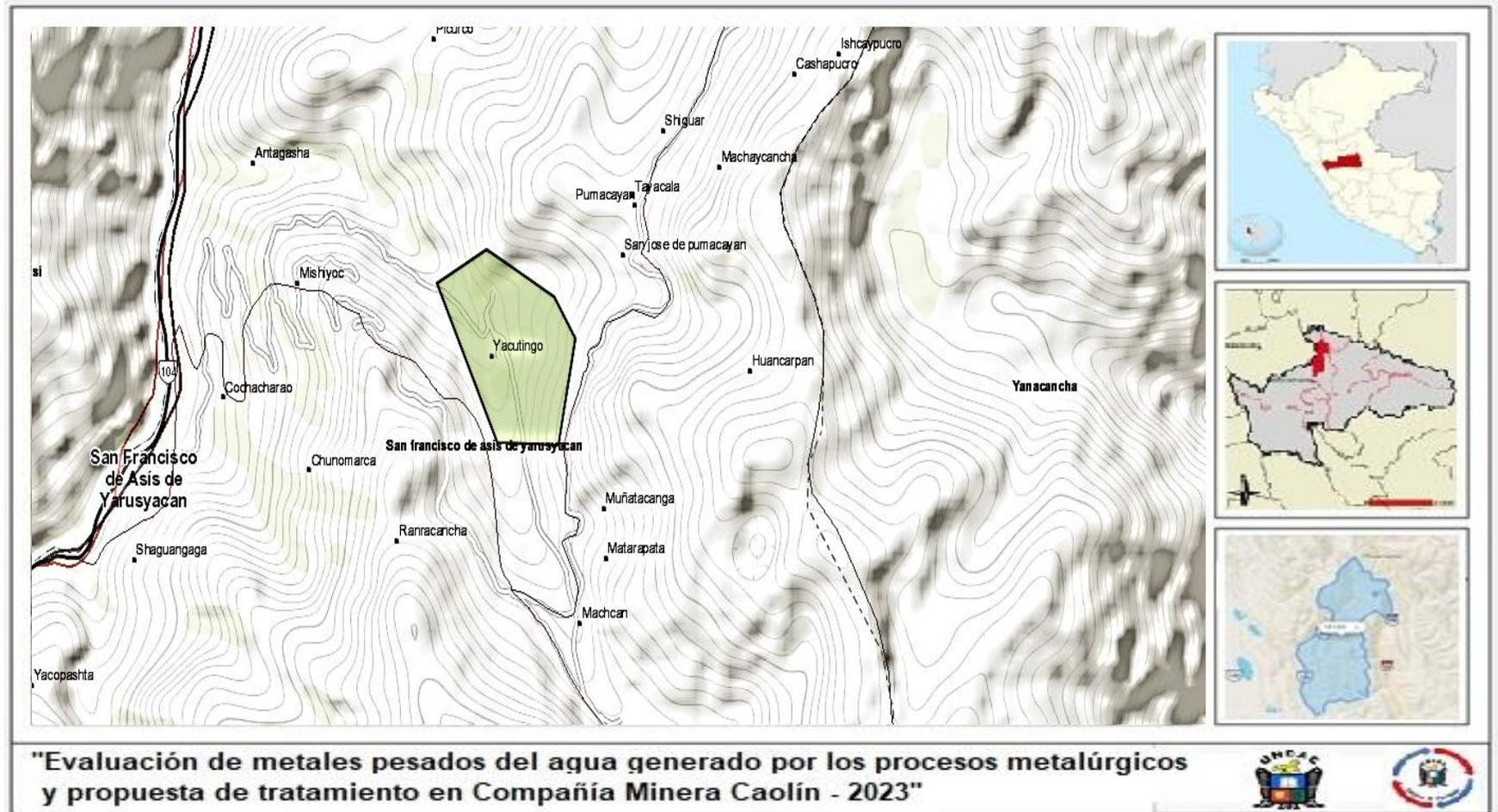
Ubicación de la zona de estudio

La ubicación de la investigación se encuentra en el centro poblado Yacutinco, distrito de San Francisco de Asis de Yarusyacan, Provincia Pasco y Región Pasco a 3637 m.s.n.m.

Para llegar a a zona de estudio desde Lima, se puede realizar carretera
asfaltada Lima - Pasco (305 km) y no asfaltada Pasco – Yarusyacan – Centro
Poblado de Yarusyacan (22km).

Figura 10:

Mapa de Localización del centro poblado de Yacutingo



Fuente: Elaboración propia - ArcGIS 10.3

4.1.1. Coordenadas de Ubicación de los puntos de monitoreo

Las coordenadas de los puntos de monitoreo se realizaron mediante el sistema UTM WGS 84 en las instalaciones de la compañía minera, el centro poblado Yacutinco en el distrito de San Francisco de Asis de Yarusyacan, tal como se detalla a continuación:

Tabla 6:

Coordenadas de ubicación de los puntos de monitoreo para evaluar la calidad de efluentes

Punto de Monitoreo	Coordenadas WGS 84			Ubicación
	Este	Norte	Zona	
EA1	365784	8835135	18	Pozo de rebose (a 20 metros de la sección de espesamiento)
ECR1	365815	8835086	18	Aguas arriba de río Machcan
EA2	365729	8835186	18	Cancha de Relave
EA3	365687	8835245	18	Pozo de sedimentación (a 12 metros de la cancha de relaves)
ECR2	365827	8835126	18	Agua arriba del río Pocachan
EA4	365679	8835262	18	Descarga de efluente

ECR3	365672	8835266	18	Punto de descarga en el rio Yacutinco

Fuente: Elaboración Propia

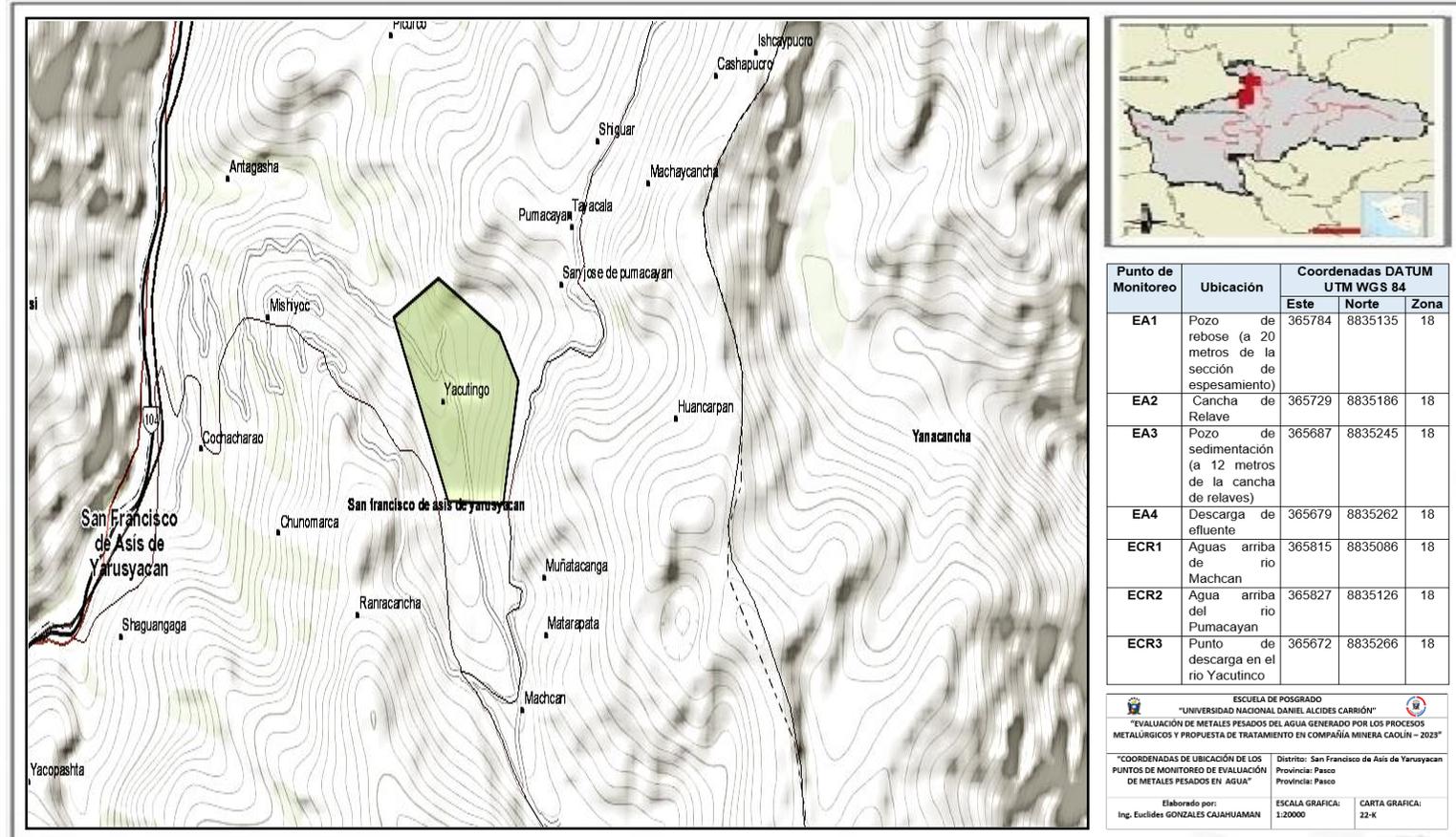
Figura 11:
Puntos de monitoreo General para evaluación de metales pesados en agua



Fuente: elaboración propia - Google Earth

Figura 12:

Coordenadas de ubicación para Evaluación de metales pesados en agua



Fuente: Elaboración propia - ArcGIS

4.1.2. Parámetros de Monitoreo

Los parámetros de monitoreo y la metodología usada para la presente investigación se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7:

Parámetros de monitoreo y metodología usada para la evaluación de agua

PARAMETRO DE MONITOREO	NORMATIVA APLICABLE	UNIDAD	METODOLOGIA
Cadmio Total	D.S. N° 010-2010-MINAM	mg/L	Espectrofotometría de Absorción Atómica (EPA METHOD 200.7 Rev.4.4.1994/validated)
Mercurio Total	D.S. N° 010-2010-MINAM	mg/L	Espectrofotometría de Absorción Atómica (EPA METHOD 200.7 Rev.4.4.1994/validated)
Zinc total	D.S. N° 010-2010-MINAM	mg/L	Espectrofotometría de Absorción Atómica (EPA METHOD 200.7 Rev.4.4.1994/validated)
Cromo Hexavalente	D.S. N° 010-2010-MINAM	mg/L	Espectrofotometría de Absorción Atómica (EPA METHOD 200.7 Rev.4.4.1994/validated)
Cobre total	D.S. N° 010-2010-MINAM	mg/L	Espectrofotometría de Absorción Atómica(EPA METHOD 200.7 Rev.4.4.1994/validated)
Hierro disuelto	D.S. N° 010-2010-MINAM	mg/L	Espectrofotometría de Absorción Atómica (EPA METHOD 200.7 Rev.4.4.1994/validated)
Plomo total	D.S. N° 010-2010-MINAM	mg/L	Espectrofotometría de Absorción Atómica (EPA METHOD 200.7 Rev.4.4.1994/validated)

Arsénico Total	D.S. N° 010-2010-MINAM	mg/L	Espectrofotometría de Absorción Atómica (EPA METHOD 200.7 Rev.4.4.1994/validated)
Cianuro total	D.S. N° 010-2010-MINAM	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN-F,23 rd Ed.2017
Solidos totales en suspensión	D.S. N° 010-2010-MINAM	mg/L	Método Gravimétrico
pH	D.S. N° 010-2010-MINAM	0 - 14	Método electroquímico con pH-metro
Aceites y grasas	D.S. N° 010-2010-MINAM	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23 rdEd.2017

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Parámetros Físico- Químicos

Los parámetros Físico-Químicos son de relevancia, para la presente investigación, se utilizó equipo calibrado y se consideró necesarios realizar los siguientes de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 8:

Parámetros de monitoreo Físico – Químicos aplicado al trabajo de investigación para evaluación de agua

EQUIPO	MODELO	PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD
MEDIDOR EDGE PRO	HANNA PRO HI2020	pH	0 - 14
		TDS (Total de Sólidos disueltos)	mg/L
		Conductividad eléctrica	µS/cm
		Temperatura	°C (grados Celsius)

Fuente: Laboratorio UNDAC

4.1.4. Operaciones metalúrgicas de la minera caolin

Para desarrollar la propuesta de tratamiento fueron necesarios identificar los procesos con los que cuenta la minera, se identificaron como sigue:

Chancado

En el proceso de chancado, la planta cuenta con una tolva de gruesos que sirve de alimentación para la chancadora de quijada (Chancadora primaria), el producto pasa por medio de fajas transportadoras a una zaranda vibratoria donde el material fino es almacenado en la tolva de finos, el material grueso pasa a una segunda chancadora de quijada (chancadora secundaria) y el producto es almacenado a la tolva de finos.

Molienda

La minera cuenta con un molino de bolas de 6 x 15, que es alimentado por la tolva de finos, el rebose del molino ingresa al hidrociclón la cual clasifica las partículas donde el overflow (partículas finas) pasa al proceso de flotación y el underflow (partículas gruesas) retornan al molino de bolas.

Flotación

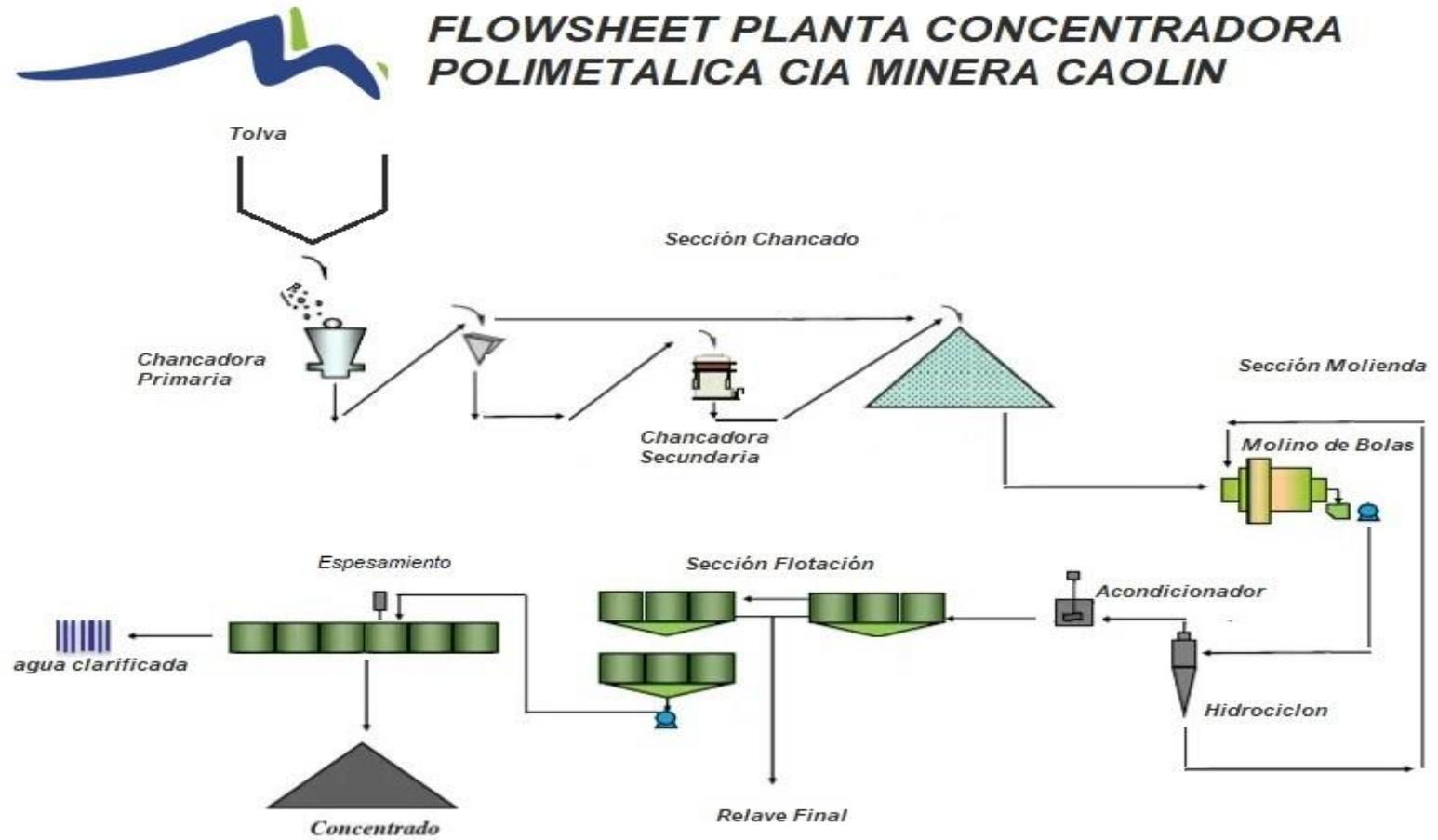
El overflow proveniente del hidrociclón, es la alimentación para el proceso de flotación. La planta cuenta una sección de flotación bulk de Plomo-Cobre donde posteriormente se realiza la flotación selectiva, las colas de este proceso pasan a una celda serrana para flotación de Zinc, donde se obtiene concentrados de Plomo, Zinc y Plomo.

Espesamiento y filtrado

El proceso espesamiento y filtrado consiste en la separación sólido-liquido del producto obtenido en el proceso de flotación, para sedimentar los sólidos presentes y teniendo un concentrado de mayor densidad y como rebose el agua clara con poca cantidad de sólidos.

Figura 13:

Flowsheet planta concentradora polimetálica compañía minera CAOLIN



Fuente: Elaboración Propia – Software METSIM

4.1.5. Diseño de la propuesta de planta de tratamiento

Para el diseño de la planta de tratamiento se obtuvo como resultado que el caudal es de $10 \text{ m}^3/\text{h}$, este caudal sera poco variable debido a que en la minera se trabaja con un tonelaje de 250 TM/día

Tabla 9:

Datos obtenidos de minera Caolín

Caudal (Q)		Factor de seguridad	Caudal (Q)	
Hora	Diario		Considerados para el diseño Hora	Diario
$10 \text{ m}^3/\text{h}$	$240 \text{ m}^3/\text{h}$	1.2	$12 \text{ m}^3/\text{h}$	$288 \text{ m}^3/\text{h}$

Fuente: Compañía Minera Caolín

4.1.5.1. Circuito A

Se propone la planta de tratamiento para los efluentes de la minera de Caolín, teniendo en cuenta que el diseño de la planta de tratamiento tiene que ser beneficioso para la empresa minera y lógicamente debe ser beneficioso para el cuidado del medio ambiente, buscando reducir en lo más mínimo el impacto ambiental producto de la actividad minera.

Por ello se propone la planta de tratamiento de acuerdo a los requerimientos de la minera, normativa vigente, costos operativos.

Acondicionador

El acondicionar tiene por objetivo la preparación de la soda caustica que será que pasaran al siguiente proceso del tratamiento.

Para el diseño del acondicionador teniendo en cuenta la preparación y almacenamiento se consideró un factor de seguridad de 5% obteniendo asi como volumen 2 m^3 . Como regulador de pH se trabajó

con el hidróxido de Calcio con una pureza del 70 %. Se determinó trabajar con una concentración de hidróxido de calcio al 2 %.

Tabla 10:

Volumen Acondicionador de hidróxido de calcio

	m^3/h	m^3/dia	m^3/dia
Caudal (Q) del acondicionador	0.02	0.48	Corrección del 5 % 0.50
Volumen del acondicionador		$2 m^3$	
Pureza Hidróxido de calcio		70 %	
Concentración de Hidróxido de calcio		2 %	

Fuente: Elaboración Propia

Tanque de neutralización

Los tanques de neutralización tiene como finalidad regular el pH en rangos de 7 – 8, a través de soluciones alcalinas de hidróxido de calcio, carbonato de calcio, además de homogenizar el caudal del efluente para el siguiente proceso.

Datos del diseño

Caudal (Q)	: $12 m^3/h$
Sección del tanque	: Cilindrica
Tiempo de residencia	: $10 \text{ min} = \frac{1}{6} \text{ h}$
Relación Altura/ Diametro	: 1 a 1

El cálculo del volumen esta dado por lo siguiente:

$$V = Q \times T_{rh}$$

$$V = 12 \text{ m}^3/\text{h} \times \frac{1}{6} \text{ h}$$

$$V = 2 \text{ m}^3$$

Calculo de la Altura y Diámetro (considerando que $D = H$)

$$V = \left(\pi \frac{D^2}{4} \right) \cdot H$$

$$V = \pi \frac{D^3}{4}$$

$$2 \text{ m}^3 = \pi \frac{D^3}{4}$$

$$D^3 = 2 \text{ m}^3 \frac{4}{\pi}$$

$$D = 1.37 \text{ m}$$

$$D = 1.4 \text{ m}$$

Con los datos de Diámetro = Altura calcularemos el volumen de diseño

$$V_d = \left(\pi \frac{D^2}{4} \right) \cdot H$$

$$V_d = \left(\pi \frac{1.4 \text{ m}^2}{4} \right) \cdot 1.4 \text{ m}$$

$$V_d = 2.2 \text{ m}^3$$

Por seguridad se aplica para la Altura una corrección de 10%

$$H = 1.4 \text{ m} \cdot 1.10$$

$$H = 1.5 \text{ m}$$

Calcularemos la potencia del agitador,

$$P = V_d \cdot \frac{80}{1000}$$

$$P = 2.2 \text{ m}^3 \cdot \frac{80}{1000}$$

$$P = 0.176 \text{ kw}$$

Por lo tanto el diseño final del tanque de neutralización sera de la siguiente manera

Tabla 11:
Dimensiones de Tanque de Neutralización

DIMENSIONES TANQUE DE NEUTRALIZACIÓN	
Volumen (V)	2.2 m ³
Altura (H)	1.4 m
Altura Corregida (H)	1.5 m
Diámetro (D)	1.4 m
Potencia del agitador	0.176 kw

Fuente: Elaboración propia

Clarificador

El Clarificador son tanques que tiene por función la eliminación continua de solidos que se depositan por sedimentación, los sólidos descargados del underflow son conocidos como lodo y del overflow se descarga el agua tratada que será analizado con el objetivo de cumplir con lo dispuesto en el D.S. 010-2010-MINAM “Limites Maximos Permisibles para descarga la descarga de efluentes liquidos de actividades minero-metalurgicas”.

Para cumplir tal fin se usan reactivos floculantes y/o floculantes, la cantidad de reactivo se determinara a través de la prueba de jarras,

haciendo que las partículas se agrupen formando en floculos de mayor densidad permitiendo la separación eficiente.

Para el diseño se trabaja con los datos siguientes:

$$\text{Caudal (Q)} \quad :12 \text{ m}^3/\text{h}$$

Los clarificadores trabajan de acuerdo al tiempo de residencia el cual garantice la sedimentación de partículas, para la presente investigación se trabajará con 2.5 horas de tiempo de residencia. Debemos tener en cuenta la carga superficial sea lo menor posible por lo que consideraremos $1.2 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$

$$T_{rh} = 2.5 \text{ h}$$
$$C_s = 1.2 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

Calculó del Volumen útil

$$V = Q \times T_{rh}$$

$$V = 12 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 2.5 \text{ h}$$

$$V = 30 \text{ m}^3$$

Calculó del área superficial del Clarificador

$$A_s = \frac{Q}{c_s}$$

$$A_s = \frac{12 \text{ m}^3/\text{h}}{1.2 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}}$$

$$A_s = 10 \text{ m}^2$$

Calculó del Diámetro del Clarificador

$$A_s = \left(\pi \frac{D^2}{4} \right)$$

$$10 \text{ m}^2 = \pi \frac{D^2}{4}$$

$$\frac{10 \text{ m}^2 \cdot 4}{\pi} = D^2$$

$$D = 3.56 \text{ m}$$

$$D = 3.6 \text{ m}$$

Calculamos la altura útil del clarificador

$$H = C_s \cdot T_{rh}$$

$$H = 1.2 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \cdot 2.5 \text{ h}$$

$$H = 3 \text{ m}$$

Se tomará la velocidad de las Rastras en 0.04 RPM y La profundidad del Clarificador tomaremos como referencia la siguiente tabla

Tabla 12:

Determinación de la profundidad del clarificador

Diámetro (m)	Profundidad desde la superficie del agua (m)	
	Mínima	Sugerida
<12	3	3.7
12 a 21	3.3	3.7
21 a 30	3.7	4
30 a 43	4	4.3
>43	4.3	4.6

Fuente: Manual Of Practice 2005.

Entonces el diseño del Clarificador será como sigue:

Tabla 13:

Dimensiones del Clarificador

DIMENSIONES DEL CLARIFICADOR	
Volumen (V)	30 m ³
Altura (H)	3 m
Diámetro (D)	3.6 m
Profundidad	3.7 m
Velocidad de Rastras	0.04 RPM
Tiempo de residencia	2.5 h
Carga Superficial	1.2 $\frac{m^3}{m^2 \cdot h}$
Área Superficial	10 m ²

Fuente: Elaboración propia

4.1.5.2. Circuito b

La compañía minera Caolín actualmente procesa 250 TM/día por lo que está calificado como Pequeño Productor Minero, por lo que también se propone este circuito con el objetivo de cumplir con los límites máximos permisibles exigidos según ley, reduciendo costos operativos, área de planta disponible y eficiencia.

Poza Rompe Presión

La función principal es disipar la energía y reducir la presión, homogenizando el efluente y entregando un caudal constante cuando el flujo es intermitente, para el siguiente proceso de sedimentación.

Para el diseño se tomó los datos de la tabla N° 9, tal como sigue:

Caudal (Q) :12 m³/h

Altura (H) : 2 m

Ancho/ Largo : 1 a 4

Para el tiempo de retención se obtuvo el siguiente de acuerdo al diagrama de masa

Tiempo de retención: 4 h

Volumen: 4 h x 12 m³/h

Volumen: 48 m³

Para el presente se determinó que se usara 1 poza rompe presión

$$V=L \times A \times H$$

$$48 \text{ m}^3 = L \times A \times 2$$

$$24 \text{ m}^2 = L \times A \text{ (por relación de 1 a 4)}$$

$$24 \text{ m}^2 = 4A^2$$

$$2.44 \text{ m} = A$$

$$9.76 \text{ m} = L$$

Por lo tanto, determinamos que las dimensiones de nuestro Pozo ecualizador, que de acuerdo a procesos constructivos se redondea:

Tabla 14:

Dimensiones de Pozo Rompe Presión

DIMENSIONES POZO ROMPE PRESIÓN	
Altura (H)	2 m
Largo (L)	10 m
Ancho (A)	2.5 m

Fuente: Elaboración propia

Poza de sedimentación

En la poza de sedimentación se da el tiempo de residencia óptimo a las aguas en tratamiento para sedimentar los sólidos en suspensión. En este proceso que se agrega el reactivo coagulante y/o floculante. La

cantidad de reactivo se determinará de acuerdo a la prueba de jarras realizadas.

Se determine que se utilizara 2 pozas de sedimentación por lo que el caudal sera:

Caudal (Q) : $6 \text{ m}^3/\text{h}$

Altura (H) : 3 m

Ancho/ Largo : 1 a 4

Tiempo de retención : 4 h

Volumen : 24 m^3

$$V=L \times A \times H$$

$$24 \text{ m}^3 = L \times A \times 3$$

$$8 \text{ m}^2 = L \times A \text{ (por relación de 1 a 4)}$$

$$8 \text{ m}^2 = 4A^2$$

$$1.41 \text{ m} = A$$

$$5.64 \text{ m} = L$$

Por lo tanto, determinamos que las dimensiones que de acuerdo a procesos constructivos se redondea:

Tabla 15:

Dimensiones de Pozo de Sedimentación

DIMENSIONES POZO DE SEDIMENTACIÓN	
Altura (H)	3 m
Largo (L)	6 m
Ancho (A)	1.5 m

Fuente: Elaboración propia

Poza de Clarificación

Las pozas de clarificación reciben las aguas de los sedimentadores y su función principal es eliminar la mayor cantidad de sólidos presentes en el agua, la cantidad de pozas dependerá de la prueba de jarras que se realizaran en el laboratorio.

El producto de estas pozas de sedimentación es el agua tratada que será analizado mediante espectrofotometría de absorción atómica para ser analizados con el objetivo de cumplir con lo dispuesto en el D.S. 010-2010-MINAM “Límites Máximos Permisibles para descarga la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas”.

Para el diseño de las pozas de clarificación, se determinó que se usaran 3 pozas para cumplir con la normativa que exige.

Caudal (Q) : $12 \text{ m}^3/\text{h}$

Altura (H) : 2.5 m

Ancho/ Largo : 1 a 4

Tiempo de retención : 4 h

Volumen : 24 m^3

Para el presente se determinó que se usara 1 poza rompe presión

$$V=L \times A \times H$$

$$48 \text{ m}^3=L \times A \times 2$$

$$24 \text{ m}^2=L \times A \text{ (por relación de 1 a 4)}$$

$$24 \text{ m}^2=4A^2$$

$$2.44 \text{ m} = A$$

$$9.76 \text{ m} = L$$

Por lo tanto, determinamos que las dimensiones que de acuerdo a procesos constructivos se redondea:

Tabla 16:

Dimensiones de Pozo de clarificación

DIMENSIONES POZO DE CLARIFICACIÓN	
Altura (H)	2 m
Largo (L)	10 m
Ancho (A)	2.5 m

Fuente: Elaboración propia

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Los resultados obtenidos de las actividades mencionadas en el ítem anterior se detallan a continuación

4.2.1. Resultados de análisis de monitoreo

Las muestras analizadas según los puntos de monitoreo por laboratorio acreditado para análisis según el D.S. 010-2010-MINAM, se muestran a continuación:

Resultados de evaluación de efluentes de cia minera caolín

Para evaluar los efluentes generados por minera Caolín se tomaron 7 puntos de monitoreo según lo siguiente:

Tabla 17:*Resultados Según Puntos de Monitoreo de Efluentes Minera Caolín - Junio*

PARAMETRO EVALUADO	UNIDAD	PUNTO DE MONITOREO				D.S. N° 010-2010-MINAM
		EA1	ECR1	EA2	ECR2	
Cadmio Total	mg/L	0.025	0.008	0.062	0.006	0.05
Mercurio Total	mg/L	0.0009	<0.0002	0.0018	<0.0001	0.002
Zinc Total	mg/L	4.604	0.915	13.501	0.645	1.5
Cromo Hexavalente	mg/L	<0.045	0.011	<0.045	0.031	0.1
Cobre Total	mg/L	2.553	0.641	6.831	0.534	0.5
Hierro disuelto	mg/L	4.752	1.931	31.908	1.382	2
Plomo Total	mg/L	1.812	0.198	7.568	0.199	0.2
Arsénico Total	mg/L	1.854	0.034	8.268	0.095	0.1
Cianuro Total	mg/L	0.855	0.016	2.325	0.059	1
Solidos Totales en suspensión	mg/L	450	48	>10000	41	50
pH	0 - 14	7.41	7.16	7.12	7.29	6 - 9
Aceites y Grasas	mg/L	28.58	17.56	40.58	18.65	20

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín

Tabla 18:*Resultados Según Puntos de Monitoreo de Efluentes Minera Caolín - Junio*

PARAMETRO EVALUADO	UNIDAD	PUNTO DE MONITOREO			D.S. N° 010-2010-MINAM
		EA3	ECR3	EA4	
Cadmio Total	mg/L	0.038	<0.009	0.029	0.05
Mercurio Total	mg/L	<0.0005	<0.0002	<0.0004	0.002
Zinc Total	mg/L	2.803	1.451	1.912	1.5
Cromo Hexavalente	mg/L	<0.038	<0.008	<0.025	0.1
Cobre Total	mg/L	1.852	0.751	1.101	0.5
Hierro disuelto	mg/L	5.915	1.707	2.851	2
Plomo Total	mg/L	4.735	0.214	1.945	0.2
Arsénico Total	mg/L	3.842	0.608	1.842	0.1
Cianuro Total	mg/L	1.915	0.914	1.108	1
Solidos Totales en suspensión	mg/L	360	52	87	50
pH	0 - 14	7.28	7.06	7.19	6 - 9
Aceites y Grasas	mg/L	23.68	17.81	19.06	20

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín

Tabla 19:*Resultados Según Puntos de Monitoreo de Efluentes Minera Caolín - Julio*

PARAMETRO EVALUADO	UNIDAD	PUNTO DE MONITOREO				D.S. N° 010-2010-MINAM
		EA1	ECR1	EA2	ECR2	
Cadmio Total	mg/L	0.022	0.006	0.074	0.016	0.05
Mercurio Total	mg/L	0.0008	<0.0011	0.0013	<0.0002	0.002
Zinc Total	mg/L	3.917	0.762	12.945	0.983	1.5
Cromo Hexavalente	mg/L	<0.010	0.072	<0.010	0.039	0.1
Cobre Total	mg/L	1.925	0.657	5.942	0.532	0.5
Hierro disuelto	mg/L	5.816	1.651	38.945	1.281	2
Plomo Total	mg/L	1.915	0.195	8.148	0.182	0.2
Arsénico Total	mg/L	2.589	0.019	9.816	0.087	0.1
Cianuro Total	mg/L	1.103	0.064	2.154	0.074	1
Solidos Totales en suspensión	mg/L	490	46	>10000	47	50
pH	0 - 14	6.79	7.2	7.18	7.29	6 - 9
Aceites y Grasas	mg/L	27.58	16.85	44.18	18.65	20

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín

Tabla 20:*Resultados Según Puntos de Monitoreo de Efluentes Minera Caolín - Julio*

PARAMETRO EVALUADO	UNIDAD	PUNTO DE MONITOREO			D.S. N° 010-2010-MINAM
		EA3	ECR3	EA4	
Cadmio Total	mg/L	0.041	<0.008	0.031	0.05
Mercurio Total	mg/L	<0.0004	<0.0002	<0.0005	0.002
Zinc Total	mg/L	2.548	1.361	1.827	1.5
Cromo Hexavalente	mg/L	<0.036	<0.007	<0.031	0.1
Cobre Total	mg/L	1.645	0.618	1.204	0.5
Hierro disuelto	mg/L	4.951	1.803	2.957	2
Plomo Total	mg/L	4.917	0.318	1.881	0.2
Arsénico Total	mg/L	4.135	0.481	1.508	0.1
Cianuro Total	mg/L	1.258	0.714	1.851	1
Solidos Totales en suspensión	mg/L	380	51	91	50
pH	0 - 14	7.15	7.06	7.19	6 - 9
Aceites y Grasas	mg/L	23.15	17.81	19.06	20

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín

Tabla 21:*Resultados Según Puntos de Monitoreo de Efluentes Minera Caolín - Agosto*

PARAMETRO EVALUADO	UNIDAD	PUNTO DE MONITOREO				D.S. N° 010- 2010-MINAM
		EA1	ECR1	EA2	ECR2	
Cadmio Total	mg/L	0.033	0.008	0.043	0.013	0.05
Mercurio Total	mg/L	0.0009	<0.0006	0.0019	<0.0001	0.002
Zinc Total	mg/L	4.133	0.945	14.958	0.802	1.5
Cromo Hexavalente	mg/L	<0.010	0.088	<0.010	0.041	0.1
Cobre Total	mg/L	2.015	0.504	7.152	0.486	0.5
Hierro disuelto	mg/L	3.839	1.238	29.359	1.836	2
Plomo Total	mg/L	1.257	0.168	7.483	0.196	0.2
Arsénico Total	mg/L	3.012	0.028	7.956	0.093	0.1
Cianuro Total	mg/L	1.209	0.082	1.939	0.071	1
Solidos Totales en suspensión	mg/L	480	59	>10000	49	50
pH	0 - 14	6.39	7.07	6.99	7.31	6 - 9
Aceites y Grasas	mg/L	26.01	18.21	46.96	19.05	20

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín

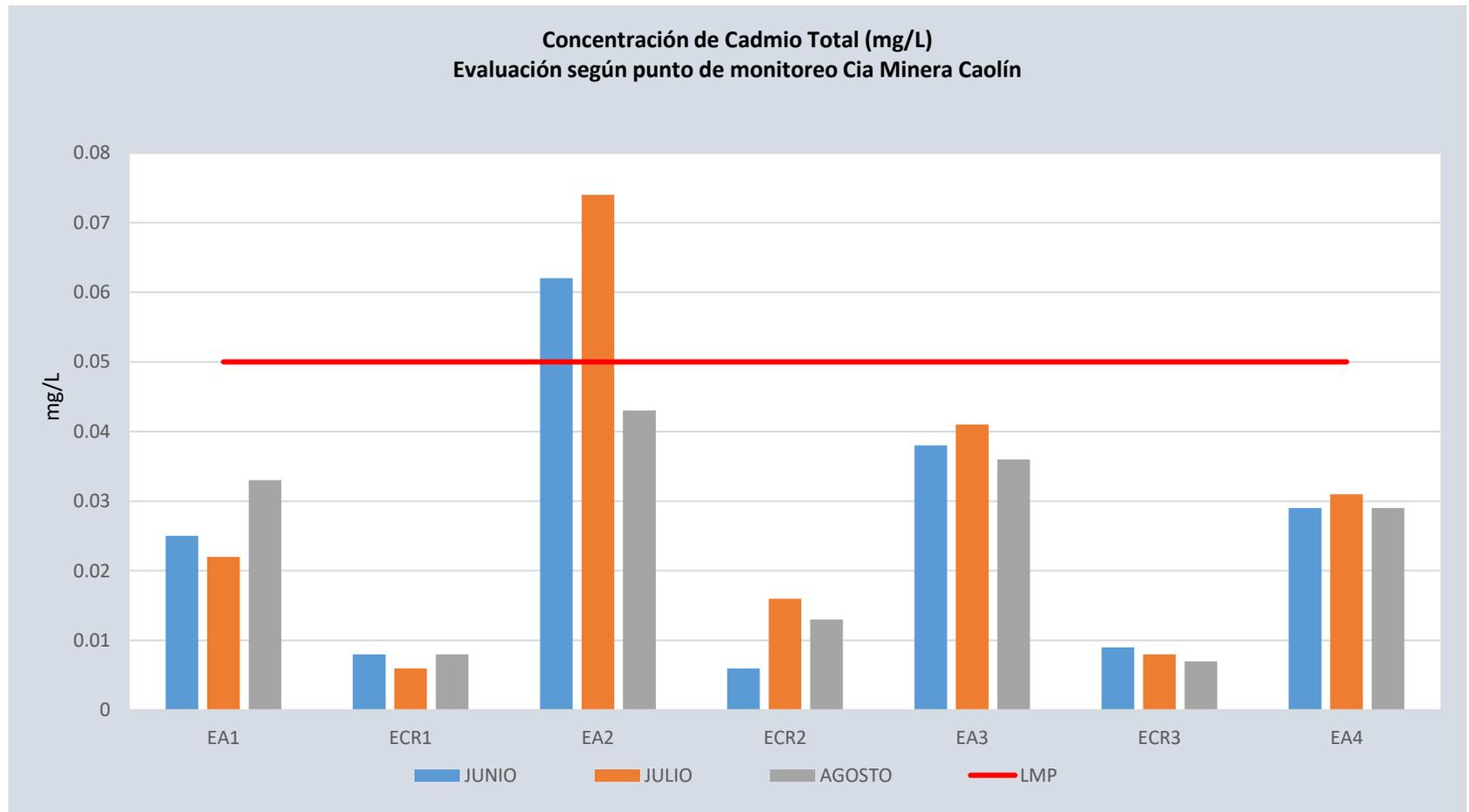
Tabla 22:*Resultados Según Puntos de Monitoreo de Efluentes Minera Caolín - Agosto*

PARAMETRO EVALUADO	UNIDAD	PUNTO DE MONITOREO			D.S. N° 010-2010-MINAM
		EA3	ECR3	EA4	
Cadmio Total	mg/L	0.036	<0.007	0.029	0.05
Mercurio Total	mg/L	<0.0004	<0.0001	<0.0006	0.002
Zinc Total	mg/L	1.985	1.052	1.925	1.5
Cromo Hexavalente	mg/L	<0.029	<0.004	<0.024	0.1
Cobre Total	mg/L	1.854	0.611	1.309	0.5
Hierro disuelto	mg/L	3.937	2.081	3.015	2
Plomo Total	mg/L	3.098	0.307	1.989	0.2
Arsénico Total	mg/L	5.845	0.119	1.206	0.1
Cianuro Total	mg/L	2.016	0.914	1.947	1
Solidos Totales en suspensión	mg/L	350	49	80	50
pH	0 - 14	7.31	7.08	7.21	6 - 9
Aceites y Grasas	mg/L	24.15	16.18	18.98	20

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cia Minera Caolín

Gráfico 1:

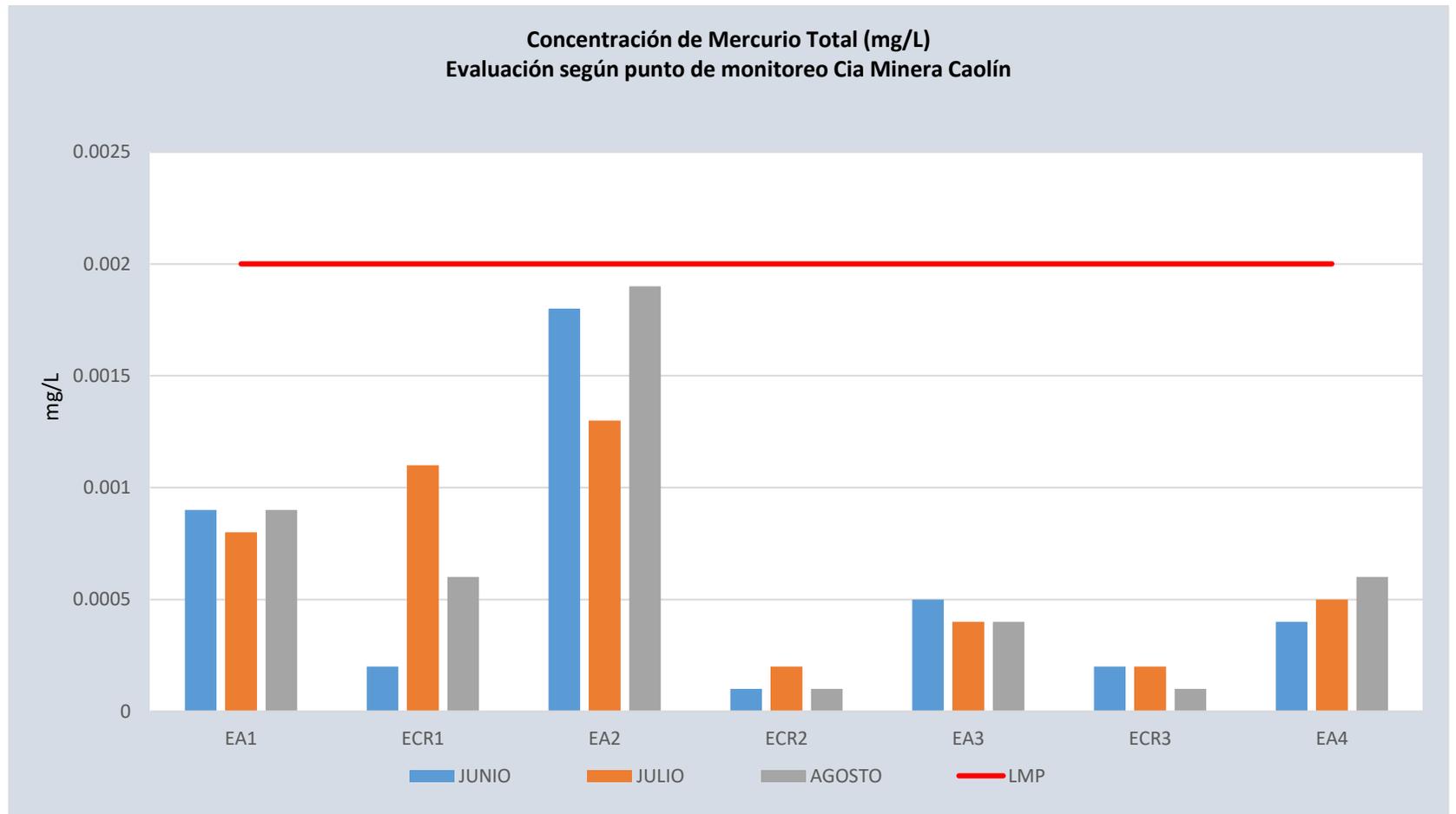
Concentración de Cadmio Total según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos



Fuente: Monitoreo de efluentes de Cía. Minera Caolín Junio – Julio – Agosto

Gráfico 2:

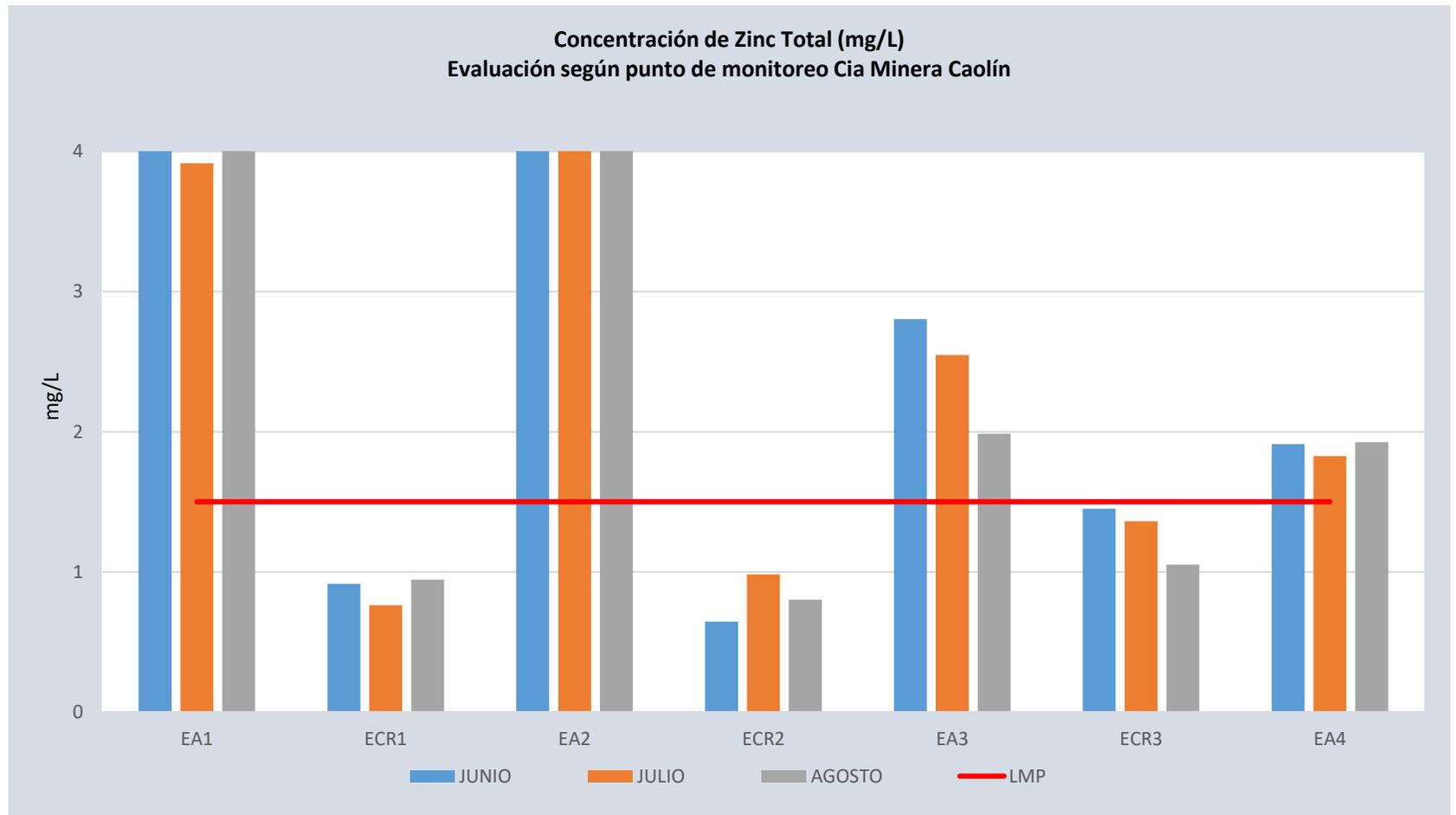
Concentración de Mercurio Total según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos



Fuente: Monitoreo de efluentes de Cía. Minera Caolín Junio – Julio – Agosto

Gráfico 3:

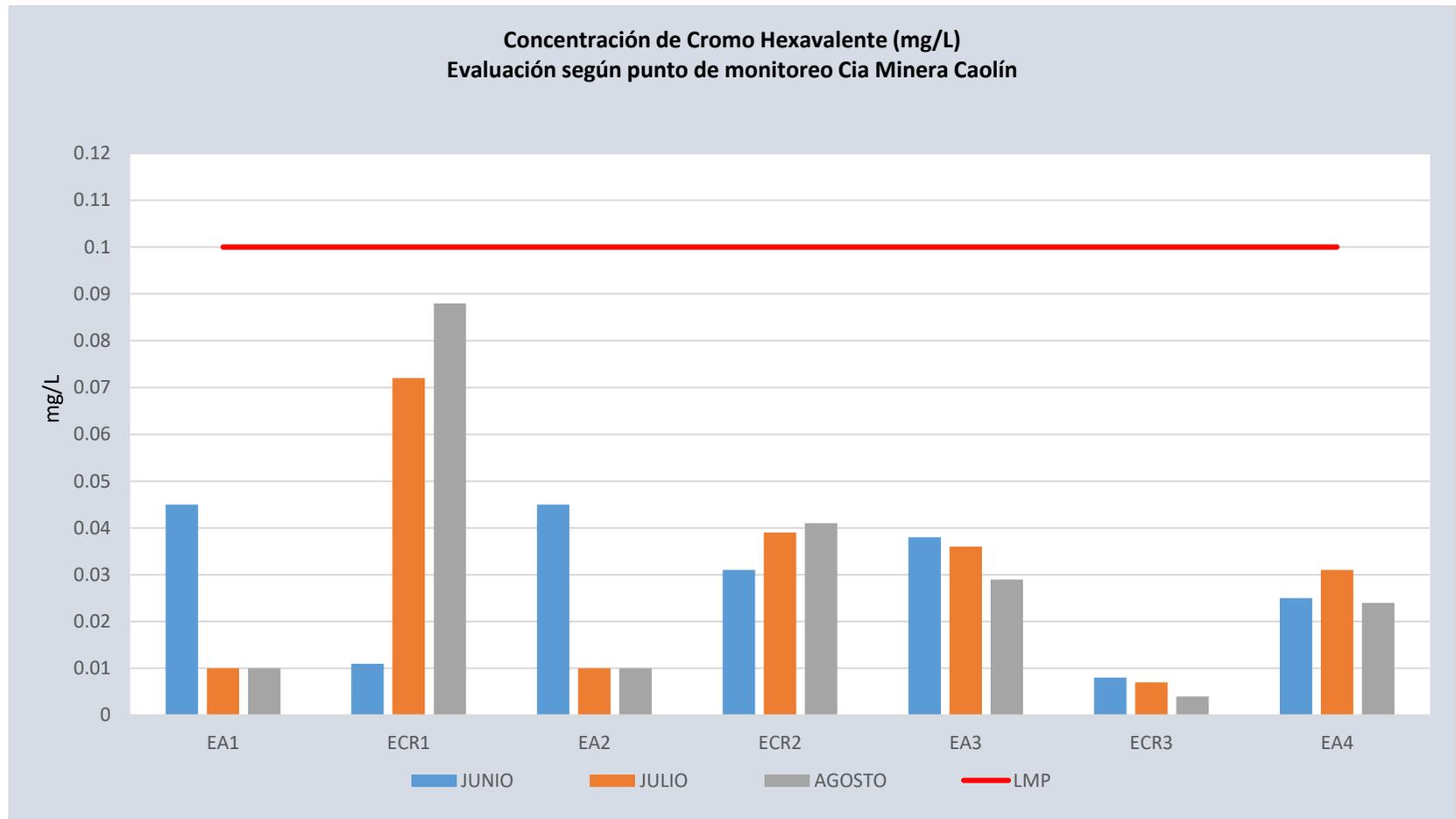
Concentración de Zinc Total según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos



Fuente: Monitoreo de efluentes de Cía. Minera Caolín Junio – Julio – Agosto

Gráfico 4:

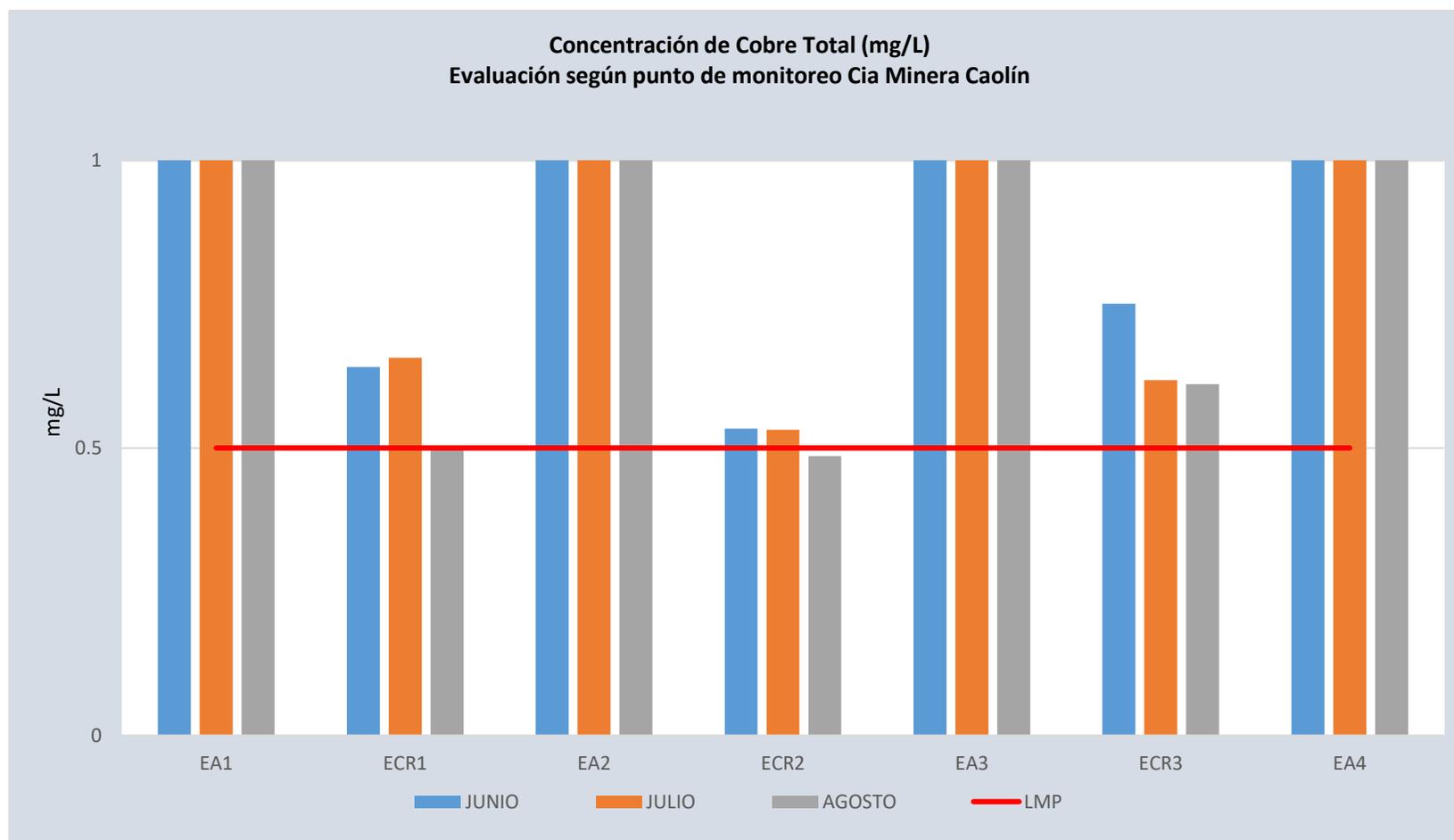
Concentración de Cromo Hexavalente según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos



Fuente: Monitoreo de efluentes de Cía. Minera Caolín Junio – Julio – Agosto

Gráfico 5:

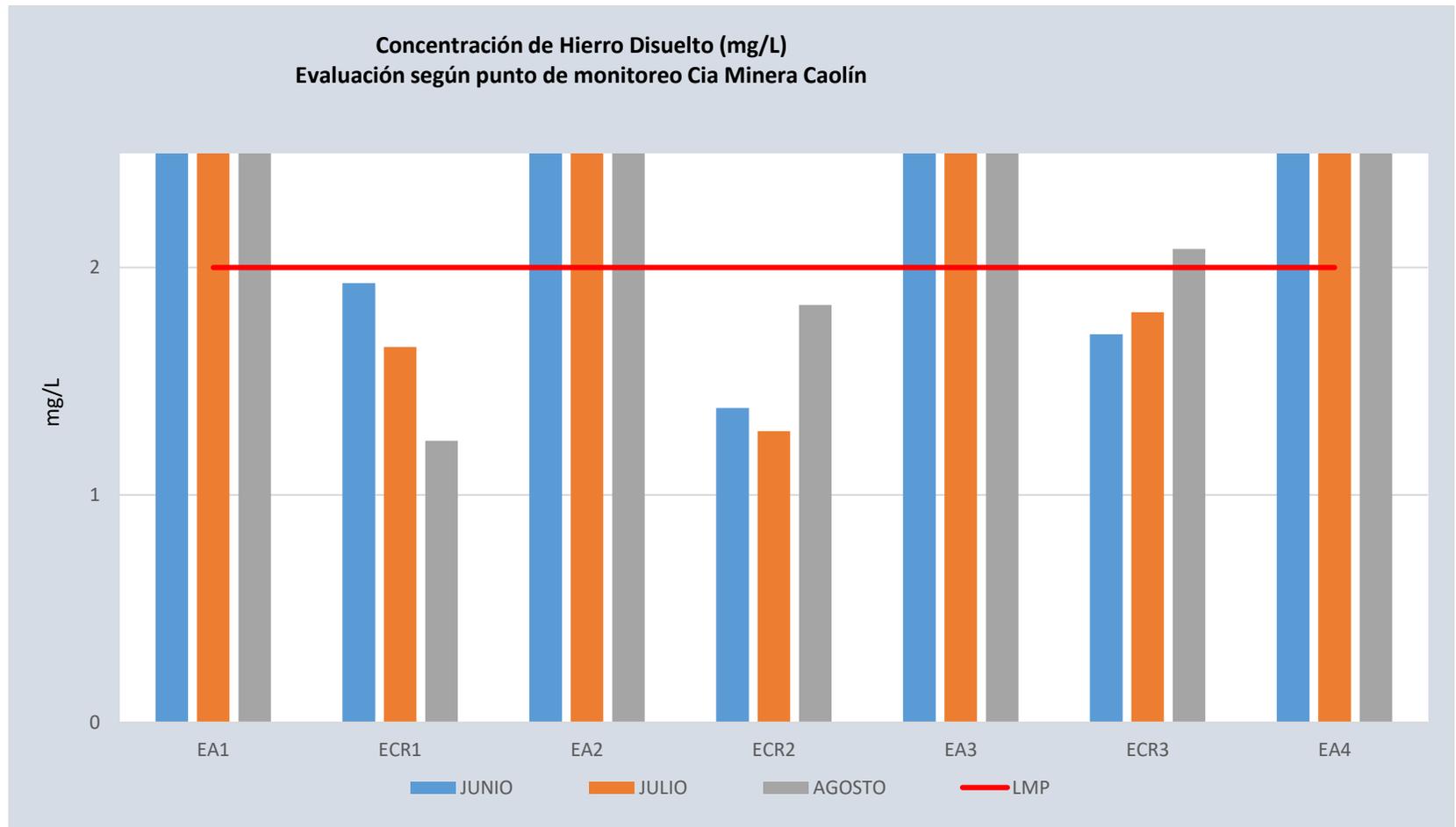
Concentración de Cobre Total según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos



Fuente: Monitoreo de efluentes de Cía. Minera Caolín Junio – Julio – Agosto

Gráfico 6:

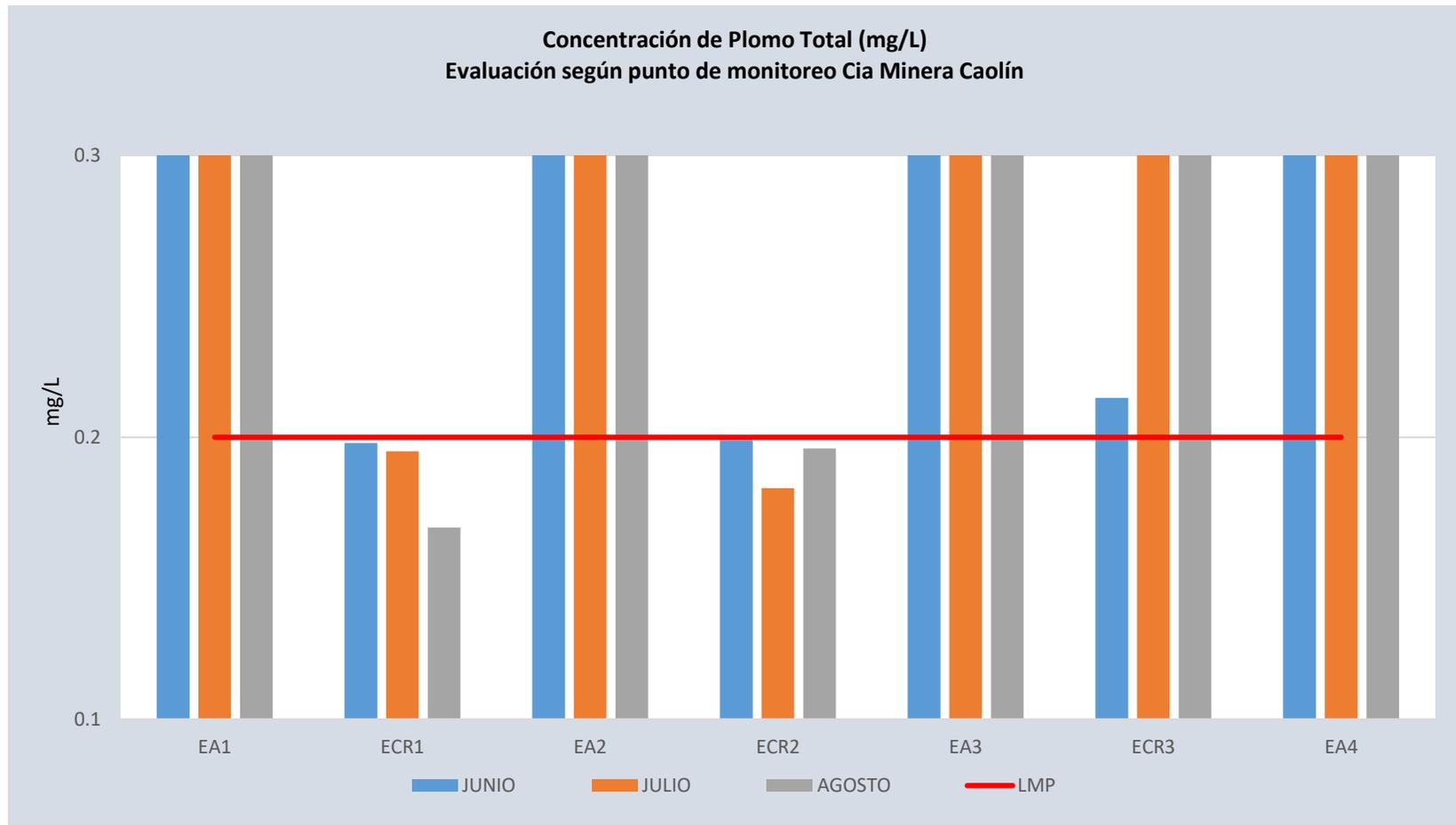
Concentración de Hierro disuelto según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos



Fuente: Monitoreo de efluentes de Cía. Minera Caolín Junio – Julio – Agosto

Gráfico 7:

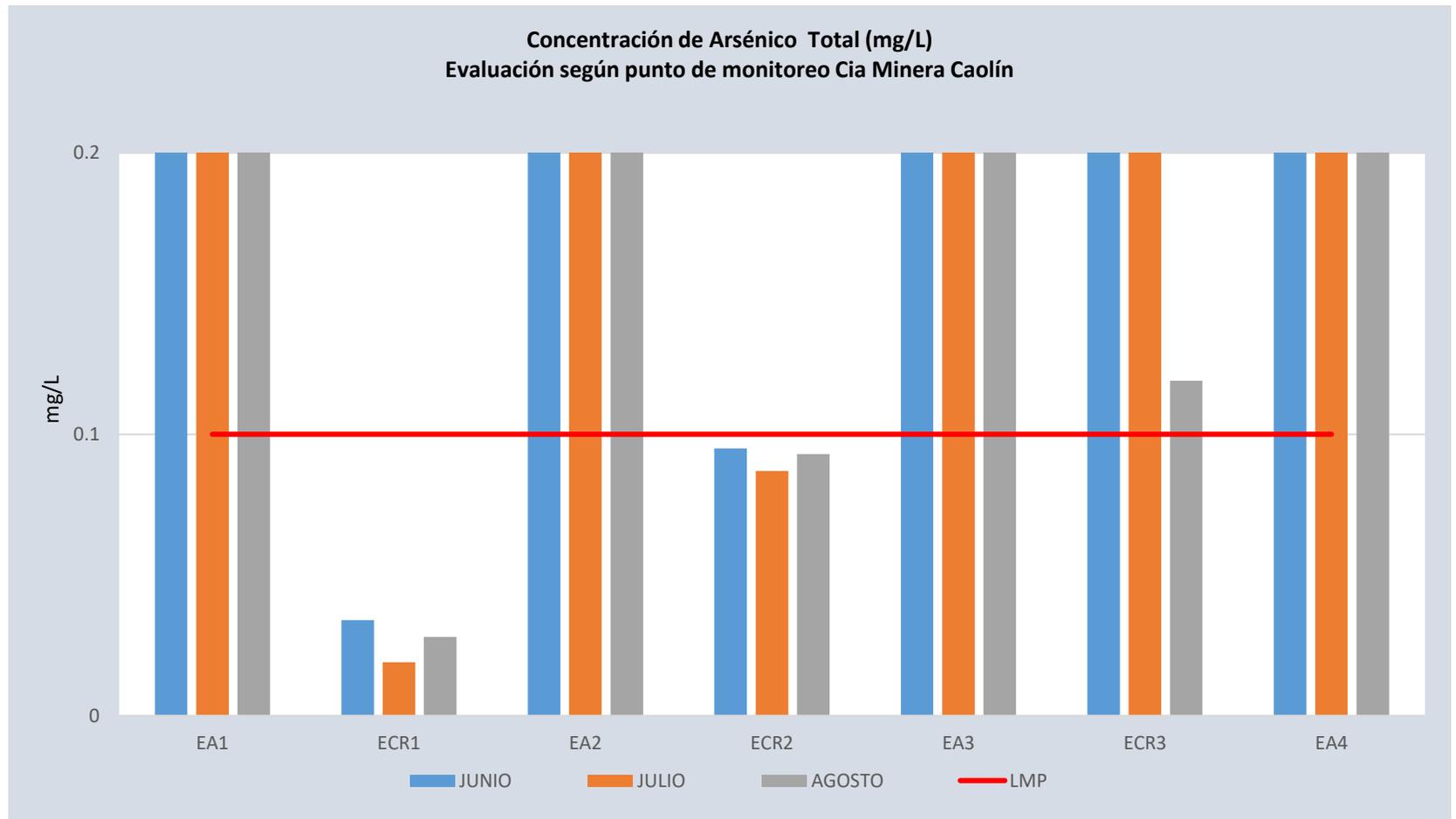
Concentración de Plomo Total según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos



Fuente: Monitoreo de efluentes de Cía. Minera Caolín Junio – Julio – Agosto

Gráfico 8:

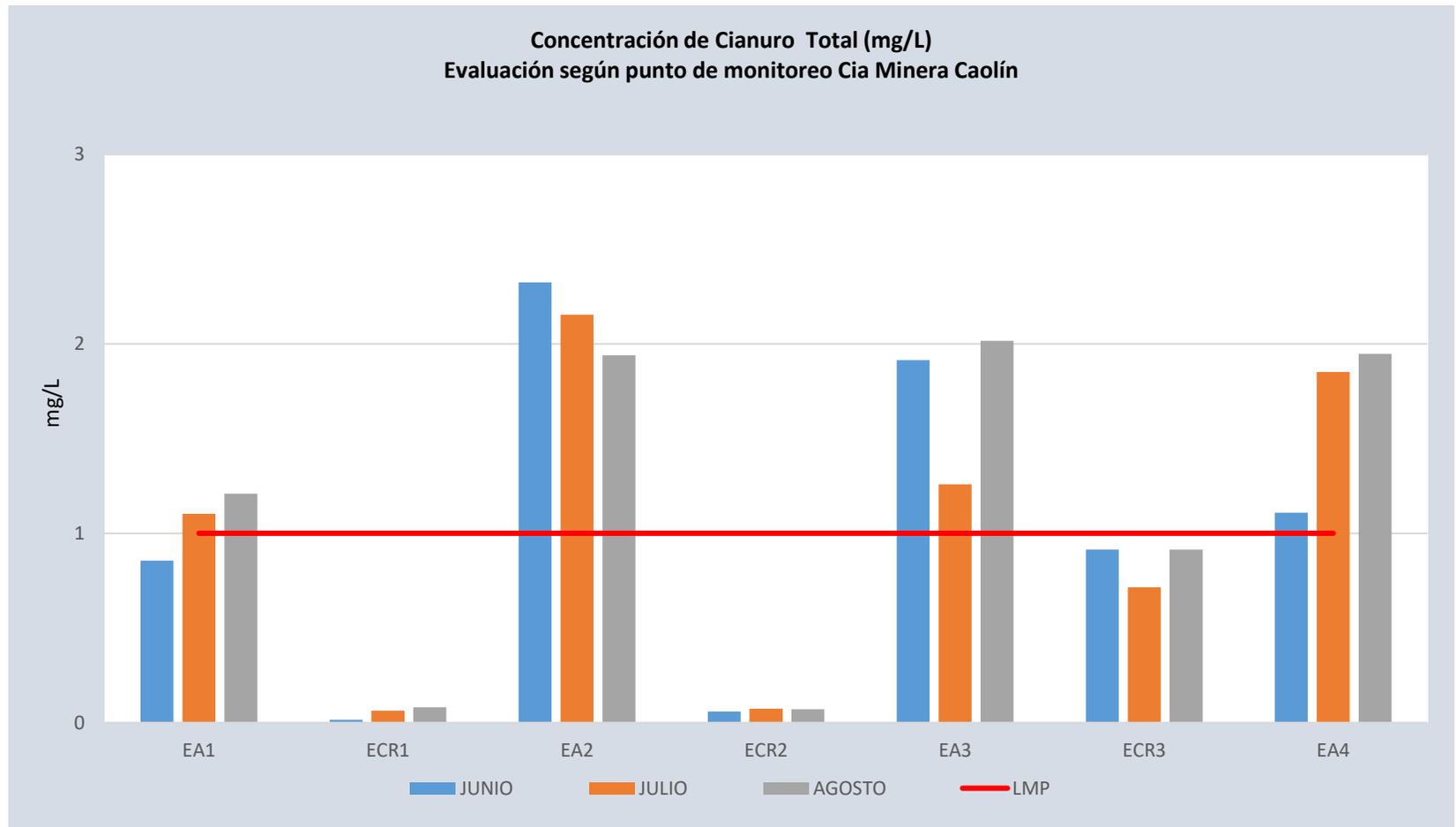
Concentración de Arsenico Total según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos



Fuente: Monitoreo de efluentes de Cía. Minera Caolín Junio – Julio – Agosto

Gráfico 9:

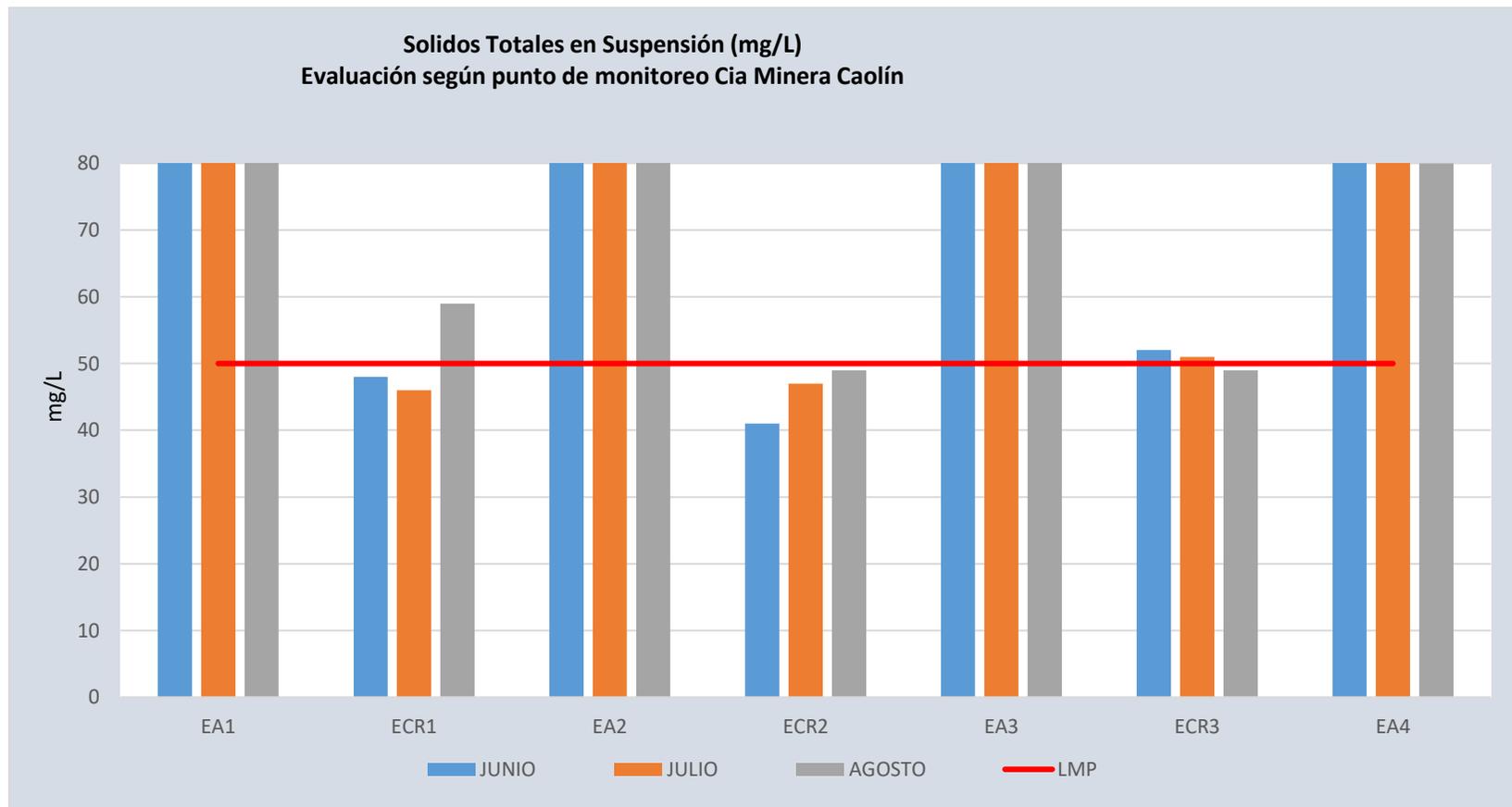
Concentración de Cianuro Total según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos



Fuente: Monitoreo de efluentes de Cía. Minera Caolín Junio – Julio – Agosto

Gráfico 10:

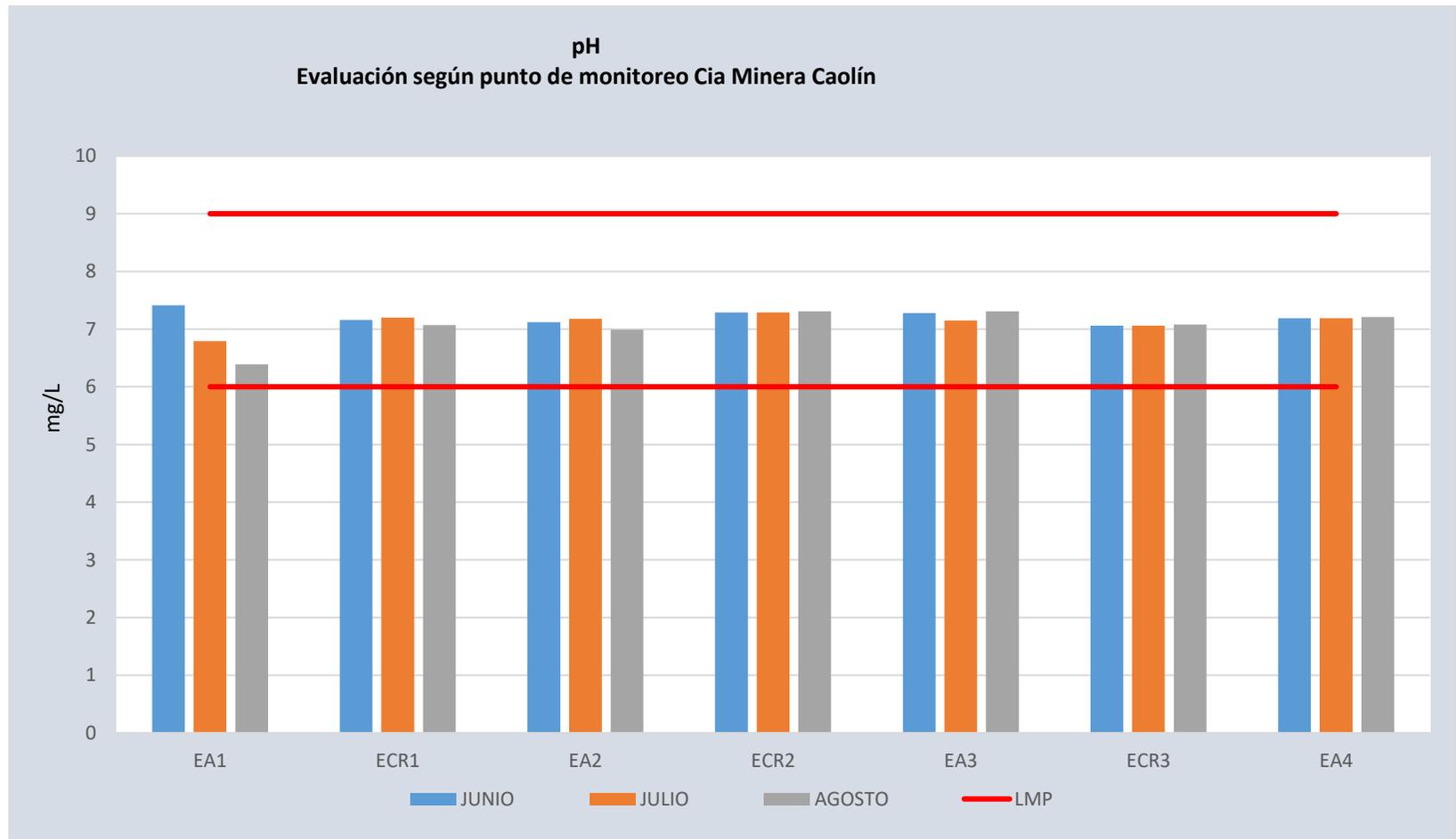
Concentración de Sólidos Totales en suspensión según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos



Fuente: Monitoreo de efluentes de Cía. Minera Caolín Junio – Julio – Agosto

Gráfico 11:

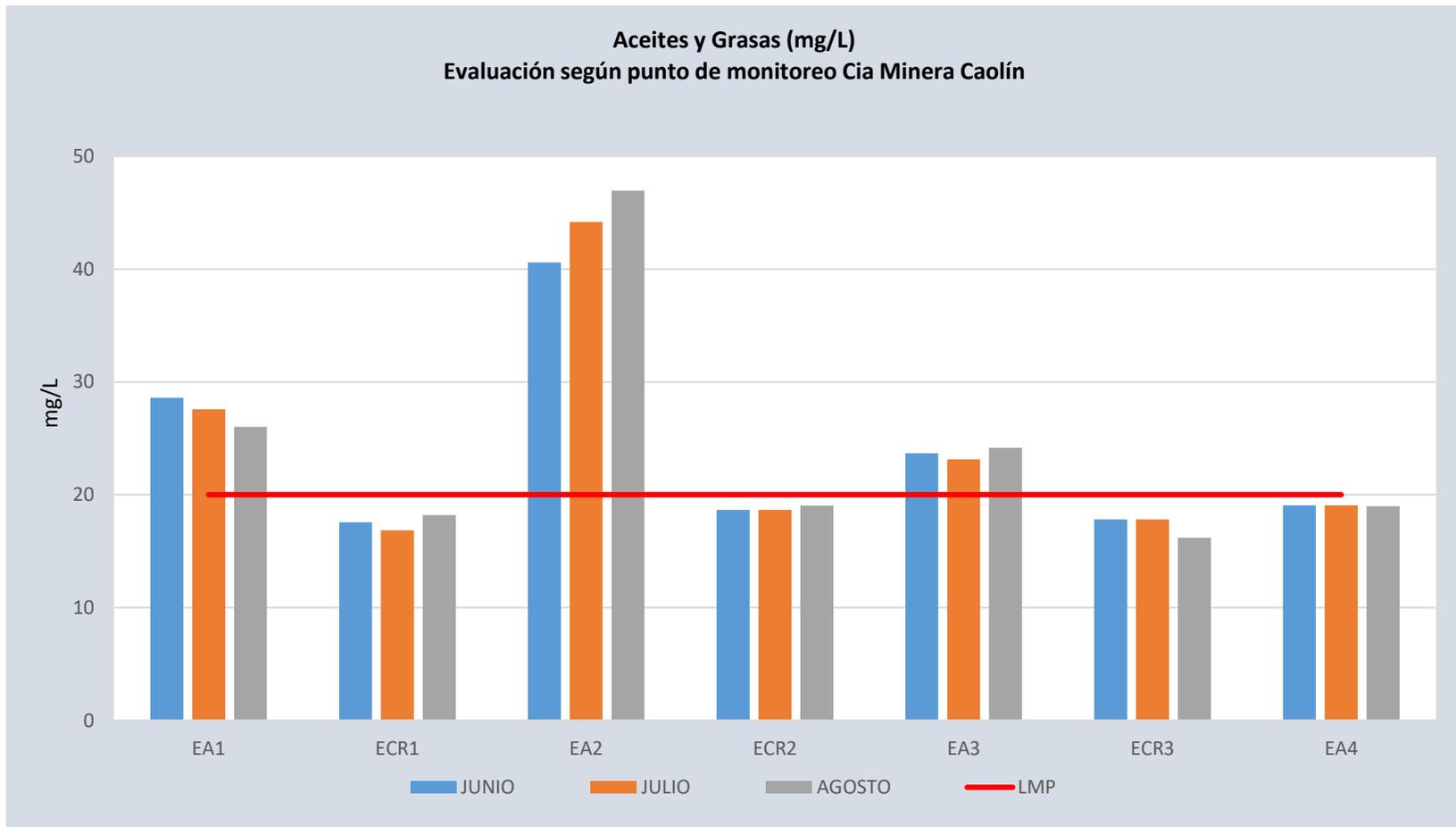
Concentración de pH según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos



Fuente: Monitoreo de efluentes de Cía. Minera Caolín Junio – Julio – Agosto

Gráfico 12:

Concentración de Aceites y Grasas según Límites Máximos Permisibles para efluentes minero-metalúrgicos



Fuente: Monitoreo de efluentes de Cía. Minera Caolín Junio – Julio – Agosto

Análisis e interpretación de resultados:

Para el análisis e interpretación, los resultados obtenidos serán comparados con el D.S. N° 010-2010-MINAM “Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas”, según ello podemos decir:

En el punto Monitoreo EA2 podemos observar que la concentración de los metales Cd total, Zn total, Cu total, Pb total, CN^- total, Fe disuelto, As total, aceites y grasas, sólidos totales en suspensión superan ampliamente los Límites Máximos Permisibles estipulados con valores que rodean 0.074 mg/L, 13.501 mg/L, 7.152 mg/L, 8.148 mg/L, 2.325 mg/L, 38.945, 8.268 mg/L, 44.18 respectivamente, a excepción del Hg Total y Cr hexavalente tal como se puede ver en el gráfico N° 2 y gráfico N° 4 que se encuentran dentro de lo establecido para LMP. Esto se debería a que Cía. Minera Caolín procesa principalmente minerales de Cu, Pb, Zinc por lo que el mercurio y plomo tienen concentraciones relativamente insignificantes.

Según el punto de monitoreo EA1 indica que el Hg Total, Cr Hexavalente, CN^- total (en el mes de junio) y Cadmio total cumplen con los LMP, tal como se puede evidenciar en la Figura N° 2, Figura N° 4, Figura N° 9, Figura N° 1 respectivamente. En cuanto al Zn total (4.604 mg/L), Cu total (2.553 mg/L), Pb total (1.915 mg/L), Fe disuelto (5.816 mg/L), As total (3.012 mg/L), aceites y grasas (27.58 mg/L), pH (6.39) y sólidos totales en suspensión (490 mg/L) exceden los LMP, esto debido a que el punto EA1 es el rebose de los espesadores donde se decanta los concentrados y no se eliminan con eficacia el particulado de los efluentes generado.

En los puntos de monitoreo ECR1 y ECR2 podemos observar que según el grafico N° 5, la concentración de Cu total (0.657 mg/L, 0.534 mg/L respectivamente) sobrepasa ligeramente lo permitido por LMP con un declive por debajo de los LMP en el punto ECR2 con 0.486 mg/L en el mes de agosto. Además de que se puede observar en el grafico N° 10 que los sólidos totales en suspensión en ese mismo mes alcanza los 59 mg/L lo que esta por encima de los LMP.

Como podemos observar en el punto de monitoreo EA3, la concentración de Zn total, Cu total, Pb total, Fe disuelto, As total, solidos totales en suspensión exceden ampliamente los LMP, mientras que el CN^- total, aceites y grasas superan levemente lo estipulado tal como se puede apreciar en la figura N° 3, figura N° 5, figura N° 7, figura N° 6, figura N° 8, figura N° 10, figura N° 9 y figura N° 12. Esto debido a que es el punto de decantación de la relavera lo que hace que tengan aún concentraciones no favorables.

El punto de monitoreo ECR3 la concentración de Cu total (0.751 mg/L), Plomo total (0.318 mg/L), Fe total (2.081 mg/L en el mes de agosto), arsénico total (0.608 mg/L) sobrepasan lo estipulado según la figura N° 5, figura N° 7, figura N° 6, figura N° 8 y solidos totales en suspensión ligeramente en los meses de junio (52 mg/L) y julio (51 mg/L) tal como se evidencia en la figura N° 10.

El punto de Monitoreo EA4 es el punto de descarga del efluente donde se puede evidenciar en la figura N° 3, figura N° 5, figura N° 7, figura N° 9, figura N° 6, figura N° 8 que el Zn total (1.925 mg/L), Cu total (1.309 mg/L), Pb total (1.989 mg/L), CN^- total (1.947), Fe disuelto (2.957 mg/L), As total (1.842 mg/L) respetivamente se encuentran medianamente por encima de los LMP, lo que es

indicativo que requiere tratamiento eficiente previo a la descarga del efluente siendo que podría afectar a la flora, fauna y población en general del entorno.

4.2.2. Resultados diseño de planta de tratamiento

La planta de tratamiento se diseñó mediante proceso de tratamiento de Circuito A y Circuito B, teniendo en cuenta aspectos fundamentales como la concentración de metales e impurezas presentes en los relaves generados, costos y eficiencia operativa que se alinean con la necesidad de la empresa minera y el cumplimiento de lo estipulado en el D.S. N° 010-2010-MINAM “Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas”. Dichos circuitos están diseñados para funcionar de manera independiente y si se requiere de manera paralela de acuerdo a la necesidad de la empresa o el aumento de la capacidad de tratamiento.

Se realizaron pruebas a nivel laboratorio (prueba piloto) donde se determinó la dosificación de reactivos (floculante), pH, número de sedimentadores, clarificadores, acondicionadores para ambos circuitos mediante prueba de jarras, en total se realizaron 9 pruebas de las cuales 3 fueron sin Floculante y 6 con Floculante Aniónico Magnafloc 1011, donde se siguió el procedimiento según Sapporo City Institute of Public Health 2003, la muestra recolectada se obtuvo del relave que genera la mina y del rebose del proceso filtrado. Se determinó realizar una agitación a 60 RPM donde se realizó la medición y ajuste de pH según los parámetros indicados, posteriormente se adicionó el floculante agitando la muestra por 5 minutos y se dejó reposar por 20 minutos, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 23:

Resultado Prueba de Jarras sin Floculante

N°	Solidos Totales en suspensión	pH
Prueba de jarras N° 1	380 mg/L	7.10
Prueba de jarras N° 2	390 mg/L	6.95
Prueba de jarras N° 3	370 mg/L	7.30

Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar en la tabla sin utilizar el floculante, los sólidos totales en suspensión sobrepasan los LMP según D.S. 010-2010-MINAM.

Tabla 24:

Resultado Prueba de Jarras con Floculante e hidróxido de calcio

N°	Solidos Totales en suspensión	pH
Prueba de jarras N° 4	39 mg/L	7.95
Prueba de jarras N° 5	43 mg/L	8.10
Prueba de jarras N° 6	42.5 mg/L	8.05
Prueba de jarras N° 7	41 mg/L	8.25
Prueba de jarras N° 8	43.5 mg/L	7.90
Prueba de jarras N° 9	40 mg/L	8.15

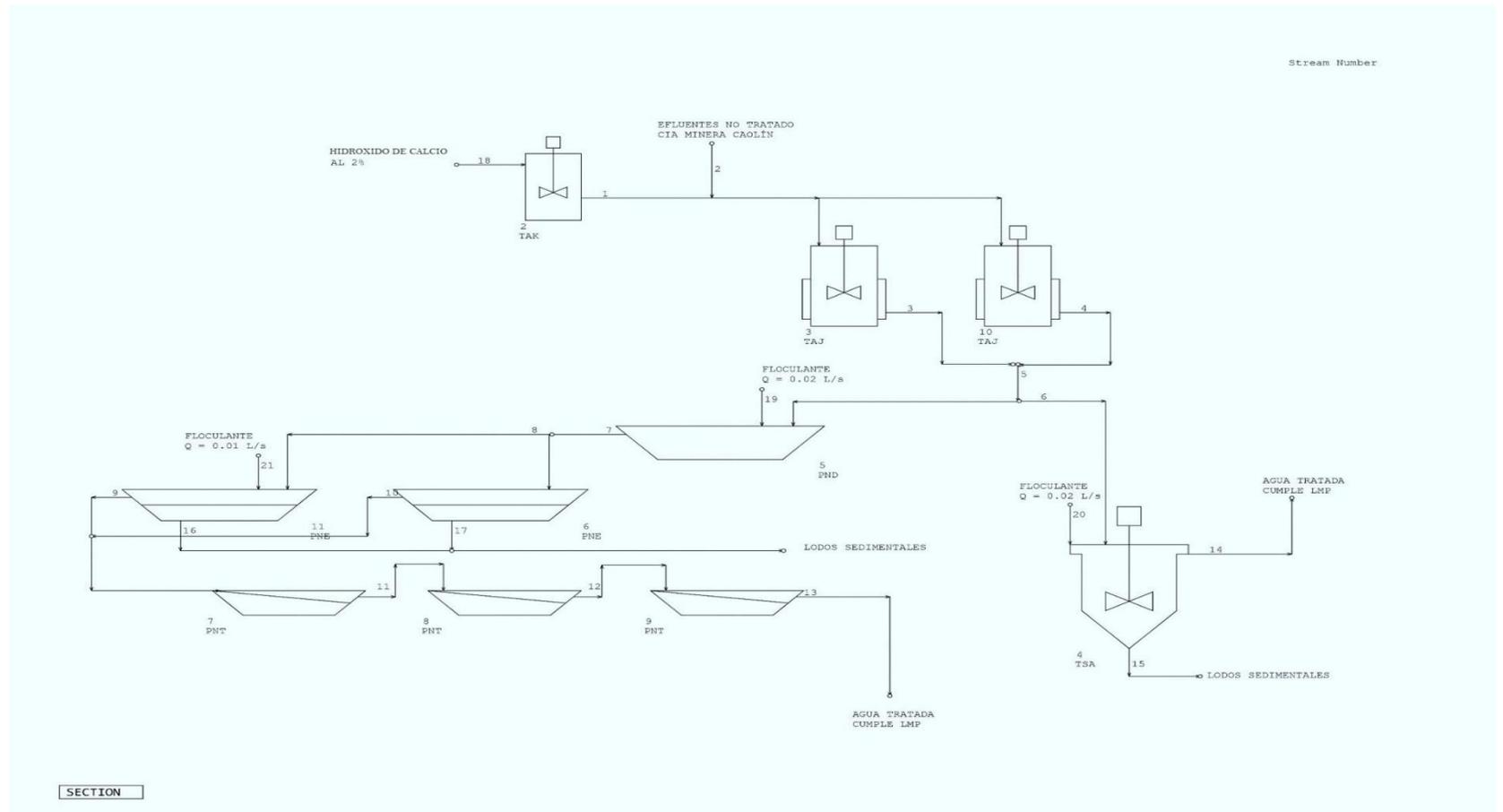
Fuente: Elaboración propia

Analisis e interpretación de resultados:

Tal como se puede apreciar en la Tabla N° 23 sin hacer usos de Floculante los solidos totales en suspensión exceden lo estipulado en los Limites Maximos permisibles con valores de 380 mg/L, 390 mg/L, 370 mg/L. Mientras en la tabla N° 24 en las diferentes pruebas se utilizo el floculante aniónico Magnafloc 1011 dando como resultado 39 mg/L, 43 mg/L, 42.5 mg/L, 41 mg/L, 43.5 mg/L y 40 mg/L de solidos totales en suspensión, lo que indica la eficiencia en la del floculante elegido para las características propias del efluente pues cumplen con los límites máximos permisibles según D.S. N° 010-2010-MINAM para solidos totales en suspensión que es 50 mg/L.

Figura 14:

Flowsheet planta de tratamiento de agua – Cía. Minera Caolín



Fuente: Elaboración Propia METSIM v2017.09

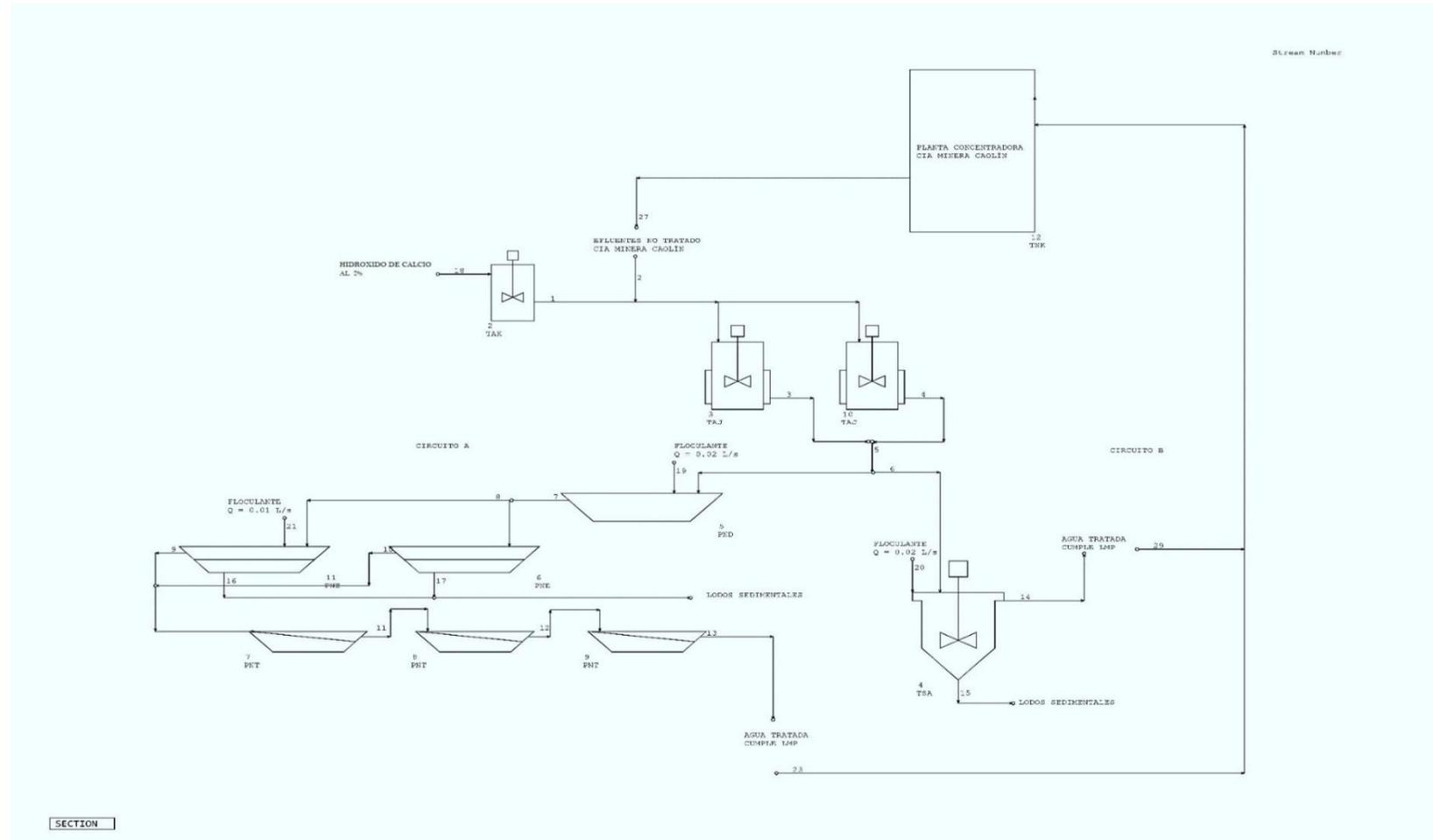
Análisis e interpretación de resultados:

De acuerdo a las pruebas realizadas y al diseño de la planta de tratamiento de agua, se determino que se constará de dos circuitos, teniendo como primer punto la regulación de pH a niveles de 8 a 8.3, con un acondicionador con lechada de cal usando Hidróxido de Calcio al 2 % que será homogenizado con el efluente proveniente de Cía. Minera Caolín a través de 2 tanques de neutralización dotando del pH adecuado cumpliendo con la normativa vigente. Posteriormente en el primer circuito será bombeado al tanque clarificador donde se agregara el floculante aniónico Magnafloc 1011 a relación de 0.02 L/s, donde se obtendrá en el overflow el agua tratada en cumplimiento a los Límites Máximos Permisibles y en el underflow se tendrá lodos sedimentados que serán dispuestos a la cancha de relave. Para el segundo circuito el efluente pasara a la primera poza rompe presión donde se agregara el floculante aniónico Magnafloc 1011 a relación de 0.02 L/s con el fin de pasar a la etapa de sedimentación a través de 2 pozas de sedimentación donde en el segunda poza de sedimentación se agregara el floculante Magnafloc 1011 a relación de 0.01 L/s donde los lodos sedimentados pasaran a la cancha de relave y el rebose pasaran al circuito de clarificación que consta de 3 pozos clarificadores donde se obtiene el agua tratada en cumplimiento con lo dispuesto en los Límites máximos Permisibles para descarga de efluentes líquidos para actividades minero metalúrgicas según D.S. N° 010-2010-MINAM.

La empresa actualmente descarga los efluentes en el cuerpo receptor, pero según el diseño actual de la planta de tratamiento se propone también recircular el agua tratada para volver a ser usada en el proceso minero, disminuyendo de esta manera los posibles impactos y cuidando el medio ambiente, realizando así

minería eficaz, con proyección a las nuevas generaciones y respetuosa del medio ambiente.

Figura 15:
Flowsheet planta de tratamiento de agua recirculación – Cía. Minera Caolín



Fuente: Elaboración Propia METSIM v2017.09

Después de realizado la prueba a nivel laboratorio, se obtuvo como resultados de análisis de los efluentes tratados lo siguiente:

Tabla 25:

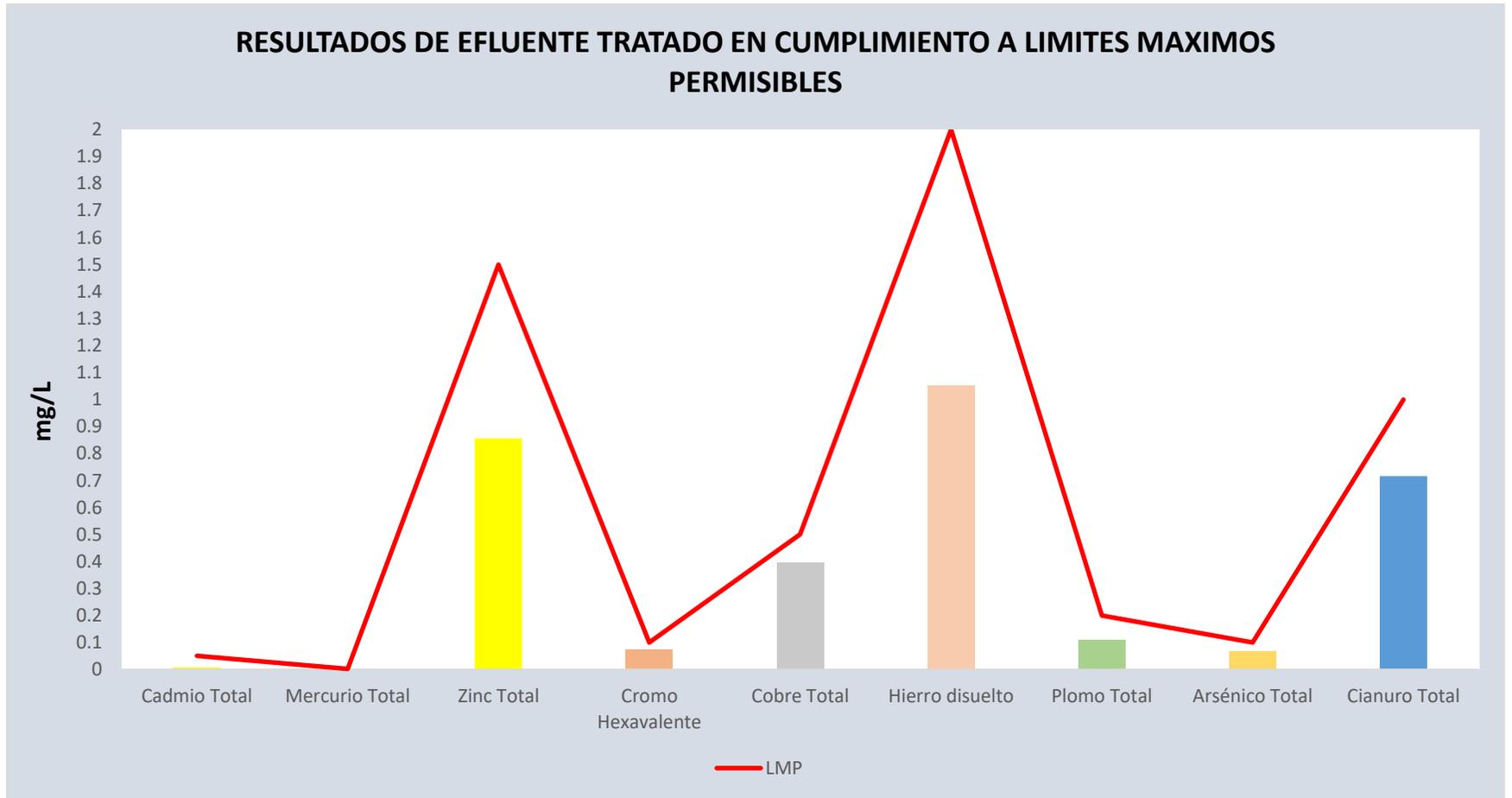
Resultado de Efluente tratado en planta de tratamiento de agua

EFLUENTE DESPUES DEL TRATAMIENTO			
PARAMETRO EVALUADO	UNIDAD	ECR1	D.S. N° 010-2010- MINAM
Cadmio Total	mg/L	0.007	0.05
Mercurio Total	mg/L	<0.0015	0.002
Zinc Total	mg/L	0.855	1.5
Cromo Hexavalente	mg/L	0.074	0.1
Cobre Total	mg/L	0.395	0.5
Hierro disuelto	mg/L	1.052	2
Plomo Total	mg/L	0.108	0.2
Arsénico Total	mg/L	0.068	0.1
Cianuro Total	mg/L	0.716	1
Solidos Totales en suspensión	mg/L	43	50
pH	0 - 14	8.05	6 - 9
Aceites y Grasas	mg/L	16.20	20

Fuente: Resultados de Evaluación de Efluente tratado

Gráfico 13:

Resultado de efluente tratado en cumplimiento a limites maximos permisibles



Fuente: Resultados de Evaluación de Efluentes Tratado

Analisis e interpretación de resultados:

Tal como se puede detallar en la tabla N°25, los resultados arrojan valores de Cadmio Total 0.007 mg/L, Mercurio Total 0.0015 mg/L, Zinc Total 0.855 mg/L, Cromo Hexavalente 0.074 mg/L, Cobre Total 0.395 mg/L, Hierro disuelto 1.052 mg/L, Plomo Total 0.108 mg/L, Arsénico Total 0.068 mg/L, Cianuro Total 0.716 mg/L, Solidos Totales en suspensión 43 mg/L, pH de 8.05, Aceites y Grasas 16.20 mg/L para el efluente tratado por la propuesta de planta de tratamiento, lo que indica el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles para descarga efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas exigido según D.S. N° 010-2010-MINAM, esto refiere la eficiencia de la planta de tratamiento abordando el respeto al medio ambiente, protección y reducción de los impactos ambientales y cuidadosos de la población del entorno.

4.3. Prueba de hipótesis

Para el presente trabajo de investigación se planteó nuestra siguiente hipótesis general:

Si evaluamos correctamente los metales pesados entonces podremos decir que el agua generado por compañía minera Caolín cumplirá con las características que exige los límites máximos permisibles.

Se validará la hipótesis estadísticamente a través de *IBM SPSS statistics*

Determinamos la Prueba de Normalidad

Ho: Los datos tienen una distribución normal

Ha: Los datos no tienen una distribución normal

Criterio de decisión

$P < 0.05$ rechazamos la H_0 y acepta H_a

$P \geq 0.05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a

Tabla 26:

Resultado Prueba de Normalidad

Prueba de normalidad			
Prueba de normalidad Shapiro-Wilk			
	<i>Estadístico</i>	<i>gl</i>	<i>P</i>
MUESTRA	0,755	12	0,003
LMP	0,639	12	0,000

Fuente: Elaboración propia IBM SPSS Statistics 25

Como $p = 0.03 < 0.05$, entonces rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a , es decir los datos no tienen una distribución normal. Según ello aplicaremos la estadística No Paramétrica, con la prueba estadística T de Wilcoxon.

Procedemos a la validación de la Hipótesis General

H_0 : La concentración de metales en agua no cumple con los límites máximos permisibles

H_a : La concentración de metales en agua cumple con los límites máximos permisibles

$H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$

Según la prueba de normalidad determinamos que es una distribución No Paramétrica y realizaremos la prueba estadística T de Wilcoxon para muestras relacionadas.

Figura 16:
Resultado de Prueba de Hipótesis

Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre EfluenteNoTratado y EfluenteTratado es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,015	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

Fuente: Elaboración propia IBM SPSS Statistics 25

Podemos observar $p=0.015 < 0.05$, por lo tanto, rechazamos la *Ho* (hipótesis nula) y SE ACEPTA la *Ha* (hipótesis alterna), es decir las medias entre la concentración de metales en agua que no cumple con los LMP y la concentración de metales en agua que cumple con los LMP son significativamente diferentes. Por lo que concluimos que con la evaluación del efluente y con la propuesta de la planta de tratamiento se logra cumplir eficientemente con los Límites Máximos Permisibles exigidos según normativa por lo que se ACEPTA LA VALIDEZ DE LA HIPÓTESIS GENERAL.

4.4. Discusión de resultados

Con la evaluación de nuestros resultados podemos mencionar que la concentración de metales pesados en los puntos de monitoreo EA1, EA2, EA3 exceden en alto grado a los LMP estipulados teniendo en promedio valores de Zn 6.82 mg/L , Cu 3.52 mg/L, Fe 14.38 mg/L, Pb 5.54 mg/L, As 6.25 mg/L, CN 1.64 mg/L y solidos totales en suspensión 480 mg/L y aceites y grasas en 31.6 mg/L, esto debido a que se procesa minerales polimetálicos de Cu, Pb, Zn lo que

indica la alta concentración de metales en los relaves generados esto se traduce en que el efluente debe ser tratado antes de su vertimiento, ya que según **(Salas Urviola 2014)** nos indica que “A largo plazo, es posible anticipar impactos en la biología y ecología de los organismos que habitan en el río debido a la elevada presencia de metales en el agua. Además, es probable que la población que depende del agua del río para usos como la ganadería, el consumo humano y la agricultura, experimente efectos derivados de la exposición a los metales analizados”. La propuesta de tratamiento consta de dos circuitos donde a partir de las pruebas de laboratorio y la prueba piloto descritas se pudo constatar la eficacia del proceso de tratamiento para los efluentes donde se obtuvo como resultado de análisis valores del agua tratada de Cd Total 0.007 mg/L, Hg Total 0.0015 mg/L, Zn Total 0.855 mg/L, Cr Hexavalente 0.074 mg/L, Cu Total 0.395 mg/L, Fe disuelto 1.052 mg/L, Pb Total 0.108 mg/L, As Total 0.068 mg/L, CN Total 0.716 mg/L, Solidos Totales en suspensión 43 mg/L, pH de 8.05, Aceites y Grasas 16.20 mg/L los cuales se encuentran dentro de lo permitido y en cumplimiento a los Límites Máximos Permisibles para descarga de efluentes líquidos para actividades minero metalúrgicas según lo estipulado en el D.S. N° 010-2010-MINAM.

CONCLUSIONES

Al terminar nuestro trabajo de investigación se puede concluir lo siguiente:

1. De acuerdo a la evaluación en los puntos de monitoreo se pudo determinar que la concentración de metales de Zn, Cu, Fe, Pb, As, *CN*, sólidos totales en suspensión y aceites y grasas exceden a los LMP y con la propuesta de tratamiento de agua se pudo corroborar la eficacia del mismo ya que los valores de Cd Total 0.007 mg/L, Hg Total 0.0015 mg/L, Zn Total 0.855 mg/L, Cr Hexavalente 0.074 mg/L, Cu Total 0.395 mg/L, Fe disuelto 1.052 mg/L, Pb Total 0.108 mg/L, As Total 0.068 mg/L, *CN* Total 0.716 mg/L, Sólidos Totales en suspensión 43 mg/L, pH de 8.05, Aceites y Grasas 16.20 mg/L cumplen los Límites Máximos Permisibles para descarga de efluentes líquidos para actividades minero metalúrgicas según lo estipulado en el D.S. N° 010-2010-MINAM.
2. La concentración de metales analizados de los efluentes presentan valores por encima de los LMP lo que podría representar impactos ambientales y trastornos a los cuerpos receptores, por lo que es necesario establecer monitoreos periódicos para la toma de decisiones con el fin de evitar y minimizar los impactos ambientales en algunos casos irreversibles.
3. Al realizar el tratamiento de los efluentes con concentraciones altas de metales se pudo determinar la eficacia del floculante tipo aniónico, se obtuvo resultados favorables usando el Hidróxido de Calcio para regular de pH y el floculante aniónico Magnafloc 1011.
4. El diseño de la propuesta de tratamiento servirá como punto base e información para poder ser replicado por las compañías mineras que requieren implementar el tratamiento de sus efluentes, a fin de cumplir con los Límites Máximos Permisibles

según D.S. N° 010-2010-MINAM, teniendo en cuenta los parámetros propios que deben ser evaluados.

RECOMENDACIONES

Para la presente investigación se establece las siguientes recomendaciones:

1. Al implementar la propuesta de tratamiento de agua, permitirá el cumplimiento de los LMP según D.S. N° 010-2010-MINAM, reduciendo los impactos ambientales negativos, minimizando los costos y teniendo alta eficacia en el proceso. Permitiendo que las empresas puedan tomar conciencia en el cuidado del medio ambiente, animales y población en general.
2. Desarrollar monitoreos a los efluentes de las empresas mineras de manera periódica por parte de la DREMH (Dirección Regional de Energía y Minas) y OEFA (Organismo Evaluación y Fiscalización Ambiental) según su competencia, con el objetivo de no superar los Límites máximos permisibles para efluentes de actividades minero metalúrgicas, minimizando de esta manera los impactos ambientales negativos a los ecosistemas. Así como establecer un software donde las empresas mineras puedan remitir de manera constante los monitoreos realizados de sus efluentes vertidos.
3. Realizar la evaluación de agua de los cuerpos receptores para determinar si podrían estar siendo afectados en algún modo por el vertimiento de los efluentes mineros y determinar si cumplen con los ECA para agua
4. Difundir la presente investigación a los especialistas del rubro para que con la información contrastada se pueda desarrollar tratamientos innovadores de efluentes mineros según sus características y parámetros propios, buscando el beneficio para las empresas y cumpliendo con la normativa vigente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arranz González, J., & Cala Rivero, V. (2011). Evaluación de la movilidad de metales pesados en residuos mineros de flotación de minería metálica en la provincia de huelva. *Boletín Geológico y Minero*, 122(2), 18.
- Cabral Cerra, J. C. (2020). *Análisis del grado de cumplimiento de la calidad de los efluentes en los EIP en la bahía de Chimbote*.
- Capacoila Coila, J. (2017). Evaluación De La Concentración De Metales Pesados En Las Aguas Superficiales Del Rio Coata. In *Repositorio institucional UNAP* (Vol. 4, Issue 1).
- Díaz Meza, J. F. (2018). *Control de parámetros de funcionamiento de la planta de tratamiento San José de los efluentes domésticos con la finalidad de optimizar su funcionamiento, en la empresa minera Pan American Silver S.A.C - unidad operativa Huarón*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Gamboa Morales, A. E. (2018). *Determinación de la calidad físico-química y microbiológica según la clasificación dada por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de las aguas del río Tingo - Pasco - Mayo a Julio 2018*.
- Gómez Álvarez, A., VILLALBA ATONDO, A., Acosta Ruíz, G., & Castañeda Olivares, M. (2004). *Metales pesados en el agua superficial del río San Pedro durante 1997 y 1999*. 20(1), 8.
- Huaranga Moreno, F., Méndez García, E., Quilcat León, V., & Huaranga Arévalo, F. (2012). Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche, 1980 – 2010, La Libertad – Perú. *Scientia Agropecuaria*, 3, 15.
- Niño Rojas, V. M. (2011). *Metodología de la Investigación Diseño y Ejecución* (1st ed.). Ediciones de la U.
- Ledesma Velita, W. J. (2018). Propuesta de tratamiento del depósito de relaves de

Quiulacocha-Pasco para su remediación ambiental, basada en experiencias exitosas en empresas mineras. Posgrado *Mención : Minería y Medio Ambiente*.

Salas Urviola, F. B. (2014). Determinación de metales pesados en las aguas del río Ananea debido a la actividad minera aurífera, Puno - Perú. *Revista de Investigaciones*, 5(4), 7.

Vera Cabezas, L., Uguña María, F., García Nancy, F. M., & Vázquez Freire, V. (2016). Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente. *Revista de Química Teórica y Aplicada*, 7.

Capone Barraza, M. E. (2016). *FILTROS DE PRENSA PARA RELAVE MINERO*. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/142809/Filtros-de-prensa-para-relaves.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cerda Gutiérrez, H. (2000). Los elementos de la investigación: como reconocerlos, diseñarlos y construirlos. *Revista Logos, Ciencia y Tecnología*, 12(1). Obtenido de <https://doi.org/10.22335/rlct.v4i1.183>

Espesadores - Soluciones tecnológicas para la minería. (2018). *Revista ElectroIndustria - Optimización del espesador para reducir los costos de producción*. Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2491>

Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2005). *Metodología de la Investigación. I*, 26. Obtenido de <http://www.tdx.cat/Handle/10803/8917>

García de la Fuente, C. (2013). *Parámetros fisicoquímicos del agua*. Obtenido de https://www.adiveter.com/ftp_public/A3081113.pdf

Maguiña Sambrano, O. Y. (2012). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO* [Universidad Nacional de Trujillo]. Obtenido de [https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/5816/Tesis Maestría - Omar Maguiña Sambrano.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/5816/Tesis_Maestría_-_Omar_Maguiña_Sambrano.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Metales pesados - Facsa. (2017, January). *Metales pesados*. Obtenido de <https://www.facsa.com/metales-pesados/>

Ministerio de salud. (2018). *Agua para consumo humano*. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/salud/publica/ambiental/Paginas/agua-para-consumo-humano.aspx>

Ministerio del ambiente. (2010). *DECRETO SUPREMO N° 010-2010-MINAM0*. Obtenido de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=3668

Ministerio del ambiente. (2017). *ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL DE AGUA*. Obtenido de [http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO DE USO 3.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO_DE_USO_3.pdf)

Quispe Guzmán, D. L. (2008). *Naturalización de metales Pesados de drenajes ácidos*. Obtenido de http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla12/Macla12_73.pdf

ANEXOS

ANEXO 1: Instrumentos de Recolección de datos

<i>Parámetro de Evaluación</i>	<i>Punto de Monitoreo EA1</i>	<i>Comparación D.S. N° 010-2010- MINAM</i>	<i>ud.</i>
<i>Cadmio Total</i>	0.025	0.05	<i>mg/L</i>
<i>Mercurio Total</i>	0.0009	0.002	<i>mg/L</i>
<i>Zinc Total</i>	4.604	1.5	<i>mg/L</i>
<i>Cromo Hexavalente</i>	<0.045	0.1	<i>mg/L</i>
<i>Cobre Total</i>	2.553	0.5	<i>mg/L</i>
<i>Hierro disuelto</i>	4.752	2	<i>mg/L</i>
<i>Plomo Total</i>	1.812	0.2	<i>mg/L</i>
<i>Arsénico Total</i>	1.854	0.1	<i>mg/L</i>
<i>Cianuro Total</i>	0.855	1	<i>mg/L</i>
<i>Solidos Totales en suspensión</i>	450	50	<i>mg/L</i>
<i>pH</i>	7.41	6 - 9	0 - 14
<i>Aceites y Grasas</i>	28.58	20	<i>mg/L</i>

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín EA1 Junio

<i>Parámetro de Evaluación</i>	<i>Punto de Monitoreo ECR1</i>	<i>Comparación D.S. N° 010-2010- MINAM</i>	<i>ud.</i>
<i>Cadmio Total</i>	0.008	0.05	<i>mg/L</i>
<i>Mercurio Total</i>	<0.0002	0.002	<i>mg/L</i>
<i>Zinc Total</i>	0.915	1.5	<i>mg/L</i>
<i>Cromo Hexavalente</i>	0.011	0.1	<i>mg/L</i>
<i>Cobre Total</i>	0.641	0.5	<i>mg/L</i>
<i>Hierro disuelto</i>	1.931	2	<i>mg/L</i>
<i>Plomo Total</i>	0.198	0.2	<i>mg/L</i>
<i>Arsénico Total</i>	0.034	0.1	<i>mg/L</i>
<i>Cianuro Total</i>	0.016	1	<i>mg/L</i>
<i>Solidos Totales en suspensión</i>	48	50	<i>mg/L</i>
<i>pH</i>	7.16	6 - 9	0 - 14
<i>Aceites y Grasas</i>	17.56	20	<i>mg/L</i>

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín ECR1 Junio

<i>Parámetro de Evaluación</i>	<i>Punto de Monitoreo EA2</i>	<i>Comparación D.S. N° 010-2010- MINAM</i>	<i>ud.</i>
<i>Cadmio Total</i>	0.062	0.05	mg/L
<i>Mercurio Total</i>	0.0018	0.002	mg/L
<i>Zinc Total</i>	13.501	1.5	mg/L
<i>Cromo Hexavalente</i>	<0.045	0.1	mg/L
<i>Cobre Total</i>	6.831	0.5	mg/L
<i>Hierro disuelto</i>	31.908	2	mg/L
<i>Plomo Total</i>	7.568	0.2	mg/L
<i>Arsénico Total</i>	8.268	0.1	mg/L
<i>Cianuro Total</i>	2.325	1	mg/L
<i>Solidos Totales en suspensión</i>	>10000	50	mg/L
<i>pH</i>	7.12	6 - 9	0 - 14
<i>Aceites y Grasas</i>	40.58	20	mg/L

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín EA2 Junio

<i>Parámetro de Evaluación</i>	<i>Punto de Monitoreo ECR2</i>	<i>Comparación D.S. N° 010-2010- MINAM</i>	<i>ud.</i>
<i>Cadmio Total</i>	0.006	0.05	mg/L
<i>Mercurio Total</i>	<0.0001	0.002	mg/L
<i>Zinc Total</i>	0.645	1.5	mg/L
<i>Cromo Hexavalente</i>	0.031	0.1	mg/L
<i>Cobre Total</i>	0.534	0.5	mg/L
<i>Hierro disuelto</i>	1.382	2	mg/L
<i>Plomo Total</i>	0.199	0.2	mg/L
<i>Arsénico Total</i>	0.095	0.1	mg/L
<i>Cianuro Total</i>	0.059	1	mg/L
<i>Solidos Totales en suspensión</i>	41	50	mg/L
<i>pH</i>	7.29	6 - 9	0 - 14
<i>Aceites y Grasas</i>	18.65	20	mg/L

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín ECR2 Junio

<i>Parámetro de Evaluación</i>	<i>Punto de Monitoreo EA3</i>	<i>Comparación D.S. N° 010-2010- MINAM</i>	<i>ud.</i>
<i>Cadmio Total</i>	0.038	0.05	mg/L
<i>Mercurio Total</i>	<0.0005	0.002	mg/L
<i>Zinc Total</i>	2.803	1.5	mg/L
<i>Cromo Hexavalente</i>	<0.038	0.1	mg/L
<i>Cobre Total</i>	1.852	0.5	mg/L
<i>Hierro disuelto</i>	5.915	2	mg/L
<i>Plomo Total</i>	4.735	0.2	mg/L
<i>Arsénico Total</i>	3.842	0.1	mg/L
<i>Cianuro Total</i>	1.915	1	mg/L
<i>Solidos Totales en suspensión</i>	360	50	mg/L
<i>pH</i>	7.28	6 - 9	0 - 14
<i>Aceites y Grasas</i>	23.68	20	mg/L

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín EA3 Junio

<i>Parámetro de Evaluación</i>	<i>Punto de Monitoreo ECR3</i>	<i>Comparación D.S. N° 010-2010- MINAM</i>	<i>ud.</i>
<i>Cadmio Total</i>	<0.009	0.05	mg/L
<i>Mercurio Total</i>	<0.0002	0.002	mg/L
<i>Zinc Total</i>	1.451	1.5	mg/L
<i>Cromo Hexavalente</i>	<0.008	0.1	mg/L
<i>Cobre Total</i>	0.751	0.5	mg/L
<i>Hierro disuelto</i>	1.707	2	mg/L
<i>Plomo Total</i>	0.214	0.2	mg/L
<i>Arsénico Total</i>	0.608	0.1	mg/L
<i>Cianuro Total</i>	0.914	1	mg/L
<i>Solidos Totales en suspensión</i>	52	50	mg/L
<i>pH</i>	7.06	6 - 9	0 - 14
<i>Aceites y Grasas</i>	17.81	20	mg/L

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín ECR3 Junio

<i>Parámetro de Evaluación</i>	<i>Punto de Monitoreo EA4</i>	<i>Comparación D.S. N° 010-2010- MINAM</i>	<i>ud.</i>
<i>Cadmio Total</i>	0.029	0.05	mg/L
<i>Mercurio Total</i>	<0.0004	0.002	mg/L
<i>Zinc Total</i>	1.912	1.5	mg/L
<i>Cromo Hexavalente</i>	<0.025	0.1	mg/L
<i>Cobre Total</i>	1.101	0.5	mg/L
<i>Hierro disuelto</i>	2.851	2	mg/L
<i>Plomo Total</i>	1.945	0.2	mg/L
<i>Arsénico Total</i>	1.842	0.1	mg/L
<i>Cianuro Total</i>	1.108	1	mg/L
<i>Solidos Totales en suspensión</i>	87	50	mg/L
<i>pH</i>	7.19	6 - 9	0 - 14
<i>Aceites y Grasas</i>	19.06	20	mg/L

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín EA4 Junio

<i>Parámetro de Evaluación</i>	<i>Punto de Monitoreo EA1</i>	<i>Comparación D.S. N° 010-2010- MINAM</i>	<i>ud.</i>
<i>Cadmio Total</i>	0.022	0.05	mg/L
<i>Mercurio Total</i>	0.0008	0.002	mg/L
<i>Zinc Total</i>	3.917	1.5	mg/L
<i>Cromo Hexavalente</i>	<0.010	0.1	mg/L
<i>Cobre Total</i>	1.925	0.5	mg/L
<i>Hierro disuelto</i>	5.816	2	mg/L
<i>Plomo Total</i>	1.915	0.2	mg/L
<i>Arsénico Total</i>	2.589	0.1	mg/L
<i>Cianuro Total</i>	1.103	1	mg/L
<i>Solidos Totales en suspensión</i>	490	50	mg/L
<i>pH</i>	6.79	6 - 9	0 - 14
<i>Aceites y Grasas</i>	27.58	20	mg/L

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín EA1 Julio

<i>Parámetro de Evaluación</i>	<i>Punto de Monitoreo ECR1</i>	<i>Comparación D.S. N° 010-2010-MINAM</i>	<i>ud.</i>
<i>Cadmio Total</i>	0.006	0.05	mg/L
<i>Mercurio Total</i>	<0.0011	0.002	mg/L
<i>Zinc Total</i>	0.762	1.5	mg/L
<i>Cromo Hexavalente</i>	0.072	0.1	mg/L
<i>Cobre Total</i>	0.657	0.5	mg/L
<i>Hierro disuelto</i>	1.651	2	mg/L
<i>Plomo Total</i>	0.195	0.2	mg/L
<i>Arsénico Total</i>	0.019	0.1	mg/L
<i>Cianuro Total</i>	0.064	1	mg/L
<i>Solidos Totales en suspensión</i>	46	50	mg/L
<i>pH</i>	7.2	6 - 9	0 - 14
<i>Aceites y Grasas</i>	16.85	20	mg/L

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín ECR1 Julio

<i>Parámetro de Evaluación</i>	<i>Punto de Monitoreo EA2</i>	<i>Comparación D.S. N° 010-2010-MINAM</i>	<i>ud.</i>
<i>Cadmio Total</i>	0.074	0.05	mg/L
<i>Mercurio Total</i>	0.0013	0.002	mg/L
<i>Zinc Total</i>	12.945	1.5	mg/L
<i>Cromo Hexavalente</i>	<0.010	0.1	mg/L
<i>Cobre Total</i>	5.942	0.5	mg/L
<i>Hierro disuelto</i>	38.945	2	mg/L
<i>Plomo Total</i>	8.148	0.2	mg/L
<i>Arsénico Total</i>	9.816	0.1	mg/L
<i>Cianuro Total</i>	2.154	1	mg/L
<i>Solidos Totales en suspensión</i>	>10000	50	mg/L
<i>pH</i>	7.18	6 - 9	0 - 14
<i>Aceites y Grasas</i>	44.18	20	mg/L

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín EA2 Julio

<i>Parámetro de Evaluación</i>	<i>Punto de Monitoreo ECR2</i>	<i>Comparación D.S. N° 010-2010-MINAM</i>	<i>ud.</i>
<i>Cadmio Total</i>	0.016	0.05	mg/L
<i>Mercurio Total</i>	<0.0002	0.002	mg/L
<i>Zinc Total</i>	0.983	1.5	mg/L
<i>Cromo Hexavalente</i>	0.039	0.1	mg/L
<i>Cobre Total</i>	0.532	0.5	mg/L
<i>Hierro disuelto</i>	1.281	2	mg/L
<i>Plomo Total</i>	0.182	0.2	mg/L
<i>Arsénico Total</i>	0.087	0.1	mg/L
<i>Cianuro Total</i>	0.074	1	mg/L
<i>Solidos Totales en suspensión</i>	47	50	mg/L
<i>pH</i>	7.29	6 - 9	0 - 14
<i>Aceites y Grasas</i>	18.65	20	mg/L

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín ECR2 Julio

<i>Parámetro de Evaluación</i>	<i>Punto de Monitoreo EA3</i>	<i>Comparación D.S. N° 010-2010-MINAM</i>	<i>ud.</i>
<i>Cadmio Total</i>	0.041	0.05	mg/L
<i>Mercurio Total</i>	<0.0004	0.002	mg/L
<i>Zinc Total</i>	2.548	1.5	mg/L
<i>Cromo Hexavalente</i>	<0.036	0.1	mg/L
<i>Cobre Total</i>	1.645	0.5	mg/L
<i>Hierro disuelto</i>	4.951	2	mg/L
<i>Plomo Total</i>	4.917	0.2	mg/L
<i>Arsénico Total</i>	4.135	0.1	mg/L
<i>Cianuro Total</i>	1.258	1	mg/L
<i>Solidos Totales en suspensión</i>	380	50	mg/L
<i>pH</i>	7.15	6 - 9	0 - 14
<i>Aceites y Grasas</i>	23.15	20	mg/L

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín EA3 Julio

<i>Parámetro de Evaluación</i>	<i>Punto de Monitoreo ECR3</i>	<i>Comparación D.S. N° 010-2010-MINAM</i>	<i>ud.</i>
<i>Cadmio Total</i>	<0.008	0.05	mg/L
<i>Mercurio Total</i>	<0.0002	0.002	mg/L
<i>Zinc Total</i>	1.361	1.5	mg/L
<i>Cromo Hexavalente</i>	<0.007	0.1	mg/L
<i>Cobre Total</i>	0.618	0.5	mg/L
<i>Hierro disuelto</i>	1.803	2	mg/L
<i>Plomo Total</i>	0.318	0.2	mg/L
<i>Arsénico Total</i>	0.481	0.1	mg/L
<i>Cianuro Total</i>	0.714	1	mg/L
<i>Solidos Totales en suspensión</i>	51	50	mg/L
<i>pH</i>	7.06	6 - 9	0 - 14
<i>Aceites y Grasas</i>	17.81	20	mg/L

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín ECR3 Julio

<i>Parámetro de Evaluación</i>	<i>Punto de Monitoreo EA4</i>	<i>Comparación D.S. N° 010-2010-MINAM</i>	<i>ud.</i>
<i>Cadmio Total</i>	0.031	0.05	mg/L
<i>Mercurio Total</i>	<0.0005	0.002	mg/L
<i>Zinc Total</i>	1.827	1.5	mg/L
<i>Cromo Hexavalente</i>	<0.031	0.1	mg/L
<i>Cobre Total</i>	1.204	0.5	mg/L
<i>Hierro disuelto</i>	2.957	2	mg/L
<i>Plomo Total</i>	1.881	0.2	mg/L
<i>Arsénico Total</i>	1.508	0.1	mg/L
<i>Cianuro Total</i>	1.851	1	mg/L
<i>Solidos Totales en suspensión</i>	91	50	mg/L
<i>pH</i>	7.19	6 - 9	0 - 14
<i>Aceites y Grasas</i>	19.06	20	mg/L

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín EA4 Julio

<i>Parámetro de Evaluación</i>	<i>Punto de Monitoreo EA1</i>	<i>Comparación D.S. N° 010-2010- MINAM</i>	<i>ud.</i>
<i>Cadmio Total</i>	0.033	0.05	<i>mg/L</i>
<i>Mercurio Total</i>	0.0009	0.002	<i>mg/L</i>
<i>Zinc Total</i>	4.133	1.5	<i>mg/L</i>
<i>Cromo Hexavalente</i>	<0.010	0.1	<i>mg/L</i>
<i>Cobre Total</i>	2.015	0.5	<i>mg/L</i>
<i>Hierro disuelto</i>	3.839	2	<i>mg/L</i>
<i>Plomo Total</i>	1.257	0.2	<i>mg/L</i>
<i>Arsénico Total</i>	3.012	0.1	<i>mg/L</i>
<i>Cianuro Total</i>	1.209	1	<i>mg/L</i>
<i>Solidos Totales en suspensión</i>	480	50	<i>mg/L</i>
<i>pH</i>	6.39	6 - 9	0 - 14
<i>Aceites y Grasas</i>	26.01	20	<i>mg/L</i>

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín EA1 Agosto

<i>Parámetro de Evaluación</i>	<i>Punto de Monitoreo ECR1</i>	<i>Comparación D.S. N° 010-2010- MINAM</i>	<i>ud.</i>
<i>Cadmio Total</i>	0.008	0.05	<i>mg/L</i>
<i>Mercurio Total</i>	<0.0006	0.002	<i>mg/L</i>
<i>Zinc Total</i>	0.945	1.5	<i>mg/L</i>
<i>Cromo Hexavalente</i>	0.088	0.1	<i>mg/L</i>
<i>Cobre Total</i>	0.504	0.5	<i>mg/L</i>
<i>Hierro disuelto</i>	1.238	2	<i>mg/L</i>
<i>Plomo Total</i>	0.168	0.2	<i>mg/L</i>
<i>Arsénico Total</i>	0.028	0.1	<i>mg/L</i>
<i>Cianuro Total</i>	0.082	1	<i>mg/L</i>
<i>Solidos Totales en suspensión</i>	59	50	<i>mg/L</i>
<i>pH</i>	7.07	6 - 9	0 - 14
<i>Aceites y Grasas</i>	18.21	20	<i>mg/L</i>

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín ECR1 Agosto

<i>Parámetro de Evaluación</i>	<i>Punto de Monitoreo EA2</i>	<i>Comparación D.S. N° 010-2010- MINAM</i>	<i>ud.</i>
<i>Cadmio Total</i>	0.043	0.05	mg/L
<i>Mercurio Total</i>	0.0019	0.002	mg/L
<i>Zinc Total</i>	14.958	1.5	mg/L
<i>Cromo Hexavalente</i>	<0.010	0.1	mg/L
<i>Cobre Total</i>	7.152	0.5	mg/L
<i>Hierro disuelto</i>	29.359	2	mg/L
<i>Plomo Total</i>	7.483	0.2	mg/L
<i>Arsénico Total</i>	7.956	0.1	mg/L
<i>Cianuro Total</i>	1.939	1	mg/L
<i>Solidos Totales en suspensión</i>	>10000	50	mg/L
<i>pH</i>	6.99	6 - 9	0 - 14
<i>Aceites y Grasas</i>	46.96	20	mg/L

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín EA2 Agosto

<i>Parámetro de Evaluación</i>	<i>Punto de Monitoreo ECR2</i>	<i>Comparación D.S. N° 010-2010- MINAM</i>	<i>ud.</i>
<i>Cadmio Total</i>	0.013	0.05	mg/L
<i>Mercurio Total</i>	<0.0001	0.002	mg/L
<i>Zinc Total</i>	0.802	1.5	mg/L
<i>Cromo Hexavalente</i>	0.041	0.1	mg/L
<i>Cobre Total</i>	0.486	0.5	mg/L
<i>Hierro disuelto</i>	1.836	2	mg/L
<i>Plomo Total</i>	0.196	0.2	mg/L
<i>Arsénico Total</i>	0.093	0.1	mg/L
<i>Cianuro Total</i>	0.071	1	mg/L
<i>Solidos Totales en suspensión</i>	49	50	mg/L
<i>pH</i>	7.31	6 - 9	0 - 14
<i>Aceites y Grasas</i>	19.05	20	mg/L

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín ECR2 Agosto

<i>Parámetro de Evaluación</i>	<i>Punto de Monitoreo EA3</i>	<i>Comparación D.S. N° 010-2010- MINAM</i>	<i>ud.</i>
<i>Cadmio Total</i>	0.036	0.05	mg/L
<i>Mercurio Total</i>	<0.0004	0.002	mg/L
<i>Zinc Total</i>	1.985	1.5	mg/L
<i>Cromo Hexavalente</i>	<0.029	0.1	mg/L
<i>Cobre Total</i>	1.854	0.5	mg/L
<i>Hierro disuelto</i>	3.937	2	mg/L
<i>Plomo Total</i>	3.098	0.2	mg/L
<i>Arsénico Total</i>	5.845	0.1	mg/L
<i>Cianuro Total</i>	2.016	1	mg/L
<i>Solidos Totales en suspensión</i>	350	50	mg/L
<i>pH</i>	7.31	6 - 9	0 - 14
<i>Aceites y Grasas</i>	24.15	20	mg/L

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín EA3 Agosto

<i>Parámetro de Evaluación</i>	<i>Punto de Monitoreo ECR3</i>	<i>Comparación D.S. N° 010-2010- MINAM</i>	<i>ud.</i>
<i>Cadmio Total</i>	<0.007	0.05	mg/L
<i>Mercurio Total</i>	<0.0001	0.002	mg/L
<i>Zinc Total</i>	1.052	1.5	mg/L
<i>Cromo Hexavalente</i>	<0.004	0.1	mg/L
<i>Cobre Total</i>	0.611	0.5	mg/L
<i>Hierro disuelto</i>	2.081	2	mg/L
<i>Plomo Total</i>	0.307	0.2	mg/L
<i>Arsénico Total</i>	0.119	0.1	mg/L
<i>Cianuro Total</i>	0.914	1	mg/L
<i>Solidos Totales en suspensión</i>	49	50	mg/L
<i>pH</i>	7.08	6 - 9	0 - 14
<i>Aceites y Grasas</i>	16.18	20	mg/L

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín ECR3 Agosto

<i>Parámetro de Evaluación</i>	<i>Punto de Monitoreo EA4</i>	<i>Comparación D.S. N° 010-2010- MINAM</i>	<i>ud.</i>
<i>Cadmio Total</i>	0.029	0.05	<i>mg/L</i>
<i>Mercurio Total</i>	<0.0006	0.002	<i>mg/L</i>
<i>Zinc Total</i>	1.925	1.5	<i>mg/L</i>
<i>Cromo Hexavalente</i>	<0.024	0.1	<i>mg/L</i>
<i>Cobre Total</i>	1.309	0.5	<i>mg/L</i>
<i>Hierro disuelto</i>	3.015	2	<i>mg/L</i>
<i>Plomo Total</i>	1.989	0.2	<i>mg/L</i>
<i>Arsénico Total</i>	1.206	0.1	<i>mg/L</i>
<i>Cianuro Total</i>	1.947	1	<i>mg/L</i>
<i>Solidos Totales en suspensión</i>	80	50	<i>mg/L</i>
<i>pH</i>	7.21	6 - 9	0 - 14
<i>Aceites y Grasas</i>	18.98	20	<i>mg/L</i>

Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín EA4 Agosto

ANEXO 2: Instrumentos de Validación y confiabilidad



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
ESCUELA DE POS GRADO



FICHA DE VALIDACIÓN

INFORME DE OPINIÓN DE JUICIO DE EXPERTOS

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN	"Evaluación de Metales Pesados del Agua Generado por los procesos metalúrgicos y propuesta de tratamiento en Compañía Minera Caolín-2023"
INVESTIGADOR	Euclides GONZALES CAJAHUAMAN

ASPECTOS DE VALIDACIÓN

INDICADORES	CRITERIO	DEFICIENTE		BAJA		REGULAR		BUENA		MUY BUENA	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. FUNCIONALIDAD	Responde a los objetivos de la investigación planteada								8		
2. OBJETIVIDAD	Esta expresado en comportamientos observables										9
3. CLARIDAD	La redacción esta formulado adecuadamente y en lenguaje apropiado								8		
4. ORGANIZACIÓN	Existe secuencia lógica y ordenada										9
5. SUFICIENCIA	Los aspectos de calidad y cantidad es adecuado para aplicar en la muestra										9
6. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores, forma y estructura								8		
7. CONSISTENCIA	Es respaldado por base teoría y científica										9
8. METODOLOGIA	La estrategia planteada responde al propósito del diagnostico										9
9. APLICABILIDAD	Los procedimientos para su aplicación y corrección son sencillos								8		
TOTALES										77	

DATOS DEL EXPERTO

APELLIDOS Y NOMBRES / EXPERTO	RIVERA TIZA, PERCY
GRADO ACADEMICO	MAESTRO EN GESTIÓN DEL SISTEMA AMBIENTAL
CARGO U OCUPACIÓN	ESPECIALISTA EN EVALUACIÓN DE ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL/ COMPAÑIA MINERA MILPO S.A.A

PROMEDIO DE VALORACIÓN:

8 / BUENA

Pasco, 04 de Marzo del 2024



FIRMA
 DNI N° 45727363

FICHA DE VALIDACIÓN

INFORME DE OPINIÓN DE JUICIO DE EXPERTOS

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN	"Evaluación de Metales Pesados del Agua Generado por los procesos metalúrgicos y propuesta de tratamiento en Compañía Minera Caolín-2023"
INVESTIGADOR	Euclides GONZALES CAJAHUAMAN

ASPECTOS DE VALIDACIÓN

INDICADORES	CRITERIO	DEFICIENTE		BAJA		REGULAR		BUENA		MUY BUENA	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. FUNCIONALIDAD	Responde a los objetivos de la investigación planteada								8		
2. OBJETIVIDAD	Esta expresado en comportamientos observables										10
3. CLARIDAD	La redacción esta formulado adecuadamente y en lenguaje apropiado										9
4. ORGANIZACIÓN	Existe secuencia lógica y ordenada										9
5. SUFICIENCIA	Los aspectos de calidad y cantidad es adecuado para aplicar en la muestra								8		
6. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores, forma y estructura										10
7. CONSISTENCIA	Es respaldado por base teoría y científica								8		
8. METODOLOGIA	La estrategia planteada responde al propósito del diagnóstico								8		
9. APLICABILIDAD	Los procedimientos para su aplicación y corrección son sencillos								8		
TOTALES										78	

DATOS DEL EXPERTO

APELLIDOS Y NOMBRES / EXPERTO	PACHECO PEÑA Luis Alberto
GRADO ACADEMICO	DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE
CARGO U OCUPACIÓN:	DOCENTE UNIVERSITARIO / INVESTIGADOR / UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

PROMEDIO DE VALORACIÓN:

8 / BUENA

Pasco, 19 de Febrero del 2024



 FIRMA
 DNI N° 19910127

FICHA DE VALIDACIÓN

INFORME DE OPINIÓN DE JUICIO DE EXPERTOS

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN	"Evaluación de Metales Pesados del Agua Generado por los procesos metalúrgicos y propuesta de tratamiento en Compañía Minera Caolín-2023"
INVESTIGADOR	Euclides GONZALES CAJAHUAMAN

ASPECTOS DE VALIDACIÓN

INDICADORES	CRITERIO	DEFICIENTE		BAJA		REGULAR		BUENA		MUY BUENA		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
10. FUNCIONALIDAD	Responde a los objetivos de la investigación planteada								8			
11. OBJETIVIDAD	Esta expresado en comportamientos observables									9		
12. CLARIDAD	La redacción esta formulado adecuadamente y en lenguaje apropiado									9		
13. ORGANIZACIÓN	Existe secuencia lógica y ordenada										10	
14. SUFICIENCIA	Los aspectos de calidad y cantidad es adecuado para aplicar en la muestra									9		
15. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores, forma y estructura									9		
16. CONSISTENCIA	Es respaldado por base teoría y científica								8			
17. METODOLOGÍA	La estrategia planteada responde al propósito del diagnostico									9		
18. APLICABILIDAD	Los procedimientos para su aplicación y corrección son sencillos									9		
TOTALES										80		

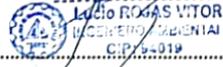
DATOS DEL EXPERTO

APELLIDOS Y NOMBRES / EXPERTO	ROJAS VITOR Lucio
GRADO ACADÉMICO	INGENIERO AMBIENTAL / MAESTRO EN INGENIERIA DE MINAS
CARGO U OCUPACIÓN:	DOCENTE UNIVERSITARIO / INVESTIGADOR / UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

PROMEDIO DE VALORACIÓN:

9 / MUY BUENA

Pasco, 24 de Abril del 2024



 LUCIO ROJAS VITOR
 INGENIERO AMBIENTAL
 CIP 94019
 FIRMA
 DNI N° 40927254

FICHA DE VALIDACIÓN

INFORME DE OPINIÓN DE JUICIO DE EXPERTOS

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN	"Evaluación de Metales Pesados del Agua Generado por los procesos metalúrgicos y propuesta de tratamiento en Compañía Minera Caolín-2023"
INVESTIGADOR	Euclides GONZALES CAJAHUAMAN

ASPECTOS DE VALIDACIÓN

INDICADORES	CRITERIO	DEFICIENTE		BAJA		REGULAR		BUENA		MUY BUENA	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. FUNCIONALIDAD	Responde a los objetivos de la investigación planteada									9	
2. OBJETIVIDAD	Esta expresado en comportamientos observables										10
3. CLARIDAD	La redacción esta formulado adecuadamente y en lenguaje apropiado								8		
4. ORGANIZACIÓN	Existe secuencia lógica y ordenada									9	
5. SUFICIENCIA	Los aspectos de calidad y cantidad es adecuado para aplicar en la muestra										10
6. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores, forma y estructura									9	
7. CONSISTENCIA	Es respaldado por base teoría y científica								8		
8. METODOLOGIA	La estrategia planteada responde al propósito del diagnostico									9	
9. APLICABILIDAD	Los procedimientos para su aplicación y corrección son sencillos									9	
TOTALES										81	

DATOS DEL EXPERTO

APELLIDOS Y NOMBRES / EXPERTO	REQUIS CARBAJAL Villar Luis
GRADO ACADEMICO	MAESTRO EN INGENIERIA METALURGICA / MAESTRO EN INGENIERIA CIVIL
CARGO U OCUPACIÓN	DOCENTE UNIVERSITARIO / INVESTIGADOR / UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA

PROMEDIO DE VALORACIÓN:

9 / MUY BUENA



Luis Villar Requies Carballo
INGENIERO CIVIL
C.I.P: 76748

Pasco, 22 de Enero del 2024

FIRMA

DNI N° 04067813

FICHA DE VALIDACIÓN

INFORME DE OPINIÓN DE JUICIO DE EXPERTOS

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN	"Evaluación de Metales Pesados del Agua Generado por los procesos metalúrgicos y propuesta de tratamiento en Compañía Minera Caolín-2023"
INVESTIGADOR	Euclides GONZALES CAJAHUAMAN

ASPECTOS DE VALIDACIÓN

INDICADORES	CRITERIO	DEFICIENTE		BAJA		REGULAR		BUENA		MUY BUENA	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. FUNCIONALIDAD	Responde a los objetivos de la investigación planteada										9
2. OBJETIVIDAD	Esta expresado en comportamientos observables								8		
3. CLARIDAD	La redacción esta formulado adecuadamente y en lenguaje apropiado										10
4. ORGANIZACIÓN	Existe secuencia lógica y ordenada										9
5. SUFICIENCIA	Los aspectos de calidad y cantidad es adecuado para aplicar en la muestra										9
6. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores, forma y estructura								8		
7. CONSISTENCIA	Es respaldado por base teoría y científica										9
8. METODOLOGIA	La estrategia planteada responde al propósito del diagnostico										9
9. APLICABILIDAD	Los procedimientos para su aplicación y corrección son sencillos										9
TOTALES		80									

DATOS DEL EXPERTO

APELLIDOS Y NOMBRES / EXPERTO	LIMAYMANTA MARCOS Mónica Mercedes
GRADO ACADEMICO	MAESTRO EN INGENIERIA QUIMICA
CARGO U OCUPACIÓN:	DOCENTE UNIVERSITARIO / JEFE DE AREA DE CONTROL DE INSUMOS QUIMICOS Y BIENES FISCALIZADOS / UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

PROMEDIO DE VALORACIÓN:

9 / MUY BUENA

Pasco, 17 de Abril del 2024

Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
VICERECTORADO ACADEMICO
DIRECCION DE LABORATORIOS PEDAGOGICOS
M. Limaymanta
Ing. Dco. Mónica M. LIMAYMANTA MARCOS
DIRECTORA

FIRMA

DNI N° 19996339

Electrode Quality Certificate

Electrode: HI11310 Parameter: pH/Temperature SN: 521409 Firmware: 1.06 Recommended for: HI2020

Description: Digital, glass body, double junction, pH/temperature electrode

Hanna Instruments certifies that this electrode has been produced, calibrated and tested to meet all applicable Hanna Instruments Procedures, using standards and reference instruments, the accuracy of which is traceable to the National Institute of Standards (NIST) in the USA or to internationally acceptable national physical standards. The standards and reference instruments used in calibration and testing are supported by a calibration system which meets requirements of ISO 9001.

Standard Reference Materials: pH: 185i, 186g, 191d [NIST]
 External/Internal Reference Devices*: °C: NTO-031 [NIST Certified Thermometers Set]
 KΩ/MΩ: SN#148047ADH [Megohmmeter]

Tests performed using reference devices:

mV (@ 25 °C):	Offset (7.01 pH) [mV]:	0.0		
	Tolerance [mV]:	±5		
	Reading [mV]:	0.0		Passed
	Slope (4.01 pH) [mV]:	177.5		
	Tolerance [mV]:	170.4 - 177.5		
mV response time (4.01 pH - 7.01 pH)***:	Reading [mV]**:	175.0		Passed
	Standard time [s]:	<1		Passed
Temperature:	Tolerance [s]:	+1		
	Ref. Temp. [°C]:	5.0	25.0	50.0
	Tolerance [°C]:	±0.4	±0.4	±0.4
	Readings [°C]:	5.0	25.0	50.1
Temperature response time (25 °C - 50 °C)***:	Standard time [s]:	<45		
	Tolerance [s]:	+10		
	Reading [s]:	30		Passed
Glass impedance (@ 25 °C):	Tolerance [MΩ]:	50 - 150		Passed
Reference impedance (@ 25 °C):	Maximum value [KΩ]:	10		Passed

*) All references are periodically checked and are used only if are inside certification interval; NP= not performed.

**) Offset compensated.

***) Evaluated for 90 % of step.

Quality control and testing criteria have been met.

Date: 2022-09-28

QC Inspector: Jarca Vestita / Engineer
(Name / Title of Signatory)

Signature: 

EQC_HI11310_rev.0.1_January 2019

Electrode Quality Certificate

Electrode: HI763100 Parameter: EC/Temperature SN: 114948 Firmware: 1.04 Recommended for: HI2030

Description: Digital, 4 ring conductivity probe with internal temperature sensor

Hanna Instruments certifies that this electrode has been produced, calibrated and tested to meet all applicable Hanna Instruments Procedures, using standards and reference instruments, the accuracy of which is traceable to the National Institute of Standards (NIST) in the USA or to internationally acceptable national physical standards. The standards and reference instruments used in calibration and testing are supported by a calibration system which meets requirements of ISO 9001.

Standard Reference Materials: EC: SRM 999 [NIST]
 External/ internal Reference Devices*: °C: NTO-031 [NIST Certified Thermometers Set]

Tests performed using reference devices:

EC (@ 25 °C):	Offset (air) [$\mu\text{S}/\text{cm}$]:	0.00	
	Tolerance [$\mu\text{S}/\text{cm}$]:	+0.01	
	Reading [$\mu\text{S}/\text{cm}$]:	0.00	Passed
	12.88 mS/cm (standard) C.F. [cm^{-1}]:	1.000	
	Tolerance C.F. [cm^{-1}]:	0.800 - 1.200	
EC response time (12.88 mS/cm → 5.00 mS/cm)**:	Reading C.F. [cm^{-1}]:	1.054	Passed
	Standard time [s]:	<5	Passed
Temperature:	Tolerance [s]:	+1	
	Ref. Temp. [°C]:	25.0	50.0
	Tolerance [°C]:	±0.4	±0.4
Temperature response time (25 °C → 50 °C)**:	Readings [°C]:	25.0	50.0 Passed
	Standard time [s]:	<25	
Temperature response time (25 °C → 50 °C)**:	Tolerance [s]:	+5	
	Readings [s]:	20	Passed

*) All references are periodically checked and are used only if are inside certification interval; NP = not performed; C.F. = cell factor.

**) Evaluated for 90 % of step:

Quality control and testing criteria have been met.

Date: 2022.06.08

QC Inspector: Jarca Vestita / Engineer
[Name / Title of Signatory]

Signature: 

EQC_HI763100_rev.0.1_December 2019

Instrument Quality Certificate

Instrument:
HI2020

SN:
CO9350C8

Software version:
1.18

Description: pH/Temperature Bench Meter with digital probe 115/230 VAC

Hanna Instruments certifies that this instrument has been produced, calibrated and tested to meet all applicable Hanna Instruments procedures, using standards and reference instruments, the accuracy of which is traceable to the National Institute of Standards (NIST) in the USA or to internationally acceptable national physical standards. The standards and reference instruments used in calibration and testing are supported by a calibration system which meets requirements of ISO 9001.

The following tests have been performed according with the reference from the QC Procedure of the meter.

The results are listed below:

A. Functionality tests	Reference	Result
A.1. Switch ON/OFF test	3.	Passed
A.2. LCD test	3.	Passed
A.3. Keys test	3.	Passed
A.4. Sound test	3.	Passed
A.5. Battery charging test	3.	Passed
A.6. Power adapter test	3.	Passed
A.7. Probe recognition test	4.	Passed
A.8. Calibration test (pH, EC, DO)	5.	Passed
A.9. Measurements test (pH, EC, DO, Temperature)	6.	Passed
A.10. Log test	7.	Passed
A.11. USB connections test	8.	Passed
B. Aesthetic Control	Reference	Result
B.1. Instrument aesthetic check	1. & 2.	Passed
B.2. Meter Cradles aesthetic check	1.	Passed
B.3. Electrode Holder aesthetic check	1.	Passed

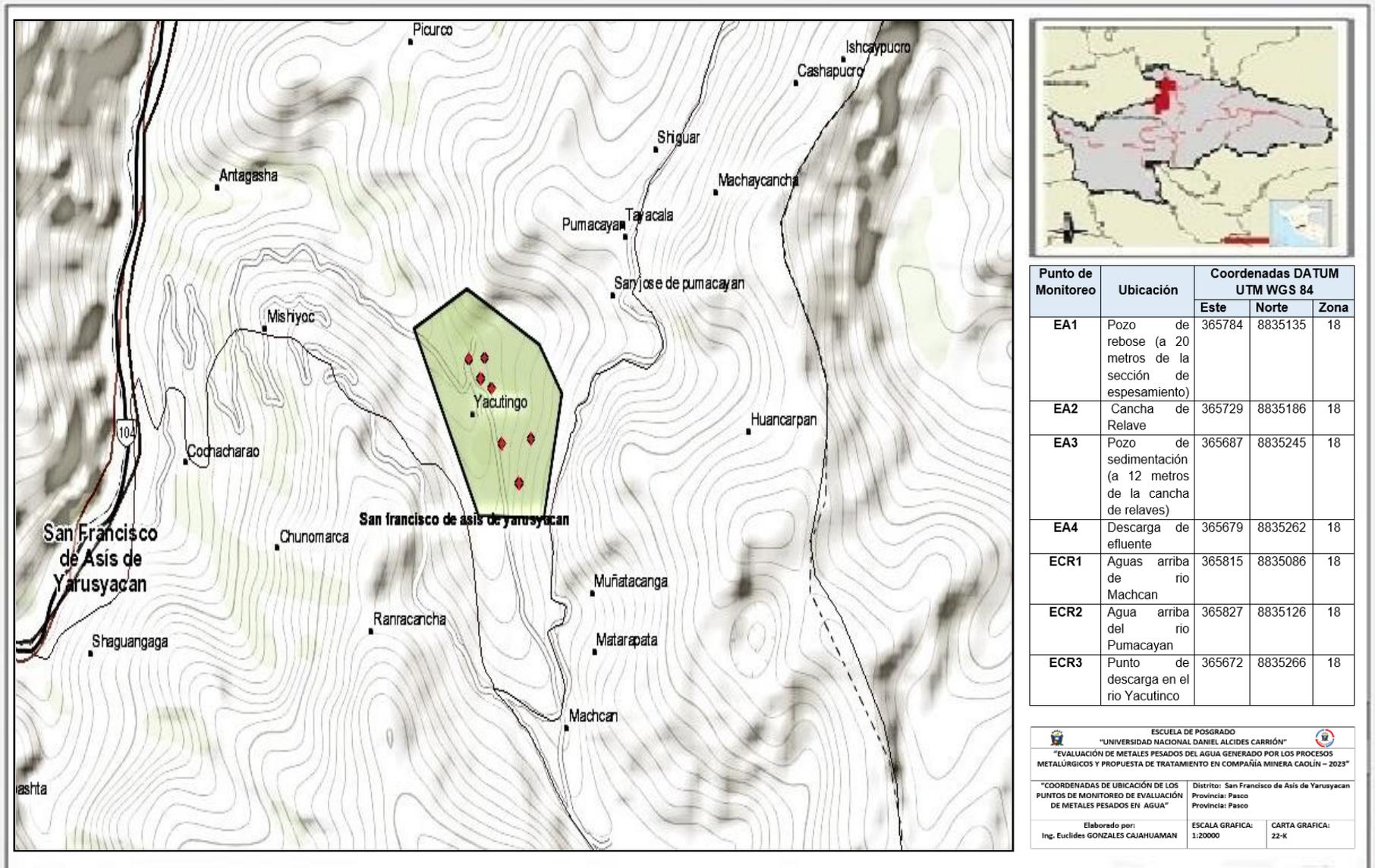
Calibration, functionality test, aesthetic control and packing have been met.

Date: 2022-10-28

QC Inspector: Tudor Coman / Engineer
(Name / Title of Signatory)

Signature: _____


KQC_HI2020_rev.0.1_May 2019



Fuente: Elaboración propia - ArcGIS 10.3

ANEXO 3:: Matriz de Consistencia y Operacionalización de Variables

MATRIZ DE CONSISTENCIA						
TÍTULO: “EVALUACIÓN DE METALES PESADOS DEL AGUA GENERADO POR LOS PROCESOS METALÚRGICOS Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO EN COMPAÑÍA MINERA CAOLÍN - 2023”.						
Tesis: GONZALES CAJAHUAMAN Euclides						
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN
<p>GENERAL: ¿De qué manera se realizará la evaluación de metales pesados del agua generado por los procesos metalúrgicos y la propuesta de tratamiento en compañía minera Caolín - 2023?</p> <p>ESPECÍFICOS: - ¿Cuáles son los procesos metalúrgicos que afectan la cantidad de metales pesados del agua generado por Compañía Minera Caolín - 2023?</p> <p>-¿De que manera se evaluara la cantidad en ppm de los metales pesados del agua generado por los procesos metalúrgicos de Compañía minera Caolín - 2023?</p> <p>-¿En qué medida mejorara la propuesta de tratamiento para cumplir con los dispuesto en el D.S. 010-2010-MINAM en las aguas generadas por los procesos metalúrgicos de Compañía Minera Caolín?</p>	<p>GENERAL: - Evaluar los metales pesados del agua generado por los procesos metalúrgicos y la propuesta de tratamiento en compañía minera Caolín - 2023</p> <p>ESPECÍFICOS: -Identificar los procesos metalúrgicos que afectan la cantidad de metales pesados del agua generado por Compañía Minera Caolín -2023</p> <p>-Determinar la cantidad en ppm de los metales pesados del agua generado por los procesos metalúrgicos de Compañía minera Caolín - 2023</p> <p>-Sugerir la propuesta de tratamiento para cumplir con los dispuesto en el D.S. 010-2010-MINAM en las aguas generadas por los procesos metalúrgicos de Compañía Minera Caolín</p>	<p>GENERAL --Si evaluamos correctamente los metales pesados entonces podremos decir que el agua generado por compañía minera Caolín cumplirá con las características que exige los límites máximos permisibles</p> <p>ESPECÍFICOS: -Si Identificamos correctamente los procesos metalúrgicos podremos decir cuales afectan a la calidad de agua generado por Compañía Minera Caolín - 2023</p> <p>-Determinando la cantidad en ppm de los metales pesados del agua generado por los procesos metalúrgicos de Compañía minera Caolín podremos afirmar si es significativo</p> <p>-Si implementamos la propuesta de tratamiento en las aguas generados por los procesos metalúrgicos de Compañía minera Caolín, entonces podremos afirmar si cumplimos con lo dispuesto en el D.S. 010-2010-MINAM</p>	<p>INDEPENDIENTE: X_1: Evaluación de metales pesados en agua.</p> <p>DEPENDIENTE: Y: Propuesta de Tratamiento; Planta de Tratamiento de Agua Industrial</p>	<p>Concentración de metales pesados en agua</p> <p>Límites Máximos Permisibles</p> <p>Costos</p>	<p>X_{11}: Concentración en partes por millón de Cobre X_{12}: Concentración en partes por millón de Plomo X_{13}: Concentración en partes por millón de Hierro X_{14}: Concentración en partes por millón de Zinc X_{15}: Concentración en partes por millón de Cianuro X_{16}: Concentración en partes por millón de Arsénico X_{17}: Concentración en partes por millón de Cadmio X_{18}: Concentración en partes por millón de Cromo</p> <p>pH, Solidos Totales en suspensión, aceites y grasas</p> <p>Costos de análisis</p>	<p>TIPO: Aplicado</p> <p>NIVEL: Descriptivo</p> <p>DISEÑO: No Experimental - Longitudinal</p>

Fuente: Elaboración propia

Operacionalización de Variables

DEFINICIÓN DE VARIABLES	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES
Independientes Evaluación de metales pesados en agua.	Los metales pesados presentes en el agua como el Pb, Fe, Cu, Zn, As, Cr, CN^- , Cd, y ciertos reactivos químicos empleados en las instalaciones de procesamiento de minerales, no experimentan degradación biológica o química en el medio ambiente a corto plazo. Esto los convierte en sustancias tóxicas para la mayoría de los organismos. Según Campos (1990), los compuestos que incluyen metales pesados pueden ser modificados, pero los elementos metálicos persisten en el entorno, donde pueden acumularse como iones o formar parte de compuestos orgánicos en los organismos durante largos periodos de tiempo. (Huaranga Moreno et al. 2012)	Concentración de metales pesados en agua	Concentración de Cobre Concentración de Plomo Concentración de Hierro Concentración de Zinc Concentración de Arsénico Concentración de Cromo Concentración de Cadmio
		Reactivos Químicos	Concentración de cianuro Solidos totales en suspensión Aceites y grasas
Dependientes: Propuesta de Tratamiento; Planta de Tratamiento de Agua Industrial	La planta de tratamiento de agua industrial se enfoca en eliminar o disminuir la alta concentración de componentes físicos y químicos presentes en el agua, los cuales podrían representar un riesgo para los seres humanos, la flora y la fauna. Su objetivo es garantizar que el agua tratada sea segura para ser liberada en el ambiente, cumpliendo con los límites máximos permitidos establecidos (Diaz Mesa, 2018).	Evaluación Química del agua	pH Temperatura Contenido Metálico conductividad eléctrica
		Evaluación Física del agua	Olor del agua Color del Agua Temperatura
		Límites Máximos Permisibles	Monitoreo de descarga de Efluente

Fuente: Elaboración Propia

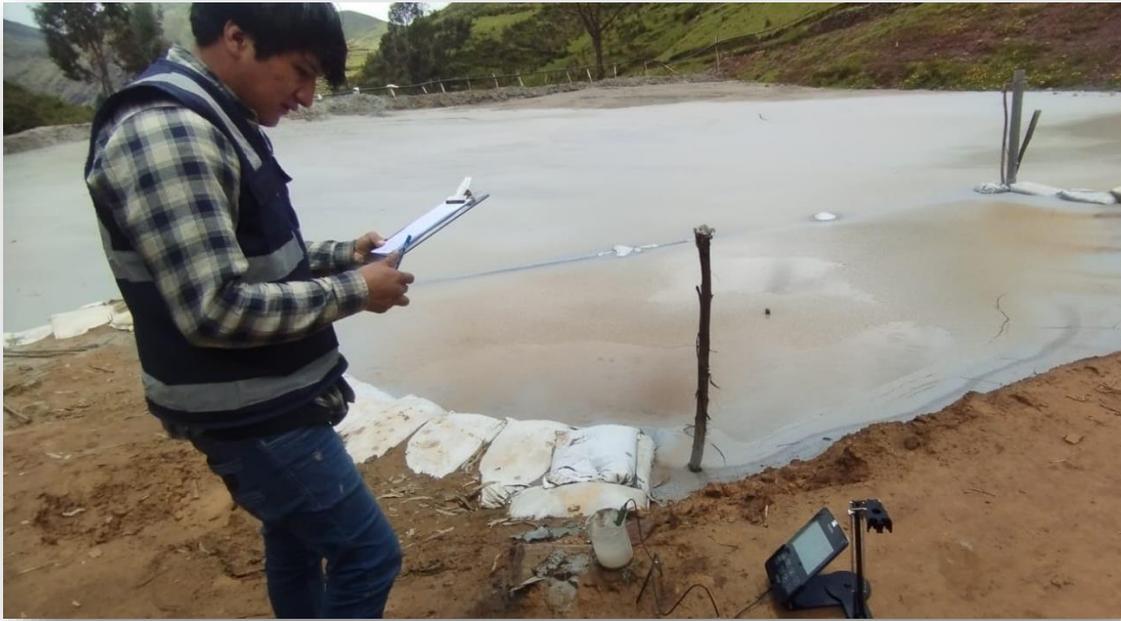
Anexo 4: imagenes



Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín punto EA3



Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín punto EA2



Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín punto EA2



Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín punto EA1



Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín punto EA1



Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín punto EA1



Fuente: Monitoreo de Efluentes Cía. Minera Caolín EA4



Fuente: Planta Concentradora Cía. Minera Caolín



Fuente: Planta Concentradora Cía. Minera Caolín