

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Remoción de metales en efluentes de relaveras
para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia
de Caravelí 2020**

Judith Karina España Chamorro

Para optar el Título Profesional de
Ingeniera Ambiental

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Dr. Ing. Pablo César Espinoza Tumialán

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a la “Universidad Continental”, por ser mi alma máter en impulsarme a lograr mi carrera profesional; en especial a la “E.A.P. de Ingeniería Ambiental”. Asimismo, quiero agradecer al laboratorio ensayo de la empresa “Ambiental Laboratorio S.A.C.” por brindarme los análisis de las muestras tomadas de la mina.

De manera especial, agradezco a mis padres Digno Manuel España Blanco y Micaela Paulina Chamorro Torres, y a mis hermanos Rocío, Manuel y Victoria por ser mi inspiración, este logro es de ustedes por su soporte, recomendaciones y destreza. Asimismo, agradecer al Ing. Pablo Espinoza por asesorarme en la elaboración de mi tesis.

DEDICATORIA

Dedico mi investigación a Dios, a mis padres Micaela y Digno, a mis hermanos Rocío, Manuel y Victoria, a mis amigos y colegas que me ofrecieron su compañerismo, motivación y apoyo.

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| ASESOR | ii |
| AGRADECIMIENTOS | iii |
| DEDICATORIA | iv |
| ÍNDICE | v |
| ÍNDICE DE FIGURAS | viii |
| ÍNDICE DE TABLAS | ix |
| RESUMEN | x |
| ABSTRACT | xi |
| INTRODUCCIÓN | xii |
| CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO | 1 |
| 1.1. Planteamiento y formulación del problema | 1 |
| 1.1.1. Planteamiento del problema | 1 |
| 1.1.2. Formulación del problema | 3 |
| 1.1.2.1. Problema general..... | 3 |
| 1.1.2.2. Problemas específicos | 4 |
| 1.2. Objetivos | 4 |
| 1.2.1. Objetivo general | 4 |
| 1.2.2. Objetivos específicos..... | 4 |
| 1.3. Justificación e importancia..... | 5 |
| 1.3.1. Justificación práctica..... | 5 |
| 1.3.2. Justificación metodológica | 5 |
| 1.3.3. Justificación científica | 5 |
| 1.3.4. Importancia..... | 5 |
| 1.4. Hipótesis y variables..... | 6 |
| 1.4.1. Hipótesis de investigación | 6 |
| 1.4.2. Hipótesis nula..... | 6 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 1.4.3. | Hipótesis específicas | 6 |
| 1.4.4. | Descripción y operacionalización de las variables | 7 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO..... | | 8 |
| 2.1. | Antecedentes de la investigación..... | 8 |
| 2.1.1. | Antecedentes encontrados en artículos científicos | 8 |
| 2.1.2. | Antecedentes encontrados en tesis | 8 |
| 2.1.3. | Antecedentes encontrados en artículos de divulgación | 11 |
| 2.2. | Bases teóricas | 12 |
| 2.2.1. | Fundamentos teóricos de la investigación | 12 |
| 2.2.1.1. | El zinc (Zn)..... | 12 |
| 2.2.1.2. | Remoción..... | 14 |
| 2.2.1.2.1. | Remoción del zinc en el agua | 14 |
| 2.2.1.2.2. | Solubilidad del zinc y de sus derivados | 15 |
| 2.2.1.2.3. | Contaminación del agua por zinc | 15 |
| 2.2.1.2.4. | Intercambio iónico | 16 |
| 2.2.1.2.5. | Los metales pesados en las aguas residuales | 16 |
| 2.2.1.3. | Legislación aplicable | 17 |
| 2.2.1.3.1. | Estándares de Calidad Ambiental para el agua..... | 17 |
| 2.2.1.3.2. | Categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales | 18 |
| 2.2.1.4. | Marco normativo | 18 |
| 2.2.2. | Modelo teórico de la investigación | 19 |
| 2.3. | Definición de términos | 19 |
| CAPÍTULO III: METODOLOGÍA..... | | 22 |
| 3.1. | Método, tipo y nivel de la investigación..... | 22 |
| 3.1.1. | Métodos de la investigación..... | 22 |
| 3.1.2. | Tipo de la investigación | 22 |
| 3.1.3. | Nivel de la investigación | 23 |
| 3.2. | Diseño de la investigación | 23 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3. Población y muestra | 23 |
| 3.3.1. Población..... | 23 |
| 3.3.2. Muestra | 23 |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 23 |
| 3.4.1. Técnicas de recolección de datos..... | 23 |
| 3.5. Técnicas de análisis y procesamiento de datos | 24 |
| CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 25 |
| 4.1. Resultados de la investigación..... | 25 |
| 4.1.1. Prueba de hipótesis..... | 28 |
| 4.2. Discusión de resultados..... | 33 |
| CONCLUSIONES..... | 34 |
| RECOMENDACIONES..... | 35 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 36 |
| ANEXOS | 41 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Contaminación del río Ramis causada por mineras, provoca protestas y bloqueos. | 2 |
| Figura 2. Gráfica acerca de conflictos socioambientales vinculados a los recursos hídricos. | 3 |
| Figura 3. Flow sheet - Origen de los relaves. | 10 |
| Figura 4. Representación del zinc. | 13 |
| Figura 5. Modelo teórico de la investigación. | 19 |
| Figura 6. Concentración final de metales vs dosis de cal. | 27 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Operacionalización de las variables. | 7 |
| Tabla 2. Principales actividades generadoras de metales pesados. | 17 |
| Tabla 3. Estándares de Calidad Ambiental del agua - Categoría 3. | 18 |
| Tabla 4. Concentración inicial de metales en efluente de relavera. | 25 |
| Tabla 5. Tratamiento de neutralización con dosificación de cal. | 26 |
| Tabla 6. Concentración de metales en efluente de relavera después de tratamiento de neutralización con cal. | 26 |
| Tabla 7. Comparación entre los resultados y las normas legales ECA y LMP. | 27 |
| Tabla 8. Porcentaje de eficiencia de remoción de metales. | 28 |
| Tabla 9. Prueba de normalidad para la hipótesis específica 1. | 29 |
| Tabla 10. Prueba de ANOVA para la hipótesis específica 1. | 30 |
| Tabla 11. Prueba de normalidad para la hipótesis específica 2. | 31 |
| Tabla 12. Prueba de ANOVA para la hipótesis específica 2. | 32 |

RESUMEN

Los efluentes de las relaveras constituyen una profunda preocupación por los impactos negativos al ambiente y ecosistemas, en algunos casos, por su inadecuado tratamiento y/o manejo ambiental. Ante esta problemática se realizó la presente investigación para generar conocimientos locales que contribuyan en las soluciones a estos problemas ambientales.

Se desarrolló la presente tesis con el “objetivo de determinar el efecto de la remoción de metales en efluentes de relaveras para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020”. Se utilizó la metodología analítica deductiva, el tipo de investigación fue “aplicada de nivel explicativo con diseño pre experimental”. La población fueron los efluentes de relavera de Caravelí. Como resultados se obtuvo que los efluentes de relavera presentaron concentraciones iniciales de cobre, zinc y plomo superiores a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) categoría 3. Se aplicó del tratamiento de neutralización con cal y a un pH de 8.5; se logró reducir las concentraciones de cobre, zinc, hierro y plomo a valores inferiores a los requeridos en el “D.S. 004-2017-MINAM, Estándar de Calidad para Agua Categoría 3, y del D. S. 010-2010-MINAM, Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas”. Se concluyó que la remoción de metales en efluentes de relaveras tiene efecto significativo para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020.

Palabras clave: efluentes, metales, remoción.

ABSTRACT

The tailings effluents are a deep concern due to the negative impacts on the environment and ecosystems, in some cases, due to their inadequate treatment and/or environmental management. Faced with this problem, the present investigation was carried out to generate local knowledge that contributes to the solutions to these environmental problems.

This thesis was developed with the "objective of determining the effect of metal removal in tailings effluents to reach category 3 water in the province of Caravelí 2020". The deductive analytical methodology was used, the type of research was "applied explanatory level with pre-experimental design". The population was the tailings effluents of Caravelí. As results, it was obtained that the tailings effluents presented initial concentrations of copper, zinc and lead higher than the Environmental Quality Standards (EQS) category 3. The neutralization treatment was applied with lime and at a pH of 8.5; it was possible to reduce the concentrations of copper, zinc, iron and lead to values lower than those required in the "D.S. 004-2017-MINAM, Category 3 Water Quality Standard, and D.S. 010-2010-MINAM, Maximum Permissible Limits for the discharge of liquid effluents from mining and metallurgical activities". It was concluded that the removal of metals in tailings effluents has a significant effect to reach category 3 water in the province of Caravelí 2020.

Keywords: effluents, metals, removal.

INTRODUCCIÓN

Los residuos mineros son producidos por la industria extractiva subterránea, o de superficie, y su inadecuado manejo ocasiona “impactos ambientales en el área de influencia directa o indirecta como la polución de cuerpos de agua por la descarga incontrolada de sus efluentes provocando deterioro al medio ambiente”. Esto ocurre desde hace mucho tiempo y con mayor severidad en lugares de escaso control ambiental. “Las aguas residuales del proceso minero son de disposición de las mineras priorizadas en sus obligaciones ambientales asumidos mediante los Instrumentos de Gestión Ambiental requeridos por ley”.

“En el Capítulo I de la tesis se presenta el planteamiento del problema, haciendo referencia a la problemática relacionado con la generación de agua con metales y metales pesados. Se presentan también los objetivos, la hipótesis, la justificación de la investigación presentando la operacionalización de las variables y la importancia en la generación de conocimientos a favor del ambiente”.

“En el Capítulo II de la tesis se presenta en forma completa el fundamento del objeto de investigación, en el fundamento teórico, la metodología, complementando la definición de términos relacionados con la investigación, y de igual manera se consideran las bases teóricas. En el Capítulo III se presenta el método de investigación, la población y muestra. En el capítulo IV se presentan los resultados de la presente investigación, abordando el análisis y discusión de los resultados referidos a la concentración de cobre, plomo, zinc y hierro”.

La autora.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

“Las empresas mineras están dedicadas a la reconocimiento y aprovechamiento de minerales desarrollando procesos que dan como resultado, entre otros, efluentes y lodos con alto volumen de metales y metales pesados que al no ser tratados adecuadamente escurren hacia los suelos y cuerpos líquidos en la superficie de influencia, alterando su composición afectando a los usuarios y consumidores, como se aprecia en la cuenca del río Ramis, de la región Puno, que es afectada por los efluentes de las relaveras de la minería informal. Asimismo, las altas concentraciones de metales en mucho de los casos superan los Estándares de Calidad Ambiental establecidas por la legislación peruana vigentes” (1).



Figura 1. Contaminación del río Ramis causada por mineras, provoca protestas y bloqueos.

Fuente: cotejo propio de noticias de la web.

“En la región de Arequipa se tienen actividades mineras informales, las que se encuentran en las provincias de Caravelí, Condesillos, Acarí y La Joya. Este tipo de minería ha originado problemas frecuentes en Arequipa y al mismo tiempo representa una oportunidad de ingreso económico, ocasionando a su vez problemas sociales y ambientales como la pobreza en los asentamientos mineros, degradación ambiental, condiciones insalubres y presencia de trabajo infantil. El impacto negativo que genera la minería artesanal es hacia el medio ambiente, muchas veces por el desconocimiento total de la ciencia y tecnología y porque trabajan al margen de la ley” (2).

“La Defensoría del Pueblo mediante Informe N° 001-2015-DP/APCSG, enfrentamientos sociales y recursos hídricos, explica que se dieron 153 casos registrados por la Defensoría del Pueblo entre enero de 2011 y diciembre de 2014, en torno a las luchas sociales asociadas a los recursos hídricos que tienen entre sus causas al miedo o la supuesta afectación a sus propiedades principales de los recursos hídricos como la calidad, la cantidad y la oportunidad, donde el 67 % de conflictos socioambientales está vinculado a la minería en el Perú” (3).

**Perú: Conflictos socioambientales vinculados a recursos hídricos, por actividad, 2011-2014
(Distribución porcentual)**

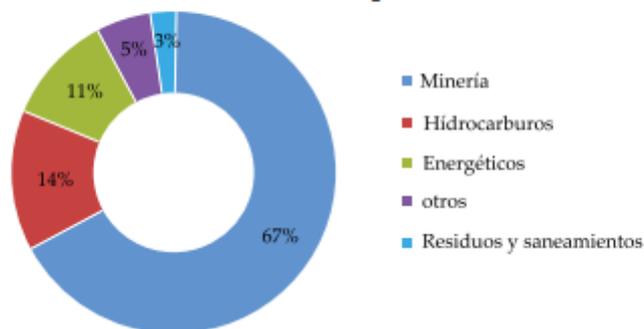


Figura 2. Gráfica acerca de conflictos socioambientales vinculados a los recursos hídricos.

Fuente: Defensoría del Pueblo (3).

“Caviedes *et al.* (4), en su artículo titulado: Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. una revisión, muestra las características toxicológicas de los metales pesados, motivando a la reglamentación ambiental de vigilancia y control de los vertimientos industriales que se ha fortalecido en los últimos años incrementando los controles sobre los metales pesados por el grado de peligrosidad y tenacidad en las fuentes hídricas. Asimismo, destaca el extenso espectro de tratamientos y sus eficiencias de remoción de los metales pesados con el objetivo de reducir valor que permitan la implementación y sostenibilidad, dentro de ellos el método de intercambio iónico” (4).

“Ante la problemática, es necesario remover los contaminantes de los efluentes de las relaveras, así como tratarlas cumpliendo con las leyes ambientales establecidas para que los recursos hídricos mejoren su calidad y puedan ser utilizados y/o reutilizados en los procesos, servicios, regadíos y usos diversos”.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cuál será el efecto de la remoción de metales en efluentes de relaveras para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál será el efecto de la neutralización con cal en la concentración de cobre, zinc, hierro y plomo de los efluentes de relaveras para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020?
- ¿Cuál será el efecto de la neutralización con cal en la remoción de metales en efluentes de relaveras para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar el efecto de la remoción de metales en efluentes de relaveras para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto de la neutralización con cal en la concentración de cobre, zinc, hierro, plomo de los efluentes de relaveras de la provincia de Caravelí 2020.
- Determinar el efecto de la neutralización con cal en la remoción de metales en efluentes de relaveras para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación práctica

“La tesis desarrollada contribuye a encontrar solución a los problemas de contaminación de las aguas por los efluentes de las relaveras de los procesos mineros asociados, aplicando los conocimientos teóricos para generar alternativas de manejo práctico a favor de la calidad ambiental del entorno”.

1.3.2. Justificación metodológica

“Aportar con nuevos conocimientos y caso de posible solución a problemas industriales con la aplicación de métodos de tratamiento de intercambio iónico por neutralización con cal, minimizando la concentración de los metales, posteriormente se filtra para luego comparar la calidad del agua obtenida con la normativa nacional - Estándares de Calidad del Agua (ECA) establecido y vigente”.

1.3.3. Justificación científica

“El efluente de las relaveras de las fases de la minera contiene metales pesados que no permiten su uso directo; lograr la remoción de estos, implica alternativas de tratamiento viables y efectivas para la solución de los problemas ambientales”.

1.3.4. Importancia

“Esta investigación es importante por su contribución científica a la disminución de los impactos ambientales asociados a las actividades mineras e industriales, asimismo a la generación de nuevos conocimientos con un propósito de resolver problemas de remoción de metales,

favoreciendo la calidad ambiental, la mejora económica y social, apoyando a los procesos productivos, a los Sistemas de Gestión Ambiental, a la reducción de conflictos socioambientales por los recursos hídricos y al cumplimiento efectivo de las obligaciones ambientales”.

1.4. Hipótesis y variables

1.4.1. Hipótesis de investigación

H₁: La remoción de metales en efluentes de relaveras tiene efecto significativo para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020.

1.4.2. Hipótesis nula

H₀: La remoción de metales en efluentes de relaveras no tiene efecto significativo para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020.

1.4.3. Hipótesis específicas

a) Para el objetivo específico 1:

- H₁E1: La neutralización con cal tiene efecto significativo en la concentración de cobre, zinc, hierro, plomo de los efluentes de relaveras de la provincia de Caravelí 2020.
- H₀E1: La neutralización con cal no tiene efecto significativo en la concentración de cobre, zinc, hierro, plomo de los efluentes de relaveras de la provincia de Caravelí 2020.

b) Para el objetivo específico 2:

- H₁E2: La neutralización con cal tiene efecto significativo en la remoción de metales en efluentes de relaveras para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020.
- H₀E2: La neutralización con cal no tiene efecto significativo en la remoción de metales en efluentes de relaveras para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020.

1.4.4. Descripción y operacionalización de las variables

Tabla 1. *Operacionalización de las variables.*

| VARIABLES | Tipo de variable | Conceptualización | Categorías o dimensiones | Indicadores |
|------------------------------------|------------------|--|---|---|
| Remoción de los metales con cal | Independiente | La remoción de los metales: se adiciona cal para precipitar los metales pesados, mediante las reacciones químicas. | a) Dosis de cal hidratada g/L. b) pH. | Consumo de cal en (g/L). |
| Efluentes de relaveras con metales | Dependiente | Efluentes de relaveras con concentración de metales proveniente de las actividades mineras. | a) Concentración de metales solubles: Cu, Zn, Fe, Pb (mg/L). b) % de remoción de metales Cu, Zn, Fe, Pb. | Cantidad inicial y final de la concentración de los metales Cu, Zn, Fe y Pb (mg/L). |

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes encontrados en artículos científicos

“En el artículo titulado “Influencia de la minería artesanal e informal en la condición del recurso hídrico de Parcoy, La Libertad”, se tuvo por objetivo determinar la influencia de la minería artesanal e informal en la calidad del recurso hídrico en Parcoy, La Libertad. En sus conclusiones precisa que se determinó que la minería aurífera artesanal e informal se desarrolló en un 75 %. Existe contaminación de 63.3 % de metales pesados (arsénico, cadmio, cobre, plomo, zinc y hierro) en las quebradas Balcones, Huinchus, Huariracra, Trancahuayco y río Parcoy. Se localizó contaminación a nivel de pH > 6, sólidos totales disueltos > 500 mg/L, oxígeno disuelto > 5 mg/L, conductividad < 1 500 uS/cm y turbidez > 5 NTU” (5).

2.1.2. Antecedentes encontrados en tesis

“En la tesis titulada “Análisis de consolidación y secado de relaves para evaluar mejoras de recuperación de aguas en tanques de relave convencionales operados con celdas interiores”, se tuvo por objetivo calcular posibles mejoras en la recuperación de agua para la gran minería chilena del cobre afiliadas a la elección de distintas secuencias de

operación de un tranque de relaves convencional fraccionado en celdas interiores, siendo su producto la deposición con mayor cantidad de días por celda; se alcanza a admitir que se genera un mayor caudal de recuperación mientras que el agua atrapada se mantiene en los contornos del 50 % para todos los planes operacionales” (6).

“En la tesis titulada “Reducción del metal cobre de efluentes mineros mediante el método redox en la provincia de Lurín - Lima - 2018”, se planteó como objetivo disminuir el cobre a través del método de redox de los efluentes contaminados por los procedimientos mineros, obteniendo como resultado la reducción del cobre a 0.00009 mg/L, con una eficacia del 99 % del valor por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental del agua, con un pH de 9” (7).

“En la tesis titulada “Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas del río Grande y su relación con la actividad minera”, se tuvo por objetivo cuantificar la aparición de los metales pesados en las aguas del río Grande y definir si sobrepasan los estándares nacionales de calidad ambiental para agua, alcanzando como conclusión que el metal (plomo) supera los Estándares de Calidad Ambiental donde es su máxima concentración en el punto RGR (0.246 mg/L), sobrepasando en 392 %, asimismo no se determina que la aparición de metales pesados sea por la actividad minera” (8).

“En la tesis titulada “Estudio para la lixiviación de relaves de flotación en la minera Caravelí”, se expresa que el relave, como en cualquier otra compañía minera, es un problema ambiental, siendo el objetivo optimizar los parámetros de operación y generar rentabilidad con el procesamiento de los relaves. Se concluye que es posible recuperar el cobre de los relaves por medio de la lixiviación manteniendo el ácido a una constante de 30 kg/t recuperando un 94.5 % de cobre” (9).

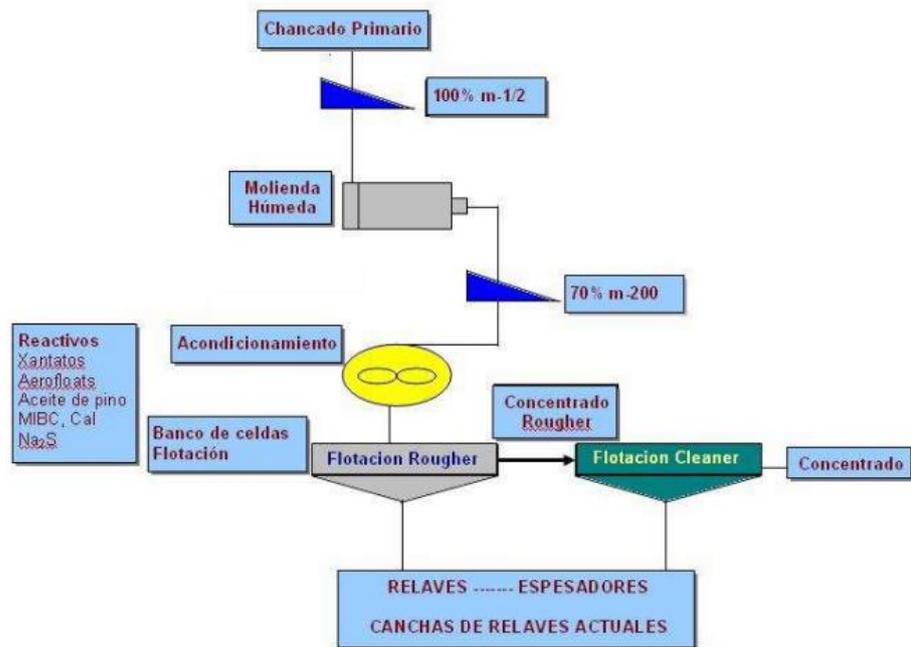


Figura 3. Flow sheet - Origen de los relaves.

Fuente: Aguilar (9).

“En la tesis titulada “Eficacia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio - 2017”, se tuvo por objetivo calcular la eficacia del hidróxido de calcio en el proceso de las aguas ácidas de una relavera ubicada en Cerro de Pasco, a nivel laboratorio. Como resultados, se expone que el hidróxido de calcio es eficaz en el tratamiento de las aguas ácidas, ya que con 10 g/L de este neutralizante se removi6 un 52.82 % de plomo, 99.96 % de s6lidos suspendidos y 99.42 % s6lidos disueltos. Se concluye que el tratamiento 3 (T3) es el m6s eficiente en la remoci6n de los par6metros fisicoqu6micos con un 74.08 %” (10).

“En la tesis titulada “Remoci6n de cobre (II) en aguas de efluentes minero - metal6rgico con compost”, se expresa que los procedimientos de remoci6n de contaminantes met6licos muestran ciertos inconvenientes como el alto precio - existencia, generaci6n de subproductos peligrosos o la ineficiencia cuando la concentraci6n no supera los 100 ppm, siendo el objetivo mover los iones de cobre de efluente mineros metal6rgicos con compost comercial. Se concluye que las muestras sometidas al compost logrando la remoci6n del metal de cobre en un 74 %” (11).

“En la tesis titulada “Alcalinización con travertino y desmineralización de aguas ácidas de minas en simulador de humedal a nivel de laboratorio”, se tuvo por objetivo alcalinizar con travertino y desmineralizar del metal hierro y manganeso las aguas ácidas del Túnel Kingsmill en laboratorio, logrando conseguir la remoción del metal hierro en síntesis del 99 % con un pH de 7.4” (12).

“En la tesis titulada “Evaluación de remoción de cobre y zinc por la planta nativa *Scirpus californicus* (Totora) en la sociedad de Pomachaca - Tarma”, de la Universidad Nacional del Centro Del Perú, se aporta con metodologías aplicativas para diagnosticar el porcentaje de remoción de cobre y zinc por la planta nativa *Scirpus californicus* (Totora) frente al periodo” (13).

“En la tesis titulada “Remoción de zinc de las aguas de mina en el nivel 3900 de la Compañía Minera Los Quenuales - Unidad de Producción Yauliyacu a nivel de laboratorio”, se propuso emplear el tratamiento del incremento de neutralización, coagulación-floculación y sedimentación en el laboratorio, posteriormente del régimen se verificó la remoción de zinc mediante la lectura de la concentración final del metal zinc en el fotómetro, consiguiendo como mejor resultado 0.07 ppm por debajo de los Límites Máximos Permisibles, alcanzando una eficacia de 99.90 %” (14).

2.1.3. Antecedentes encontrados en artículos de divulgación

“En el artículo titulado “Reducción de contaminantes del relave ácido de mina en planta concentradora de Jangas, Perú”, se tuvo por objetivo acortar los contaminantes en la cancha de relave de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas para verificar y comparar lo alcanzado con los Límites Máximos Permisibles (LMP) antes de derivar el efluente al río Santa; fue necesario adaptar la metodología de remediación con el empleo de caliza, aserrín y estiércol de cuy, obteniendo la reducción de las concentraciones de metales por debajo del LMP, entre otros, del Fe < 0.005 mg/L y Pb < 0.010 mg/L a un pH de 8.5 en el laboratorio” (15).

“En la difusión de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) titulada “Gestión integrada de los recursos hídricos por cuenca y cultura del agua”, se menciona que la proliferación de la minería artesanal irresponsable, en algunos casos promovida por las grandes mineras que adquieren su producción, es una de las primordiales causas de la contaminación de los ríos y demolición del entorno ambiental” (16).

“En el artículo titulado “Contaminación por metales pesados en la cuenca del río Moche, 1980 - 2010, La Libertad - Perú”, se explica que la contaminación de las aguas continentales es una cuestión de medida mundial, especialmente debido al impacto de los relaves mineros. De los muestreos del recurso hídrico en ocho estaciones del río Moche (Trujillo, Perú), los metales pesados en el agua se mostraron en el cuenca alta durante el año de 1980: hierro (557.500 ppm), plomo (100.375 ppm), cadmio (4.550 ppm), cobre (6.900 ppm), zinc (262.900 ppm) y arsénico (9.000 ppm); en los suelos las mayores densidades, se encontraron en la margen derecha de la cuenca baja para el año 1980: hierro (83.400 mg/kg); plomo (0.820 mg/kg); cadmio (0.012 mg/kg); cobre (1.240 mg/kg); zinc (0.380 mg/kg) y arsénico (0.016 mg/kg); en correlación con la acumulación de metales en los cultivos, se tuvo al hierro (0.6525 mg/kg) en la yuca, concluyendo que la mayor contaminación del agua se reveló en la cuenca alta en el año 1980, mientras que la margen derecha de la cuenca media evidencia mayores niveles de polución en las muestras de suelos, así como a nivel de los cultivos la yuca, siendo la especie más contaminada” (17).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Fundamentos teóricos de la investigación

2.2.1.1. El zinc (Zn)

“Es un elemento químico de la tabla periódica que corresponde a la categoría de metales con símbolo Zn. Su número atómico es 30 y peso atómico 65.37. Se ubica como isótopo de masa atómica 64” (18).



Figura 4. Representación del zinc.

Fuente: cotejo de Lenntech.

“El zinc puro es flexible y blando. Se hierve a 907°C ($1\ 665^{\circ}\text{F}$) y funde a 420°C (788°F). Posee una consistencia siete veces mayor que el agua. Asimismo, es un buen conductor del calor y electricidad” (18).

“Es un metal químicamente activo, puede encenderse con algún impedimento produciendo una flama azul verdosa en el aire y liberando óxido de zinc en forma de humo. El zinc metálico en soluciones ácidas reacciona liberando hidrógeno para conformar iones zinc, Zn^{2+} . Incluso se disuelve en soluciones fuertemente alcalinas para formar iones dinegativos de tetrahidroxozincatos, $\text{Zn}(\text{OH})^{2-}_4$, escrito algunas veces como ZnO^{2-}_2 en las fórmulas de los zincatos” (18).

“El zinc es eternamente divalente en sus compuestos, menos a algunos cuando se une a otros metales que se designan aleaciones de zinc. Forman muchos compuestos de coordinación. En la mayoría de ellos la unidad estructural fundamental es un ion central de zinc, acotado por cuatro grupos coordinados dispuestos espacialmente en las esquinas de un tetraedro regular” (18).

“Es indispensable para el metabolismo de muchos organismos vegetales y animales. Su ausencia en el consumo deteriora el crecimiento puede producir anemia. Este elemento está en la mayoría de los alimentos, especialmente los que contienen un alto nivel en proteínas” (18).

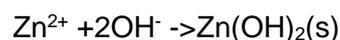
2.2.1.2. Remoción

“El zinc es comúnmente agitado por precipitación con hidróxido. Se ha analizado una productividad óptima a valores de pH tan bajos como 9.0 a 9.5 y tan altos como 11 y más. El zinc es un metal anfótero cuya solubilidad varía a pH altos y bajos” (19).

“Es admisible que algunos constituyentes (como agentes complejantes), que no fuesen el zinc en las aguas residuales, puedan influir en la eficacia de la precipitación del zinc como función del pH. Para las aguas residuales que contienen zinc, la mejor técnica requiere la determinación de y tratamiento al valor óptimo de pH para las aguas residuales específicas, y una remoción eficiente de los sólidos suspendidos por medio de clarificación por gravedad” (19).

2.2.1.2.1. Remoción del zinc en el agua

“El zinc elemental no reacciona con las moléculas de agua. El catión de zinc forma una capa protectora e insoluble de hidróxido de zinc ($Zn(OH)_2$), según la reacción” (20).



“El zinc reacciona con iones H^+ de acuerdo con el siguiente mecanismo de reacción” (20):



“Esta reacción libera hidrógeno, el cual reacciona fuertemente con el oxígeno” (21).

“Las sales de zinc causan turbidez cuando están presentes en grandes cantidades en el agua. Adicionalmente, el zinc añade al agua un sabor desagradable. Esto sucede a partir de concentraciones de $2 \text{ mg } Zn^{2+}/L$ ”. (22).

2.2.1.2.2. Solubilidad del zinc y de sus derivados

“La solubilidad del zinc depende de la temperatura y del pH del agua en cuestión. Cuando el pH es casi neutro, el zinc es insoluble en el agua. La solubilidad del zinc en el agua aumenta con la acidez. Por encima del pH 11, la solubilidad también aumenta. El zinc se disuelve en agua como $ZnOH^+$ (aq) o Zn^{2+} (aq). El $ZnCO_3$ aniónico tiene una solubilidad de 0.21 g/L. Como ejemplos de solubilidad de los derivados de zinc se proponen: cloruro de zinc ($ZnCl_2$) 4 320 g/L, y óxido de zinc (ZnO) y vitriolo blanco u óxido de zinc heptahidratado ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$), 580 g/L”. (23).

2.2.1.2.3. Contaminación del agua por zinc

“La mayoría del zinc es adicionado durante actividades industriales, como es la minería, la combustión de carbón y residuos y el procesado del acero. La producción mundial de zinc está todavía creciendo, esto significa básicamente que más y más zinc termina en el ambiente” (24).

“El agua es contaminada con Zinc, debido a la presencia de grandes cantidades de Zinc en las aguas residuales de plantas industriales. Estas aguas residuales no son depuradas satisfactoriamente. Una de las consecuencias es que los ríos están depositando fango contaminado con Zinc en sus orillas. El zinc puede también incrementar la acidez de las aguas” (20).

2.2.1.2.4. Intercambio iónico

“Es el proceso a través del cual los iones en solución se transfieren a una matriz sólida que, a su vez liberan iones de un tipo diferente, pero de la misma carga. El intercambio iónico es un proceso de separación física en la que los iones intercambiados no se modifican químicamente” (4).

2.2.1.2.5. Los metales pesados en las aguas residuales

“Como constituyentes importantes de muchas aguas podemos encontrar un número importante de metales pesados, aunque su cuantificación sea a niveles de traza. Entre ellos se puede destacar níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre, hierro y mercurio, entre otros. Todos ellos se encuentran catalogados en la Directiva Europea 96/61/CE IPPC (Ley 16/2002) como sustancias contaminantes que deben tenerse obligatoriamente en consideración para fijar valores límites de emisiones, aunque algunos de ellos son imprescindibles para el normal desarrollo de la vida biológica y la ausencia de cantidades suficientes de ellos podría limitar, por ejemplo, el crecimiento de las algas” (4).

“Los efectos que provocan sobre el medio ambiente son los siguientes: mortalidad de los peces, envenenamiento de ganado, mortalidad de plancton, acumulaciones en el sedimento de peces y moluscos. Otra serie metales como el hierro, calcio, magnesio o manganeso también están presentes en aguas residuales de las industrias de metalúrgica, fabricación de cemento, cerámicas y bombes de

gasolina. Sus efectos, menos peligrosos que los anteriores, principalmente son el cambio en las características del agua: color, dureza, salinidad e incrustaciones. Debido a su toxicidad, la presencia de cualquiera de ellos en cantidades excesivas interferirá en gran número de los usos del agua” (4).

Tabla 2. *Principales actividades generadoras de metales pesados.*

| INDUSTRIA | METALES | CONTAMINACIÓN DERIVADA |
|------------------------------|-------------------------|--|
| Minería de metales ferrosos. | Cd, Cu, Ni, Cr, Co, Zn. | Drenaje ácido de mina, relaves, escombreras. |

Fuente: Caviedes *et al.* (4).

2.2.1.3. Legislación aplicable

2.2.1.3.1. Estándares de Calidad Ambiental para el agua

“En base al D.S. 015-2015-MINAM, se toma en consideración los artículos siguientes” (25):

- “Artículo 1°. Modificación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, aprobados por Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM” (26).
- “Artículo 2°. ECA para agua y políticas públicas. Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua son de cumplimiento obligatorio en la determinación de los usos de los cuerpos de agua, atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, y en el diseño de normas legales y políticas públicas, de conformidad con lo dispuesto en la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente (26).

2.2.1.3.2. Categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales

“En base al D.S. N° 004-2017-MINAM, se aprobaron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecieron disposiciones complementarias, donde se menciona en el Artículo 3°. Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental del agua, a lo cual se toma como referencia la categoría 3, ya que las aguas serán utilizadas solo para riegos de vegetales y bebida de animales” (27).

Tabla 3. *Estándares de Calidad Ambiental del agua - Categoría 3.*

| Parámetros | Unidad de medida | D1: Riego de Vegetales | | D2: Bebida de animales |
|------------|------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| | | Agua para riego no restringido (c) | Agua para riego restringido | Bebida de animales |
| Zinc | mg/L | | 2 | 24 |
| Cu | | | 0.2 | 0.5 |
| Fe | | | 5 | |
| Pb | | | 0.05 | 0.05 |

Fuente: Ministerio del Ambiente (28).

2.2.1.4. Marco normativo

- “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (R.J. N°010-2016-ANA)” (29).
- “Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes” (29).
- “Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338) y su reglamento (D.S. N°001-2010-AG)” (30).

- “Ley General del Ambiente (Ley N°28611 modificada por el D.L. N° 1055)” (31).
- “Ley General de Minería (D.S. N°014-92-EM)” (32).
- “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua (D.S. N° 004-2017-MINAM)” (28).
- “Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas (D.S. N° 010-2010-MINAM)” (33).

2.2.2. Modelo teórico de la investigación

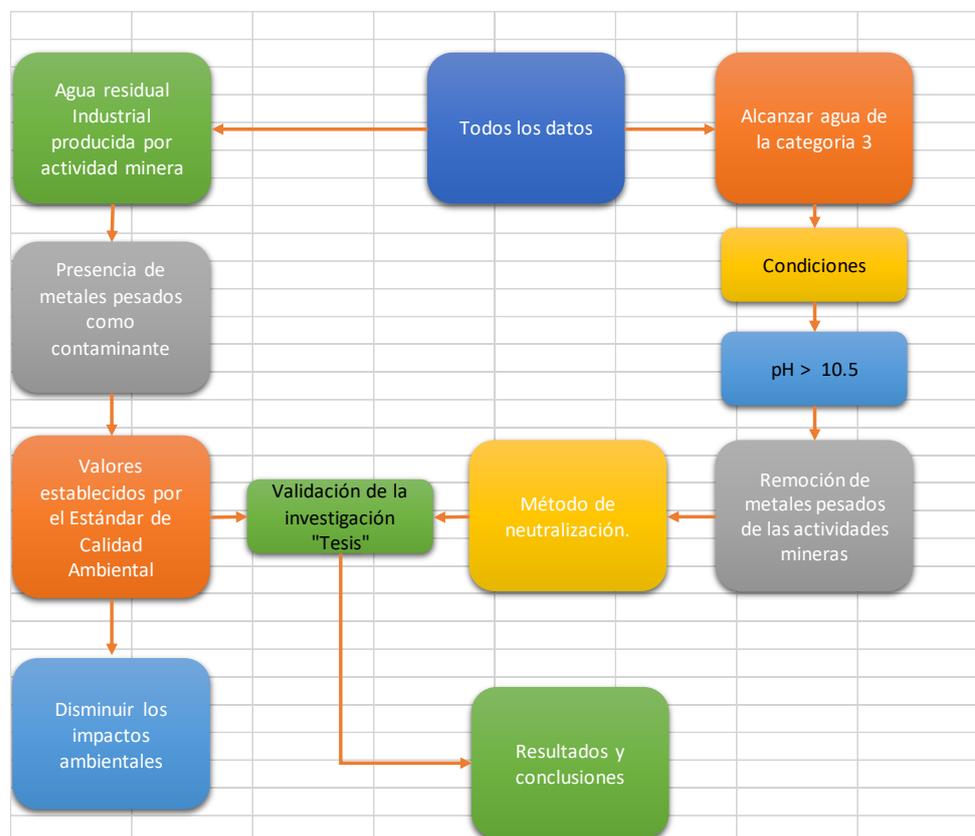


Figura 5. Modelo teórico de la investigación.

Fuente: elaboración propia.

2.3. Definición de términos

- Aguas residuales: “se refiere a las aguas con propiedades que han sido cambiadas por actividades que desarrolla el ser humano, que son derramadas a un cuerpo natural de agua y requieren de sistemas previos por su calidad” (34).
- Aguas residuales industriales: “se refiere a las aguas que se originaron como resultado de la actividad productiva, las cuales pueden ser la minería, la pesca, las actividades agrícolas, etc. Por el cual estas requieren de un tratamiento previo” (34).
- Aguas de mina: “son las aguas que se generan por la labor realizado en el interior de la mina y que están en contacto con cuerpos mineralizados los cuales necesitan tratamiento previo para su disposición final, son considerados como aguas residuales” (35). “El tratamiento de los minerales sulfurados se desarrolla en plantas concentradoras o de beneficio, proceso que compromete la molienda del mineral, clasificación, flotación, espesamiento, entre otros, dando como conclusión la producción de concentrado de cobre, así como también grandes volúmenes de material de descarte, denominado relave” (36).
- Calidad de agua: “son las propiedades pertenecientes al agua tanto como físicas, químicas y biológicas” (37).
- Cal: “es conocido como óxido de calcio; se utiliza para eliminar los carbonatos o dureza temporal y para un manejo adecuado del pH” (38)
- Contaminación del agua: “son algunas sustancias irritantes que no son universales en el agua, como por ejemplo los microorganismos, agentes químicos, restos de eliminación, que hacen que el agua no sea aprovechable para la utilización previsto” (39).
- Disminuir: “es una fase electroquímica por el cual un ion gana más electrones. Implica reducir de su estado de oxidación” (40).
- Estándar Nacional de Calidad Ambiental para agua: “es el nivel alto de concentración de elementos, sustratos físicos, químicos y biológicos actuales en los componentes de las aguas superficiales que no han causado daños expresivos a la salud de las personas ni a la contaminación del ambiental” (39). “Los requisitos para la calidad del agua se establecen de acuerdo con el uso al que se destina, por lo cual su calidad se juzga como el grado en el cual el agua se ajusta a los estándares físicos, químicos y biológicos que fija el usuario”. (41).

- Límites Máximos Permisibles: “Son las mediciones de la concentración o altura de elementos, materia o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan las aguas residuales o las emisiones, y puede ajustarse utilizando la mejor tecnología alcanzable y económicamente viable para lograr el programa de adecuación de las aguas residuales. Su decisión es del Ministerio del Ambiente y su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental” (39).
- Metales Pesados: “constituidos por elementos de transición y postransición que incluyen metaloides como el arsénico y selenio. Los metales pesados se dividen por su función biológica en: a) oligoelementos o micronutrientes: Son los requeridos en pequeñas cantidades, traza, por plantas y animales, son necesarios en el organismo para completar ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos, tenemos al As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn, b) metales pesados sin función biológica conocida: en determinadas cantidades en los seres vivos lleva aparejadas disfunciones en sus organismos. Derivan como altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son, principalmente: Cd, Hg, Pb, Ni, Sb, Bi” (42).
- Muestra de agua: “es parte significativa del material a tratar (agua superficial natural), donde se evaluaron los parámetros de estudiar” (43).
- Neutralización: “se refiere a todos los tratamientos que llevan al agua a un pH que se aproxime a la neutralidad, o el pH próximo al valor de equilibrio; el agua puede ser ácida o alcalina” (44).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo y nivel de la investigación

3.1.1. Métodos de la investigación

a) Método general o teórico de la investigación:

“Analítico-deductivo, puesto que se abordó al tema de estudio desde un enfoque general para llegar a situaciones específicas” (45).

b) Método específico de la investigación:

“Experimental-observacional; observar es la acción de mirar detenidamente un objeto o cosa para asimilar en detalle la naturaleza investigada, su conjunto de datos, hechos y fenómenos” (46).

3.1.2. Tipo de la investigación

“Aplicada, porque se ocuparon algunos temas y problemas, además que existió motivaciones particulares que indujeron a investigar. El tratamiento de aguas contaminadas es importante ya que se debe dar una solución para minimizar los impactos ambientales y generar nuevos conocimientos y tratamientos para estos efluentes” (47).

3.1.3. Nivel de la investigación

“Explicativo, puesto que se buscó explicar las causas por las que se provoca el evento” (48).

3.2. Diseño de la investigación

“El diseño de la investigación fue propiamente pre-experimental, ya que no se llegó a poseer el control de los parámetros ambientales como: temperatura, presión, entre otros. Se analizaron 3 muestras de modo aleatorio en el laboratorio y además se llevó a cabo una observación adecuada” (49).

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población estuvo constituida por el efluente de las relaveras de la provincia de Caravelí.

3.3.2. Muestra

“Se tomaron muestras para la caracterización fisicoquímica, de 1 litro, y para la experimentación se tomaron 20 litros del efluente de las relaveras según el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales” (50).

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas de recolección, conjuntamente con el procedimiento específico, abarcaron a la observación, revisión bibliográfica, toma de muestra y análisis de laboratorio (51).

Instrumentos de recolección de datos:

- Multiparámetro.
- Análisis químico en el laboratorio analítico.

3.5. Técnicas de análisis y procesamiento de datos

- El programa de cálculo de Excel, se utilizó para preparar los resultados del trabajo en campo de las muestras y los datos de dosis óptimas. La versión utilizada fue la del 2013 (52).
- Para la prueba de conjeturas, se utilizó IBM SPSS, para ver si la prueba de hipótesis se rechaza o acepta (53).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la investigación

Se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 4. *Concentración inicial de metales en efluente de relavera.*

| Efluente de relavera | pH | Cu mg/L | Zn mg/L | Fe mg/L | Pb mg/L |
|----------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|
| M0 | 7.12 | 0.998 | 5.128 | 0.71 | 0.08 |
| ECA Cat 3 | 6.5 - 8.5 | 0.2 | 2 | 5 | 0.05 |

Fuente: elaboración propia.

“Se evidencia que el efluente de relavera presenta el pH y las concentraciones de cobre, zinc y plomo, con valores que superan el Estándar de Calidad Ambiental de agua, categoría 3”.

Tabla 5. *Tratamiento de neutralización con dosificación de cal.*

| Cálculos | | | | Consumo de cal | |
|----------|----------------|-------|-------------|-----------------|-------------------------------|
| V cal mL | Conc. Cal g/mL | g cal | V muestra L | Cal g/L muestra | Cal kg/m ³ muestra |
| 9 | 0.15 | 1.35 | 1 | 1.35 | 1 350 |
| 7 | 0.15 | 1.05 | 1 | 1.05 | 1 050 |
| 6 | 0.15 | 0.9 | 1 | 0.9 | 900 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. *Concentración de metales en efluente de relavera después de tratamiento de neutralización con cal.*

| Prueba | pH | Cu mg/L | Zn mg/L | Fe mg/L | Pb mg/L | Consumo de Cal g/L muestra |
|--------|-------|---------|---------|---------|---------|----------------------------|
| 1 | 11.81 | 0.054 | < 0.001 | < 0.001 | 0.039 | 1.35 |
| 2 | 11.8 | 0.06 | < 0.001 | < 0.001 | 0.054 | |
| 3 | 8.5 | 0.105 | 0.21 | 0.305 | 0.038 | 1.05 |
| 4 | 8.49 | 0.097 | 0.213 | 0.295 | 0.041 | |
| 5 | 7.8 | 0.203 | 0.301 | 0.53 | 0.05 | 0.9 |
| 6 | 7.79 | 0.198 | 0.359 | 0.534 | 0.045 | |

Fuente: elaboración propia.

“Se observa que con el tratamiento hay reducción de la concentración de los metales en todos los casos. El pH se encuentra entre 7.79 a 11.81, siendo alcalina”.

Tabla 7. Comparación entre los resultados y las normas legales ECA y LMP.

| Cumplimiento de Normas Legales | | | | | | |
|--------------------------------|------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Dosis Cal g/L | Rango pH | Cu mg/L | Zn mg/L | Fe mg/L | Pb mg/L |
| | 0.900 | 7.79 - 7.8 | 0.201 | 0.330 | 0.532 | 0.048 |
| Cumple ECA y LMP | 1.050 | 8.49 - 8.5 | 0.101 | 0.210 | 0.300 | 0.040 |
| | 1.350 | 11.8-11.81 | 0.057 | 0.000 | 0.000 | 0.047 |
| D.S.004-2017 MINAM | ECA C.3 | 6.5-8.5 | 0.2 | 2 | 5 | 0.050 |
| D.S. 010-2010-MINAM | LMP | 6-9 | 5 | 1.5 | 2 | 0.200 |

Fuente: elaboración propia.

“De los resultados se evidencia que con la dosis de cal de 0.9 g cal/L, se muestra que se cumplen los parámetros de pH, Zn, Fe y Pb excepto Pb. Con la dosis de 1.050 g cal/L muestra, los parámetros de pH, cobre, zinc, hierro y plomo se encuentran en valores inferiores a los requeridos en el D.S. N° 004-2017-MINAM sobre el Estándar de Calidad para agua categoría 3, y del D.S. N° 010-2010-MINAM de los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas. Con la dosis de 1.350 g cal/L, se cumplen los parámetros de Cu, Zn, Fe, y Pb excepto el pH”.

Por lo tanto, se logra la eficiencia con la dosis de 1.050 g cal/L muestra, constituyendo la dosis recomendada.

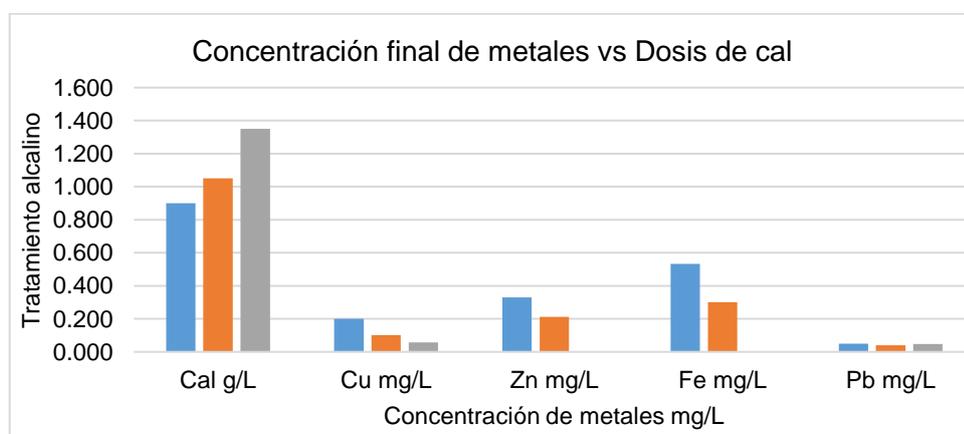


Figura 6. Concentración final de metales vs dosis de cal.

Fuente: elaboración propia.

“Por las concentraciones finales de pH, cobre, zinc, hierro y plomo, estos efluentes tratados cumplen los valores exigidos en el ECA, específicamente para su categoría 3 de modo que pueden ser utilizadas para riego de vegetales y bebida de animales, asimismo en la reutilización en procesos mineros”.

Tabla 8. *Porcentaje de eficiencia de remoción de metales.*

| Prueba | %Remoción de metales | | | | Dosis de cal g/L |
|--------|----------------------|-----|-----|----|---------------------|
| | Cu | Zn | Fe | Pb | |
| 1 | 95 | 100 | 100 | 51 | 1.35 |
| 2 | 94 | 100 | 100 | 33 | |
| 3 | 89 | 96 | 57 | 53 | 1.05 |
| 4 | 90 | 96 | 58 | 49 | |
| 5 | 80 | 94 | 25 | 38 | 0.9 |
| 6 | 80 | 93 | 25 | 44 | |

Fuente: elaboración propia.

De los resultados se analiza que con la dosis de 1.35 g cal/L muestra, hay mayor % de remoción de metales, seguido de la dosis de 1.05 g cal/L muestra, presentando el menor porcentaje de remoción la dosis de 0.9 g cal/L muestra.

Se realizaron las pertinentes pruebas de hipótesis considerando las tablas presentadas.

4.1.1. Prueba de hipótesis

Hipótesis específica 1:

H₁E1: La neutralización con cal tiene efecto significativo en la concentración de cobre, zinc, hierro, plomo de los efluentes de relaveras de la provincia de Caravelí 2020.

H₀E1: La neutralización con cal no tiene efecto significativo en la concentración de cobre, zinc, hierro, plomo de los efluentes de relaveras de la provincia de Caravelí 2020.

Prueba de normalidad:

- Nivel de confianza: 95 %.
- Nivel de significancia: ($\alpha = 0.05$).

Tabla 9. *Prueba de normalidad para la hipótesis específica 1.*

| Pruebas de normalidad | | | | | | |
|-----------------------|--------------------|----|--------|--------------|----|-------|
| | Kolmogórov-Smirnov | | | Shapiro-Wilk | | |
| | Estadístico | Gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| Cu | 0.254 | 6 | 0.200* | 0.844 | 6 | 0.140 |
| Zn | 0.244 | 6 | 0.200* | 0.878 | 6 | 0.261 |
| Fe | 0.211 | 6 | 0.200* | 0.854 | 6 | 0.170 |
| Pb | 0.207 | 6 | 0.200* | 0.917 | 6 | 0.485 |

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: elaboración propia con SPSS.

En la prueba de normalidad, de acuerdo a Shapiro-Wilk (menos de 30 datos) para la concentración de Cu el p-valor fue 0.140. Para la concentración de Zn el p-valor fue 0.261, para la concentración de Fe, el p-valor fue 0.170 y para la concentración de Pb el P-valor fue 0.485, siendo en todos los casos mayores que $\alpha = 0.05$, entonces los datos tienen una distribución normal, por tanto, para la comparación de los datos se empleó un estadístico paramétrico.

Elección de la prueba estadística: ANOVA.

Tabla 10. Prueba de ANOVA para la hipótesis específica 1.

| ANOVA | | | | | | |
|-------|------------------|-------------------|----|------------------|----------|-------|
| | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| Cu | Entre grupos | 0.022 | 2 | 0.011 | 518.856 | 0.000 |
| | Dentro de grupos | 0.000 | 3 | 0.000 | | |
| | Total | 0.022 | 5 | | | |
| Zn | Entre grupos | 0.111 | 2 | 0.056 | 98.781 | 0.002 |
| | Dentro de grupos | 0.002 | 3 | 0.001 | | |
| | Total | 0.113 | 5 | | | |
| Fe | Entre grupos | 0.283 | 2 | 0.142 | 7330.793 | 0.000 |
| | Dentro de grupos | 0.000 | 3 | 0.000 | | |
| | Total | 0.284 | 5 | | | |
| Pb | Entre grupos | 0.000 | 2 | 0.000 | 0.880 | 0.500 |
| | Dentro de grupos | 0.000 | 3 | 0.000 | | |
| | Total | 0.000 | 5 | | | |

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Decisión probabilística:

- P-valor (sig.) es menor o igual a ($\alpha = 0.05$) se rechaza la H_0 .
- P-valor (sig.) es mayor a ($\alpha = 0.05$) se acepta la H_0 .

En la tabla de estadístico de prueba, se examina que el p-valor 0,500 para el Pb es mayor que la significancia $\alpha = 0.05$, mientras que el p-valor 0.000 para Cu, el p-valor 0.002 para Zn y el p-valor 0.000 para Fe son menores que la significancia $\alpha = 0.05$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se aprueba la hipótesis alterna, de modo que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que la neutralización con cal tiene efecto significativo en la concentración de cobre, zinc y hierro de los efluentes de relaveras de la provincia de Caravelí 2020.

Hipótesis específica 2:

H₁E2: La neutralización con cal tiene efecto significativo en la remoción de metales de efluentes de relaveras para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020.

H₀E2: La neutralización con cal no tiene efecto significativo en la remoción de metales de efluentes de relaveras para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020.

Prueba de normalidad:

- Nivel de confianza: 95 %.
- Nivel de significancia: ($\alpha = 0.05$).

Tabla 11. Prueba de normalidad para la hipótesis específica 2.

| | Pruebas de normalidad | | | | | |
|----------------------------------|-----------------------|----|--------------------|--------------|----|-------|
| | Kolmogórov-Smirnov | | | Shapiro-Wilk | | |
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| Porcentaje de remoción para Cu | 0.227 | 6 | 0.200 ^a | 0.856 | 6 | 0.177 |
| Porcentaje de remoción para Zinc | 0.234 | 6 | 0.200 ^a | 0.879 | 6 | 0.266 |
| Porcentaje de remoción para Fe | 0.211 | 6 | 0.200 ^a | 0.850 | 6 | 0.158 |
| Porcentaje de remoción para Pb | 0.209 | 6 | 0.200 ^a | 0.929 | 6 | 0.571 |

*. "Esto es un límite inferior de la significación verdadera".

a. "Corrección de significación de Lilliefors"

Fuente: elaboración propia con SPSS.

En la prueba de normalidad, de acuerdo a Shapiro-Wilk (menos de 30 datos) para el % de remoción para el Cu, el p-valor fue 0.177. Para el % de remoción para el Zn, el p-valor fue 0.266. Para el % de remoción para Fe, el p-valor fue 0.158 y para el % de remoción para Pb el p-valor fue 0.571, por tanto, en todos los casos son mayores que $\alpha = 0.05$, entonces los datos poseen una distribución normal, por ende, para la comparación de los datos se utilizó un estadístico paramétrico.

Elección de la prueba estadística: ANOVA.

Tabla 12. Prueba de ANOVA para la hipótesis específica 2.

| ANOVA | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|----------------------|----|---------------------|-----------|--------------|
| | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| Porcentaje de remoción para Cu | Entre grupos | 217.000 | 2 | 108.500 | 325.500 | 0.000 |
| | Dentro de grupos | 1.000 | 3 | 0.333 | | |
| | Total | 218.000 | 5 | | | |
| Porcentaje de remoción para Zn | Entre grupos | 43.000 | 2 | 21.500 | 129.000 | 0.001 |
| | Dentro de grupos | 0.500 | 3 | 0.167 | | |
| | Total | 43.500 | 5 | | | |
| Porcentaje de remoción para Fe | Entre grupos | 5658.333 | 2 | 2829.167 | 16975.000 | 0.000 |
| | Dentro de grupos | 0.500 | 3 | 0.167 | | |
| | Total | 5658.833 | 5 | | | |
| Porcentaje de remoción para Pb | Entre grupos | 121.333 | 2 | 60.667 | 0.968 | 0.474 |
| | Dentro de grupos | 188.000 | 3 | 62.667 | | |
| | Total | 309.333 | 5 | | | |

Fuente: elaboración propia con SPSS.

En la tabla de estadístico de prueba, se observa que para el % de remoción para Pb, el p-valor fue 0.474, el cual es mayor que la significancia $\alpha = 0.05$. Se alcanzó un p-valor de 0.000 para el % de remoción para Cu, así como el p-valor de 0.001 para el % de remoción para Zn y el p-valor de 0.000 para el % de remoción para Fe, los cuales son menores que la significancia $\alpha = 0.05$, por tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, de modo que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que la neutralización con cal tiene efecto significativo en la remoción de metales en efluentes de relaveras para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020.

4.2. Discusión de resultados

Los efluentes de las relaveras por su naturaleza, a pesar de la optimización de los procesos mineros, contienen cantidades de metales que requieren tratamiento para mitigar y/o controlar los impactos negativos al entorno; de los resultados, se logra un escenario favorable donde las concentraciones de metales se reducen por la aplicación del tratamiento de neutralización con cal (intercambio iónico), siendo concordante con Caviedes *et al.* (4) y Huaranga *et al.* (17), quienes resaltan la importancia de los tratamientos para evitar la contaminación ambiental.

“Al lograr cumplir las exigencias de la normatividad vigente como los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y los acuerdos de los Sistemas de Gestión Ambiental como los Límites Máximo Permisibles (LMP), los resultados son concordantes con Pérez *et al.* (15) sobre la reducción de la concentración de hierro y plomo por debajo del Límite Máximo Permissible a un pH de 8.5”.

“Del porcentaje en la remoción de cobre obtenida, es concordante con Caviedes *et al.* (4), Camargo (7) y Aguilar (9), estando dentro del rango del 90 - 99 % de eficiencia. Asimismo, la remoción de plomo se encuentra dentro del rango del 50 - 53 % como presenta Sevillano (10)”.

Al cumplir los valores de los parámetros de pH, Cu, Zn, Fe y Pb del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua de categoría 3 y los Límites Máximos Permisibles (LMP), se contribuye de manera experimental, técnica y científica en la mitigación de los conflictos socioambientales derivados de la disponibilidad de la calidad del recurso hídrico en áreas rurales de influencia de actividades mineras, como propiamente se evidencia en la provincia de Caravelí, donde la población se dedica a actividades agrícolas, pecuarias, entre otras, y fortalecer las capacidades de los mineros para que realicen una minería sustentable como sugiere Cari (2).

CONCLUSIONES

- Al haberse contrastado las significancias de las hipótesis específicas que componen la hipótesis general, queda contrastada la hipótesis de investigación, por lo tanto, se concluye que la remoción de metales en efluentes de relaveras tiene efecto significativo para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020.
- Las medias en cada grupo (concentración de Cu, Zn y Fe) tienen diferencias significativas (p-valor menor a 0.05) a excepción de la concentración de plomo (p-valor mayor a 0.05), por tanto, se concluye que la neutralización con cal tiene un efecto significativo en la concentración de cobre, zinc y hierro a excepción de la concentración de Pb de los efluentes de relaveras de la provincia de Caravelí 2020.
- Las medias en cada grupo (porcentaje de remoción de Cu, Zn y Fe) presentan diferencias significativas (p-valor menor a 0.05) a excepción del porcentaje de remoción del plomo (p-valor mayor a 0.05), por tanto, se concluye que la neutralización con cal tiene efecto “significativo” en el porcentaje de “remocion” de cobre, zinc y hierro a excepcion del porcentaje de remocion para el plomo de los efluentes de relaveras de la provincia de Caravelí 2020.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con los estudios de contenidos de mercurio en los efluentes de relaveras.
- Se recomienda utilizar el agua con ECA de categoría 3 obtenida, para el estudio del riego de vegetales a nivel laboratorio.
- Se recomienda utilizar el agua con ECA de categoría 3 obtenida, para el estudio de uso como bebida de animales a nivel laboratorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ÁLVAREZ, J., y otros. *Minería aurífera en Madre de Dios y contaminación con mercurio*. Lima: Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, 2011.
- (2) CARI, H. Impacto de la minería artesanal dentro del sistema productivo en el distrito de Chaparra - Caravelí. Tesis (Título de Licenciada en Antropología). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2019.
- (3) LUQUE, R., ALBURQUEQUE, F. y ALVARADO, L. *Conflictos sociales y recursos hídricos*. Lima: Defensoría del Pueblo, 2015.
- (4) CAVIEDES, D., y otros. Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Una revisión. *Revista Ingeniería y Región*, 2015, 13(1). pp. 73-90.
- (5) MANTARI, A. y PINCHI, W. Influencia de la minería artesanal e informal en la calidad del recurso hídrico de Parcoy, La Libertad. *Ciencia y Tecnología*, 2021, 17(2), pp. 11-27. ISSN: 1810-6781.
- (6) CORTÉS, M. Análisis de consolidación y secado de relaves para evaluar mejoras de recuperación de aguas en tanques de relave convencionales operados con celdas interiores. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2019.
- (7) CAMARGO, N. Reducción del metal cobre de efluentes mineros mediante el método redox en la provincia de Lurín - Lima - 2018. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Huancayo: Universidad Continental, 2019.
- (8) FLORES, H. Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas del río Grande y su relación con la actividad minera. Tesis de maestría. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2016.
- (9) AGUILAR, D. Estudio para la lixiviación de relaves de flotación en la minera Caravelí. Tesis (Título de Ingeniero Metalurgista). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2015.
- (10) SEVILLANO, R. Eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio - 2017. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2017.
- (11) QUISPE, L. y SALVATIERRA, J. Remoción de cobre (II) en aguas de efluentes minero - metalúrgico con compost. Tesis (Título de Ingeniero Químico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2021.

- (12) CÓRDOVA, R. y ROJAS, J. Alcalinización con travertino y desmineralización de aguas ácidas de minas en simulador de humedal a nivel de laboratorio. Tesis (Título de Ingeniero Químico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2015.
- (13) CHAGUA, R. y TARDÍO, J. Evaluación de remoción de cobre y zinc por la planta nativa *Scirpus californicus* (Totora) en la sociedad de Pomachaca - Tarma. Tesis (Título de Ingeniero Agroindustrial). Tarma: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2015.
- (14) CERAS, C. y OCHOA, H. Remoción de zinc de las aguas de mina en el nivel 3900 de la Compañía Minera Los Quenuales - Unidad de Producción Yauliyacu a nivel de laboratorio. Tesis (Título de Ingeniero Químico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2013.
- (15) PÉREZ, J., RUIZ, A. y ARAMBURÚ, V. Reducción de contaminantes del relave ácido de mina en planta concentradora de Jangas, Perú. Instituto de Información Científica y Tecnológica, 2020, XXII. ISSN: 1562-3297.
- (16) GUEVARA, E. y DE LA TORRE, A. *Gestión integrada de los recursos hídricos por cuenca y cultura del agua*. Lima: Ministerio De Agricultura y Riego, 2019. ISBN: 978-612-4273-27-8.
- (17) HUARANGA, F., y otros. Contaminación por metales pesados en la cuenca del río Moche, 1980 - 2010, La Libertad - Perú. Scientia Agropecuaria, 2012, 3(3).
- (18) ZAMBRANO, J. Tratamiento de drenaje ácido mediante columnas verticales conformado de arena fina, caliza y biocarbón. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Ecuador: Universidad del Azuay, 2020.
- (19) SECRETARIADO ALIANZA POR EL AGUA/ECOLOGÍA Y DESARROLLO. *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*. Lima: Alianza por el Agua, 2006.
- (20) LENNTECH [en línea]. Cinc y agua: mecanismos de reacción, impacto ambiental y efectos en la salud, 2022. Disponible en: <https://www.lenntech.es/cinc-y-agua.htm>.
- (21) INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. *Reacciones químicas peligrosas con el agua*. España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 1977.
- (22) ROJAS, T. y VARGAS, Á. *Diseño de un sistema a nivel piloto para la remoción de plomo y zinc por debajo de la concentración letal media (CL50-48) para Daphnia pulex*. Bogotá: Universidad La Salle, 2009.
- (23) LENNTECH [en línea]. Cinc y agua: mecanismos de reacción, impacto ambiental y efectos en la salud, 2022. Disponible en: <https://www.lenntech.es/cinc-y-agua.htm>.

- (24) QUISPE, A. Evaluación ambiental del efluente del riachuelo Pongos y su influencia al cuerpo receptor del río Lircay. Tesis de maestría. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2018.
- (25) ALLAZO, C., TRUENQUE, L. y SILVERA, M. Obtención de agua para riego mediante el sistema de lodos activados continuos en la planta piloto de la FIARN - UNAC LA FIARI - UNDAC. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales). Callao: Universidad Nacional del Callao, 2017.
- (26) MINISTERIO DEL AMBIENTE. D.S. N° 002-2008-MINAM. *Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua*. Lima: El Peruano, 2008.
- (27) GARCÍA, E., y otros. *Guía de valoración económica de patrimonio cultural*. Lima: Programa de Atención Técnica - PAT USAID/MINAM, 2016.
- (28) MINISTERIO DEL AMBIENTE. D.S. N° 004-2017-MINAM. *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias*. Lima: El Peruano, 2017.
- (29) AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. R.J. N° 010-2016-ANA. *Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos*. Lima: ANA, 2016.
- (30) AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. D.S. N° 001-2010-AG. *Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338)*. Lima : El Peruano, 2010.
- (31) MINISTERIO DEL AMBIENTE. D.L. N° 1055. *Decreto Legislativo que modifica la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente*. Lima: El Peruano, 2008.
- (32) MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. D.S. N° 014-92-EM. *Aprueban el Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería*. Lima : El Peruano, 1992.
- (33) MINISTERIO DEL AMBIENTE. D.S. N° 010-2010-MINAM. *Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas*. Lima : El Peruano, 2010.
- (34) CABASCANGO, T. y ORTIZ, K. Evaluación de la eficacia de tratamientos de aguas residuales sintéticas utilizando peces cebrá (*Danio rerio*) como bioindicador en un sistema de exposición no forzada. Tesis (Título de Ingeniera Ambiental). Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, 2019.
- (35) APONTE, W. Tratamiento de los efluentes ácidos de la Compañía Minera Caudalosa S.A. por el método NCD para su disposición final en el cuerpo receptor - río Escalera. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales). Callao: Universidad Nacional del Callao, 2011.
- (36) CLAUSSEN, P., y otros. *Plan Nacional de depósitos de relaves para una minería sostenible*. Chile: Ministerio de Minería, 2019.

- (37) GUALDRÓN, L. Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos. *Dinámica Ambiental*, 2016, 1(1). ISSN: 2590-6704.
- (38) SEVILLANO, M. Evaluación de la eficiencia del óxido de calcio procedente de la calcinación de la cáscara de huevo con aserrín de bolaina (*Guazuma crinita Martius*), para el ablandamiento de las aguas de pozo, Lima 2018. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2018.
- (39) ALPIZAR, R. *Manual Introducción al Derecho Ambiental*. San José: Escuela Judicial, Poder Judicial de Costa Rica, 2017. ISBN: 978-9968-696-10-4.
- (40) CAMPOS, E., BARRERA, C. y UREÑA, F. *Remoción de Cr(VI) en solución acuosa: mediante una reducción química y un proceso de adsorción*. España: Editorial Académica Española, 2012. ISBN: 978-3847355694.
- (41) MOORE, J., y otros. *El mundo de la química: conceptos y aplicaciones*. México D.F.: Alhambra Mexicana, 2000.
- (42) CHÁVEZ, C. Detección de metales pesados en agua. Tesis de maestría. México: INAOE, 2011.
- (43) GUZMÁN-COLIS, G., y otros. Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 2011, 27(2). ISSN: 0188-4999.
- (44) OSORIO, H. y VARGAS, R. Diseño del sistema de control automático de pH en la planta de tratamiento de agua residuales de la empresa Termocartagena S.A. E.S.P. Tesis (Título de Ingeniero Electricista). Colombia: Universidad Tecnológica de Bolívar, 2005.
- (45) RODRÍGUEZ, A. y PÉREZ, A. Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Rev. EAN*, 2017, 82.
- (46) DÍAZ, L. *La observación*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2011.
- (47) COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. *Impacto ambiental de la contaminación hídrica producida por la Refinería Estatal Esmeraldas: análisis técnico-económico*. Chile: Naciones Unidas, 1990. ISBN: 92-1-321344-1.
- (48) ZORRILLA, O. [en línea]. Tipos de investigación. 1993. Disponible en: <https://sites.google.com/site/misitioweboswaldotomala2016/tipos-de-investigacion>.
- (49) HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ-COLLADO, C. y BAPTISTA, P. *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill, 2014.
- (50) AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. R.D. N° 478-2018-ANA-AAA X MANTARO. Huancayo, 2021.

- (51) RIZO, J. *Técnicas de investigación documental*. Nicaragua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, 2015.
- (52) ROMANÍA, J. *Estadística experimental*. Perú: Universidad Privada de Tacna, 2012.
- (53) LÓPEZ, L. y LOZANO, J. *Algunas pruebas de hipótesis estadísticas con SPSS*. LIMA: Ciencia y Desarrollo, 2020.

ANEXOS

Anexo 1. "Instrumento de recolección de datos: Cadena de custodia de monitoreo".

| | |
|--|-----------------------------|
|  AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C. CADENA DE CUSTODIA DE MONITOREO – AGUA Y SUELO | CÓDIGO: LAB-FR-001 |
| | VERSION: 01 F.E: 12/2020 |

| | | |
|---|---|--|
| Cliente: <u>Judith Karra Espino Chamorro</u> | Lugar de muestreo: <u>Provincia de Caraveli</u> | N° de informe de ensayo (1): <u>12E-2022-034</u> |
| RUC: | Proyecto: <u>Remoción de Metales en Efluentes de Refinería para Alcanzar Agua de Categoría 3 de la Provincia de Caraveli 2020</u> | |
| N° de cotización (2): <u>24/07-2022-159-1</u> | Telf.: | PARAMETROS (3): |
| e-mail: | | |

| N° DE MUESTRA | CÓDIGO DE LABORATORIO (4) | PUNTO DE MONITOREO ó CODIGO DEL CLIENTE | MUESTREO | | MATRIZ (5) | UBICACIÓN UTM (6) | N° DE FRASCOS POR PUNTO DE MUESTREO | | VOLUMEN TOTAL | Cu | Fe | Zn | Pb | OBSERVACIONES |
|---------------|---------------------------|---|---------------|--------------|------------|-------------------|-------------------------------------|---|---------------|----|----|----|----|-------------------|
| | | | FECHA (d-m-a) | HORA (24:00) | | | P | V | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 01 | H-22093 | M1 | 18/07/22 | 9:00 | AR | = | 1 | - | 1L | X | X | X | X | |
| 02 | H-22094 | M2 | 18/07/22 | 9:00 | AR | = | 1 | - | 1L | X | X | X | X | Tratamiento Alto |
| 03 | H-22095 | M3 | 18/07/22 | 9:15 | AR | = | 1 | - | 1L | X | X | X | X | Tratamiento Bajo |
| 04 | H-22096 | M4 | 18/07/22 | 9:15 | AR | = | 1 | - | 1L | X | X | X | X | |
| 05 | H-22097 | M5 | 18/07/22 | 9:30 | AR | = | 1 | - | 1L | X | X | X | X | Tratamiento Medio |
| 06 | H-22098 | M6 | 18/07/22 | 9:30 | AR | = | 1 | - | 1L | X | X | X | X | |
| 07 | H-220102 | M0 | 18/07/22 | 9:00 | AR | = | 1 | - | 1L | X | X | X | X | Muestra Inicial |
| TOTAL | | | | | | | 7 | | | | | | | |

RECIBIDO

18 JUL 2022

HORA: 10:00

| | | |
|---|---|--|
| (1) Campo exclusivo para el laboratorio. | (2) Parámetros según requerimiento del cliente. | (3) Tomar las coordenadas UTM utilizando un GPS. |
| (4) APA(Agua Potable); AR(Agua Residual); AS(Agua Superficial); AT(Agua Subterránea); AM(Agua de Mar); AL(Agua Pluvial); EF(Efluente); VE(Vertimiento); SE(Sedimentos); BV(Blanca Vieja); DP(Duplicado); BC(Blanco de Campo). | | |

| DATOS | MUESTREO POR /ANALISTA DE CAMPO | RESPONSABLE O SUPERVISOR EN CAMPO | LABORATORIO – RECEPCION DE MUESTRAS |
|----------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---|
| NOMBRES Y APELLIDOS: | <u>Judith Espino Chamorro</u> | = | MUESTRAS RECIBIDAS INTACTAS |
| FIRMA: | | | TIPO DE RECIPIENTE ADECUADO |
| OBSERVACIONES: | | | MUESTRAS DENTRO DEL PERIODO DE ANALISIS |
| | | | CONSERVACION DE MUESTRAS |
| | | | FRIJO: <u>h</u> AMBIENTE: <u>.....</u> |

Oficina principal: Av. Ferrocarril N° 661 – Chilca – Huancayo. Laboratorio: Av. Ferrocarril S/N – Barrio Chanchas - Huayucachi
 Cel.: 998900666 - 956000691 Email: ambiental.lab@ambientallaboratorios.com.pe

Anexo 2. Resultados del laboratorio.



**LABORATORIO DE ENSAYOS
"AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C"**

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2022-034

| | |
|---|---|
| NOMBRE DEL CLIENTE | : JUDITH KARINA ESPAÑA CHAMORRO. |
| DOMICILIO LEGAL | : Pasaje Madre Selva N° 102 Urbanización Goyzueta. |
| SOLICITADO POR | : Judith Karina España Chamorro. |
| REFERENCIA DEL CLIENTE | : Remoción de Metales en Efluentes de Relaveras para Alcanzar Agua de Categoría 3 de la Provincia de Caraveli 2020. |
| PROCEDENCIA | : Provincia de Caraveli. |
| ORDEN DE SERVICIO N° | : AL/OS – 2022 – 060. |
| CANTIDAD DE MUESTRAS | : 07 Frasco de Plástico. |
| FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA | : 18/07/2022. |
| PERIODO DE ENSAYO | : 18/07/2022 – 20/07/2022. |
| TOMA DE MUESTRA | : Por el cliente. |
| CONDICIÓN DE LA MUESTRA | : Los resultados de análisis se aplican a la muestra(s) tal como se recibió. |

I. DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MONITOREO:

| Código del Cliente | Código de Laboratorio | Coordenadas | | Fecha de Monitoreo | Hora de Monitoreo | Producto Declarado |
|--------------------|-----------------------|-------------|-------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | | Este | Norte | | | |
| M0 | M-22102 | ----- | ----- | 18/07/2022 | 09:00 | Agua Residual |
| M1 | M-22093 | ----- | ----- | 18/07/2022 | 09:00 | Agua Residual |
| M2 | M-22094 | ----- | ----- | 18/07/2022 | 09:00 | Agua Residual |
| M3 | M-22095 | ----- | ----- | 18/07/2022 | 09:15 | Agua Residual |
| M4 | M-22096 | ----- | ----- | 18/07/2022 | 09:15 | Agua Residual |
| M5 | M-22097 | ----- | ----- | 18/07/2022 | 09:30 | Agua Residual |
| M6 | M-22098 | ----- | ----- | 18/07/2022 | 09:30 | Agua Residual |

II. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

| Ensayo | Método de Referencia | Descripción |
|--------|--|---|
| Cobre | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500-Cu B, 23nd Ed.2017 | Cu, Atomic Absorption Spectrometric Method. |
| Zinc | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500-Zn B, 23nd Ed.2017 | Zn, Atomic Absorption Spectrometric Method. |
| Hierro | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500-Fe B, 23nd Ed.2017 | Fe, Atomic Absorption Spectrometric Method. |
| Plomo | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 Pb B, 23nd Ed.2017 | Pb, Atomic Absorption Spectrometric Method. |



DA VERSIÓN 02/ F.E. 01/2022

AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.
 Ing. Arvin H. Laureano Colarza
 JEFE DE LABORATORIO
 C.P. N° 17592

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C, su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública. Está prohibido la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C. Las muestras serán conservadas en un periodo máximo de 15 días de haber ingresado al laboratorio, excedido el tiempo se procede a su destrucción.



LABORATORIO DE ENSAYOS "AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C"

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2022-034

III. RESULTADOS:

| Código del Cliente | Ensayo | Resultado | Unidad |
|--------------------|--------|-----------|--------|
| M0 | Cobre | 0.998 | mg/L |
| | Zinc | 5.128 | mg/L |
| | Hierro | 0.710 | mg/L |
| | Plomo | 0.080 | mg/L |
| M1 | Cobre | 0.054 | mg/L |
| | Zinc | <0.001 | mg/L |
| | Hierro | <0.001 | mg/L |
| | Plomo | 0.039 | mg/L |
| M2 | Cobre | 0.060 | mg/L |
| | Zinc | <0.001 | mg/L |
| | Hierro | <0.001 | mg/L |
| | Plomo | 0.054 | mg/L |
| M3 | Cobre | 0.203 | mg/L |
| | Zinc | 0.301 | mg/L |
| | Hierro | 0.530 | mg/L |
| | Plomo | 0.050 | mg/L |
| M4 | Cobre | 0.198 | mg/L |
| | Zinc | 0.359 | mg/L |
| | Hierro | 0.534 | mg/L |
| | Plomo | 0.045 | mg/L |
| M5 | Cobre | 0.105 | mg/L |
| | Zinc | 0.210 | mg/L |
| | Hierro | 0.305 | mg/L |
| | Plomo | 0.038 | mg/L |
| M6 | Cobre | 0.097 | mg/L |
| | Zinc | 0.213 | mg/L |
| | Hierro | 0.295 | mg/L |
| | Plomo | 0.041 | mg/L |



AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.


 Ing. María Inés Galarza
 JEFE DE LABORATORIO
 D.P.N° 175912

Huancayo, 20 de Julio del 2022

Anexo 3. "Certificado de calibración de equipos utilizados en el trabajo de investigación".



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL -DA CON REGISTRO N° LC- 019

Certificado de Calibración
LA-622-2021



Registro N° LC-019

Pág. 1 de 1

1 Cliente : AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.

2 Dirección : Av. Femocari N° 661 - Chilca - Huancayo.

3 Datos del Instrumento

| | | | |
|---------------------------|---------------------|-------------------------------|----------------------|
| . Instrumento de medición | : pH metro | . N° de serie del Instrumento | : J0572757 |
| . Marca | : HANNA Instrumenta | . N° de serie del sensor | : 0409053N |
| . Modelo | : HI 83141 | . Intervalo de Indicación | : 0,00 pH a 14,00 pH |
| . Identificación | : EQ-001-LAB * | . Resolución | : 0,01 pH |

4 Lugar de calibración : Laboratorio de Aguas - Green Group PE S.A.C.

5 Fecha de calibración : 2021-09-15

6 Método de calibración.

La calibración se realizó por comparación de la indicación del instrumento con valores asignados a materiales de referencia de pH certificados, según procedimiento PC 030 Calibración de medidores de pH de INACAL, 2 ed. 2017.

7 Condiciones Ambientales.

| | Temperatura (°C) | Humedad relativa (% hr) |
|---------|------------------|-------------------------|
| Inicial | 22,5 | 61,4 |
| Final | 23,2 | 61,9 |

8 Trazabilidad

| Patrón usado | Código interno | N° Lotaje N° Certificado | F. Vencimiento |
|--------------|----------------|--------------------------|----------------|
| MRC pH 4 | GGP-S-01-03 | CC703984 | 2022-12-01 |
| MRC pH 7 | GGP-S-02-02 | CC706583 | 2022-12-21 |
| MRC pH 10 | GGP-S-03-04 | CC703617 | 2022-11-30 |

9 Resultados de medición

| Indicación del instrumento (pH) | Valor del patrón (pH) | Error (pH) | Incertidumbre (pH) |
|---------------------------------|-----------------------|------------|--------------------|
| 3,99 | 4,003 | -0,013 | 0,015 |
| 7,00 | 7,005 | -0,005 | 0,015 |
| 10,00 | 10,012 | -0,012 | 0,015 |

10 Observaciones

a) Los resultados están dados a la temperatura de 25 °C

b) El coeficiente de correlación calculado es: 1,0000

* Dato proporcionado por el usuario.

- La incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura k=2 de modo que la probabilidad de cobertura corresponden aproximadamente a un nivel de confianza del 95%.
- Los resultados emitidos son válidos solo para el instrumento y sensor calibrado, en el momento de la calibración.
- Se recomienda al usuario recibir a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base a las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.
- La incertidumbre declarada en el presente certificado ha sido estimado siguiendo las directrices de: "Guía para la expresión de la incertidumbre de medida" primera edición, septiembre 2008 CEM.

Este certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Sin firma y sello carecen de validez. Se prohíbe toda reproducción parcial del presente certificado sin la autorización previa de GREEN GROUP PE S.A.C.



Fecha de emisión
2021-09-16



ISAÍAS CURÍ MELGAREJO
Jefe de Laboratorio de Calibración
GREEN GROUP PE S.A.C

LA AMPLIACIÓN DE ESTE CERTIFICADO CONTIENE UNA COPIA DEL ORIGINAL EN VERSIÓN ELECTRÓNICA SIN VALOR, SEGÚN SE VE EN EL ANEXO 1 DE ESTOS PROCEDIMIENTOS

FD-[LC-PR-01]-05

Av. Aviación 4210 - Surquillo

Central: 560-6134 / 273-3550

www.greengroup.com.pe

EL USO INCORRECTO DE ESTE CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME ALEY.

Anexo 4. Constancia de uso del laboratorio del laboratorio Ambiental Laboratorios S.A.C.



**LABORATORIO DE ENSAYOS
"AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C"**

CONSTANCIA

Por medio del presente la empresa **AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C**, con RUC 20601667011, deja en constancia que la Srta. Judith Karina España Chamorro identificado con el N° **DNI: 70976835**, ha realizado pruebas y análisis en nuestras instalaciones el día 17/05/2022, como parte de su investigación de tesis titulada **"Remoción de metales en efluentes de relaveras para alcanzar agua de categoría 3 de la Provincia de Caraveli 2020"**.

Se expide la presente constancia a petición del interesado para los fines y usos que hubiere a lugar.

AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.
LABORATORIO - CONSULTORÍA

Página 1 de 1

Oficina principal: Av. Ferrocarril N° 661 – Chilca – Huancayo. Laboratorio: Av. Ferrocarril S/N – Barrio Chanchas -Huayucachi
Cel.: 988900656 - 956000691 Email: ambiental.lab@ambientallaboratorios.com.pe

Anexo 5. Panel fotográfico.



Fotografías 1 y 2. Pesaje de óxido de calcio.



Fotografía 3. Medición de pH.



Fotografías 4 y 5. Neutralización con cal.



Fotografía 6. Envasado de muestras tratadas.



Fotografía 7. Muestras tratadas para su análisis.

Anexo 6. Matriz de consistencia.

| Problemas | Objetivos | Hipótesis | Variables | Metodología |
|--|--|---|--|---|
| <p>Problema general: ¿Cuál será el efecto de la remoción de metales en efluentes de relaveras para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020?</p> <p>Problemas específicos: *¿Cuál será el efecto de la neutralización con cal en la concentración de cobre, zinc, hierro, plomo de los efluentes de relaveras de la provincia de Caravelí 2020?</p> <p>*¿Cuál será el efecto de la neutralización con cal en la remoción de metales en efluentes de relaveras para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020?</p> | <p>Objetivo general: Determinar el efecto de la remoción de metales en efluentes de relaveras para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020.</p> <p>Objetivos específicos: *Determinar el efecto de la neutralización con cal en la concentración de cobre, zinc, hierro, plomo de los efluentes de relaveras de la provincia de Caravelí 2020.</p> <p>*Determinar el efecto de la neutralización con cal en la remoción de metales en efluentes de relaveras para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020.</p> | <p>Hipótesis de investigación: H₁: La remoción de metales en efluentes de relaveras tiene efecto significativo para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020.</p> <p>Hipótesis nula: H₀: La remoción de metales en efluentes de relaveras no tiene efecto significativo para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020.</p> <p>Hipótesis específicas: *Para el objetivo específico 1: H1E1: La neutralización con cal tiene efecto significativo en la concentración de cobre, zinc, hierro, plomo de los efluentes de relaveras de la provincia de Caravelí 2020. H0E1: La neutralización con cal no tiene efecto significativo en la concentración de cobre, zinc, hierro, plomo de los efluentes de relaveras de la provincia de Caravelí 2020.</p> <p>*Para el objetivo específico 2: La neutralización con cal tiene efecto significativo en la remoción de metales en efluentes de relaveras para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020. La neutralización con cal no tiene efecto significativo en la remoción de metales en efluentes de relaveras para alcanzar agua de categoría 3 de la provincia de Caravelí 2020.</p> | <p>Variable independiente: Remoción de metales con cal.</p> <p>Dimensiones: a) Dosis de cal (g/L). b) pH.</p> <p>Variable dependiente: Efluentes de relaveras.</p> <p>Dimensiones: a) Concentración de metales solubles: Cu, Zn, Fe, Pb en mg/L. b) % de remoción de metales Cu, Zn, Fe, Pb.</p> | <p>Método general: Analítico - deductivo.</p> <p>Método específico: Experimental - observacional.</p> <p>Tipo de investigación: Aplicado.</p> <p>Nivel de investigación: Explicativo.</p> <p>Diseño de investigación: Pre-experimental.</p> |