

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“EFICIENCIA DE NEUTRALIZACIÓN DE AGUAS  
ÁCIDAS DE MINA CON LECHADA DE CAL EN UNA  
MINERA ARTESANAL, LA LIBERTAD - 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

**Autores:**

Cristian Omar Paz Clavo  
Luis Fernando Cortez Velasquez

**Asesora:**

M. Sc. Gladys Sandi Licapa Redolfo  
<https://orcid.org/0000-0002-9077-5218>

Trujillo - Perú

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1	<b>Jesus Gabriel Vilca Perez</b>	<b>41779520</b>
Presidente(a)	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	<b>Elmer Ovidio Luque Luque</b>	<b>02044966</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>Jorge Omar Gonzales Torres</b>	<b>43703713</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## INFORME DE SIMILITUD



### Document Information

Analyzed document	Informe de tesis-Cortez Velasquez - Paz Clavo.docx (D149428132)
Submitted	11/12/2022 12:00:00 AM
Submitted by	
Submitter email	crisstianpaz.07@gmail.com
Similarity	14%
Analysis address	gladys.lcapa.delnor@analysis.arkund.com

### Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>Universidad Privada del Norte / T3-Cortez Velasquez - Paz Clavo.docx</b> Document T3-Cortez Velasquez - Paz Clavo.docx (D110247266) Submitted by: wilson.gomez@upn.pe Receiver: wilson.gomez.delnor@analysis.arkund.com	 1
<b>W</b>	URL: <a href="https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7152687.pdf">https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7152687.pdf</a> Men Fetched: 11/12/2022 12:03:00 AM	 3
<b>SA</b>	<b>Universidad Privada del Norte / T3_TT2_SANCHEZASCENCIOJAMINDENIS ..... (1).docx</b> Document T3_TT2_SANCHEZASCENCIOJAMINDENIS ..... (1).docx (D119302235) Submitted by: wilson.gomez@upn.pe Receiver: wilson.gomez.delnor@analysis.arkund.com	 6
<b>W</b>	URL: <a href="http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1196/2.%20TESIS%20DOCTORADO%202021...">http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1196/2.%20TESIS%20DOCTORADO%202021...</a> Fetched: 11/12/2022 12:04:00 AM	 2
<b>SA</b>	<b>Universidad Privada del Norte / T3_TT2_Girón Inca Ivyng.docx</b> Document T3_TT2_Girón Inca Ivyng.docx (D140046383) Submitted by: luis.lipa@upn.pe Receiver: luis.lipa.delnor@analysis.arkund.com	 9
<b>SA</b>	<b>Universidad Privada del Norte / 2. EF_Taller de tesis 2_ColqueLeeyMelanieNicole_MurrugarraRoncalJheynerJhonatan.docx</b> Document 2. EF_Taller de tesis 2_ColqueLeeyMelanieNicole_MurrugarraRoncalJheynerJhonatan.docx (D110439651) Submitted by: elmer.luque@upn.edu.pe Receiver: elmer.luque.delnor@analysis.arkund.com	 4
<b>W</b>	URL: <a href="https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/2563/0497_Castillo.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=yChaparro">https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/2563/0497_Castillo.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=yChaparro</a> Fetched: 11/12/2022 12:02:00 AM	 1
<b>SA</b>	<b>Universidad Privada del Norte / Chingay Bustamante Mirian Yojany - Ortiz Chomba Jessica.pdf</b> Document Chingay Bustamante Mirian Yojany - Ortiz Chomba Jessica.pdf (D139967111) Submitted by: yemsi.rodriguez@upn.edu.pe Receiver: yemsi.rodriguez.delnor@analysis.arkund.com	 2
<b>SA</b>	<b>Patiño Tipacti-SISTEMA DE TRATAMIENTO ACTIVO MEDIANTE NEUTRALIZACION CON OXIDO DE CALCIO EN SOLUCION PARA LA REMOCION DE CONCENTRACIONES DE HIERRO Y ALUMINIO DEL DRENAJE ACIDO DE MINA DE LA UNIDAD MINERA ARASI OCUVIRI-Puno.pdf</b> Document Patiño Tipacti-SISTEMA DE TRATAMIENTO ACTIVO MEDIANTE NEUTRALIZACION CON OXIDO DE CALCIO EN SOLUCION PARA LA REMOCION DE CONCENTRACIONES DE HIERRO Y ALUMINIO DEL DRENAJE ACIDO DE MINA DE LA UNIDAD MINERA ARASI OCUVIRI-Puno.pdf (D144551519)	 1

## **DEDICATORIA**

Esta investigación va dedicado en especial a las personas que nos han apoyado a seguir desarrollando y en especial a nuestros padres que siempre nos brindaron su apoyo incondicional ya que muchos de nuestros logros se lo debemos a ellos, puesto que nos formaron con principios, valores, pero sobre todo por la motivación que nos dieron día con día para alcanzar nuestras metas.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a nuestro asesor Mg. Wilson C. Gómez Hurtado por brindarnos la oportunidad de acudir a su conocimiento y capacidad, así como tenernos la paciencia para orientarnos durante la ejecución de la investigación. A nuestros familiares y amigos los cuales han estado apoyándonos en cada etapa de esta investigación ya que este logro es en gran parte a ustedes por el conocimiento que nos han otorgado en el transcurso de estos años.

**TABLA DE CONTENIDOS**

JURADO EVALUADOR .....	2
INFORME DE SIMILITUD .....	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO .....	5
ÍNDICE DE FIGURAS .....	8
RESUMEN.....	9
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN .....	10
1.1. Realidad problemática .....	10
1.2. Antecedentes .....	12
1.3. Bases teóricas.....	18
1.4. Formulación del problema.....	23
1.5. Objetivos.....	23
1.6. Hipótesis .....	23
CAPITULO II: MÉTODO .....	24
2.1. Tipo de investigación.....	24
2.2. Población y muestra.....	24
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	25
2.4. Aspectos éticos .....	26

CAPITULO III. RESULTADOS .....	28
CAPITULO IV: DISCUSIONES Y CONCLUSIONES .....	38
REFERENCIAS .....	42
ANEXOS .....	49

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Análisis químico de pH.....	28
Figura 2. Análisis químico de turbidez.....	29
<i>Figura 3.</i> Análisis químico de metales pesados. ....	30
Figura 4. Exceso del valor permitido.....	31
Figura 5. Contenido de elementos contaminantes con lechada de cal.....	32
Figura 6. Análisis de pH vs pH máximo potable.....	33
Figura 7. Análisis de pH vs pH máximo para cultivo .....	34
Figura 8. Diferencia en el contenido de elementos contaminantes. ....	35
Figura 9. Aumento de contenido de metal.....	36
Figura 10. Disminución del contenido de metal.....	37

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la eficiencia de neutralización de aguas ácidas de mina con lechada de cal en la Minera Artesanal de la región La Libertad - 2021. La investigación mostró el tipo aplicativo, diseño experimental y de enfoque cuantitativo. La muestra estuvo constituida por efluente líquido de la minería artesanal donde se extrajeron 5 litros extraído de un punto de monitoreo realizado en las aguas residuales de relaves mineros sin variar su composición del material original. Por otra parte, se empleó la técnica de la observación y las fichas de laboratorio como instrumento. En este sentido, el resultado obtenido fue que, el efluente líquido de la minería artesanal fue sometido al tratamiento con diferentes dosificaciones de lechada de cal (10, 20, 50, 80 y 120 gramos); donde ninguna de las concentraciones de lechada de cal ha sido apropiada para la regulación del pH; mientras para la remoción la dosis más apropiada fue de 80 gramos de cal para una eficiente remoción de metales como: Antimonio, Cadmio, Berilio, Cerio, Cobre, Cobalto, Litio, Manganeseo, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata y Plomo; desde concentraciones iniciales de 0.042, 0.0065, 0.054, 0.0321, 0.0077, 0.776, 0.0031, 0.976, 0.213, 0.0093, 0.0076, 0.321, 0.453 y 4.8532 hasta concentraciones finales de 0.036, 0.0003, 0.02, 0.0258, 0.0033, 0.544, 0.0016, 0.8892, 0.197, 0.008, 0.005, 0.272, 0.274 y 4.8532. Por tanto, se concluye que, el empleo de lechada de cal garantiza una elevación del pH y una disminución de la concentración del metal pesado.

**Palabras clave:** Neutralización, aguas ácidas, lechada de cal, metales pesados, pH.

## CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

En la actualidad, el consumo masivo de agua ha creado una contaminación, llegando a preocupar a los investigadores a interesarse y adoptar nuevos procesos y tecnologías de unidades de tratamiento del agua residual, como una forma de retribuir al medio ambiente, y devolverle en mejores condiciones el agua utilizada (Chávez, 2017). En la actualidad la contaminación generada a causa de no llevar un control estricto respecto a los límites permitidos por ECA (Estándares de Calidad Ambiental) sobre la acidez de los drenajes de las pilas de desechos mineros, genera una grave degradación ambiental. Las aguas residuales en relaves en mina se producen por la reacción química de oxidación de sulfuros metálicos (Quispe y Vela, 2017). Debido a ello, el procesamiento del tratamiento del agua residual se ha vuelto un tema de gran interés e importante para la población; ya que si no es tratada puede llegar hacer nociva porque no sería apta para el consumo.

Por otro lado, la contaminación del agua ya sea subterránea y superficial a nivel internacional es amplio, en la minería de Chile es una de las causantes de la contaminación del agua ya que esta mezcla el agua natural con el agua residual minera provocando efectos nocivos haciendo que el agua no se recupere en un 100% (Peña y Araya, 2021). Por otro lado, en Colombia la minería ilegal a causado deterioros en la salud de las comunidad y ambiente debido a sustancias tóxicas como el cromo, cianuro y mercurio, ya que estas sustancias contaminan el agua este problema se relaciona con el consumo de agua por parte de los pobladores (Díaz, 2014).

Además, en Boyacá – Colombia se dedica a la extracción del carbón la cual ocurre una contaminación del agua afectando no solo a los pobladores cercanos sino puede

distribuirse en zonas aledañas, por lo tanto, se debe identificar y conocer el impacto que como resultado de la actividad minera de carbón sobre el recurso hídrico de Colombia (Leguizamo y Ruiz, 2019). Por otra parte, en México se evidencia alta cantidad de contaminantes, emisiones continuas de polvos y gases durante el procesamiento y extracción del mineral provocando impactos negativos en el entorno ambiental (Armendáriz, 2016).

En el Perú, el tratamiento del relave minero es un tema de gran controversia y crea una imagen negativa debido al impacto ambiental que se traduce en la contaminación sistemática del agua o del subsuelo. Los riesgos del mal manejo de los residuos mineros provienen de sus métodos de gestión y del magnetismo altamente tóxico de sus componentes como: Cd, As, Pb, Cr, Cu, Hg, Se, Zn, etc., lo que exagera sus riesgos y potencial como contaminante (Menéndez y Muñoz, 2021). Asimismo, en Puno se evidencia altas concentraciones de sólidos suspendidos totales que causan turbidez en el agua residual, lo cual toma mucho tiempo para asentarse y reducir la turbidez; lo cual es perjudicial para la reutilización de aguas residuales (Tejada, 2017).

Asimismo, en la localidad la Libertad existen muchos proyectos mineros, actualmente unidad minera San Simón localizada en la provincia Santiago de Chuco. Se tiene conflictos ambientales por el concentrado del metal como cobre y hierro en el agua residual de la mina sin tratamiento, por ello se evidencia que dicho relave por la filtración la fauna está siendo alterada y por estar la mina en una altura la quebrada esta siendo perjudicada debido a esta filtración donde los pobladores utilizan esta agua para sus sembríos provocando pérdidas en los cultivos. Para ello su objetivo principal es determinar el efecto de la dosis de la cal en la remoción del cobre y hierro del efluente de la mina. Así

mismo, tenemos que la reserva hídrica es muy indispensable para la vida, las constantes descargas de relaves como producto de distintas actividades mineras, si no se llegan a cumplir los estándares permitidos. generan diversos problemas, como el principal la contaminación de aguas residuales que al no ser tratadas pueden llegar a ser costosas y muy peligrosas produciendo impactos tipo ambiental y social. Además, no ser aptas para el consumo doméstico, ganadero, piscícola, agrícola etc. (Aliaga, 2015).

En la Mina artesanal ubicado en la Provincia de Gran Chimú, bajo el Gobierno regional de La Libertad. Se realiza actividades de minera aurífera por el método de lixiviación. En los últimos tiempos el incremento de la actividad minera en la localidad, y primordialmente en Sayapullo, esto no solo generó un beneficio económico significativo, sino que también creó un impacto ambiental negativo en los recursos hídricos. El vertimiento de estas aguas acidas causan grave problema tanto como para la flora y fauna creando conflictos con los pobladores aledaños.

## **1.2. Antecedentes**

Ante ello, se ha recopilado antecedentes a nivel internacional, la cual se abordó a Chaparro y Ruiz (2018) evaluó la escala de laboratorio en los gradientes granulométricos de caliza y un óptimo caudal para la neutralización de agua ácida con un sistema de tratamiento de columna de caliza. Perteneciente a un método experimental, además, la muestra de DAM (Drenaje Acido de Mina) se recolecto de la minería, en el proyecto Sanoha Florida – Colombia. Los resultados indican que para tratar con  $40\text{m}^3$  de agua que drena la unidad minera se requiere dividir en 3 ciclos de bombeo por lo que hay que procesar 13.333 L/ciclo, de acuerdo a los cálculos y estudios obteniendo, 3 columnas de 6.64 Ton de caliza. En conclusión, la neutralización del pH través del tiempo se basa en la granulometría, las más pequeños tienen mayor capacidad para neutralizar la acidez en comparación con las más grandes. Así como

también, el uso de caliza triturada a 3/8", el tiempo de residencia y por último el caudal de salida. La contaminación del agua superficial y subterránea a nivel mundial es amplia, en el país de España se realizó un estudio donde prioriza reciclar residuos de papel alcalino mezclado con aditivos como polvo de calcita para obstaculizar el flujo de metal pesado en agua residual en relave minero, sería una alternativa eficaz y de menor costo para adquirirlo.

Por otro lado, Sánchez y Cameselle (2016) ejecutó una investigación con el objetivo de evaluar dos calizas y dos desechos sólidos como adsorbente para eliminar iones de cloruro y sulfato de agua de minería de proceso alcalina real y sintética en el país de Finlandia en Europa, de investigación experimental. Los resultados indican que antes de su uso que todos los adsorbentes se trituraron, se lavaron con agua destilada y fueron secados en un horno durante 12 ha 80°C. Además, los adsorbentes eliminaron el 99% de  $SO_4^{2-}$  y el 96% de  $Cl^-$  y en el agua de proceso real la tasa de eliminación fue del 85% y 74% para  $SO_4^{2-}$  y  $Cl^-$ , respectivamente, así como la dosificación de concentración de adsorbente (40 g / L). En conclusión, todos los adsorbentes se pueden emplear industrialmente para el tratamiento del agua de proceso alcalinas. Al requerir caliza como un material alcalino de origen natural para el tratamiento de agua residual en minería es efectivo gracias a sus propiedades químicas y físicas, Además, para que el efecto tenga más resultados es necesario utilizar otros agentes alcalinos como el más usado para el tratamiento es la mezcla de cal con agua, formamos lechada de cal o conocida como lodo de cal.

Asimismo, Vera *et al.* (2014) elaboró un estudio con el objetivo de remover el metal pesado de agua residual que forma la industria galvánica de la Ciudad de Monterrey en el país de México utilizando coagulantes como  $Al_2(SO)_3$ ,  $FeSO$ ,  $Fe_2(SO)_3$  y  $FeCl_3$ . Que dio como resultado el análisis inicial la concentración de iones  $Cr^{+3}$ ,  $Fe^{+3}$ ,  $Zn^{+2}$ ,  $Ni^{+2}$  en el agua sin

tratar fue de 447, 200, 750 y 27 ppm para luego de la remoción llegar a 0.25ppm para el  $Cr^{+3}$ , 0.37 ppm para el  $Fe^{+3}$  y 0.80 para el  $Zn^{+2}$ . Concluyó que los coagulantes para la sedimentación de los precipitados es una buena opción, así como también para la disminución del metal pesado en agua residual. Existiendo una norma establecida en México la cual supera los límites que se permitía respecto al manejo de relaves mineros para ello es una alternativa eficiente y no muy costosa además es fácil de proveerlos los coagulantes.

Además, Alakangas (2013) ejecutó una investigación con el objetivo es identificar formas de aumentando el potencial de neutralización de la roca estéril antes al relleno en Suecia, como resultado iniciales de concentraciones de Cu (6 mg / L), As (65 mg / L) y Zn (150 mg / L) se redujo para el As y Cu (<2  $\mu$ g / L), Pb y Zn (20  $\mu$ g /L y 5 mg/L), en conclusión los resultados obtenidos fueron prometedores y sugieren que los subproductos alcalinos podrían ser aditivos útiles para minimizar la contaminación en minería. Por otra parte, el uso de productos alcalinos para la etapa de cierre de minado en el área de relleno para evitar la acidificación se muestra resultados eficaces para la neutralización de pH.

Por consiguiente, Castillo (2013) realizó un estudio con el objetivo de aplicar la fábrica de papel alcalino de bajo costo como agentes neutralizantes de la acidez para el tratamiento de drenaje ácido de minería la provincia de Huelva – España. La cuál, es una investigación experimental, que da como resultado la cantidad anual de aditivo alcalino es capaz de tratar AMD (pH 3.63, sulfato 3800 mg/L, zinc 260 mg/L. Concluye que el proceso de neutralización consistió en aumento de pH por disolución de aditivos alcalinos, y en su disminución de la solubilidad de los metales; las soluciones alcanzaron los requisitos de pre-potabilidad del agua para consumo humano. En síntesis, que es indispensable la priorización de reciclar porque se puede combatir con dos problemas fundamentales para

el medio ambiente, así como también, siendo unos de los tratamientos de bajo costo para aguas residuales en minería.

Asimismo, se recopiló antecedentes a nivel nacional como Alcántara (2020) ejecutó un estudio con el objetivo es demostrar un enfoque de remediación integrado para reducir las concentraciones del metal pesado en el agua residual de la mina de la Sierra Central. Es de método deductivo ya que es una situación particular de contaminación ambiental, asimismo la muestra estuvo formada por el agua de superficie de la laguna Yanamate y Quilacocha que sean han contaminado con metal pesado. Con resultados del método que se propuesto se observa una reducción significativa en la concentración del metal pesado en el rango de 92 a 98%. Por último, se puede recuperar grandes cantidades de agua para el empleo en ganadería y agricultura independiente si la concentración del metal pesado es menor o igual a 120 mg/l.

Por otro lado, Berrospi (2019) ejecutó un estudio con el objetivo de establecer eficientemente la remoción del metal pesado en el agua acida de la laguna Yanamate por medio de la aplicación de la dolomita como agentes remediador, desarrollo una investigación experimental. La cual su función es precipitar para lograr purificar la laguna Yanamate, en el cual se concentra todas las partículas de metales pesados disueltas en el fluido, se necesitó la dosis de 25 g de dolomita logro neutralizar 500 ml, su pH es 1.97 a 7.19. Además 25 g de dolomita, en el P-1. Además, con esa dosificación descendió en mayor parte el contenido de Cobre, Hierro, Plomo, Zinc, en 0.0006 mg/L, 0.03452 mg/L, 0.3002 mg/L y 8.1359 mg/L. Es una alternativa efectiva para remover el metal pesado porque es económico y su propiedad alcalina neutralizan la acidez que producen el metal pesado y también reducen su concentración inicial. Cabe señalar que 1 TM de dolomita tiene un costo de S/350.00 a S/400.00 a nivel nacional.

Igualmente, Vásquez, (2019) en su investigación con el objetivo de determinar efecto del tamaño de las partículas de las cascaras de naranja (*CITRUS SINENSIS*) sobre la absorción del ion metálico  $Pb^{+2}$  en el agua residual del laboratorio de química inorgánico en el Centro Universitario localizado en Trujillo. Es de método experimental con una muestra formada por 10 litros de soluciones acuosas derivado de la universidad mencionada anteriormente. Como resultado se obtiene que conforme se disminuye el tamaño de las partículas hasta 0.4 mm en la solución de estudio reduce las concentraciones del plomo, desde 1.830mg/L (ppm) hasta 0.123 mg/L, llega a reducir hasta un 93.3% en la reducción del plomo. En conclusión, el tamaño de la partícula de Citrus Sinensis es indispensable para la reducción de metales ya que lo logra remover casi en su totalidad. Uno de los más grandes problemas es la concentración de plomo en aguas residuales ya que es nocivo al estar en contacto con cualquier ser vivo, es indispensable reducir las concentraciones hasta mitigarlo para poder ser aprovechado ese recurso hídrico.

De la misma forma Jiménez (2017) elaboró una investigación con el objetivo de determinar la eficacia de la separación del metal presente en las aguas ácidas de mina por medio de una neutralización con lechada de cal. Es método experimental, la muestra perteneciente a la Unidad Minera Arasi – Puno. Los resultados del agua ácida con lechada de cal presentan una eficacia de remover el 78,65% del parámetro inorgánico (metal total), en parámetro físico-químico el valor de pH es de 8,1, el oxígeno disuelto es de 5,54 mg/l y la conductividad es de 3,14 mS/cm. En conclusión, la lechada de cal es un producto alcalino químicamente compuestos por óxido de calcio, al estar en contacto con aguas de relaves mineros obstruyen en flujo continuo de las partículas de metales disueltas a causa del crecimiento de pH. La contaminación generada a causa de no llevar un control estricto sobre la acidez de los drenajes de desechos mineros causa un grave impacto ambiental.

Igualmente Tejada (2017) ejecutó un estudio con el objetivo de evaluar de sedimentación de sustancias suspendidas totales y reducción de turbulencia en agua residual de relave minero usando cal como floculante - coagulante en UOMS - B. Es de método experimental asimismo la muestra de la investigación son el agua residual del relave minero de la UOMS - B; como resultado la sedimentación de SST (Sólido Total en Suspensión) y disminución de la turbidez del agua residual del relave minero de la Unidad. En conclusión, se usó un 5% de lechada como coagulante floculante con 6 ml/l de dosis de lechada de cal, logrando un 50,25 % de recuperación de agua esclarecida por medio de un sistema de sedimentaciones gravimétricas en vaso precipitado en 60 minutos. El producto más usado y económico para el tratamiento es la mezcla de cal con agua, formamos lechada de cal o conocida como lodo de cal, ya que es un producto alcalino químicamente combinado por óxido de calcio.

Además, Huiza y Orellana (2015) elaboró un estudio con el objetivo de establecer condiciones que se requiere para la remoción del metal del drenaje de ácido de minas empleando la estrategia de lecho pulsado de caliza del PAM Apu Campanayoc I. El método utilizado es el experimental, asimismo la muestra fue obtenida del flujo de drenaje, después resultó a la prueba de tratamiento en un reactor batch fluidizado, como resultado se determinó aproximadamente 500 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  (alcalinidad generada y acidez neutralizada) en el agua para la disolución del metal, además, se determinó un el 85 % del rendimiento para la remoción de metales de Fe y Al, pero menos del 10 % para Zn y Fe. Mn, a causa de un mayor pH solicitado para las precipitaciones de las sustancias. En conclusión, la dosificación es de 500 mg/L para la remoción de metales con una efectividad al 85 % para Al y Fe y al 75 % para Zn y Mn. El uso de roca caliza para el tratamiento de aguas y suelos es eficiente por su

composición química teniendo un 90% de carbonato de calcio, logrando la movilización de metales pesados en el flujo de aguas residuales.

### **1.3. Bases teóricas**

Seguidamente se detallará las bases teóricas, por eso en este apartado se explicará sobre el relave, indicando que son sólidos finamente molido que se arroja durante las actividades de la mina. La mina de sulfuro de cobre toma un gran volumen de material del depósito que se explota. Tan solo una parte mínima corresponde a un elemento de interés económico recuperable (menor de 1%). Una vez refinado y concentrado el material por el proceso de flotación, se obtiene una concentración con una alta concentración de cobre (entre 20 y 30%), que puede venderse en lingotes o convertirse en cobre puro. El residuo (con un contenido de cobre muy bajo) se denomina "cola" y debe descartarse de modo seguro para el entorno ambiental (Sernageomin, 2019).

De la cruz (2019) indica que las aguas ácidas de una mina son producidas por la oxidación natural de los minerales sulfurosos que contienen metales y sulfuros (hierro, aluminio, zinc, cadmio, cobre, mercurio, níquel, plomo y estaño, donde un contenido alto de estas concentraciones es perjudicial para la actividad biológica puesto que contamina al medio y daña al ser humano. Existe las distintas clases de agua residual en mina en función de pH.

El agua ácida de la actividad minera proviene de la oxidación biológica y química de la pirita. Estos fenómenos suceden como roca que contiene sulfuro al entrar en contacto con el agua o aire. Cabe agregar que las aguas ácidas de minerales y rocas también contiene muchos metales en solución, que pueden contribuir a una toxicidad significativa para las aguas residuales. Las velocidades de reacción dependerán de muchas variables, como la temperatura del agua, pH y del entorno, el tipo de sulfuro mineral y superficie expuesta, la concentración de

oxígeno. En algunas oportunidades la generación de las aguas ácidas se da por fluctuaciones ligadas a los ciclos de lluvias. De estas variables se actúa para la disminución del agua ácida (Andamayo, 2019).

El drenaje ácido, también de un pH bajo, contiene una cantidad grande de sustancias no disueltas con un contenido alto en sulfuro y metal (Mn, Fe, Zn, Al, Pb, Cd, Hg, Cu, Ni), por mencionar algunos, ciento de miligramos por litro, que en concentraciones altas pueden dañar la actividad biológica, contaminar las vías fluviales y causar daños a la estructura artificiales. Por el alto costo del tratamiento en una depuradora convencional, sí hay que encontrar una solución a este problema (Pérez et al., 2020).

Asimismo, el pH se define como un parámetro de trabajo significativo de la calidad del agua. El agua excesivo ácida disuelve el metal utilizado en las tuberías (cobre, plomo, zinc), lo que afecta negativamente a la salud si se ingiere. La guía para un pH admisible para el agua potable es 6.5 y 8.5 (Pérez, 2016).

La neutralización se le denomina cuando el agua contiene un pH entre ácido y alcalino, o bien a un pH próximo al equilibrio. Una reacción en la que una base neutraliza la propiedad de un ácido se denomina neutralización. Cuando se encuentra el agua natural o uso de alguna industria, y no se encuentra su pH equilibrado, debe predecir su neutralización. La neutralización se ejecuta por adición, aeración de reactivo alcalino entre ellos la sosa, cal, carbonato sódico o además por filtración sobre producto alcalinotérreo como el mármol, akdolite, neutralite, magno, entre otros (Bermeo, 2017).

En documento Técnico presentado en el I Congreso Internacional de Flotación de Minerales - agosto 2014 - Lima Perú. La lechada de cal es un proceso en la cual se produce una hidratación, un aumento de agua es empleado para hidratar el CaO y resultando una forma de lechada.  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Calor}$ . Afectando el área superficial de la partícula de

hidróxido de calcio formado y va determinando la relación de reacción. Una mayor área de superficie se relaciona con una mayor eficiencia y capacidad. Un área superficial grande es importante porque el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  debe disolverse para una formación de iones hidroxilo antes de la reacción. La ionización ocurre solo en la interfase partícula-solución. La mayor área de superficie da como conclusión un bajo consumo de cal en comparación con la lechada de cal con menor área de superficie o mayor tamaño de partícula, el factor que afectan el proceso de endurecimiento y el contenido del cristal formado. La hidratación del  $\text{CaO}$  es una reacción química exotérmica. (Mohamad, 2014).

Por otro lado, la turbidez indica el contenido de sustancias coloidales, minerales u orgánicas en el agua, por lo que puede ser un signo de contaminación. Además, el alto nivel de turbidez puede proteger al microorganismo a los efectos de la desinfección, promover el crecimiento bacteriano y aumentar la necesidad de cloro. Por lo tanto, la apariencia de patógenos en el agua representa un riesgo microbiológico para el ser humano (Martínez et al., 2019).

La lechada de cal es fluidos compuestos por suspensión de hidróxido cálcico en agua, produciendo distintos porcentajes de sólidos y adaptando a la necesidad del proceso en los que participe. La cal hidratada  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  se usa a menudo y es exclusivamente útil para tratar corrientes enormes en condiciones muy ácidas. Dado que la cal hidrofóbica, se necesita una excelente composición con el agua, lo cual se debe tener un dispositivo de agitación. Esta técnica tiene limitaciones porque se necesita alcanzar un cierto pH demasiado elevado para depositar metal como el manganeso (Oblitas et al., 2019).

La cal químicamente es un óxido de calcio y es llamada cal viva puesto que es un reactivo que se logra por descomposición, por medio de calcinación, del carbonato que contiene las calizas (Luengo, 2018). En una forma general el proceso de neutralización con cal cumpliendo el límite de descarga para metal pesado e incluyen principalmente 4 pasos: para el control del

pH; la retención y/o agitación para evitar la pasivación de la cal, para disolverla y precipitar los metales; Separación sólido-líquido: permitiendo sedimentaciones de óxidos/hidróxidos metálicos, esto se puede realizar por medio de un proceso de coagulación, floculación o secuestro en fase sólida; por último la descarga del efluente limpio que cumplen con los estándares adecuados y la calidad (Aduvire, 2018).

Para la formación de cal es indispensable exceder la presión de disociación que ejecuta el carbonato adecuado, por el medio de una reacción endotérmica, liberando el anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) logrando el monóxido metálico (Cárdenas, 2014). La estabilización con cal una de las características es la firmeza y estabilidad en una forma permanente con relación al agua, la dosificación esté ligado al tipo de arcilla con agregaciones del 1 al 8% incorporando cal por peso seco (Niño, 2018).

En la calidad de cal existe 3 factores primordiales para establecer la calidad de CaO tenemos: el contenido de CaO versus el porcentaje de cal disponible; las partículas de cal quemado o suave. Las impurezas y la disminución del contenido de CaO, disminuye la eficacia por toneladas de cal empleada. El CaO procedente de carbonato de calcio de distinta composición y su técnica de calcinación tendrá distinto contenido de calor. Esta clasificación de cal de alta, media y baja reactividad (Mohamad y Imman, 2014).

Los beneficios del uso de la cal, es una de la fuente de caliza abundante, posee un bajo costo de producción, es muy versátil en las aplicaciones y es un producto ecológico. En cuanto a la aplicación de la cal tenemos: excelente regulador de pH, neutralizante, alcalinizante, fundente, floculante, depilatorio, desinfectante, pigmento, procesos mineralógicos, de agua y suelo ácido, para el tratamiento del agua, contra de hongos y bacterias, de agua contaminada, entre otras aplicaciones (Adawi, 2014).

La propiedad de estabilidad del suelo con cal se mencionan a continuación: la disminución del índice de plasticidad, por medio de reacciones del límite líquido y a un aumento del límite plástico; disminución formidable del ligantes natural del suelo por aglomeraciones de la partícula; el resultado de un elemento fiable y más manejable como producto de la disminución de la cantidad de agua en el suelo, la cal permite secar el suelo húmedo acelerando su composición y aumento de la capacidad de soporte del suelo (López y Ortiz, 2018).

Las características físicas tenemos la finura, que es una de las características primordiales en la medida que actúa en la condición de almacenamiento, transporte y una composición con el suelo. El color que posee la cal es gris o blanco, rojizo mediante al óxido de hierro que se localiza en el depósito. La densidad dependerá de la temperatura de calcinación donde si la temperatura es alta entonces la densidad de la cal viva será mayor. La dureza de la cal varia en blanda y dura aproximada al origen de la piedra que se obtuvo mientras que la dureza de la cal viva depende de la temperatura de calcinación (Altamirano y Díaz, 2015).

En cuanto a los tipos de cal encontramos las cales aéreas, las que, producida por la calcinación de dolomías o calizas, constituida por óxidos o hidróxidos de magnesio y calcio. Necesitan propiedades hidráulicas porque no posee la propiedad de endurecer y fraguar cuando se combina con agua, entre ellas encontramos cales vivas (compuestos por óxido de magnesio y calcio las que se obtienen tras la calcinación de las calizas); cal hidratada (resultante del apagado de las cales vivas que están compuestas por calcio y magnesio). Otro tipo de cales tenemos las hidráulicas la que constituye el hidróxido de calcio, silicatos y aluminatos de calcio, en este tipo de cales se presentan las cales hidráulicas naturales, cales formuladas y cales hidráulicas artificiales (Usedo, 2015).

El estudio es importante porque radica en neutralizar el agua ácida producida por La Minería Artesanal ubicado en la localidad de Sayapullo, para el tratamiento se empleó la mezcla

de cal con agua, formamos lechada de cal o conocida como lodo de cal, ya que es un producto alcalino químicamente combinado por óxido de calcio, al estar en contacto con aguas de relaves mineros obstruyen en flujo continuo de las partículas de metales disueltas causando el establecimiento neutro del pH.

#### **1.4. Formulación del problema**

¿Cómo incide la lechada de cal en la neutralización de aguas ácidas en una Minera Artesanal, La Libertad - 2021?

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo general**

Determinar la eficiencia de neutralización de aguas ácidas de mina con lechada de cal en una Minera Artesanal, La Libertad - 2021.

##### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Determinar la acidez y el contenido de elementos contaminantes en las aguas ácidas en una Minera Artesanal, La Libertad – 2021
- Determinar la acidez a diferentes concentraciones de lechada de cal en una Minera Artesanal, La Libertad – 2021
- Determinar la reducción de elementos contaminantes que producen la acidez en las aguas residuales tratadas con lechada de cal en una Minera Artesanal, La Libertad – 2021

#### **1.6. Hipótesis**

La lechada de cal es eficaz para la neutralización de aguas ácidas en una Minera Artesanal, La Libertad – 2021.

## CAPÍTULO II: MÉTODO

### 2.1. Tipo de investigación

De acuerdo a la metodología propuesta, el presente informe de investigación es aplicada con enfoque cuantitativa y diseño experimental de nivel Pre – Experimental a lo cual, según los autores Hernández *et.al* (2014) estas investigaciones se definen por aplicar los instrumentos de medición en ambientes controlados y en donde es necesaria la existencia de dos grupos de comparación como mínimo (un grupo experimental y de control) esto con el fin de demostrar de que los resultados existentes debido al cambio de la variable dependientes se debe por los cambios en la variable independiente o producto de otros factores de esta forma, se definen patrones de comportamiento del fenómeno estudiado en el contexto en el cual se desarrolla. En este informe de investigación se muestra la relación de la eficiencia de la neutralización de agua ácida de mina con lechada de cal en la Minera Artesanal de la región La Libertad, en la cual se han realizado pruebas antes del tratamiento de aguas ácidas a partir de la neutralización con lechada de cal y después de su aplicación.

### 2.2. Población y muestra

Estuvo constituida por el agua residual de las pozas de lixiviación de relaves mineros de la Unidad Minera Carmen Alto, Sayapullo.

Mientras que la muestra estuvo conformada por un punto de monitoreo que se realizó en el agua residual del relave minero de la Unidad Minera Carmen Alto - La Libertad, en donde se extrajeron 5 litros de agua residual sin alterar su composición del material original, la cual fue trasladada al Laboratorio de Servicio a la Comunidad e Investigación de la Universidad Nacional de Trujillo para realizar los análisis y las pruebas correspondientes. Para lo cual se

tuvieron los siguientes criterios de selección: que el relave pertenezca a la empresa minera y que se observe una contaminación en el agua.

Por su parte, se empleó el muestreo Aleatorio Probabilístico, esto quiere decir que cada elemento que conforma la población de interés tiene una probabilidad conocida y frecuentemente igual, de ser elegida para la muestra.

### **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

Se empleó como observación para la técnica y el instrumento de recolección de datos estuvieron conformados por las fichas de laboratorio, las cuales fueron destinadas para recoger información referente al pH, turbidez y análisis de metales del agua residual sin tratar, así como del agua tratada a diferentes concentraciones de lechada de cal, de esta manera se obtuvo información sobre la diferencia numérica que existen antes y después del tratamiento de aguas ácidas a partir de la neutralización con lechada de cal.

El procedimiento consistió como primera etapa, en realizar la caracterización de agua residual sin tratar, para ello se tomó como muestra 250 mililitros de agua ácida con el fin de realizar el análisis del pH, la turbidez y el contenido de metales el cual fue llevado a cabo en el Laboratorio de Servicio a la Comunidad e Investigación de la Universidad Nacional de Trujillo, para ello se empleó el medidor multiparamétrico de mesa de pH y el método de Espectrómetro de Emisión en Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) para determinar los metales y contaminantes en el agua. La segunda etapa consistió en realizar el análisis de agua residual tratada, para lo cual fue necesario la obtención de 6 muestras de 200 mililitros de agua ácida, a cada una de ellas se le adhirieron 5, 10, 20, 50, 80 y 120 gramos de lechada de cal respectivamente, seguidamente, se realizó nuevamente el análisis del pH, la turbidez y el contenido de metales empleando el medidor multiparamétrico de mesa de pH y el método de

ICP-OES, esto con la finalidad de determinar la eficiencia de neutralización de aguas ácidas con lechada de cal en la Minera Artesanal de la región La Libertad. Por último, la tercera etapa consiste en plasmar todos los datos obtenidos en la investigación, una vez terminada los análisis en el laboratorio de Universidad Nacional de Trujillo se anotarán en un instrumento elaborado de acuerdo a la información, esto a la vez es analizado y procesado en una hoja Excel para realizar gráficos y que la información este más organizada, una vez concluido es pasado al informe para poder interpretar y así llegar a una conclusión.

El método de análisis de datos empleados en el estudio fueron el método analítico y el método sistemático. Se empleó el método analítico ya que se han estudiado los hechos y los fenómenos a partir de la desmembración de la variable de estudio con el fin de determinar su importancia, cómo funcionan y la relación entre la variable dependiente e independiente. Por otro lado, se utilizó el método sistemático debido a que en el estudio siguió una metodología que permitió a partir de una secuencia sistematizada, el desarrollo de cada uno de los objetivos abordados, apoyados por un instrumento de recolección de datos para una mejor obtención de información y por ende un mejor análisis de los datos recolectados. La presente investigación, se llevó a cabo el análisis estadístico a partir de la comparación numérica que se obtuvo antes y después del análisis de aguas ácidas por medio neutralización con lechada de cal, estos valores obtenidos fueron procesados a través de hojas de Excel para su procesamiento y análisis, de tal manera el resultado obtenido sea presentados mediante gráficos y tablas.

#### **2.4. Aspectos éticos**

Las consideraciones éticas contempladas en la investigación son la beneficencia, no maleficencia, autonomía y justicia. Beneficencia, debido a que la investigación buscó determinar la eficiencia de neutralización del agua ácida con lechada de cal y de esta manera determinar si el agua residual puede ser reutilizable para otros fines netamente mineros, tales

como para el procesamiento de pozos de lixiviación, generando un beneficio para la Minera Artesanal de la región La Libertad. No Maleficencia, debido a que los procedimientos llevados a cabo para el desarrollo de la investigación no generan daños materiales ni peligro para los trabajadores, pues se han tomado medidas preventivas. Autonomía, debido a que los tesisistas estuvieron en la facultad de decidir la metodología de estudio y las técnicas a emplear para llevar a cabo su informe de investigación en base a los reglamentos y estatutos establecidos por la Universidad Privada del Norte. Justicia, debido a que los tesisistas desarrollaron su investigación mediante el trabajo en equipos y el respeto, repartiéndose las actividades de manera equitativa para el beneficio común.

## CAPITULO III. RESULTADOS

### 3.1. Acidez y contenido de elementos contaminantes en las aguas ácidas de la Minera Artesanal de la región La Libertad - 2021.

#### 3.1.1. Acidez

##### a. pH

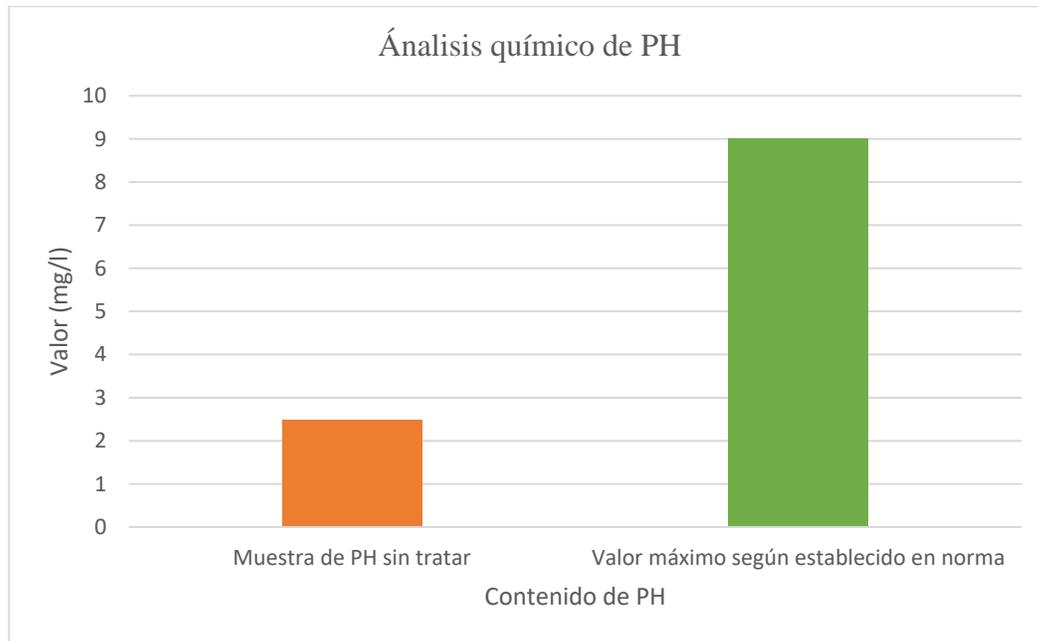


Figura 1. Análisis químico de pH

La figura N°1 detalla el pH de la muestra extraída de las aguas ácidas de la Minera Artesanal antes de emplear el tratamiento por medio del empleo de lechada de cal, cuyo pH es de 2.47. Por otro lado, se muestra el valor máximo de pH según establecido en los Estándares Nacionales De Calidad Ambiental para Agua (ECA) D.S N°015-2015-MINAM y el límite permisible máximo para la descarga del efluente líquido de la actividad minera metalúrgica D.S N°010-2010-MINAM, cuyo PH máximo es 9.

**b. Turbidez**

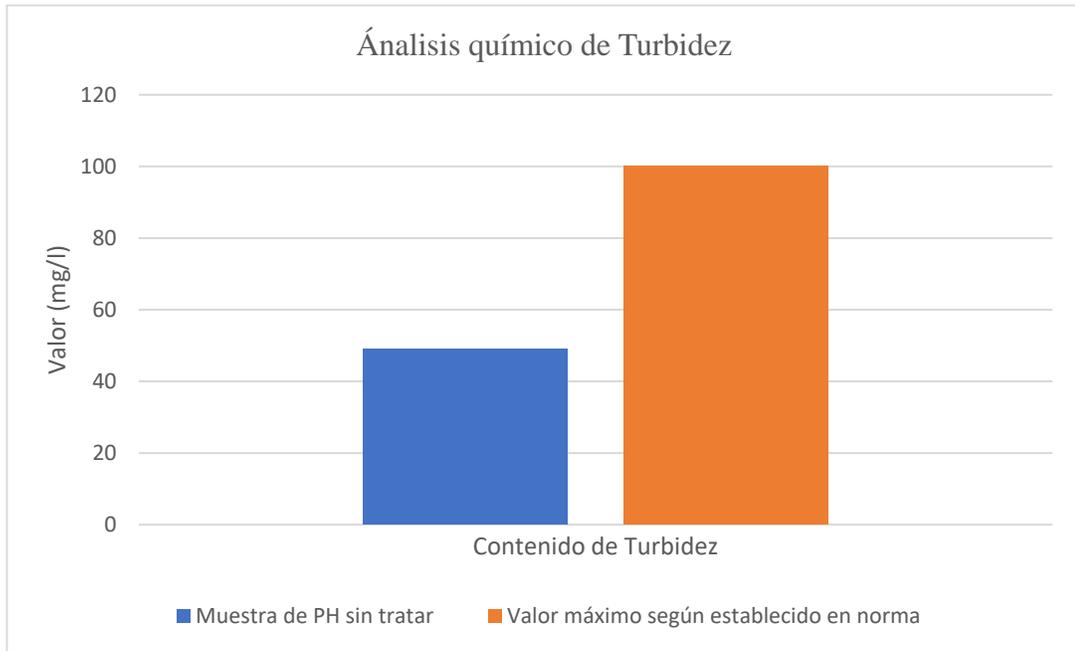


Figura 2. Análisis químico de turbidez.

La figura N°2 detalla la turbidez de la muestra extraída de las aguas ácidas de la Minera Artesanal de la región La Libertad antes de emplear el tratamiento por medio del uso de lechada de cal, cuya turbidez es de 49. Por otro lado, se muestra el valor máximo de pH según establecido en los ECA D.S N°015-2015-MINAM y el límite permisible máximo para la descarga del efluente líquido de la actividad minera metalúrgica D.S N°010-2010-MINAM, cuya turbidez máxima es 100.

**3.1.2. Elementos contaminantes**

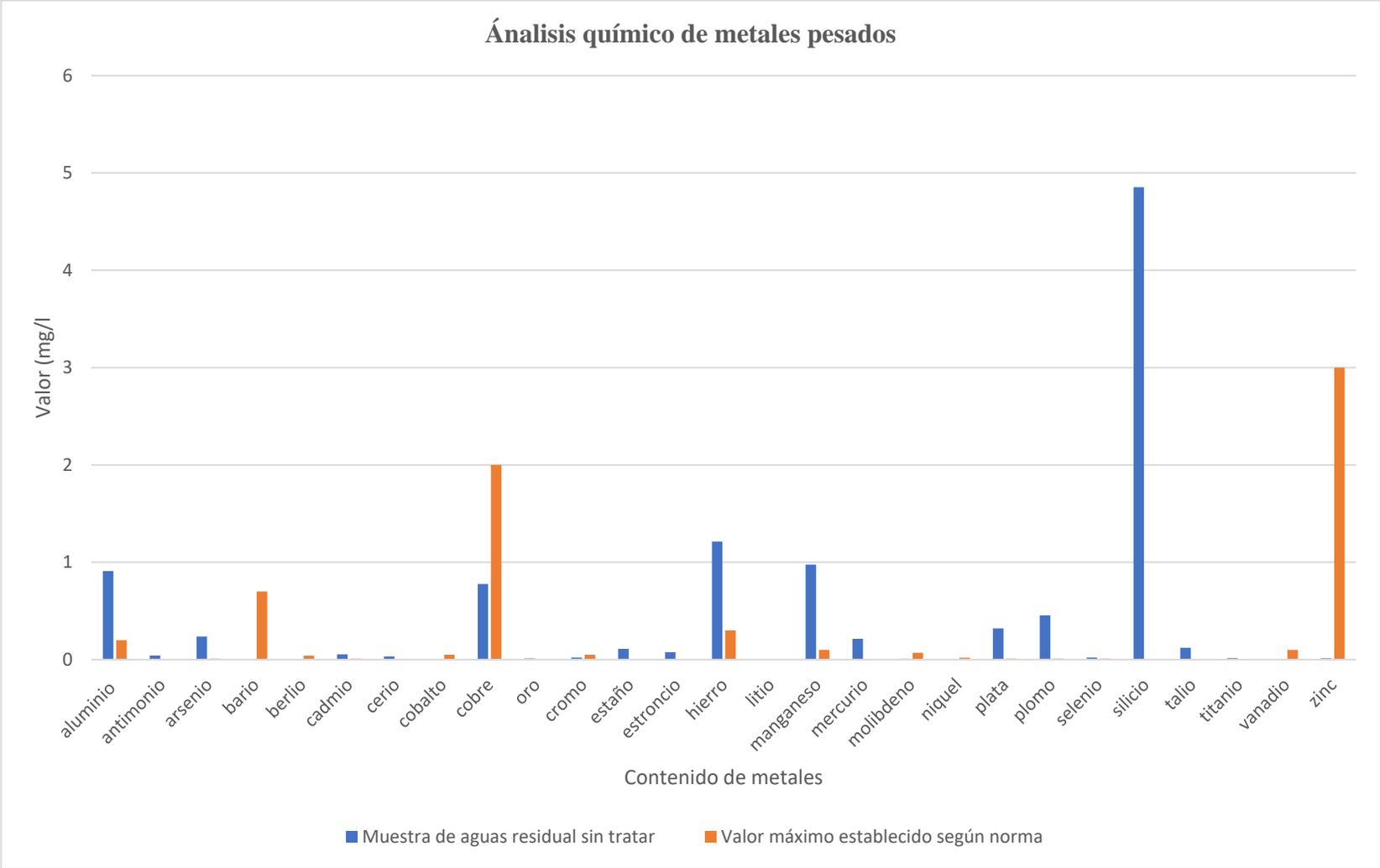


Figura 3. Análisis químico de metales pesados.

La figura N°3 detalla el análisis químico de metales pesados de la muestra extraída de las aguas ácidas de la Minera Artesanal de la región La Libertad antes de emplear el tratamiento por medio del uso de lechada de cal. Por otro lado, se muestra los valores de los metales pesados según establecido en los ECA D.S N°015-2015-MINAM y el límite permisible máximo para la descarga del efluente líquido de la actividad minera metalúrgica D.S N°010-2010-MINAM. Donde los análisis de la muestra del agua residual indica que presenta concentraciones altas en los metales pesados, es por ello que se pretende aplicar un tratamiento.

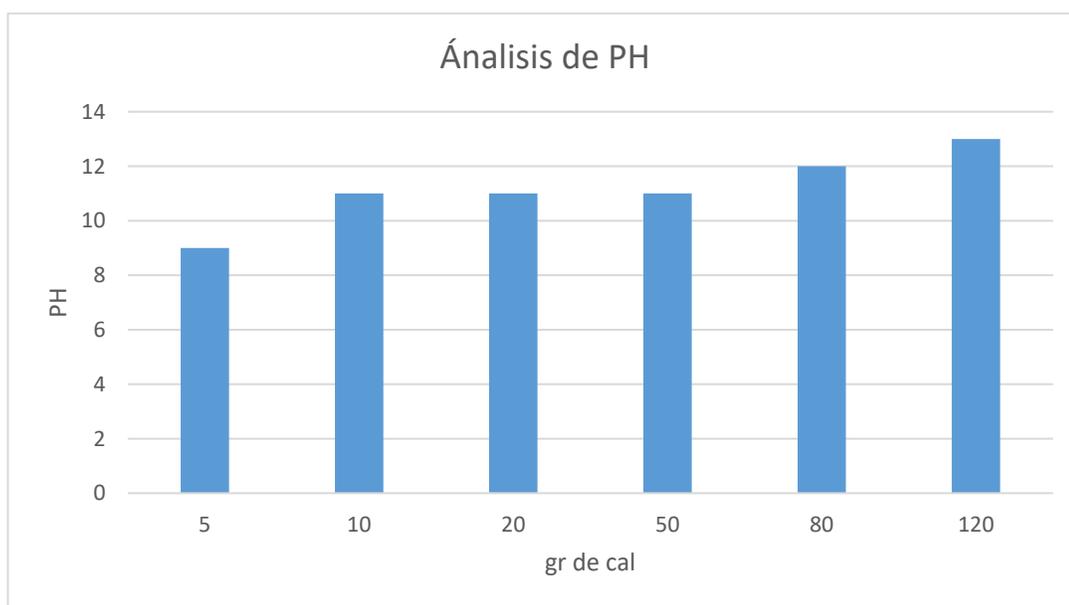
### 3.1.3. Exceso del valor permitido



Figura 4. Exceso del valor permitido.

La figura N°4 detalla el exceso del contenido de algunos metales de la muestra extraída de las aguas ácidas de la Minera Artesanal de la región La Libertad, este exceso es según establecido en los ECA D.S N°015-2015-MINAM y el límite permisible máximo la descarga del efluente líquido de la actividad minera metalúrgica D.S N°010-2010-MINAM; por ello que se pretende aplicar un tratamiento.

### 3.2. Acidez a distintas concentraciones de lechada de cal en la Minera Artesanal de la región La Libertad - 2021.



*Figura 5.* Contenido de elementos contaminantes con lechada de cal.

En la figura N°5 detalla el análisis de pH con distintas cantidades de cal (5, 10, 20, 50, 80 y 120) en la muestra de aguas residuales cuya cantidad ha sido de 200 ml, cuyos pH es de 10, 11, 11, 11, 12 y 13.

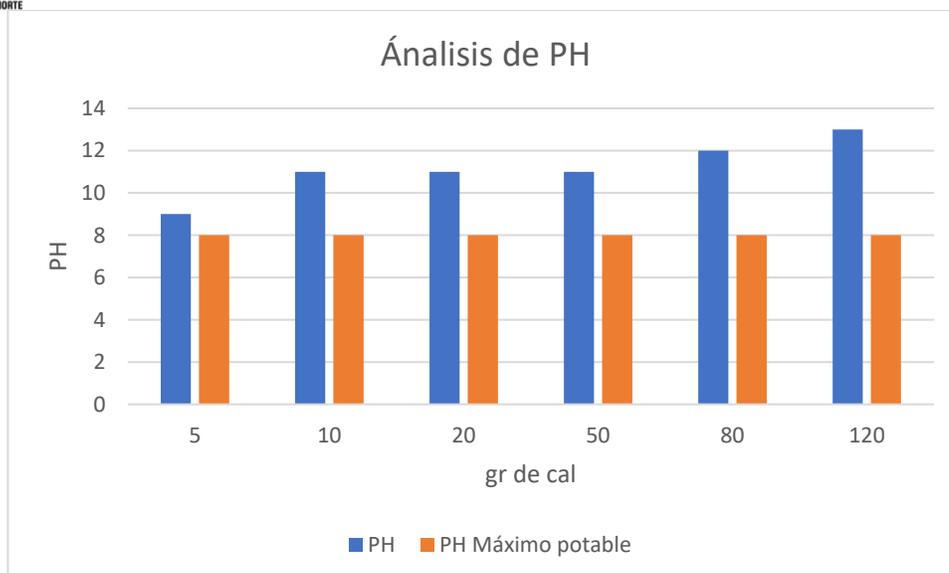
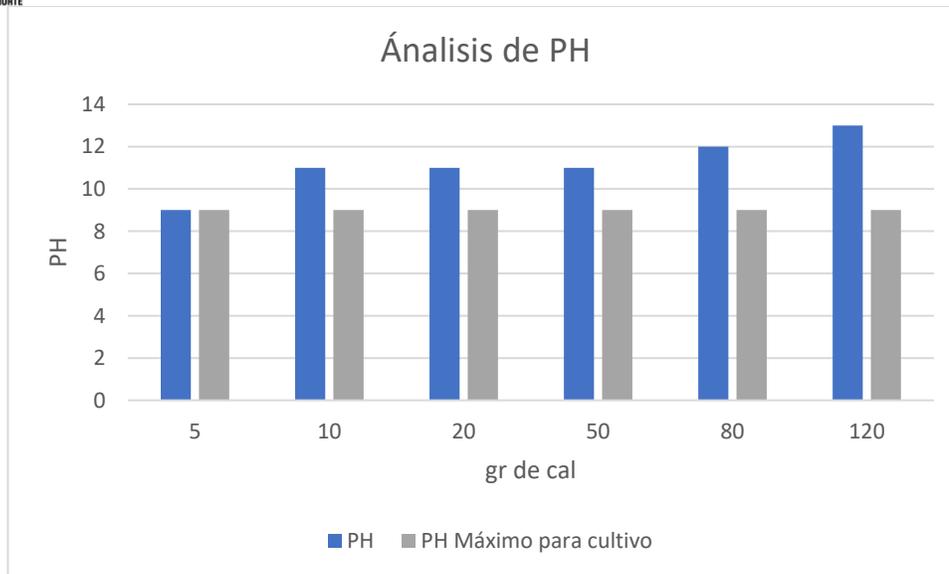


Figura 6. Análisis de pH vs pH máximo potable

En la figura N°6 detalla el pH de la muestra extraída de las aguas ácidas de la Minera Artesanal utilizando la lechada de cal (5, 10, 20, 50, 80 y 120) y cuyos valores son (9, 11, 12, 13). Por otro lado, se muestra el valor máximo de pH según establecido en los ECA D.S N°015-2015-MINAM y el límite permisible máximo para la descarga del efluente líquido de la actividad minera metalúrgica D.S N°010-2010-MINAM, cuyo pH máximo es 8. La cual se observa que el nivel de pH pasa el nivel limite requerido para el agua potable cuyos valores, es por ello que esta agua pasaría como reutilización para la Minera Artesanal de la región La Libertad.



*Figura 7. Análisis de pH vs pH máximo para cultivo*

En la figura N°7 detalla el pH de la muestra extraída de las aguas ácidas de la Minera Artesanal utilizando la lechada de cal (5, 10, 20, 50, 80 y 120) cuyos valores son (9, 11, 12, 13). Por otro lado, se muestra el valor máximo de pH según establecido en los ECA D.S N°015-2015-MINAM y el límite permisible máximo para la descarga del efluente líquido de la actividad minera metalúrgica D.S N°010-2010-MINAM, cuyo pH máximo es 9. La cual se observa que el nivel de pH pasa el nivel límite requerido para el agua de cultivos, es por ello que esta agua pasaría como reutilización para la Minera Artesanal de la región La Libertad.

### 3.3. Porcentaje de remoción de metales en efluentes industrial de la Minera Artesanal de la región La Libertad - 2021

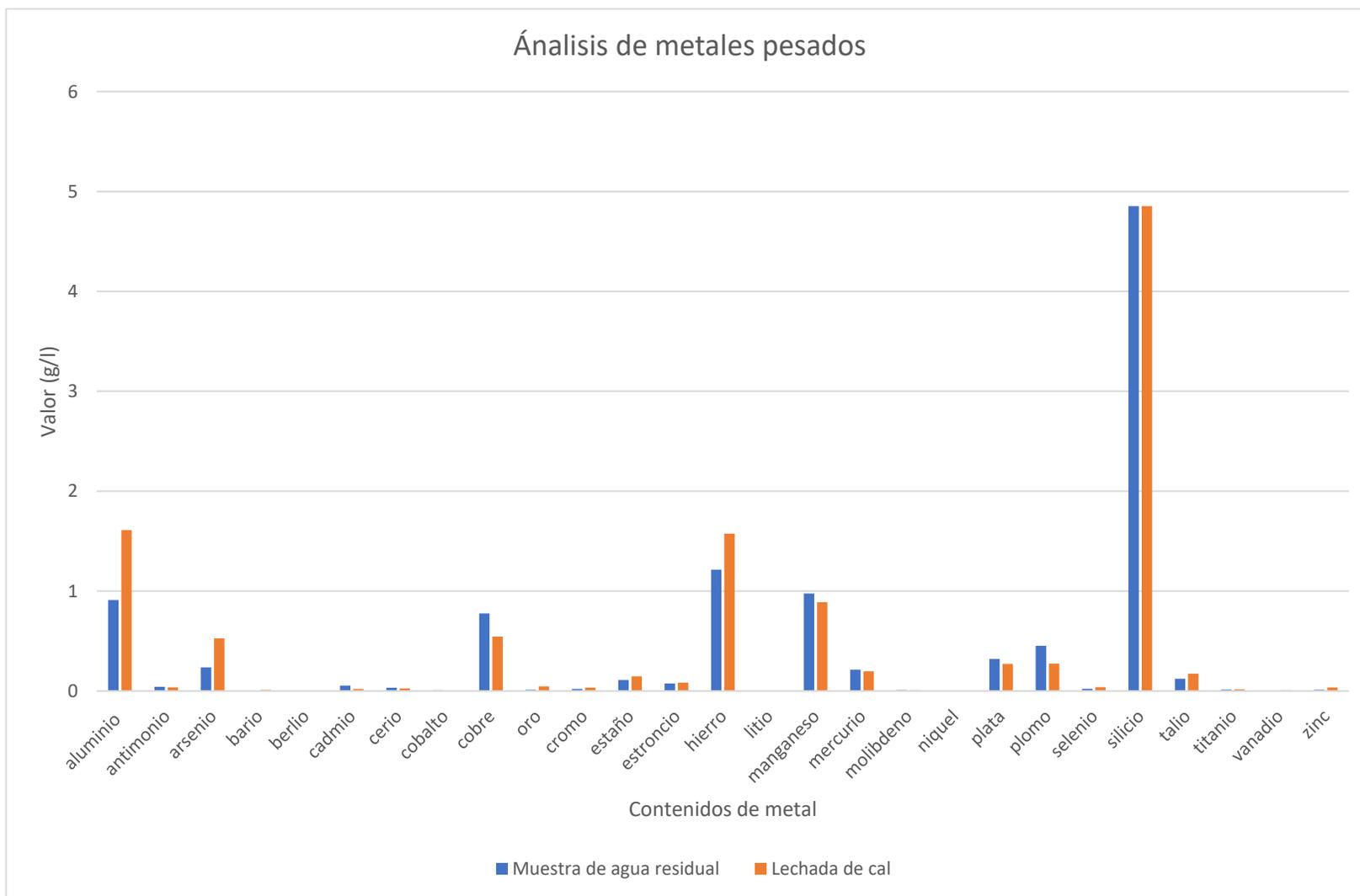


Figura 8. Diferencia en el contenido de elementos contaminantes.

En la figura N°8 detalla la muestra de agua tratada y sin tratar fueron examinados por el laboratorio de servicios a la comunidad e investigación en la Universidad Nacional de Trujillo, al comparar ambos resultados se evidencia una elevada concentración de algunos metales; por otro lado se evidencia una reducción de los otros metales, donde la mayoría de estos metales es considerado un contaminante ambiental, dañando la salud y seres vivos; ante ello esta agua tratada será usada como reutilización en la Minera Artesanal de la región La Libertad.

### 3.3.1. Incremento del contenido de metal

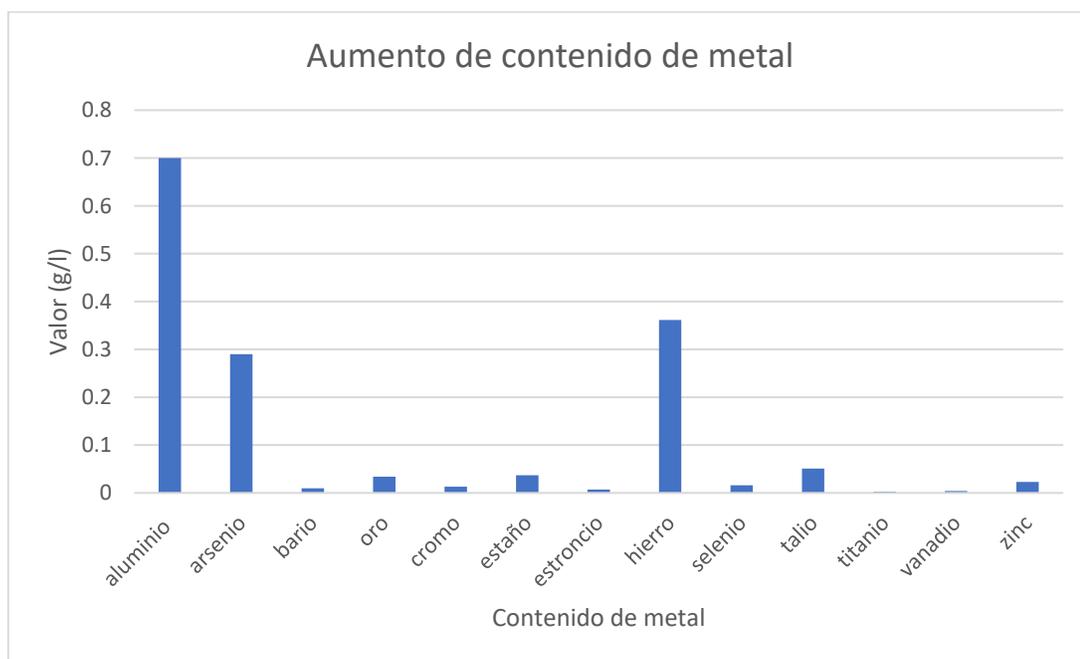


Figura 9. Aumento de contenido de metal

En la figura N°9 detalla una elevada concentración tales como: aluminio, Arsénio, bario, oro, cromo, estaño, estroncio, hierro, selenio, silicio, talio, titanio, vanadio y zinc; la mayoría de estos metales son perjudiciales; por ello esta agua residual será reutilizada para otras actividades en la Minera Artesanal de la región La Libertad.

### 3.3.2. Eficiencia de neutralización



Figura 10. Disminución del contenido de metal

En la figura N°10 detalla una eficiencia de neutralización, la cual se observa una reducción del contenido de metales tales como: antimonio, berilio, cerio, cadmio, cobalto, cobre, manganeso, litio, mercurio, molibdeno, plata, níquel y plomo; estos metales son dañino tanto para el ambiente como para los seres vivos, es por ello que se debe considerar los valores máximos según establecido en los ECA D.S N°015-2015-MINAM y el límite permisible máximo para la descarga del efluente líquido de actividad minera – metalúrgica D.S N°010-2010-MINAM

## CAPITULO IV: DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

### 4.1. DISCUSIONES

De acuerdo a la eficiencia de neutralización de aguas ácidas de mina con lechada de cal, se muestra que sí neutraliza las aguas ácidas puesto que el pH fue de valor 9 máximo para los cultivos, asimismo los valores de metales se ha evidenciado una reducción como son: antimonio, berlio, cadmio, cerio, cobalto, cobre, litio, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, plata y plomo algunos valores de reducción son mínimos, pero si existe una disminución de metales pesados. Estos resultados son evidenciados por Huiza y Orellana (2015) elaboró un estudio con el objetivo de establecer condiciones que se requiere para la remoción del metal del drenaje de ácido de minas empleando la estrategia de lecho pulsado de caliza del PAM Apu Campanayoc I; que tuvo como resultado que la dosificación es de 500 mg/L para la remoción de metales con una efectividad al 85 % para Al y Fe y al 75 % para Zn y Mn. El uso de roca caliza para el tratamiento de aguas y suelos es eficiente por su composición química teniendo un 90% de carbonato de calcio, logrando la movilización de metales pesados en el flujo de aguas residuales.

De acuerdo al análisis de acidez y contenido de elementos contaminantes realizado a las aguas ácidas de la Minera Artesanal de la región La Libertad, se determinó que el pH presenta un valor bajo igual a 2.47, mientras que el contenido de elementos contaminantes es alto a comparación de los valores contemplados en el D.S. N°015-2015-MINAN el cual establece los ECA, así como del D.S. N°010-2010-MINAM que establece el Límite Máximo Permisible para Descarga de Efluente Líquido de Actividad Minera Metalúrgica, por tanto la muestra analizada demuestra la presencia de la concentración alta de metal pesado y la presencia de una elevada acidez. Estos resultados son corroborados por Jiménez (2017) cuando indica que en el análisis químico de aguas residuales sin tratamiento llevado a cabo en la Unidad Minera Arasi (Puno)

se obtuvo un pH de 3.02 y la presencia de altos contenidos de metales, lo cual indica que en un efluente ácido con un  $\text{pH} < 4$  no es adecuado para la naturaleza pues es un factor de inhibe y perturba en el proceso biológico y químico, así mismo, señala que la presencia del metal en los cuerpos de agua es producto al bajo pH el cual solubiliza los metales que se encuentran en las rocas residuales. Es debido a ello que se aplican tratamientos previos a estas aguas residuales ya sea para su evacuación al ambiente o para su reutilización destinadas a otros fines netamente mineros y/o industriales.

De acuerdo al análisis de acidez a distintas concentraciones de lechada de cal realizado en la Minera Artesanal de la región, se determinó un pH de 10 para una concentración de lechada de cal de 5 gramos en 200 mililitros de agua residual, así también, para la misma cantidad de agua residual se determinó un pH de 11,11,11,12 y 13 para concentraciones de lechada de cal correspondientes a 10, 20, 50, 80 y 120 gramos respectivamente, evidenciándose una elevación del pH. Lo mencionado puede ser corroborado por Mamani (2018) cuando indica que a partir de la neutralización con lechada de cal de agua ácida en la minería La Rinconada se logró remover en gran porcentaje el contenido de metales pesados, por ejemplo, con un pH de 10.1 se redujo 99.3% de níquel y el 98.88% de manganeso. Esto quiere decir que la incorporación de lechada de cal garantiza la elevación del pH, por consiguiente, la remoción de contenidos de metales, mejorando considerablemente la calidad ambiental en el efluente de agua ácida.

De acuerdo al análisis realizado para la determinación de elementos contaminantes que produce la acidez en las aguas ácidas residuales con lechada de cal en la Minera Artesanal, se determinó que la remoción de contenido de metales mostró efectividad para aquellos metales con elevada concentración tales como para el Antimonio, Cadmio, Berilio, Cerio, Cobre, Cobalto, Litio, Mercurio, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Plata y Plomo, los cuales son causantes de la contaminación que repercute en daños para la salud así como los demás seres

vivientes. Lo expresado puede ser corroborado por Oré (2015) cuando manifiesta que en la recuperación del metal pesado presente en los drenajes ácidos de mina se obtuvieron como resultados una recuperación del 94.06% de metales pesado de hierro a un pH de 4,285, 88,42% de cobre a un pH de 5,811 y 84,13% de zinc a un pH de 8,025 y el 96.89% de manganeso a un pH de 10,385. Esto quiere decir que el empleo de lechada de cal efectivamente garantiza una elevación del pH y por ende una disminución de la concentración del metal pesado.

#### 4.2. CONCLUSIONES

- Se determino que, la lecha de cal sí neutraliza las aguas ácidas puesto que pH fue de 9 valor máximo para los cultivos, asimismo los valores de metales se ha evidenciado una reducción como son: antimonio, berlio, cadmio, cerio, cobalto, cobre, litio, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, plata y plomo algunos valores de reducción son mínimos, pero si existe una disminución de metales pesados.
- Se determinó que, la muestra de agua ácida sin tratar presenta un valor de pH bajo igual a 2.47 y el contenido del metal pesado es alto, los cuales fueron comparados según lo estipulado en el D.S. N°015-2015-MINAN el cual establece los ECA, y en el D.S. N°010-2010-MINAM que establece los Límites Máximos Permisibles para la descarga del efluente líquido de la actividad minera metalúrgica, evidenciándose concentraciones de metales elevadas y una elevada acidez.
- Se determinó que, para 6 muestras de agua de 200 mililitros a la cual se le adhiere diferentes concentraciones de lechada de cal (10, 20, 50, 80 y 120 gramos) se obtienen pH equivalentes a 10, 11, 11, 11, 12 y 13 respectivamente, evidenciándose de esta manera una elevación del pH.

- Se determinó que, la remoción de contenido de metales mostró efectividad para aquellos metales con elevada concentración tales como para el Antimonio, Cadmio, Berilio, Cerio, Cobre, Cobalto, Litio, Mercurio, Manganeseo, Molibdeno, Níquel, Plata y Plomo. Por tanto, queda demostrado que empleo de lechada de cal efectivamente garantiza una elevación del pH y por ende una disminución de la concentración del metal pesado. Por otra parte, el tratamiento de estas aguas ácidas da lugar a que puedan ser reutilizadas para el procesamiento de pozas de lixiviación.

## REFERENCIAS

- Adawi, G. (2014). Alta tecnología en la producción de cal, insumo esencial de la minería moderna. *Revista Intical*. 28 de agosto.  
[https://iimp.org.pe/pptjm/jm20140828\\_calcesur.pdf](https://iimp.org.pe/pptjm/jm20140828_calcesur.pdf)
- Aduvire, O. (2018). Dimensionado de sistemas de tratamiento de aguas acidas de minas. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 1(5), 1-11.  
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2519-53522018000200001](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522018000200001)
- Alakangas, L., Andersson, Elin., Mueller, S. (2013). Neutralización/prevenición of acid rock drainage using mixtures of alkaline by-products and sulfidic mine wastes. *Revista Springer*. (20).  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-013-1838-z>
- Alcántara Malca, D. A. (2020). *Método integrado de remediación para la disminución de la concentración de metales pesados de aguas residuales de actividad minera de la Sierra Central – 2018* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Federico Villarreal].  
<http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/4112>
- Aliaga Arévalo, L. (2015). *El sector minero y su incidencia en el empleo en la región La Libertad periodo 2010-2013* [Tesis de título, Universidad Nacional de Trujillo].  
[https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/988/aliagaarevalo\\_lorena.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/988/aliagaarevalo_lorena.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Altamirano Navarro, G. J. y Díaz Sandino, A. E. (2015). *Estabilización de suelos cohesivos por medio de cal en las vías de la comunidad de San Isidro del Pegón, municipio Potosi - Rivas* [Tesis de título, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua].  
<https://repositorio.unan.edu.ni/6456/1/51667.pdf>

- Armendáriz, E. (2016). *Áreas naturales protegidas y minería en México: perspectiva y recomendaciones* [Tesis de posgrado, Centro de investigaciones biológicas del noroeste S.C]. Repositorio CIBNOR.  
[https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/50/1/armendariz\\_e.pdf](https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/50/1/armendariz_e.pdf)
- Bermeo, M., Bonilla, S. y Coloma, T. (2017). *Neutralización: aplicado a aguas residuales*. 1° Edición: Ecuador.  
[http://142.93.18.15:8080/jspui/bitstream/123456789/69/3/ilovepdf\\_merged-6-ilovepdf-compressed.pdf](http://142.93.18.15:8080/jspui/bitstream/123456789/69/3/ilovepdf_merged-6-ilovepdf-compressed.pdf)
- Berrospi Alania, L. Y. (2019). *Remoción de metales pesados presentes en las aguas ácidas de la laguna Yanamate mediante la aplicación de la dolomita como agente remediante a escala experimental-2019* [Tesis de título, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]  
[http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/930/1/T026\\_72631416-T.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/930/1/T026_72631416-T.pdf)
- Cárdenas Díaz, R. (2014). *Estudio para disminuir consumo de cal en planta concentradora Codelco Andina* [Tesis de título, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso].  
[http://opac.pucv.cl/pucv\\_txt/Txt-5500/UCE5857\\_01.pdf](http://opac.pucv.cl/pucv_txt/Txt-5500/UCE5857_01.pdf)
- Castillo Hernández, J. C. (2013). *Procesos biogeoquímicos de sulfato-reducción involucrados en la remediación de los drenajes ácidos de mina y las balsas de fosfoyeso* [Tesis de doctorado, Universidad Internacional de Andalucía]  
[https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/2563/0497\\_Castillo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/2563/0497_Castillo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Chaparro Corso, J. Y. y Ruiz Ardila, N. (2018). *Evaluación a escala de laboratorio del gradiente de acidez de drenaje ácido de mina, mediante el uso de columnas de caliza*

*como sistema pasivo de neutralización* [Tesis de título, Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia].

<https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2539/1/TGT-1123.pdf>

Chávez, I. (2017). Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

*Revista científica dominio de las ciencias*, 3(1), 536-560.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6134928>

Díaz, F. (2014). Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano. *Revista salud pública*, 16(6), 947-957.

<http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v16n6/v16n6a12.pdf>

De la Cruz Lima, Y. (2019). *Efecto de la dosificación de lechada de cal en la remoción del manganeso del agua de mina de la UM Harón 2018* [Tesis de titulación, Universidad Continental].

[https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/5636/1/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_De\\_La\\_Cruz\\_Lima\\_2019.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/5636/1/IV_FIN_107_TE_De_La_Cruz_Lima_2019.pdf)

Huiza Matamoros, A. y Orellana Orellana, W. C. (2015). *Remoción de metales del drenaje ácido de mina mediante lecho pulsado de caliza del pasivo ambiental minero Apu Campanayoc I Huancavelica* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú].

[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNCP\\_2621938495f801757d8fcf14b68b9858](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNCP_2621938495f801757d8fcf14b68b9858)

Jiménez Huallpa, C. C. (2017). *Eficiencia en la remoción del tratamiento de aguas ácidas de mina, mediante neutralización activo con lechada de cal de la Unidad Minera Arasi – Puno* [Tesis de título, Universidad Peruana Unión].

[https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/856/Cynthia\\_tesis\\_bachiller\\_2016.pdf?sequence=5](https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/856/Cynthia_tesis_bachiller_2016.pdf?sequence=5)

Leguizamo, A. y Ruiz, J. (2019). Impactos ambientales de la minería de carbón sobre el recurso hídrico en el departamento de Boyacá. *Revista Semillas Ambientales*, 13(2), 24-35.

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/view/15870/15471>

López Sumarriva, J. J. y Ortiz Pinares, G. (2018). *Estabilización de suelos arcillosos con cal para el tratamiento de la subrasante en las calles de la urbanización San Luis de la ciudad de Abancay* [Tesis de título, Universidad tecnológica de los Andes].

[http://repositorio.utea.edu.pe/bitstream/handle/utea/152/Tesis-](http://repositorio.utea.edu.pe/bitstream/handle/utea/152/Tesis-Estabilizaci%C3%B3n%20de%20suelos%20arcillosos%20con%20cal.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[Estabilizaci%C3%B3n%20de%20suelos%20arcillosos%20con%20cal.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.utea.edu.pe/bitstream/handle/utea/152/Tesis-Estabilizaci%C3%B3n%20de%20suelos%20arcillosos%20con%20cal.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Luengo Gonzáles, E. A. (2018). *Análisis operacional y estudio experimental base para el desarrollo de herramienta estimada de consumo de cal, división Andina – Codelco* [Tesis de título, Universidad de concepción].

[http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/3413/6/Tesis\\_Analisis\\_operacional\\_y\\_estudio\\_experimental.Image.Marked.pdf](http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/3413/6/Tesis_Analisis_operacional_y_estudio_experimental.Image.Marked.pdf)

Mamani Chipana, W. (2018). *Caracterización y tratamiento de efluentes de aguas ácidas en la mina la Rinconada – Puno* [Tesis de título, Universidad Nacional del Altiplano].

[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/11993/Mamani\\_Chipana\\_Wilfredo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/11993/Mamani_Chipana_Wilfredo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Martínez, M., Mendoza, J., Medrano, B., Gómez, L. y Zafra, C. (2019). Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizador municipal. *Revista UIS Ingenierías*, 19(1), 15-24.

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7152687.pdf>

Menéndez, J. y Muñoz, S. (2021). Contaminación del agua y suelo por los relaves mineros.

*Revista Paideia XXI*, 11(1), 141-154.

<https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Paideia/article/view/3622/4588>

Mohamad, H. y Imman, S. (2014). *La preparación de la lechada cal y su impacto en la eficiencia del proceso de flotación y costo de operación*. Revista I International Congress of minerals flotation.

<https://agt.cl/mining/doc/d201410181231es.pdf>

Niño Santiesteban, A. (2018). *Adición de cal para mejora de suelos con fines de cimentación en Condominio Norte-Carmelo, distrito el Carmen – Chincha – Ica, 2018* [Tesis de título, Universidad César Vallejo].

[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/43548/Ni%C3%B1o\\_SA\\_I.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/43548/Ni%C3%B1o_SA_I.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Oblitas, A., Rondon, J., Vela, N. y Sipaucar, M. (2019). *Diseño de un sistema de neutralización para el tratamiento y recuperación de aguas ácidas de la mina San Cristóbal de La Compañía Minera Volcán* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio UNSA.

<https://fggm.unsa.edu.pe/ingminas/wp-content/uploads/sites/4/2020/09/Proyecto-Integrador-05.pdf>

Peña, S. y Araya, P. (2021). Aguas de contacto, efectos en la minería y el medioambiente.

*Revista de la Facultad de Derecho*, 1(50), 1-29.

[http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2301-06652021000101106](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-06652021000101106)

- Pérez, J., Ruiz, A. y Aramburú, V. (2020). Reducción de contaminantes del relave ácido de mina en planta concentradora de Jangas, Perú. *Revista Institución de información científica y tecnológica*, 22(2), 1-10.  
<https://www.redalyc.org/journal/6378/637869116004/637869116004.pdf>
- Pérez, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Revista tecnológica en marcha*, 29(3). 3-14.  
<https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v29n3/0379-3982-tem-29-03-3.pdf>
- Salvador Teódulo, O. V. (2015). *Recuperación de los metales pesados presentes en el drenaje ácido de mina mediante la precipitación selectiva para su posterior utilización* [Tesis posgrado, Universidad Nacional del Centro del Perú].  
<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1196/2.%20TESIS%20DOCTORADO%202015%20-%20Salvador%20Or%c3%a9.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez, J. y Cameselle, C. (2016). Biosorción de mercurio (Hg<sup>2+</sup>) usando materiales solidos residuales como absorbentes. *Revista Universidad de Vigo*. (577).  
<https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/320727>
- Sobrados, O., Vela, B. (2017). *Determinación de las condiciones de operación para el tratamiento de agua relaves de una empresa minera en Cajamarca mediante reducción de sulfatos con lechada de cal* [Tesis de título, Universidad Nacional del Callao].  
[http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/3460/Sobrados%20Quispe%20y%20Vela%20Matta\\_TESIS\\_QUIMICA\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/3460/Sobrados%20Quispe%20y%20Vela%20Matta_TESIS_QUIMICA_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Tejada, R. (2017). *Tratamiento y sedimentación de la turbidez con cal en las aguas residuales de los relaves mineros de la unidad operativa minera Santiago – B*. [Tesis de título, Universidad Nacional del Altiplano].

[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4695/Tejada\\_Mayta\\_Ronal.pdf?  
sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4695/Tejada_Mayta_Ronal.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Usedo, R. M. (2015). *Estudio y análisis de la utilización de la cal para el patrimonio arquitectónico* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia]

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/60200/Memoria.pdf>

Vásquez, P. M. (2019). *Efecto del tamaño de partícula de la cascara de naranja (citrus sinensis) en la absorción de ión metálico Pb+2 en las aguas residuales del laboratorio de química inorgánica en el centro superior universitario de la localidad de Trujillo* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional de Trujillo].

[https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/14354/Vasquez%20Mendoza%  
20Pedro%20Miguel.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/14354/Vasquez%20Mendoza%20Pedro%20Miguel.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Vera, L., Uguña, M., García, N., Flores, M. y Vázquez, V. (2015). Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente. *Revista Afinidad*. (573).

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5467346>

## ANEXOS



### ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

#### “EFICIENCIA DE NEUTRALIZACIÓN DE AGUAS ÁCIDAS DE MINA CON LECHADA DE CAL EN UNA MINERA ARTESANAL, LA LIBERTAD - 2021”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	TÉCNICAS DE INSTRUMENTOS
	<p><b>OBJETIVO GENERAL:</b> Determinar la eficiencia de neutralización de aguas ácidas de mina con lechada de cal en una Minera Artesanal, La Libertad - 2021</p>				
¿Cuál es la eficiencia en la neutralización de aguas ácidas con lechada de cal en una Minera Artesanal, La Libertad - 2021?	<p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</b> Determinar la acidez y el contenido de elementos contaminantes en las aguas ácidas en una Minera Artesanal, La Libertad - 2021</p> <p>Determinar la acidez a diferentes concentraciones de lechada de cal en una Minera Artesanal, La Libertad - 2021</p> <p>Determinar la reducción de elementos contaminantes que producen la acidez en las aguas residuales tratadas con lechada de cal en una Minera Artesanal, La Libertad - 2021</p>	Se obtiene una buena eficiencia en la neutralización de aguas ácidas con lechada de cal en una Minera Artesanal, La Libertad - 2021	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b> Neutralización de aguas ácidas.</p> <p><b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b> Lechada de cal.</p>	<p><b>ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN:</b> Cuantitativo.</p> <p><b>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</b> Aplicada.</p> <p><b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:</b> Experimental de tipo Pre - Experimental</p>	<p><b>TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:</b> Técnica de Observación.</p> <p><b>INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:</b> Fichas de laboratorio.</p>

**ANEXO 2: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

**“EFICIENCIA DE NEUTRALIZACIÓN DE AGUAS ÁCIDAS DE MINA CON LECHADA DE CAL EN UNA MINERA ARTESANAL, LA LIBERTAD - 2021”**

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE: NEUTRALIZACIÓN DE AGUAS ÁCIDAS</b>	Se denomina aguas ácidas a un sólido finamente molido el cual es descartado en operaciones mineras. La minería de sulfuros de cobre extrae grandes cantidades de material del yacimiento que se explota (Sernageomin, 2017).	Se llevará a cabo una evaluación de Pre y Post Tratamiento para analizar el agua residual sin tratar y el agua residual tratará con lechada de cal, a partir del cual se determinará el pH la turbidez y el contenido de metales pesados.	Parámetros Químicos	pH (Unidad de pH)	Fichas de Laboratorio
<b>VARIABLE DEPENDIENTE: LECHADA DE CAL</b>	Se denomina lechada de cal a un fluido compuesto por hidróxido cálcico en agua (Intical, s.f).	Se llevará a cabo la dosificación de lechada de cal a diferentes concentraciones, esto con la finalidad de analizar su eficiencia en la neutralización de aguas ácidas.		Turbidez (NTU)  Metales totales (Mg/L)  Hidróxido cálcico (Grs/cm <sup>3</sup> )  Agua (LTS)	

### ANEXO 3: INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Etapa	Muestra	Descripción	Cantidad de agua residual
<b>Etapa de Pretest</b>	P <sub>0</sub>	Muestra sin dosificación de lechada de cal	250 mililitros
	P <sub>1</sub>	Se agregó 5 gramos de lechada de cal	200 mililitros
	P <sub>2</sub>	Se agregó 10 gramos de lechada de cal	200 mililitros
<b>Etapa de Postest</b>	P <sub>3</sub>	Se agregó 20 gramos de lechada de cal	200 mililitros
	P <sub>4</sub>	Se agregó 50 gramos de lechada de cal	200 mililitros
	P <sub>5</sub>	Se agregó 80 gramos de lechada de cal	200 mililitros
	P <sub>6</sub>	Se agregó 120 gramos de lechada de cal	200 mililitros



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION

**LASACI**



**INFORME DE ANÁLISIS  
LASACI / IQUNT**

SOLICITANTE	: LUIS CORTEZ VELASQUEZ CRISTIAN PAZ CLAVO
MUESTRA	: AGUA
PROCEDENCIA	: Unidad Minera Carmen-Alto-Sayapullo-Gran Chimú-La Libertad
FECHA DE INGRESO	: 05 DE JULIO DEL 2021
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

DETERMINACIONES	Unidades	M01
pH	-	2.47
TURBIDEZ	NTU	49

PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDADES	RESULTADOS
ALUMINIO	Al	mg/L	0,9102
ANTIMONIO	Sb	mg/L	0,0420
ARSENICO	As	mg/L	0,236
BARIO	Ba	mg/L	0,0011
BERILIO	Be	mg/L	0,0065
CADMIO	Cd	mg/L	0,054
CERIO	Ce	mg/L	0,0321
COBALTO	Co	mg/L	0,0077
COBRE	Cu	mg/L	0,776
ORO	Au	mg/L	0,012
CROMO	Cr	mg/L	0,021
ESTAÑO	Sn	mg/L	0,110
ESTRONCIO	Sr	mg/L	0,0760
HIERRO	Fe	mg/L	1,213
LITIO	Li	mg/L	0,0031
MANGANESO	Mn	mg/L	0,976
MERCURIO	Hg	mg/L	0,213
MOLIBDENO	Mo	mg/L	0,0093
NIQUEL	Ni	mg/L	0,0076
PLATA	Ag	mg/L	0,321
PLOMO	Pb	mg/L	0,453
SELENIO	Se	mg/L	0,0217
SILICIO	Si	mg/L	4,8532
TALIO	Tl	mg/L	0,122
TITANIO	Ti	mg/L	0,0143
VANADIO	V	mg/L	0,0048
ZINC	Zn	mg/L	0,0123

MÉTODO: Espectrómetro de Emisión en Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) Prodigy

TRUJILLO 08 DE JULIO DEL 2021



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**

lasaciunt@gmail.com 949959632

**ANEXO 5: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE  
LABORATORIO DE AGUA RESIDUAL TRATADA CON  
LECHADA DE CAL**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO**  
LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION



**LASACI**

**INFORME DE ANÁLISIS  
LASACI / IQUNT**

SOLICITANTE	: LUIS CORTEZ VELASQUEZ CRISTIAN PAZ CLAVO
MUESTRA	: AGUA
PROCEDENCIA	: Unidad Minera Carmen-Alto-Sayapullo-Gran Chimú-La Libertad
FECHA DE INGRESO	: 28 DE MAYO DEL 2021
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

DETERMINACIONES	Unidades	M01
pH	-	12.33

PARÀMETRO	SÌMBOLO	UNIDADES	RESULTADOS
ALUMINIO	Al	mg/L	1,6102
ANTIMONIO	Sb	mg/L	0,0360
ARSENICO	As	mg/L	0,526
BARIO	Ba	mg/L	0,0108
BERILIO	Be	mg/L	0,0003
CADMIO	Cd	mg/L	0,020
CERIO	Ce	mg/L	0,0258
COBALTO	Co	mg/L	0,0033
COBRE	Cu	mg/L	0,544
ORO	Au	mg/L	0,046
CROMO	Cr	mg/L	0,034
ESTAÑO	Sn	mg/L	0,147
ESTRONCIO	Sr	mg/L	0,0830
HIERRO	Fe	mg/L	1,5744
LITIO	Li	mg/L	0,0016
MANGANESO	Mn	mg/L	0,8892
MERCURIO	Hg	mg/L	0,197
MOLIBDENO	Mo	mg/L	0,0080
NIQUEL	Ni	mg/L	0,0050
PLATA	Ag	mg/L	0,272
PLOMO	Pb	mg/L	0,274
SELENIO	Se	mg/L	0,0378
SILICIO	Si	mg/L	4,8532
TALIO	Tl	mg/L	0,173
TITANIO	Ti	mg/L	0,0170
VANADIO	V	mg/L	0,0088
ZINC	Zn	mg/L	0,0353

MÉTODO: Espectrómetro de Emisión en Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) Prodigio

TRUJILLO 02 DE JUNIO DEL 2021



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**

☎ 949959632 / 933623974

## ANEXO 6: PANEL FOTOGRÁFICO

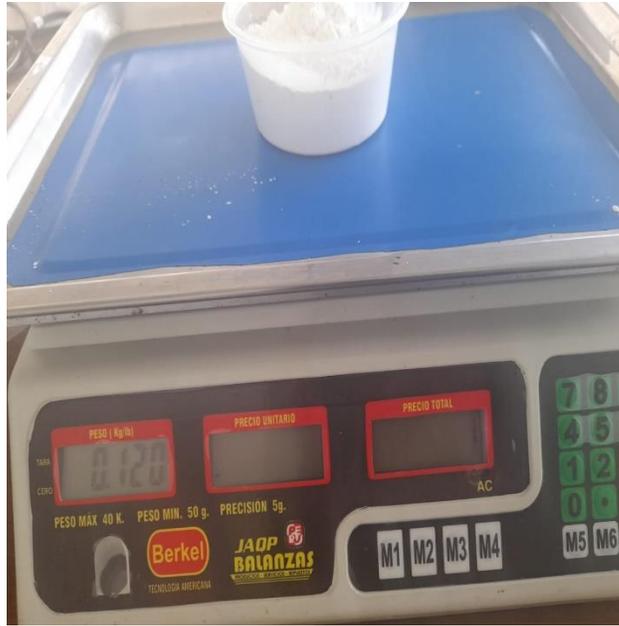
### RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE LAS POZAS DE LIXIVIACIÓN

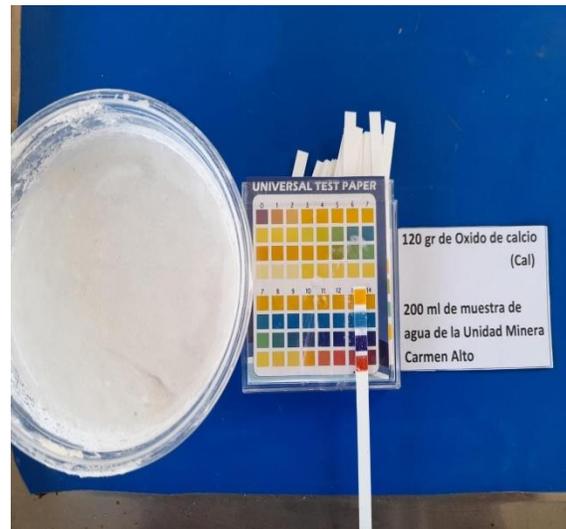
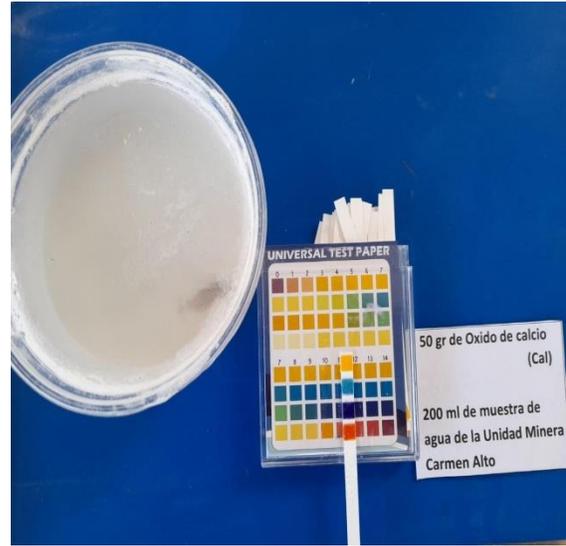
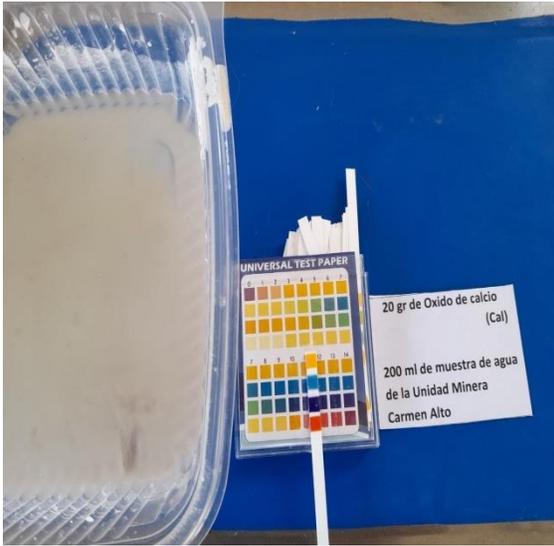
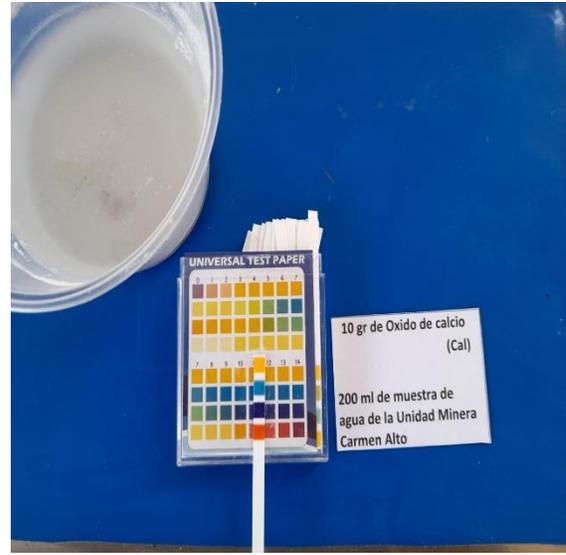




**ANÁLISIS QUÍMICO DE LA MUESTRA LLEVADA A CABO EN LABORATORIO**







## CONSTANCIA DE REVISIÓN DEL PROYECTO DE TESIS

El asesor Ing. Wilson Carlos Gómez Hurtado, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de Ingeniería de Minas, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo del proyecto de investigación del(los) estudiante(s):

- Cristian Omar Paz Clavo.
- Luis Fernando Cortez Velásquez.

Por cuanto, CONSIDERA que el proyecto de investigación titulado: “EFICIENCIA DE NEUTRALIZACIÓN DE AGUAS ÁCIDAS DE MINA CON LECHADA DE CAL EN LA MINERIA ARTESANAL DE LA REGIÓN LA LIBERTAD - 2021.” para aspirar al título profesional por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, AUTORIZA al(los) interesado(s) para su presentación.

---

Ing. Wilson Carlos Gómez Hurtado

Asesor