

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y

PREVENCIÓN DE RIESGOS

TESIS

**“EFECTO DE LA DOLOMITA SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE
METALES TÓXICOS PRESENTES EN EL PASIVO AMBIENTAL SAN
NICOLÁS, HUALGAYOC - CAJAMARCA, 2022”**

Autores:

Bach. Alvarado Salazar, Josué Luis

Bach. Quiroz Guerrero, Luis Adrian

Asesor:

Dr. Persi Vera Zelada

Cajamarca-Perú

Junio - 2023

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

TESIS

**“EFECTO DE LA DOLOMITA SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE
METALES TÓXICOS PRESENTES EN EL PASIVO AMBIENTAL SAN
NICOLÁS, HUALGAYOC - CAJAMARCA, 2022”**

**Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar el
Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos**

Autores:

Bach. Alvarado Salazar, Josué Luis

Bach. Quiroz Guerrero, Luis Adrian

Asesor:

Dr. Persi Vera Zelada

Cajamarca- Perú

Junio- 2023

COPYRIGHT © 2022 BY:

ALVARADO SALAZAR, JOSUÉ LUIS GARCÍA

QUIROZ GUERRERO, LUIS ADRIAN

Todos los Derechos Reservado

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
PREVENCIÓN DE RIESGOS
APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO AMBIENTAL

**“EFECTO DE LA DOLOMITA SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE
METALES TÓXICOS PRESENTES EN EL PASIVO AMBIENTAL SAN
NICOLÁS, HUALGAYOC - CAJAMARCA, 2022”**

Presidente :

Secretario :

Vocal :

Asesor :

Dedicatoria

Dedico con todo mi corazón esta tesis a mis queridos padres, ellos son el pilar fundamental en mi vida. Gracias a su sacrificio y esfuerzo he logrado ser un profesional. Con mucho cariño y amor para ustedes.

Bach. Quiroz Guerrero, Luis Adrian

Dedicado esta Tesis a mi bebé Ghaél Josué, el más grande motivo y mi fuerza de mi día a día, el motor de seguir creciendo como persona y como profesional cada momento. A mi madre, por siempre mostrarme el camino de superación y ser mejor cada día. A toda mi familia y amigos por siempre dar esos ánimos de seguir adelante hasta lograr los objetivos planteados.

Bach. Alvarado Salazar, Josué Luis

Agradecimiento

Agradecer a Dios por haberme brindado una familia tan unida y maravillosa, quienes siempre confiaron, apoyaron y motivaron a seguir adelante, donde cada granito de arena fue muy valioso para cumplir el objetivo de ser un profesional, los amo familia, gracias por confiar en mí.

Bach. Quiroz Guerrero, Luis Adrián

Agradecido con Dios, por darme la vida y la salud, por el trabajo continuo para que así pueda concretar y culminar mi carrera profesional.

A mi madre por su apoyo del día a día, sus ejemplos de humildad y sacrificio enseñándome a valorar hasta lo más mínimo que tengo, a mis hermanos por siempre dar su apoyo incondicional para así llegar a culminar esta meta trazada.

A mis docentes desde el inicio hasta el final de la carrera profesional, por todas las enseñanzas brindadas, en lo teórico y práctico, en lo personal y profesional.

A todas las personas que estuvieron involucradas de una u otra manera para que todo esté proyecto sea culminado con éxito.

Bach. Alvarado Salazar, Josué Luis

RESUMEN

El presente estudio de investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la dolomita sobre la concentración de metales tóxicos presentes en el pasivo ambiental San Nicolás, Hualgayoc – Cajamarca, 2022. Debido a que, las aguas ácidas implican un gran impacto para el ambiente y la salud de las personas al contener elevadas concentraciones de metales tóxicos como el arsénico, cadmio, cromo plomo y aluminio. Bajo ese enfoque, la presente investigación de tipo experimental cuantitativa analizó el efecto de la dolomita en la concentración de metales pesados del pasivo ambiental ya mencionado, obteniéndose una remoción promedio de 68.25% para Arsénico (As), 68.88% para Aluminio (Al), 72.75% para Cadmio (Cd), 87.69% para Cromo (Cr) y 83.43% para Plomo (Pb). Asimismo, se probó la Hipótesis alternativa mediante la prueba t de Studen con un valor de 198.746 y un nivel de significancia que no supera el margen de error aceptado (5%) para un nivel de confianza del 95%.

Palabras clave: Agua ácida, drenaje ácido de mina, metales tóxicos.

ABSTRAC

The objective of this research study was to evaluate the effect of dolomite on the concentration of toxic metals present in the environmental liability San Nicolás, Hualgayoc - Cajamarca, 2022. Since acidic waters have a great impact on the environment and the human health as it contains a high percentage of toxic metals such as arsenic, cadmium, chromium, lead and aluminum. Under this approach, the present quantitative experimental research analyzed the effect of dolomite on the concentration of heavy metals of the aforementioned environmental liability, obtaining an average removal of 68.25% for Arsenic (As), 68.88% for Aluminum (Al), 72.75% for Cadmium (Cd), 87.69% for Chromium (Cr) and 83.43% for Lead (Pb). Likewise, the alternative hypothesis was tested using the Student's t test with a value of 198,746 and a level of significance that does not exceed the accepted margin of error (5%) for a confidence level of 95%.

Keywords: Acid water, acid mine drainage, toxic metals.

ÍNDICE

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	vi
RESUMEN	vii
ABSTRAC	viii
ÍNDICE	xi
LISTA DE TABLAS	xv
LISTA DE FIGURAS	xvi
LISTA DE ANEXOS	xvii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1. Planteamiento del problema de investigación	1
1.1 Descripción de la Realidad Problemática	1
1.2 Formulación del problema	2
1.3 Objetivos de la Investigación	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos específicos	2
1.4 Justificación e importancia	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2. Teorías que sustentan la investigación	5
2.1 Antecedentes Teóricos	5

2.2	Marco teórico.....	13
2.2.1	El agua.....	13
2.2.2	Calidad del agua	13
2.2.3	Contaminación de cuerpos de agua	14
2.2.4	Aguas ácidas de mina.....	15
2.2.5	Origen y distribución de los metales tóxicos en la corteza terrestre.....	16
2.2.6	Tratamiento de remediación de efluentes de la industria minera con dolomita.....	18
2.2.7	La dolomita y usos para tratar el drenaje ácido de mina AMD.....	19
2.2.8	Propiedades Físicoquímicas de la dolomita	20
2.2.9	Principales Usos de la Dolomita.....	22
2.2.10	Yacimientos de la Dolomita en Perú	23
2.3	Marco Conceptual.....	25
2.4	Definición de términos básicos	26
2.4.1	Dolomita.....	26
2.4.2	pH	27
2.4.3	Metales tóxicos	27
2.4.4	Pasivo Ambiental.....	27
2.4.5	Arsénico	28
2.4.6	Cadmio	28
2.4.7	Cromo	29
2.4.8	Plomo	30
2.4.9	Aluminio	30
2.5	Hipótesis.....	31
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		32
3.	Tipo de Investigación	32

3.1	Investigación Experimental	32
3.2	Diseño de Investigación.....	32
3.3	Área de investigación	33
3.4	Población.....	33
3.5	Muestra	33
3.6	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	34
3.6.1	Materiales para la toma de muestra	34
3.6.2	Instrumento para laboratorio	34
3.6.3	Materiales para Laboratorio	34
3.6.4	Equipos.....	35
3.6.5	Reactivos	35
3.6.6	Técnicas	35
3.7	Metodología desarrollada durante la investigación	39
3.7.1	Trabajo de campo	39
3.8	Técnicas para el procesamiento y análisis de datos	40
3.8.1	Procedimiento Analítico	40
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN		41
4.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	41
4.1	Concentración Inicial de Remoción de Metales de las aguas ácida del pasivo ambiental San Nicolas con Aplicación de Dolomita.....	41
4.2	Porcentaje de Remoción de Metales de las aguas ácida del pasivo ambiental San Nicolas con Aplicación de Dolomita.....	42

4.3	Comparación de concentraciones finales de metales de las aguas ácidas del pasivo ambiental San Nicolás, con los ECA -establecidos en el D.S. 004-2017-MINAM	45
4.4	Contrastación de hipótesis	47
4.5	Discusión de resultados	52
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		54
5.1	Conclusiones	54
5.2	Recomendaciones	55
CAPÍTULO VI: LISTA DE REFERENCIAS		56
ANEXOS.....		66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fuentes de contaminación de metales en los alimentos	18
Tabla 2. Propiedades Físicas y Químicas de la Dolomita	21
Tabla 3. Ubicación geográfica del punto de muestreo	33
Tabla 4. Concentración Inicial de Metales en las aguas ácidas del pasivo ambiental San Nicolás.....	41
Tabla 5. Porcentaje de Remoción de Metales con aplicación de Dolomita.....	43
Tabla 6. Concentración Final de Metales Totales con 5 días de aplicación de dolomita	45
Tabla 7. Prueba de normalidad	48
Tabla 8. Estadísticos descriptivos de niveles de concentración de metales	48
Tabla 9. Prueba de contrastación de hipótesis	50
Tabla 10. Prueba t de student por tipo de concentración de metal	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Concentración Inicial de Metales comparados con ECA los para agua	42
Figura 2. Porcentaje Promedio de Remoción de Metales con aplicación de Dolomita	44
Figura 3. Evolución de Resultados Finales de Metales Totales con aplicación de Dolomita.....	46

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Localización del Pasivo Ambiental	66
Anexo 2. Toma de muestra de agua de pasivo ambiental	67
Anexo 3. Preservación de las muestras de agua de pasivo ambiental	68
Anexo 4. Resultados de Análisis en Laboratorio Acreditado	69

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1. Planteamiento del problema de investigación

1.1 Descripción de la Realidad Problemática

Hoy en día, la minería es parte del desarrollo económico de los países. Sin embargo, cabe resaltar, con el incremento de la actividad productora se viene creando grandiosos impactos ambientales. De todos los problemas que se presentan uno de los principales lo genera la minería de metales y carbón es la con el drenaje ácido de mina, el mismo que se forma comenzando en la oxidación de sulfuros metálicos en presencia de agua y oxígeno atmosférico. (Narrea, 2018).

De tal manera que se genera el drenaje ácido de mina; su formación es cíclico e invariable y permanece por años e incluso décadas mientras no sea suprimido. Por ende, si discurre a un cuerpo de agua, disminuirá el pH. En varios casos, estos impactos han resultado en la pérdida de miles de hectáreas de ganadería y agricultura de las colectividades campestres, gran pérdida de la biodiversidad, graves daños a la salud (morbilidad, mortalidad) de las poblaciones de estas zonas, y emigración obligada de comunidades. (López y Taboada, 2002).

En el Perú la minería aparece y se involucra en diversos sectores, uno de ellos el industrial que más contamina el recurso hídrico, ya que, se considera que las actividades realizadas en minería y metalurgia son las que descargan

principales efluentes al agua de nuestro país, calculando poco más de 10 billones de metros cúbicos. (Balvin y Amezaga, 2006).

Cajamarca, no se aleja de este gran problema, la minería arrasa también muchas controversias respecto al impacto que crea en medio ambiental, económico y social, por lo que aún pretende encontrarse un esclarecimiento para la vinculación entre las actividades de minería y el auge de la economía en nuestra zona tomando en cuenta la afectación a la cantidad y calidad del agua (Ortiz. A, 2015).

1.2 Formulación del problema

¿Cuál es el efecto de la dolomita sobre la concentración de metales tóxicos presentes en el pasivo ambiental San Nicolás, Hualgayoc – Cajamarca, 2022?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

- Evaluar el efecto de la dolomita sobre la concentración de metales tóxicos presentes en las aguas ácidas del pasivo ambiental San Nicolás, Hualgayoc – Cajamarca, 2022.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las concentraciones iniciales de arsénico, cadmio, cromo, plomo y aluminio en las aguas ácidas del pasivo ambiental San Nicolás, Hualgayoc – Cajamarca, 2022.

- Determinar el porcentaje de remoción de arsénico, cadmio, cromo, plomo y aluminio de las aguas ácidas del pasivo ambiental San Nicolás, Hualgayoc – Cajamarca, 2022 al aplicar dolomita.
- Comparar las concentraciones finales de arsénico, cadmio, cromo, plomo y aluminio de las aguas ácidas del pasivo ambiental San Nicolás, Hualgayoc – Cajamarca, 2022, con los ECA establecidos en el D.S. 004-2017-MINAM categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.

1.4 Justificación e importancia

La actual investigación consiste en primera instancia determinar la calidad de agua que proviene de la minería y discurre para el uso de la población de la parte baja, las mismas que en diversos casos tienen altas concentraciones de metales, por ello, se propone aplicar entre las diversas metodologías de tratamiento de aguas residuales existentes el uso de dolomita para aminorar las concentraciones de metales presentes en el agua, el mismo que deviene en un método muy importante y alternativo para el tratamiento de agua proveniente de efluentes mineros, ya que; algunos tratamientos de descontaminación son muy costosos, en cambio, este proceso resulta ser una alternativa más factible para restaurar nuestros cuerpos de agua.

El tratamiento con dolomita significa purificar el efluente en estudio, con el fin de disminuir las concentraciones iniciales de metales pesados presentes en el agua, que son los principales potenciales de contaminación del este recurso tan vital por la población.

La investigación que explica el efecto de la dolomita sobre la concentración de metales tóxicos presentes en el pasivo ambiental San Nicolás, Hualgayoc – Cajamarca, es una alternativa de solución que establece un eficaz método de remediación de drenajes ácidos de mina fundado en el uso de dolomita, lo cual permitirá disminuir las concentraciones de metales pesados presente en el río Tingo- Maygasbamba.

Asimismo, este método es considerado una alternativa de solución a la generación de efluentes industriales por el uso de dolomita, el cual se presenta como un mineral no metálico de carbonato doble de calcio y magnesio ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), que tiene una tendencia a actuar como un reactivo positivo de remediación, debido a sus características fisicoquímicas de disminuir la acidez de aguas ácidas, así como la cohesión de iones metálicos diluidos en aguas ácidas. (Berrospi, 2019).

Con el decrecimiento en las concentraciones de metales presentes en el recurso de la zona de estudio, los resultados en la etapa final deberían estar por debajo de los límites máximos permisibles de la normativa ambiental vigente, en el caso inverso, habrían una significancia impresionante debido a que contaminan los cuerpos de agua y el suelo.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2. Teorías que sustentan la investigación

2.1 Antecedentes Teóricos

De acuerdo con Tarazona (2022), en su investigación se planteó señalar el efecto de aplicar diferentes concentraciones de dolomita e hipoclorito de sodio en la precipitación de metales pesados en aguas ácidas provenientes de la mina Volcán en la laguna Yanamate, Pasco 2021. La metodología de dicha investigación se centró en examinar las muestras de 5 puntos de drenaje de ácido de mina, aplicando un procedimiento con dolomita e hipoclorito de sodio; la muestra inicial se remitió a un laboratorio certificado para el análisis físico - químico y biológico, de la misma forma se realizó con los tratamientos correspondientes que se centró en disminuir los iones metálicos pesados con la finalidad de comprobar la efectividad del tratamiento. Se consiguió la desunión de metales pesados en uno y otro tratamiento, con 100 gr. de dolomita el plomo de 0.3200 ppm o mg/L a 0.0060 mg/L, el hierro de 245.8930 mg/L a 0.4009 mg/L, el zinc de 7.0391 mg/L a 3.4221 mg/L, de igual modo aplicado los 100 ml de hipoclorito de sodio se redujo el plomo inicial de 0.3200 a 0.0013 ppm, el hierro de 245.8930 a 0.2665 mg/L y el zinc de 25.8074 a 3.4221 mg/L. Finalmente se concluyó, en que la aplicación de dolomita e Hipoclorito de Sodio redujo considerablemente la concentración de metales pesados tales como plomo, hierro y zinc, los principales presentes en las aguas ácidas de la mina volcán.

En la investigación llevada a cabo por Chamorro y Rodríguez (2019), se trazaron como objetivo establecer la influencia del tiempo de presencia y concentración que tiene la Dolomita en la reducción de las concentraciones de cobre en los efluentes de minería en la ciudad de Trujillo, 2019. Su método se aplicó a 27 muestras, cada una de ellas con un volumen de 100 mL de efluente con concentraciones de cobre, el proceso de absorción se llevó a cabo mediante procesos temperatura ambiente (25°C), seguidamente, el absorbente se colocó en un vaso precipitado, que contenía la solución de cobre y una concentración de 1500, 2000 y 2500 mg/L de Dolomita, y después, a través de una agitación magnética cada 20, 30 y 40 minutos respectivamente, de la cual se obtuvo una concentración inicial de cobre de 560.01 ppm presentes en la solución y se disminuyó hasta 17.92 ppm, además el tiempo óptimo para disminuir el cobre del efluente minero artificial fue de 96.80% a 30 minutos de tratamiento, también se determinó que la concentración óptima de Dolomita para disminuir el cobre fue de 2000 ppm. En conclusión, se determinó una significativa influencia de la interacción de ambas variables (tiempo de residencia y concentración de Dolomita) encima de la comprobado por el examen de varianza a un nivel de significancia variable dependiente (porcentaje de disminución de cobre), comprobado por el examen de varianza a un nivel de significancia de 95%.

Chambi (2019), en su investigación evaluó la eficacia de remoción de SST a través de la aplicación de dolomita y CaSO_4 – sulfato de calcio, en el tratamiento de residuos líquidos de minería aluvial del distrito de Ananea, Puno.

Para la metodología se recolectó muestras de 3 litros para cada repetición de ensayo haciendo un total de 15 litros, los mismos que se analizaron en un laboratorio de calidad ambiental certificado, los sólidos suspendidos totales se establecieron a través del método de diferencia de pesos y el pH mediante un potenciómetro, así mismo, la dosis óptima de Dolomita y Sulfato de Calcio se estableció mediante disoluciones de 3g, 5g, 6g, 7g y 10 g en 500 ml para tratar el agua. Los resultados arrojaron dosis de 7g y 10g para los dos coagulantes, en el caso de la Dolomita se removió 92.37% y 92.37% de sólidos suspendidos totales respectivamente y el sulfato de calcio logro remover 88.07% y 89.92 %. En relación al pH reveló un nivel medio de 6.66, de igual manera se encontró baja variación entre los valores. Finalmente, los sólidos suspendidos reflejo en una elevada carga con un promedio de 60.440 mg/l. Del estudio se concluyó, que la cantidad óptima de Dolomita fue de 7g con un tiempo menor de 9 minutos con 36 segundos para precipitar los SST, respecto al sulfato de calcio la dosis óptima fue de 10g con un tiempo de 21 minutos con 4 segundos para precipitar los SST de las aguas de minería aluvial.

Montoya y Rodríguez (2019). En su estudio de investigación se determinó la influencia del tiempo de residencia y concentración de dolomita en la disminución de cobre de efluente minero artificial. El estudio experimental se ejecutó empleando una medio con contenidos de cobre sometida a distintos tiempos de residencia de 20, 30 y 40 minutos respectivamente, y diferentes concentraciones de dolomita a 1500, 2000 y 2500 ppm, con concentración originaria de cobre de 560.01 ppm.

El resultado de la investigación concluyó que la disminución de cobre (concentración inicial: 560.01 mg/L) a 20 minutos y 1500 mg/L de concentración de Dolomita fue de 80.33 % (110.12 ppm Cu) y de acuerdo con el tiempo de residencia se mejoraba y la concentración de dolomita aumentaba, la disminución de cobre también aumentaba, por lo que se llegó a disminuir de 96.80 % (17.92 ppm Cu) a un parámetro de 30 minutos y 2000 mg/L de concentración de dolomita (Montoya y Rodríguez, 2019).

Ayala, C. (2018), en su tesis tuvo como objetivo evaluar el nivel de influencia de dosis de Cal en el tratamiento de las aguas ácidas de la quebrada mesa de plata, por lo que inicialmente hicieron trabajos de cálculo del caudal, programación de recolección de muestras, caracterización de la calidad del recurso hídrico con datos de campo y laboratorio, se valoró la cal útil para empezar a realizar los experimentos por lo que se inició regulando las RPM del equipo Jar –test en 1000, 800, 600 y 400 RPM respectivamente.

Después de este proceso se empezó con los experimentos, la muestra 1 a 1000 revoluciones por minuto en un promedio de 30 minutos de agitación, 1 g de cal y 30 minutos en descanso; para la muestra 2 a 800 RPM, 25 minutos de agitación, 0.75 g dolomita y 30 minutos de pausa; y para la penúltima muestra a 600 revoluciones por minuto, 20 minutos de agitación, 0.05 g de cal y 30 minutos de reposo; finalmente la muestra 4 a 400 RPM, 15 minutos de agitación, 0 g de cal, 30 minutos de reposo, todas experimentadas en 2 litros de agua, se eligió por la opción de 0.75 g de cal/ 2 litros, debido a que, esta

concentración fue la que más se ajustó a los parámetros del agua a un pH 8.09 (Ayala, 2018).

La remoción de material inorgánico de Al 89 %, As 71 %, Cd 98 %, Fe 99 %, Mg 87 %, Mn 99 %, Na 14 %, Pb 89 %, Tl 60 %, Zn 98 % adquiriendo adecuación a los parámetros de la normativa ambiental, según D.S N° 004-2017-MINAM, Categoría 3 – Bebida de Animales. De la investigación se concluyó que la dosificación de cal influye de manera positiva en el tratamiento de las aguas ácidas de la Quebrada Mesa de Plata, anulando en gran medida los valores iniciales. (Ayala, 2018).

Rodríguez y Howard (2018) investigaron un tratamiento especial para mitigar la contaminación relaves mineros de aguas en Cerro Verde mediante la sedimentación de cationes en función de la aplicación de dolomita como agente remediador, el cual muestra el proceso de tecnología de tratamiento como una opción de solución en la remediación de efluentes metalúrgicos con el empleo de Dolomita.

A través de pruebas metalúrgicas experimentales se pudo reducir las concentraciones del ion de cobre diluido en los residuos líquidos de la presa de relaves de Cerro Verde. En la presente tesis, se utilizó el mineral Dolomita, el cual es un mineral no metálico de carbonato doble de calcio y magnesio tiene una tendencia de remediación, por sus propiedades fisicoquímicas siendo una de ellas el efecto coagulante de los metales pesados verificándose que es más eficiente que la cal para neutralizar la capacidad de generación de acidez que contienen los metales pesados. (Rodríguez y Howard, 2018).

Ruiz, J. (2018) en su tesis presenta una alternativa para el tratamiento de los efluentes de la planta concentradora Victoria en la ciudad de Yauli- La Oroya, que se enfoca en el uso de dolomita mineral que favorece la desunión de metales pesados (cobre y zinc), potencializando la mejoría en la calidad de agua de los efluentes industriales en especial de las plantas concentradoras de minerales, la remoción de iones metálicos se ve favorecido por la capacidad adsorbente de la dolomita, además al ser un compuesto de carbonato doble de calcio y magnesio ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) ayuda a neutralizar las aguas que presentan pH ácidos. Se realizaron ensayos calculando las disminuciones de las concentraciones de Cu y Zn presentes en las aguas ácidas desde un valor inicial de 42,270 hasta 2,075 mg/L y de 202,465 hasta 5,53 mg/L, respectivamente.

Así mismo, se valoró los tiempos de agitación para reducir el Cu (II) obteniendo el mejor resultado a partir de los 45 minutos con una desunión del 95,09% de Cu, por otro lado, para el Zn (II) también se obtuvo los resultados a partir de los 45 minutos con mayor reducción logrando una remoción del 97,27% de Zn. Se usó tres (03) dosis de dolomita 0,5 g, 1 g y 2 g, para evaluar su efecto sobre la reducción en las concentraciones de ambos metales en estudio, con 1g en comparación al Zn (II) que fue de 2g, siendo la adecuada dosis la mayor influencia en la reducción de los valores para el Zn.

Huallpa, C. (2017) en su tesis determinó la influencia de la dolomita en la remoción del tratamiento para relaves mineros, mediante el efecto coagulante y neutralizante de la Cal en la minería Arasi – Puno; la investigación se realizó en cuatro etapas: la primera, que consistió en la medición de caudal y la

caracterización del agua ácida de mina, la segunda sobre ensayos de laboratorio con la neutralización de cal y análisis de los parámetros físico-químicos e inorgánicos del agua tratada obtenida de los ensayos de laboratorio, en tercer lugar el ajuste del tratamiento de cal al actual sistema de tratamiento, y finalmente la etapa de los análisis de laboratorio a nivel de campo.

Los resultados derivados en la separación de metales pesados en el efluente a nivel campo a un pH de 8.1, Conductividad Electrica de 5.14 mS/cm y OD de 5.54 mg/l arroja resultados de remoción de 99% para todos los metales. Del estudio se concluye que, al equilibrar el drenaje ácido con lechada de cal existe una gran influencia en la remoción considerable de los parámetros físico químico e inorgánico (Huallpa, 2017).

Tavera, J. (2015), en su investigación determinó el grado de influencia de la acidez en la reducción de concentraciones de plomo usando dolomita natural como adsorbente a escala de laboratorio, para la metodología de este estudio se aplicó un montaje experimental conteniendo dolomita interconectadas en cuatro volúmenes iguales (20L.) a concentración constante de 50 ppm en cuatro etapas distintas de pH en cada volumen. El diseño experimental elegido fue completamente al azar (DCA) con 3 procedimientos y 3 repeticiones al agua contaminada le tomo un tiempo de 96 horas atravesar el sistema.

Las concentraciones finales del metal del agua de salida del sistema, fueron determinadas por espectrofotometría de absorción atómica. Se redujo la concentración de Pb de 50 a 2,893 mg/L consiguiendo un porcentaje de

remoción de 94,21 %, encontrado en el primer tratamiento (A1). Los resultados encontrados permiten concluir, que la acidez si influye en la remoción de plomo (Pb^{2+}), la acidez óptima oscila en rangos de 1,5 – 3,5 de pH y que la dolomita natural puede ser utilizada como adsorbente de plomo en el tratamiento de efluentes mineros ácidos con alto contenido de plomo (Pb^{2+}). (Tavera, 2015). Chávez, S. (2009), en su investigación abordó el tratamiento de Remediación de Relaves Mineros con énfasis en la eliminación de Cobre con Dolomita, este estudio muestra una alternativa de solución en la remediación de relaves mineros, bajo la aplicación de dolomita calcinada y sin calcinar y a través de ensayos metalúrgicos experimentales se logró minimizar las concentraciones del ión de cobre diluido presente en los efluentes derivados del Proceso Metalúrgico de Flotación de la Planta Concentradora de la UNI.

La aplicación del Tratamiento de Remediación tuvo como objetivo lograr que los relaves mineros descargados y tratados con dolomita presenten elevados porcentajes de disminución en las concentraciones de metales como cobre. (Chávez, 2009).

2.2 Marco teórico

2.2.1 El agua

El agua es esencial para la vida y todos necesitan tener recursos suficientes (suficientes, seguros y baratos). Un mejor acceso al agua potable puede tener mejores beneficios para la salud. Debemos contribuir en lo posible para mantener el agua potable lo más segura posible (Ginebra, 2011).

El agua es considerada un solvente universal ya que, puede disolver o dispersar la mayoría de las sustancias con las que entra en contacto, ya sean sólidas, líquidas o gaseosas, y formar con ellas iones, complejos combinados y partículas insolubles, coloidales o simplemente dispersas, así como, diferente tamaño y peso (OPS/CEPIS, 2004).

2.2.2 Calidad del agua

La calidad del agua es la capacidad intrínseca que tiene esta para responder a todos los usos que se podrían obtener de ella desde un punto de perspectiva funcional, de otro lado como las condiciones que se deben dar en el agua para que mantenga un ecosistema más equilibrado y desempeñe con determinados objetivos, o en su defecto con ciertas características físicas, químicas y microbiológicas, todo esto desde el punto de vista ambiental (BCN, 2016).

El término "calidad del agua" está ligado al conjunto de parámetros que indican que el agua se puede utilizar para diferentes propósitos, inclusive fines domésticos, de riego, recreativos e

industriales; además de un conjunto de características que pueden trastornar su adaptabilidad hacia un uso determinado, la relación entre esta calidad del agua y las necesidades del usuario (Tamani, 2014).

Las propiedades físicas del agua son las que determinan sus características en respuesta a los sentidos de la vista, el tacto, el gusto y el olfato, como los sólidos en suspensión, la turbidez, el color, el sabor, el olor y la temperatura. De otro lado, los parámetros químicos se relacionan con la capacidad del agua para disolver varias sustancias, de las cuales se puede mencionar la alcalinidad, dureza, fluoruro, materia orgánica, oxígeno disuelto, metales y nutrientes. Finalmente, los parámetros biológicos nos muestran la presencia de especies biológicas en el agua y su evaluación son muy importantes porque son un indicador de la calidad de la fuente de agua (Tamani, 2014).

2.2.3 Contaminación de cuerpos de agua

La calidad del agua puede verse trastornada por actividades naturales o humanas los mismos que tienen efectos adversos que alteran sus valores físicos, químicos y biológicos. Debido a ello, cualquier cambio o alteración que tenga un efecto inaceptable en su utilidad o valor ambiental se considera contaminación del agua y esta contaminación es el elemento o sustancia que causa este cambio en el recurso más importante que tenemos en nuestro planeta (Corzo, 2009).

Su origen puede ser ocasionado por descargas puntuales y no puntuales o también llamada difusas, de las cuales en la primera los

contaminantes se concentran en algún lugar, por ejemplo, tenemos a los sistemas de aguas residuales municipales e industriales. Por otro lado, la segunda se da por aguas de lluvia que conllevan a escurrimientos superficiales los cuales arrastran contaminantes naturales, así como los que se conlleva de la actividad humana, depositándose definitivamente en lagos, ríos, costas, pantanos, humedales y aguas subterráneas (Corzo, 2009).

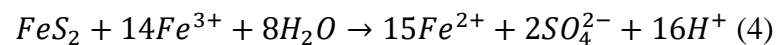
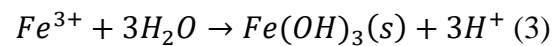
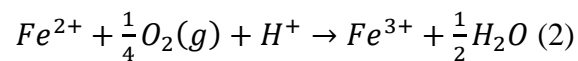
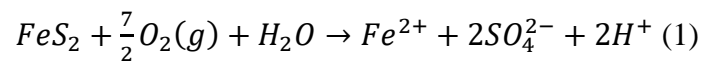
2.2.4 Aguas ácidas de mina

La formación de aguas residuales ácidas de las minas es considerablemente reconocida como uno de los primordiales problemas ambientales originados por la industria minera en todo el mundo. Los minerales responsables son los sulfuros de hierro (pirita, FeS_2 y pirrotita, Fe_{1-x}S), que son estables e insolubles mientras no están en contacto con el agua y el oxígeno atmosférico (Ruiz, 2018).

Para la generación de las aguas ácidas de mina se producen otros procesos ya sean químicos, físicos y biológicos. Como aproximación inicial, los pasos que dan lugar a la degradación de la calidad del agua al introducir metales tóxicos disueltos son: Oxidación de pirita, en condiciones de atmósfera oxidante, cuando la minería es activa. Oxidación de los sulfuros restantes, con menos susceptibilidad a la oxidación que la de la pirita. Lixiviación de arcillas, carbonatos y feldespatos de la roca huésped debido a la acción de las aguas ácidas formadas (Ruiz, 2018).

El primordial responsable de la formación de aguas ácidas es el proceso de oxidación de la pirita; la cual se ve favorecida en lugares con minería por la disposición con la que el aire ingresa en contacto con los sulfuros a través de los trabajos mineros de acceso y por las grietas existentes en las pilas de estériles y residuos, así como, al aumento de la superficie de contacto de las partículas. Los elementos que incurren en la reproducción ácida son el volumen, la concentración, el tamaño de grano y la distribución espacial de la pirita (López, Aduvire y Baretino, 2002).

Reacciones que intervienen en la oxidación de la pirita se representan de la siguiente manera:



2.2.5 Origen y distribución de los metales tóxicos en la corteza terrestre

Su presencia en ciertas cantidades en seres vivos lleva aparejadas disfunciones en el ejercicio de sus organismo; resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Los principales son: Cd, Hg, Pb, Ni, Sb, Bi. Estos elementos se encuentran en forma natural sobre la tierra, los que se convierten en contaminantes si su distribución en el ambiente se ve alterado mediante la actividad

humana, un ejemplo las descargas industriales y los desechos mineros (Vallarino, 2011).

Esta contaminación deviene en diversos efectos a la salud y el ambiente, en cualquier caso, es impresionante por su alto grado de toxicidad (Vallarino, 2011).

La contaminación industrial, tecnológica, agrícola, minera y el uso masivo de diferentes fertilizantes químicos en el suelo con concentración de metales tóxicos en ríos, plantas, animales y alimentos perturban el equilibrio de la cadena alimentaria, constituyendo potenciales amenazas para la naturaleza y la sociedad, así como, graves dificultades para la salud en humanos y animales (Londoño y Muñoz, 2016).

El elevado porcentaje de estos metales: plomo, mercurio, cadmio, arsénico entre otros, en el ambiente beneficia el aumento de índices de la problemática mencionada anteriormente (Londoño y Muñoz, 2016).

Tabla 1.*Fuentes de contaminación de metales en los alimentos*

Origen de contaminación	Metal Tóxico
Natural, proveniente del suelo.	Cadmio, bromo, flúor, cobre
Uso de insecticidas, desinfectantes y medicamentos.	Arsénico, cobre, plomo, mercurio
Del suelo arenoso y envase de vidrio.	Silicio
Por el equipo de procesamiento.	Cobre, hierro, níquel, estaño, plomo, zinc
Debido al almacenamiento.	Hierro, níquel, estaño, plomo, cadmio, estroncio
Por oxidación en el envase.	Hierro y cobre
Debido al procesamiento.	Cobre, cadmio, arsénico
Suplementos alimenticios en dietas de animales.	Cobre, cadmio, hierro, zinc, arsénico.

Fuente: Londoño, L., Londoño, P. & Muñoz (2016).

2.2.6 Tratamiento de remediación de efluentes de la industria minera con dolomita

Es una de las soluciones al problema de generación de aguas ácidas de los efluentes de la industria minera que provienen de las

técnicas metalúrgicos de flotación. Este tratamiento alternativo se instituye en una poderosa forma de remediación de efluentes metalúrgicos a un bajo costo por la gran cantidad de dolomita (Romero, Flores & Arévalo, 2010).

La neutralización es incitada por las propiedades fisicoquímicas de adsorción con las que cuenta la dolomita, un mineral no metálico de carbonato doble de calcio y magnesio ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) que lleva a la reducción de las concentraciones del ion metálico de cobre disuelto presente en los efluentes procedentes de métodos metalúrgicos de flotación hasta los valores cercanos a los límites máximos permisibles, los cuales son indicadores de un progreso en la calidad de agua de los ríos que se ve dañada por el derrame de aguas de desechos industriales procedentes principalmente de métodos metalúrgicos de plantas concentradoras (Romero, Flores & Arévalo, 2010).

2.2.7 La dolomita y usos para tratar el drenaje ácido de mina AMD

➤ Dolomita

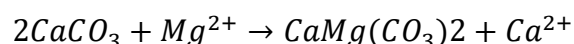
Es un mineral combinado por carbonato de calcio y magnesio [$\text{Ca Mg} (\text{CO}_3)_2$], que se forma por la sustitución e intercambio iónico de un catión Ca^{2+} por otro catión Mg^{2+} en los carbonatos cálcicos (Berrospi, 2019).

Es un inorgánico muy habitual en las rocas sedimentarias continentales y marinas, se hallan en capas de diversos centenas de

metros, y es uno de los minerales más dispersados en las rocas sedimentarias carbonatadas; se forma por ejercicio del agua rica en magnesio, sobre depósitos calcáreos, en donde se produce un creciente reemplazo del calcio por el magnesio; a este proceso se le denomina dolomitización (Lucas & Romero, 2015).

➤ **Dolomitización**

Se ocasionan como consecuencia de métodos post sedimentarios: las calizas, desarrolladas por los procesos antes descritos, pueden colocarse en contacto con aguas enriquecidas en magnesio, lo que da origen al proceso llamado de Dolomitización (Lucas & Romero, 2015).



2.2.8 Propiedades Fisicoquímicas de la dolomita

- Este inorgánico reacciona ligeramente al emplear ácido clorhídrico diluido al 5% pero en forma distinta que el carbonato de calcio puro. La Dolomita contiene el 30.41% de CaO , 21.86% de MgO y el 47.73 de CO_2 , en su forma más pura (Bruce, Rodríguez & Prada, 2018).
- Su color varía entre blanco, gris rosado, rojizo, negro, a veces con matices amarillento, parduzco o verduzco y los más predominantes el incoloro o blanco grisáceo (Desarrollo Minero, 2021).
- Tiene una dureza de 3.5 a 4, un peso específico de 2.9 g/cm³ (Desarrollo Minero, 2021).

- La Dolomita neutraliza aguas ácidas (Guerra & Hiyagon, 2012).
- Absorbe metales pesados en solución y sedimentación de metal pesado en suspensión (Guerra & Hiyagon, 2012).
- Separa sólidos por atracción superficial y permitan su fácil filtración (Guerra & Hiyagon, 2012).
- Separan impurezas en dispersión por emulsión que no pueden sedimentarse ni ceden a la centrifugación (Guerra & Hiyagon, 2012).

Tabla 2.

Propiedades Físicas y Químicas de la Dolomita

Propiedades químicas	Caliza alta de calcio	Dolomita
Carbonato de calcio, $CaCO_3$	98.00 %	55.35 %
Carbonato de calcio, CaO	54.80 %	31.00 %
Carbonato de magnesio, $MgCO_3$	0.73 %	42.25 %
Óxido de magnesio, MgO	0.35 %	20.20 %
Sílice, SiO_2	0.66 %	1.65 %
Óxido de hierro, Fe_2O_3	0.10 %	0.23 %
Alúmina, Al_2O_3	0.22 %	0.21 %
Azufre	0.01 %	0.01 %
Na_2O	0.01 %	0.03 %

Mn_2O_3	0.01 %	0.02 %
TiO_2	0.02 %	0.01 %
K_2O	0.05 %	0.08 %
P_2O_5	0.00 %	0.00 %
Pérdida por ignición	43.30 %	46.40 %
Propiedades físicas	Caliza alta de calcio	Dolomita
Gravedad específica, volumen, ASTM C127	2.710	2.773
Absorción, ASTM C127	0.25 %	0.75 %
Abrasión, ASTM C131	27.60 %	20.20 %
Valor, Sulfato de Magnesio, ASTM C88	1.04 %	0.34 %
Partículas trituradas	100.00 %	100.00 %
Partículas elongadas	0.00 %	0.00 %
Índice del trabajo de enlace	10.8 kWh/ ton corta	8.8 kWh/ ton corta

Fuente: Dirección General de Desarrollo Minero (2021).

2.2.9 Principales Usos de la Dolomita

Entre sus principales usos esta: como piedra para edificios, de acuerdo a sus propiedades físicas; de otro lado en la industria de cementos Portland o cal; plásticos; pinturas; polvos para dientes; antiácido; en la separación de dióxido de carbono; entre otros, de

acuerdo a sus propiedades químicas (Dirección General de Desarrollo Minero, 2021).

Agricultura: se puede utilizar como neutralizante para la acidez del suelo y para contrarrestar la acidez como resultado del uso de tales fertilizantes como la urea (Flores, 2009).

Industria del vidrio: se usa en la fabricación de vidrio plano, dónde el óxido de magnesio interviene como estabilizador para optimar la resistencia general del vidrio al ataque natural o químico causado por humedad o gases (Dirección General de Desarrollo Minero, 2021).

Industria química: Utilizado en el proceso para obtener sales de magnesio y como mineral de magnesio (Mg) metálico, usado también como material de construcción, para cementos específicos y como piedra ornamental; de utilidad científica, es un excelente aislador térmico (Bruce, Rodríguez & Prada, 2018).

Sirve para fabricar aceros, de otro lado como lubricante en el proceso de trefilado, así mismo, aplicado como modelos de derretimiento, ya que, estos lo empleas para impedir la adherencia del metal fundido al molde, fundamentalmente en el lingoteado, así como neutralizador de los ácidos usados en el proceso de limpieza del acero (Dirección General de Desarrollo Minero, 2021).

2.2.10 Yacimientos de la Dolomita en Perú

La dolomita surge esencialmente en aglomeraciones rocosas extensas formando las calizas dolomíticas y su similar cristalino, el

mármol dolomítico. Se estima que la dolomita, como roca, es de principio secundario, desarrollado a partir de la caliza común, sustituyendo parte de *Ca* por *Mg*. El reemplazo puede ser solamente parcial y de esta manera la mayor parte de las rocas dolomíticas son composiciones de dolomita y calcita (Berrospi, 2019).

Surge como mineral filoniano hidrotérmico, sustancialmente en los filones de plomo y zinc que transfieren las calizas, asociado a fluorita, calcita, baritina y siderita (Lucas & Romero, 2015).

La dolomita marmoleada llamadas también Premesoicas, se muestran en distintas partes de la Cordillera de la Costa en el Departamento de Ica se usa como piedra ornamental y se les podría aprovechar por su constitución química. Este mineral en el Departamento de Ica, se halla en el gran yacimiento de magnetita de Marcona (Flores, 2009).

En Arequipa se localiza básicamente Dolomita calcita y sílice con por lo menos 98%, y de preferencia por lo menos 99% del mineral será Dolomita y sílice (Bruce, Rodríguez & Prada, 2018).

2.3 Marco Conceptual

En el presente estudio de investigación se evaluará el efecto de la dolomita sobre la concentración de metales tóxicos presentes en las aguas ácidas del pasivo ambiental San Nicolás, Hualgayoc – Cajamarca, 2022. Se sabe que, las aguas ácidas devienen un gran impacto en el ambiente y la salud humana, ya que, contienen un elevado porcentaje de metales tóxicos, que son muy peligrosos como el arsénico, cadmio, plomo, y otros como el sodio. Para impedir este daño ambiental se deben adoptar medidas, tanto preventivas (o pasivas) como activas a través de la implantación de métodos de tratamiento de estos efluentes ácidos. Además, las aguas ácidas de mina se relacionan a los depósitos de sulfuros polimetálicos. En menos cantidad también se producen en las minas de carbón, que contienen pequeñas concentraciones de sulfuros. Los sulfuros son constantes en el subsuelo, donde no hay oxígeno. Mientras se mantengan esas condiciones no producen ningún problema. No obstante, si estos minerales se exteriorizan al oxígeno y agua, se diluyen generando acidez y liberando el hierro y muchos otros elementos que contienen.

Corzo, C. (2009) asevera que, los cambios en la calidad del agua se generan por los efectos dañinos de las actividades humanas o naturales que cambian los valores físicos, químicos y biológicos del agua. Se considera en ese momento que la contaminación del agua es cualquier transformación que tiene un resultado inaceptable en su utilidad o valor ecológico, y los contaminantes son elementos o sustancias que causan tales cambios.

Igualmente, Londoño y Muñoz (2016) demuestran que la contaminación de los recursos naturales está cada vez más alarmante, y uno de los componentes es la presencia de diversos metales tóxicos en una elevada participación en estos recursos, de los que podemos referirse, el plomo, mercurio, cadmio, arsénico entre otros, estos contribuyen a aumentar los índices de la problemática mencionada.

Ante esto, Ruiz, J. (2018) muestra que la producción de aguas ácidas de mina ocasiona diferentes procesos ya sean físicos, químicos y biológicos. Por otro lado (Andamayo, 2019) indica que los relaves mineros, son las más trascendentales fuentes de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas en el mundo, por la gran cantidad de sólidos, sulfatos y metales disueltos (Fe, Al, Mn, etc.). Las minas ácidas logran efectos catastróficos a largo plazo en los componentes ambientales, afectando principalmente a los ríos, arroyos y vida acuática.

2.4 Definición de términos básicos

2.4.1 Dolomita

La dolomita, $CaMg(CO_3)_2$, después de la calcita ($CaCO_3$), es el segundo mineral carbonatado más cuantioso en la corteza terrestre. Este mineral es el componente principal de la roca dolomita, una roca que ha sido propagado en la corteza terrestre a lo extensamente a lo largo de la historia geológica. Es un característico mineral sedimentario y

diagenético, también, puede surgir en ocasiones en las rocas ígneas (ej., carbonatitas) (Woolley & Church, 2005).

2.4.2 pH

El potencial de hidrógeno (pH) es una medida de acidez, que indica la concentración de iones hidronio (H_3O^+) presentes en ciertas disoluciones. Su comprobación se realiza mediante potenciometría, con un electrodo conocido como pHmetro, pero también pueden usarse sondas multiparamétricas. Estos aparatos reconocen los niveles de otras variables, como temperatura, amonio y oxígeno disuelto (Rodó, 2018).

2.4.3 Metales tóxicos

Es un término usado para los metales ferrosos y no ferrosos que poseen una densidad mayor que ~ 4 y propiedades que consiguen ser peligrosas en el ambiente y la salud humana. Universalmente, el término contiene metales como el cobre, el níquel, el zinc, el cromo, el cadmio, el mercurio, el plomo, el arsénico, y puede aplicarse al selenio y a otros (Berrospi, 2019).

2.4.4 Pasivo Ambiental

Es una sucesión de perjuicios al ambiente no remediados producidos por la empresa a lo largo de su coexistencia, durante su ejercicio normal o en caso de emergencia. Es decir, trata los problemas que se ocasiona hacia la comunidad donde opera. Estos compromisos en ocasiones no son examinadas por la jurisdicción actual, y en otros casos

la ley imputa limitaciones y prohibiciones que no se cumplen (Russi & Martínez, 2002).

2.4.5 Arsénico

El arsénico se localiza muy considerablemente distribuido en la naturaleza y se encuentra principalmente en minerales sulfurados. La arsenopirita (FeAsS) es la forma más abundante. La forma de metal es un conductor de calor y electricidad, se rompe fácilmente y tiene escasa ductibilidad (Londoño – Franco, Londoño – Muñoz & Muñoz – García, 2016).

Las formas inorgánicas de arsénico son solubles y altamente tóxicas, y los cambios que inducen pueden demorar años en aparecer, dependiendo del nivel de exhibición; los efectos tóxicos del arsénico son la reproducción de lesiones cutáneas, diabetes, neuropatía periférica, problemas renales, síntomas gastrointestinales, enfermedades cardiovasculares y cáncer (Terrel & Romaní, 2019).

2.4.6 Cadmio

El cadmio (Cd) es un metal tóxico que se asocia al medio ambiente desde fuentes naturales y antropogénicas. Los recursos naturales contienen la actividad volcánica, los incendios forestales y el envío de partículas del suelo por el viento. Las fuentes antropogénicas incluyen la minería, el uso de fertilizantes fosfatados, la fundición de metales, la quema de combustibles fósiles, la producción de baterías, pigmentos, cemento y plásticos (Mero, et. al., 2019).

Uno de los ecosistemas más dañados son los ríos ya que, recogen en gran cantidad aguas servidas domesticas e industriales, este metal se junta en los sedimentos de los ríos para después ser absorbidos por plantas y animales (Mero, et. al., 2019).

Está comprobado que el Cd perjudica los esqueletos, riñones, pulmones, testículos y sistema nervioso central de los humanos y animales, incitando diabetes, cáncer, hipocalcemia y osteoporosis. De otro lado, en las plantas crea inhibición de crecimiento, estrés oxidativo, inhibición de enzimas, daño al ADN, oxidación de proteínas, clorosis y peroxidación lipídica (Mero, et. al., 2019).

2.4.7 Cromo

El Cromo (Cr) es un metal radiante, de color blanco plateado, rígido y frágil, es muy resistente a la corrosión. Su número atómico es 24. Los compuestos de Cr pueden encontrarse en colores que van desde el amarillo, naranja hasta rojo oscuro. Asimismo, no presentan ningún sabor u olor asociados (Marón, 2019).

El Cr es un elemento que, de acuerdo a su forma química, ha sido reconocido como un oligoelemento esencial y carcinógeno (Arauzo, Rivera, Valladolid, Noreña y Cedenilla, 2003). Este metal contiene un super potencial teratogénico, mutagénico, carcinogénico y genotóxico que impacta en la salud de humanos y animales, el mismo que depende de la dosis a la se esté expuesta, de acuerdo con un reporte de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (2006).

2.4.8 Plomo

El plomo es un metal que contiene un gran impacto en la contaminación ambiental. Se encuentra de forma natural en el suelo, el aire, el agua y los alimentos vegetales frescos y procesados. En exceso, puede causar graves problemas de salud y muerte a muchas personas, y el riesgo de contaminación se visualiza principalmente en los desechos industriales o residuos de fertilizantes, primordiales componentes de la contaminación por plomo de las hortalizas frescas, y la contaminación industrial puede suceder en varias etapas de su elaboración (Salas, et. al., 2019).

Una contaminación a la población afecta principalmente el sistema respiratorio y el tracto gastrointestinal, dañando los órganos, tejidos y sistemas, dependiendo del grado de exposición o de presencia de este metal. Los sistemas más afectados por la presencia de plomo son el sistema cardiovascular, renal, sanguíneo y el aparato gastrointestinal (Salas, et. al., 2019).

2.4.9 Aluminio

El aluminio es el metal más abundante en la tierra y el tercer elemento más cuantioso después del oxígeno y el silicio. Entre las características más resaltantes está la resistencia a la corrosión y baja consistencia lo hacen interesante para la industria, lo que lo convierte en uno de los metales más significativos. (Ruiz, Garay & Martínez, 2017).

2.5 Hipótesis

H₁: La dolomita reduce las concentraciones de metales tóxicos presentes en las aguas ácidas del pasivo ambiental San Nicolás, Hualgayoc – Cajamarca, 2022.

$$t > 0$$

- *Interpretación:* Si el promedio de las diferencias de las concentraciones de metales tóxicos es mayor que cero, entonces la dolomita reduce las concentraciones de metales tóxicos presentes en las aguas ácidas del pasivo ambiental San Nicolás.

H₀: La dolomita no reduce las concentraciones de metales tóxicos presentes en las aguas ácidas del pasivo ambiental San Nicolás, Hualgayoc – Cajamarca, 2022.

$$t \leq 0$$

- *Interpretación:* Si el promedio de las diferencias de las concentraciones de metales tóxicos es menor o igual que cero, entonces la dolomita no reduce las concentraciones de metales tóxicos presentes en las aguas ácidas del pasivo ambiental San Nicolás.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3. Tipo de Investigación

3.1 Investigación Experimental

Tiene el propósito evaluar o examinar los efectos que se manifiestan en la variable dependiente cuando se manipula la variable independiente, es decir, se trata de probar una relación causal (Quezada, 2010).

3.2 Diseño de Investigación

El diseño de la presente investigación es experimental cuantitativa. Su objetivo se centra en comprobar el fenómeno a estudiar, utiliza el razonamiento hipotético-deductivo y emplea muestras específicas, como estrategia de dominio y metodología cuantitativa para examinar los datos.

Ya que para fines de validación de la hipótesis y contrastación con el planteamiento del problema y los objetivos de la investigación se utilizó la experimentación a escala de laboratorio.

$$Y = f X$$

Donde:

Y: Variable Dependiente (Concentración de metales tóxicos)

X: Variable Independiente (Efecto de la dolomita)

f: Función

3.3 Área de investigación

Las muestras se tomaron en el pasivo ambiental San Nicolás, ubicada en la provincia de Hualgayoc – Cajamarca, los puntos fueron georreferenciados en coordenadas UTM, tal como se puede apreciar en la tabla 3.

Tabla 3.

Ubicación geográfica del punto de muestreo

Código	Descripción	Coordenadas UTM	Altura (msnm)	Zona
P-1	Agua Superficial del pasivo ambiental.	E: 761132.37 N: 9253182.36	3570	17 M

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de GPS.

3.4 Población

Agua ácida – pasivo ambiental San Nicolás, Hualgayoc – Cajamarca, 2022.

3.5 Muestra

La muestra estuvo constituida por 5 litros de agua residual industrial que fueron medidas en un periodo de 5 días para el análisis de los parámetros: arsénico, cadmio, cromo, plomo y aluminio a las aguas ácidas del pasivo ambiental San Nicolás, Hualgayoc – Cajamarca, 2022.

3.6 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

3.6.1 Materiales para la toma de muestra

- ✓ Casco
- ✓ Chaleco
- ✓ Zapato de seguridad
- ✓ Guantes
- ✓ Cooler
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Plumón indeleble
- ✓ Frascos de muestreo

3.6.2 Instrumento para laboratorio

- ✓ Probeta
- ✓ Espátula
- ✓ Varilla de vidrio
- ✓ Placa Petri
- ✓ Pinza
- ✓ Matraz
- ✓ Pipeta
- ✓ Cronómetro

3.6.3 Materiales para Laboratorio

- ✓ Mandil
- ✓ Guantes de látex

- ✓ Mascarilla
- ✓ Papel filtro
- ✓ Embudo
- ✓ Vaso precipitado
- ✓ Vaso de plástico
- ✓ Crisol de vidrio

3.6.4 Equipos

- ✓ GPS – GARMIN
- ✓ Multiparámetro Portátil
- ✓ Espectrofotómetro de Absorción Atómica
- ✓ Estufa
- ✓ Balanza Analítica
- ✓ Agitado Magnético

3.6.5 Reactivos

- ✓ Dolomita

3.6.6 Técnicas

Observación: Se basa en la visualización en campo para conocer los impactos ambientales del pasivo ambiental San Nicolas causados por las descargas de agua ácida.

Metodología de colecta: Reside en la recolección de datos de parámetros que se puedan tomar in situ en campo, además de muestras para su posterior análisis en un laboratorio certificado.

A. Actividades Experimentales

- ✓ Se tomaron 5 muestras puntuales de solución ácida de aproximadamente 5 litros del pasivo ambiental San Nicolás. La toma de muestras se efectuó de acuerdo con protocolo de monitoreo de calidad de agua.
- ✓ El estudio de los ensayos experimentales del tratamiento de remoción de metales pesados de las aguas ácidas del pasivo ambiental San Nicolás implicó el uso del agente remediante Dolomita para hacer hincapié en la disminución de la concentración de iones metálicos pesados a nivel de escala de laboratorio, con el fin de determinar la efectividad del procedimiento.
- ✓ Las pruebas se efectuaron a temperatura ambiente usando recipientes puestos en reactores de agitación a 160 rpm por 30 minutos.
- ✓ Después, se dejó reposando los experimentos para la precipitación de los sólidos durante 4 horas.
- ✓ Posterior a esto se mandó analizar los ensayos a un laboratorio acreditado para el análisis fisicoquímico.

B. Procedimiento

Para determinar el material absorbente se hizo un previo preparativo del mismo, todo con la finalidad de sacar impurezas que puedan perturbar el proceso de absorción, para esto fue necesario

someter a métodos de disminución de tamaño y desecación como se describe a continuación.

✓ **Preparación del absorbente Dolomita**

El material adsorbente, fue obtenido en cantidad suficiente, para luego ser sometido a través de las etapas que se representan a continuación, las cuales permitieron la adecuación y el método del sólido, que a continuación fue caracterizado.

Tamizado. Se efectuó un tamizado de la Dolomita a malla 200 para su posterior tratamiento

✓ **Determinación de dosis óptima de Dolomita**

Para establecer la dosis óptima de dolomita a usar, se hicieron ensayos con agitación mecánica y un volumen de 1000ml de muestra de agua ácida del pasivo ambiental. Después se procedió añadir 5 g de dolomita y esperar hasta la estabilidad del pH. Una vez que el pH se estabilizó se volvió a añadir 5 g de dolomita. Esta operación se repitió hasta obtener equilibrar el agua ácida. A través de este experimento, se estableció que la cantidad de 50g de dolomita era la dosis óptima para neutralizar el agua ácida en 1000 mL.

Por lo tanto, para 1 Litro de muestra se emplea 50 gramos de dolomita cernida a malla 200.

C. Antes de las Pruebas Experimentales de Laboratorio

Para obtener la información inicial de la calidad de agua del pasivo ambiental San Nicolas, se efectuó las mediciones de pH y Conductividad Eléctrica, asimismo, se obtuvo resultados de laboratorio de la presencia de metales totales sin antes haber realizado las pruebas de ensayo del laboratorio con la aplicación de la dolomita, lo resultados se muestran en el Capítulo de Resultados.

Durante de las Pruebas Experimentales de Laboratorio

1. Para empezar el proceso experimental se preparó los materiales como son: Reactor preparado para esta indagación, agua ácida del pasivo ambiental San Nicolas, multiparámetro, balanza analítica y matraz.
2. Se trabajó con 1000 ml de aguas ácidas, este volumen fue igual para una dosis de 50 gramos de dolomita.
3. Se realizó pruebas con 50 g de dolomita para 1000 ml de aguas ácidas, para este proceso se hizo el pesado de la dolomita granulada y se sumó a los especímenes del punto de monitoreo P-1 (para un matraz para 50 g de dolomita).
4. Finalizado el proceso de disolver los especímenes con la dolomita se puso a reposar para la precipitación de los sólidos durante 4 horas, para posteriormente efectuar la medición de los parámetros físicos como el pH final y Conductividad.

5. Posterior a los especímenes ya precipitados se preparó en recipientes para ser enviado para su análisis de metales totales un laboratorio acreditado por INACAL.

Procedimiento analítico: La cantidad de concentración de metales pesados removido por la Dolomita se computará considerando la diferencia existente entre la cantidad de concentración inicial y final de la muestra.

3.7 Metodología desarrollada durante la investigación

A efectos se abordará todos los componentes que intervienen en el problema planteado, se utilizó métodos: Inductivo-deductivo, análisis, síntesis y el estadístico.

3.7.1 Trabajo de campo

Para la evaluación de las aguas ácidas del pasivo ambiental San Nicolas se efectuó estrictamente con el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los recursos Hídricos.

En campo, en los puntos de monitoreo ya reconocidos se evaluó los parámetros físicos y asimismo se tomó como muestra de las aguas ácidas 3 litros por punto de monitoreo, después se trasladó estas muestras para exámenes con la aplicación de la dolomita a nivel de laboratorio.

3.8 Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

3.8.1 Procedimiento Analítico

El conjunto de concentración de metales pesados removido por la Dolomita se automatizará considerando la diferencia existente entre la cantidad de concentración inicial y final de la muestra.

Los parámetros examinados se utilizan para realizar cálculos analíticos y establecer los porcentajes de remoción de metales pesados a través la ecuación N° 1. de esta forma, se puede determinar la eficacia de remoción mediante este sistema de tratamiento planteado con la Dolomita.

$$PR = \frac{AMD\ inicial - AMD\ tratado}{AMD\ inicial} * 100 \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

PR: Porcentaje de remoción (%)

AMD inicial: Concentración inicial del AMD (mg/L)

AMD tratado: Concentración final del AMD tratado con Dolomita.
(mg/L)

(Perry & Green, 1992).

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.1 Concentración Inicial de Separación de Metales de las aguas ácida del pasivo ambiental San Nicolas con Aplicación de Dolomita

Tabla 4.

Concentración Inicial de Metales en las aguas ácidas del pasivo ambiental San Nicolás

Parámetro	Unidad	LCM	Resultado Inicial de Metales Totales	“ECA 3” Permitido
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	9.205	5
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	1.016	0.1 – 0.2
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	3.095	0.01 – 0.05
Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	8.772	0.1 – 1
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	1.622	0.05

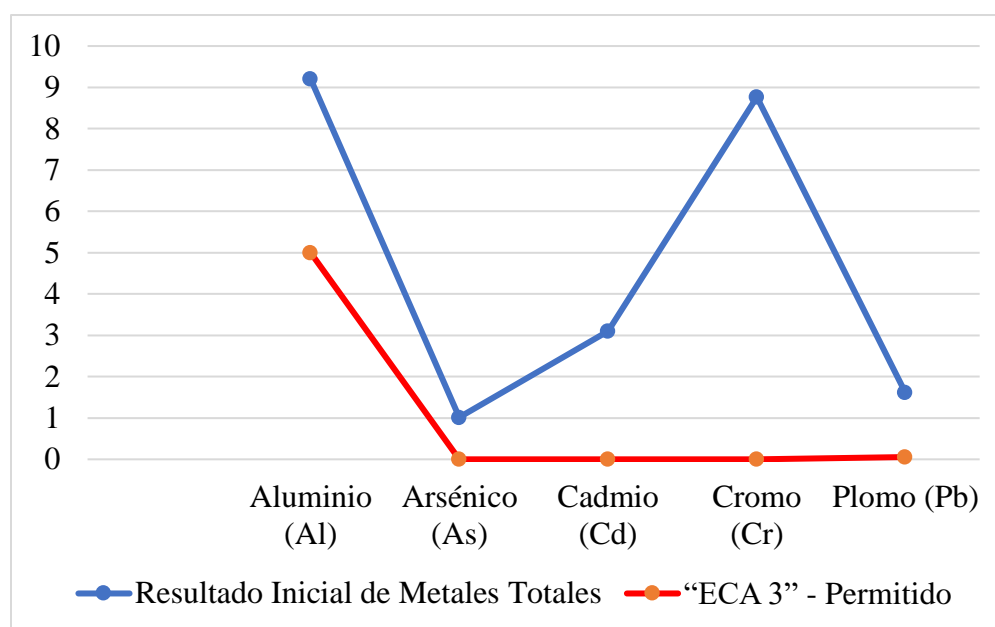
Fuente: Elaboración propia en base a resultados de laboratorio.

En la tabla 4 se observa que las concentraciones iniciales del agua provenientes del pasivo ambiental San Nicolás no cumple con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA – Agua) establecidos en el D.S. 004-2017-MINAM categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales), como es el caso del cromo, que supera ampliamente el ECA agua, reportando un valor de 8.772 mg/L, siendo el valor máximo permitido de 0.05 mg/L. Del mismo modo, el plomo supera en gran cantidad el ECA permitido de 0.05 mg/L, excediéndose con un valor de 1.622 mg/L, igual que el aluminio, que, de acuerdo a la

normativa ambiental el permitido es 5 mg/L, sin embargo, el agua del pasivo ambiental excede hasta 9.205 mg/L, similar al cadmio y arsénico que con valores de 3.095 y 1.016 mg/L superan el ECA permitido de 0.01 – 0.05 mg/L, y 0.1 – 0.2 mg/L, respectivamente.

Figura 1.

Concentración Inicial de Metales comparados con ECA los para agua



Fuente: Elaboración propia en base a resultados de laboratorio.

De la figura 1 se observa que todas las concentraciones se encuentran fuera de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA agua) para Categoría 3 Riego de Vegetales y Bebida de Animales.

4.2 Porcentaje de Separación de Metales del agua ácida del pasivo ambiental

San Nicolas con Aplicación de Dolomita

Para contrastar la eficacia de eliminación del método de tratamiento activo se usaron los resultados obtenidos del muestreo inicial del Agua de Pasivo Ambiental y Agua tratada con Dolomita del Pasivo Ambiental.

$$PR = \frac{\text{AMD inicial} - \text{AMD tratado}}{\text{AMD inicial}} * 100 \dots\dots\dots(1)$$

Tabla 5.

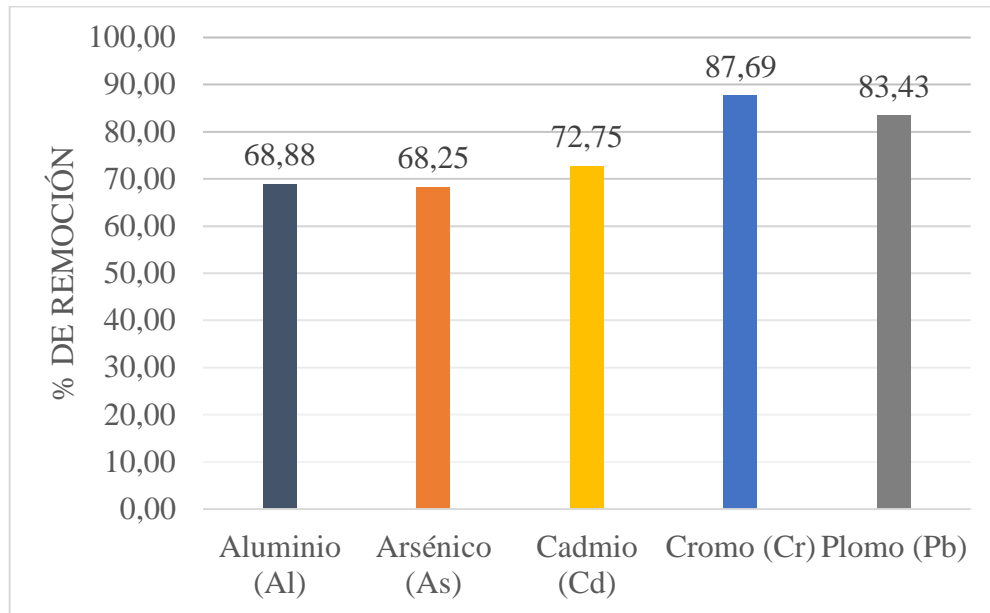
Porcentaje de Remoción de Metales con aplicación de Dolomita

Parámetro	% Remoción con Dolomita					Promedio
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	%
Aluminio (Al)	70.54	67.10	66.27	72.07	68.40	68.88
Arsénico (As)	68.60	70.96	64.37	65.55	71.75	68.25
Cadmio (Cd)	73.38	71.66	75.70	70.60	72.41	72.75
Cromo (Cr)	86.87	89.08	85.68	88.12	88.69	87.69
Plomo (Pb)	82.31	83.85	85.27	81.50	84.22	83.43

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de laboratorio.

Figura 2.

Porcentaje Promedio de Remoción de Metales con aplicación de Dolomita



Fuente: Elaboración propia en base a resultados de laboratorio.

Nota: El gráfico representa el porcentaje promedio de remoción de metales del Agua de Pasivo Ambiental durante 5 días de ampliación de Dolomita.

La dolomita, más reconocida como caliza de magnesio, es un carbonato doble de calcio y magnesio, esta muestra una gran capacidad de neutralización de ciertos metales pesados examinados: aluminio, arsénico, cadmio, cromo y plomo, por lo que su aplicación expuso que ayuda mover en gran porcentaje estos metales del agua ácida del pasivo ambiental San Nicolas, que únicamente sobrepasaban el límite máximo estipulado en los Estándares de Calidad Ambiental establecidos en el D.S. 004-2017-MINAM categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales), tal como se demuestra en la tabla 8.

4.3 Comparación de concentraciones finales de metales de las aguas ácidas del pasivo ambiental San Nicolás, de acuerdo a los ECA Establecidos en el D.S. 004-2017-MINAM

Tabla 6.

Concentración Final de Metales Totales con 5 días de aplicación de dolomita

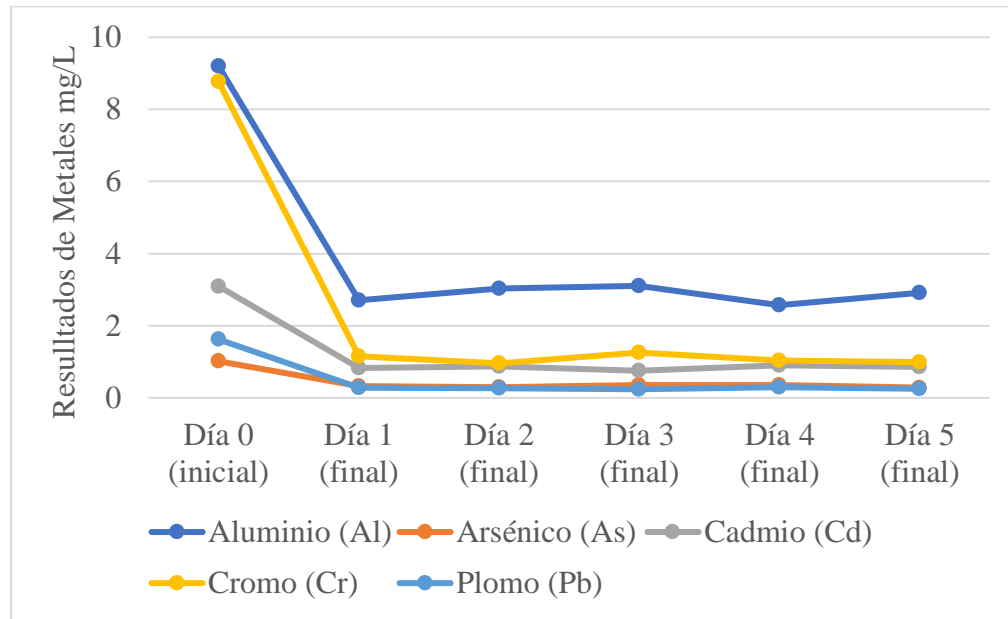
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Final de Metales Totales					“ECA 3” Permitido
			con aplicación de Dolomita					
			Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	2.712	3.028	3.105	2.571	2.909	5
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	0.319	0.295	0.362	0.350	0.287	0.1 – 0.2
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	0.824	0.877	0.752	0.910	0.854	0.01 – 0.05
Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	1.152	0.958	1.256	1.042	0.992	0.1 – 1
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	0.287	0.262	0.239	0.300	0.256	0.05

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de laboratorio.

Con la aplicación de 50 g de dolomita durante 5 días continuos a la muestra de agua ácida de pasivo ambiental, los resultados obtuvieron el descenso de los metales cumpliendo con los Estándares de Calidad Ambiental establecidos en el D.S. 004-2017-MINAM categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales).

Figura 3.

Evolución de Resultados Finales de Metales Totales con aplicación de Dolomita



Fuente: Elaboración propia en base a resultados de laboratorio.

Con la aplicación de 50 g de dolomita, el Aluminio (Al) descendió hasta 2.909 mg/L al día 5 y revisando la figura 2, el porcentaje promedio de remoción fue de 68.88%, observándose un notable descenso con respecto al resultado inicial de 9.205 mg/L.

La aplicación de dolomita generó un gran descenso en el Arsénico (As), llegando hasta un 0.287 mg/L al día 5 y un porcentaje de remoción de 68.25%, lo cual manifiesta que el tratamiento aplicado funciona en gran porcentaje de manera efectiva.

Respecto al Cadmio (Cd), este metal disminuyó notablemente de 3.095 mg/L hasta 0.854 mg/L al día 5 y su porcentaje promedio de remoción fue de 72.75%. Es el tercer metal analizado con mayor porcentaje de remoción.

El Cromo (Cr) fue uno de los metales que en mayor concentración se logró remover mediante la aplicación de dolomita, disminuyó de 8.772 mg/L a 0.992 mg/L al día 5, de igual manera su porcentaje de remoción fue el mayor con un 87.69%.

El Plomo (Pb) fue otro de los metales que disminuyó en gran medida al aplicar el agente remediante, este bajo de 1.622 mg/L a 0.256 mg/L al día 5 y su porcentaje promedio de remoción fue de 83.43%.

4.4 Contrastación de hipótesis

Para contrastar la hipótesis planteada es necesario previamente realizar la prueba de normalidad de la distribución de datos a través de la prueba de Shapiro - Wilk porque la muestra es menor a 50 casos.

Formula:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde:

$x_{(i)}$ = Valor de los datos ordenados ascendentemente.

\bar{x} = Media del conjunto de datos.

n = Número del conjunto de datos.

a = Vector de coeficientes de las ponderaciones obtenido de la tabla de la prueba de Shapiro - Wilk.

Si el p-valor es menor al nivel de significancia aceptado (0.05) se afirma que el conjunto de datos no procede de una distribución normal, pero si lo supera se concluye que los datos tienen una distribución normal.

Tabla 7.

Prueba de normalidad

Concentración de metales (mg/L)	Shapiro - Wilk		
	Estadístico de prueba (Z)	gl (casos)	Significancia (bilateral)*
Aluminio (Al)	0.949	5 litros (días)	0.729
Arsénico (As)	0.917	5 litros (días)	0.511
Cadmio (Cd)	0.963	5 litros (días)	0.831
Cromo (Cr)	0.930	5 litros (días)	0.597
Plomo (Pb)	0.960	5 litros (días)	0.807

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de laboratorio y programa estadístico SPSS v26.

Nota: *El margen de error aceptado es de $0.05 = 5\%$, con un nivel de confianza de 95% . Si el coeficiente de significancia es mayor que el margen de error aceptado la distribución es normal y si es menor es anormal.

De acuerdo con los resultados se aprecia que los valores de la concentración de metales siguen una distribución normal porque el p-valor (nivel de significancia) es mayor a 0.05 (margen de error aceptado).

Tabla 8.

Estadísticos descriptivos de niveles de concentración de metales

Estadísticos descriptivos	Nivel de concentración de metales (mg/L)				
	Al	As	Cd	Cr	Pb
Concentración inicial (día 0)	9.205	1.016	3.095	8.772	1.622

Concentración final (1-5 días)	-	-	-	-	-
Media	2.865	0.323	0.843	1.080	0.2688
Mediana	2.909	0.319	0.854	1.042	0.2620
Varianza	0.490	0.001	0.004	0.015	0.001
Desviación estándar	0.221	0.032	0.060	0.1227	0.02451
Mínimo	2.57	0.29	0.75	0.96	0.24
Máximo	3.11	0.36	0.91	1.26	0.30
Rango	0.53	0.08	0.16	0.30	0.06
Asimetría	-0.413	0.181	-0.841	0.738	0.213
Curtosis	-1.725	-2.534	0.758	-0.999	-1.505

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de laboratorio y programa estadístico SPSS v26.

De conformidad con la tabla 8, los resultados de la concentración inicial de metales son menores que la media de los resultados de la concentración final de metales. El rango de los resultados finales del aluminio (Al) es mayor que el rango el resto de los metales analizados, al igual que los límites mínimos y máximos correspondientes.

Ahora bien, la prueba que se va utilizar para contrastar la hipótesis es la prueba t de Studen para muestras relacionadas porque es una prueba paramétrica para datos con distribución normal y sirve para comparar promedios en grupos de muestras pequeños ($n < 30$). En esta investigación la comparación fue realizada entre el promedio de los valores de concentración de metales inicial (pretest) con el promedio de los valores de concentración de metales final (postest) una vez aplicada la dolomita en la muestra de estudio. Esto nos permite conocer si la dolomita reduce o no las concentraciones de metales tóxicos

presentes en las aguas ácidas del pasivo ambiental San Nicolás. La fórmula t de Studen para obtener estos resultados es la siguiente:

$$t = \frac{\bar{d}}{S/\sqrt{n}}$$

Donde:

t: Estadístico t calculado.

\bar{d} : Promedio de las diferencias.

S: Desviación estándar las diferencias.

n: Tamaño de muestra.

Utilizando el programa estadístico SPSS v26 se obtuvieron los siguientes resultados para la prueba t de Studen:

Tabla 9.

Prueba de contrastación de hipótesis

Concentración de metales (mg/L)	Media	Desviación	t	Significancia (bilateral)
Concentración inicial de metales sin dolomita (día 0)				
Concentración final de metales con dolomita (día 1-5)	3.666	0.041246	198.746	0.000

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de laboratorio y programa estadístico SPSS v26.

De acuerdo con los resultados de la tabla 09, se debe rechazar la Hipótesis nula (H0) y aceptar la Hipótesis alternativa (Ha1) considerando que

el nivel de significancia o p-valor es menor (0.000) que el margen de error aceptado 0.05 o 5%. En consecuencia, se puede afirmar que la Dolomita reduce las concentraciones de metales tóxicos presentes en las aguas acidas del pasivo ambiental San Nicolás, Hualgayoc – Cajamarca, 2022, teniendo en cuenta que el promedio de las concentraciones de metales tóxicos (inicial y final o pretest y postest) es mayor que cero, tal como se aprecia a continuación:

$$t > 0$$

Reemplazando:

$$198.746 > 0$$

A nivel de tipo de metales la dolomita tiene un mayor efecto sobre la remoción de cromo (Cr) y plomo (Pb) de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 10.

Prueba t de Student por tipo de concentración de metal

Concentración de metales (mg/L)	Media	Desviación	t	Significancia (bilateral)
Aluminio (Al) sin dolomita (día 0)	6.3400	0.22131	64.052	0.000
Aluminio (Al) con dolomita (día 1-5)				
Arsénico (As) sin dolomita (día 0)	0.6934	0.32959	47.043	0.000
Arsénico (As) con dolomita (día 1-5)				

Cadmio (Cd) sin dolomita (día 0)	2.2516	0.060015	84.891	0.000
Cadmio (Cd) con dolomita (día 1-5)				
Cromo (Cr) sin dolomita (día 0)	7.6920	0.122711	140.165	0.000
Cromo (Cr) con dolomita (día 1-5)				
Plomo (Pb) sin dolomita (día 0)	1.3532	0.024509	123.458	0.000
Plomo (Pb) con dolomita (día 1-5)				

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de laboratorio y programa estadístico SPSS v26.

Como se observa en la tabla, la dolomita tiene un menor efecto en la remoción de arsénico (As) y aluminio (Al) en comparación con los otros metales de acuerdo con el valor de t de Student correspondiente.

4.5 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos son equivalentes a los mostrados por Tarazona (2022), Chamorro & Rodríguez (2019) y Chambi (2019), ya que, se evidenció que la aplicación de dosis de dolomita reduce significativamente la presencia de metales pesados en las muestras de estudio. Al igual que los resultados obtenidos por Montoya & Rodríguez (2019) con el paso del tiempo los efectos de la dolomita sobre los metales pesados aumentan según la comparación del porcentaje de remoción desde el primer día hasta el quinto día en Arsénico (As), Cromo (Cr) y Plomo (Pb), a excepción de los metales pesados de Cadmio (As)

y Aluminio (Al), cuyos porcentajes de remoción son ligeramente inferiores (ver tabla 5).

La dolomita no es la única sustancia con propiedades para reducir la presencia de metales pesados en sustancias líquidas como ya demostró Huallpa (2017) y Ayala (2018) en su investigación sobre influencia de la dosificación de cal en guas ácidas por su efecto coagulante, floculante y neutralizante, similar al efecto de remediación derivado por la dolomita sobre nuestra muestra de estudio.

En la investigación realizada por Rodríguez & Howard (2018) expusieron que la dolomita neutraliza los metales pesados presentes en relaves mineros de manera más eficaz que la cal porque tiene un mayor impacto sobre la generación de ácidos en el agua. El efecto neutralizante de la dolomita se debe a que es un compuesto de carbonato doble de calcio y magnesio ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) que neutraliza las aguas con pH ácidos (Ruíz, 2018).

Los efectos de la dolomita sobre los ácidos (pH) inciden en el porcentaje de remoción de los metales ensayados por su capacidad absorbente y de remediación, en correspondencia con los resultados conseguidos por Tavera (2015), para quien la presencia de acidez influye en el porcentaje de remoción de plomo (Pb^{2+}) y Chávez (2009) que demostró la reducción de cobre en las muestras tratadas con dolomita.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- ❖ Se logró evaluar el efecto de la dolomita sobre la concentración de metales tóxicos presentes en las aguas ácidas del pasivo ambiental San Nicolás, Hualgayoc – Cajamarca, 2022 determinándose que el tratamiento con dolomita ayuda en la purificación del efluente en estudio y reduce las concentraciones iniciales de metales pesados presentes en el agua, evidenciándose mediante el estadístico t de Studen con un valor de 198.746, y un nivel de significancia que no supera el margen de error aceptado del 5% para un nivel de confianza del 95%.
- ❖ Se determinó las concentraciones iniciales de arsénico, cadmio, cromo plomo y aluminio en las aguas ácidas del pasivo ambiental San Nicolás, Hualgayoc – Cajamarca, 2022, los cuales no cumplían con los establecido en la normativa ambiental.
- ❖ Se determinó el porcentaje de remoción de arsénico, cadmio, cromo plomo y aluminio de las aguas ácidas del pasivo ambiental San Nicolás, Hualgayoc – Cajamarca, 2022, al aplicar dolomita el cual fue de 68,25% para Arsénico (As), 72.75% para Cadmio (Cd), 87.69% para Cromo (Cr) y 83.43% para Plomo (Pb).
- ❖ Las concentraciones finales de arsénico, cadmio, cromo plomo y aluminio de las aguas ácidas del pasivo ambiental San Nicolás, Hualgayoc –

Cajamarca, 2022, descendieron en gran medida hasta llegar a cumplir con los ECA establecidos en el D.S. 004-2017-MINAM categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.

5.2 Recomendaciones

- ❖ Se recomienda realizar monitoreos periódicamente sobre las concentraciones de dolomita para ir evaluando la eficiencia del hidróxido en la muestra y así mejorar la metodología, de ser el caso.
- ❖ Se recomienda utilizar la dolomita como agente neutralizante y de remediación para remover metales pesados en aguas contaminadas o provenientes de relaves mineros.
- ❖ Se recomienda estudiar el efecto de la dolomita sobre la acidez o pH del agua para mejorar su capacidad de remoción de metales pesados en pasivos ambientales.

CAPÍTULO VI: LISTA DE REFERENCIAS

- Andamayo, A. C. (2019). *Tratamiento de aguas ácidas para la obtención de agua tipo III en la Sociedad Minera El Brocal S.A.A. – Tinyahuarco - Pasco – 2019.* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Recuperado de http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1672/1/T026_45393328_T.pdf
- Aguilera, R. (2010). *Determinación de sulfato por el método turbidimétrico en aguas y aguas residuales. validación del método. REDALYC, 7.*
- Álvarez, H. (2019). *Extracto de moringa (moringa oleífera) para la remoción de turbidez de efluentes de la producción de néctar de maracuyá.* Lima - Perú - Universidad Agraria La Molina.
- AQUALIA. (2018). *La importancia de la separación de aceites y grasas en el tratamiento del agua residual urbana.*
- Arauzo, M., Rivera, M., Valladolid, M., Noreña, C. & Cedenilla, O. (2003). *Contaminación por cromo en el agua intersticial, en el agua del cauce y en los sedimentos del río Jarama.* Limnetica, 22 (3 – 4), 85 – 98. Recuperado de <https://www.limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-22-2-p-85.pdf>
- Ayala, C. (2018). *Influencia de la dosificación de cal en el tratamiento de las aguas ácidas de la quebrada Mesa de Plata Hualgayoc – 2018.* Hualgayoc - Cajamarca.

Balvin & Amezaga. (2006). *Estado de la Situación sobre la Gestión del agua en la Minería: El caso peruano*. Lima - Perú.

Bendezu, E. (2021). *Remoción de hierro y plomo en aguas ácidas de la minera julcani con coagulante Opuntia floccosa*. Huancavelica, Perú.

Berrospi, L. Y. (20419). *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 Pregrado, Universidad Nacional Alcides Carrión]. Recuperado de http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/930/1/T026_72631416-T.pdf

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (16 de noviembre de 2016). *Calidad de agua*. Recuperado de <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/23747/2/Calidad%20del%20Agua%20Final.pdf>

Bruce, A., Rodríguez, A. & Prada J. M. (2018). *Tratamiento integral de remediación de efluentes de aguas provenientes de la presa de relaves de Cerro Verde a través del proceso de precipitación de iones metálico con dolomita como agente remediante*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín]. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6517>

Cabré; s.f. (s.f.). *Diseños cuasiexperimentales y longitudinales*. Departamento de Metodología de las Ciencias del Comportamiento, Facultad de Psicología, Universidad de Barcelona.

Chávez, S. L. (2009). *Tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos con énfasis en el abatimiento de cobre con dolomita*. Lima - Perú.

Chamorro, S. A. & Rodríguez, H. N. (2019). *Influencia del Tiempo de Residencia y Concentración de Dolomita en la Disminución de Cobre de Efluente Minero Artificial, Trujillo, 2019*. [Tesis de Pregrado, Universidad Privada del Norte, Perú]. Recuperado de

<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/21995/Chamorro%20Montoya%20Segundo%20Avelino%20-%20Rodr%C3%ADguez%20Echeverr%C3%ADa%20Harol%20Neptal%C3%AD.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Chambi, D. I. (2019). *Evaluación de la Eficiencia de remoción de Sólidos Suspendidos totales Aplicando Dolomita y Sulfato de Calcio en el tratamiento de efluentes de la Minería Aluvial de Ananea, Puno – 2017*. [Tesis de Pregrado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, Juliaca - Perú]. Recuperado de <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/3182>

Corzo, C. (2009). *Contaminación de la Cuenca del Arcediano y Propuesta de Saneamiento*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México].

Recuperado de

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/2897>

Dirección General de Desarrollo Minero. (2021). *Perfil del Mercado de la Dolomita*.

Recuperado de

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/624834/6Perfil_Dolomita_2020_T_.pdf

Flores, S. L. (2009). *Tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos con énfasis en el abatimiento de cobre con dolomita*. [Tesis de Pregrado,

Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Recuperado de

<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/2119#:~:text=La%20tesis%20denominada%20%22Tratamiento%20de,calcinada%20y%20sin%20calcinar%2C%20mediante>

Organización Mundial de la Salud (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo*

humano. Cuarta edición que incorpora la primera adenda. Recuperado de

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>

Guerra, A. & Hiyagon, G. V. (2012). *Tratamiento de Agua para Remoción de Plomo*

Aplicando Nanotecnología. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Recuperado de

<https://llibrary.co/document/y960k0wy-tratamiento-agua-remocion-plomo-aplicando-nanotecnologia.html>

Hernández, A. (2007). *Sólidos suspendidos totales en agua secados a 103 – 105 °c.*

IDEAM, 7- Subdirección De Hidrología - Grupo Laboratorio De Calidad Ambiental.

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.* Lima - Perú.

Hurtado, J., & Navarro, E. (2017). *Determinación de la capacidad clarificadora del coagulante natural extraído de la papa (solanum tuberosum) en la purificación del agua del río Patari para uso de consumo humano.* Universidad Nacional Del Callao - Facultad de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales - Perú.

Lucas, J. & Romero, L. (2015). *Determinación del pH y Tamaño de Partícula Óptimos para la Remoción de Arsénico con Dolomita del Agua Potable de Jauja Metropolitana.* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Recuperado de

<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3737/Lucas%20Rosales-Romero%20Damas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Londoño, L. F., Londoño, P. T. & Muñoz, F. G. (2016). *Los Riesgos de los Metales Pesados en la Salud Humana y Animal.* Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustria, 14 (2), 145 – 153. Recuperado de

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612016000200017

López, E., Aduvire, O. & Baretino, D. (2002). *Tratamientos pasivos de drenajes ácidos de mina: estado actual y perspectivas de futuro*. Boletín Geológico y Minero, 113 (1), 3 – 21. Recuperado de https://www.igme.es/Boletin/2002/113_1_2002/4-ARTICULO%20TRATAMIENTOS.pdf

López, E. F., & Taboada, J. G. (2002). *Impacto ambiental en la minería peruana*. Recuperado de <file:///C:/Users/Notebook/Desktop/informacion%20de%20aguas%20acidas/medioamb.pdf>

Martínez, H. C. (2016). *Desinfección de agua residual doméstica mediante un sistema de tratamiento acoplado con fines e rehuso*. Universidad del Atlántico, Colombia.

Mero, M., Pernía, B., Ramírez - Prado, N., Bravo, K, Ramírez, L., Larreta, E. & Egas, F. (2019). *Concentración de Cadmio en Agua, Sedimentos, Eichhornia crassipes y Pomacea canaliculata en el Río Guayas (Ecuador) y sus Afluentes*. Rev. Int. Contaminación Ambiental, 35 (3), 623 – 640. Recuperado de <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v35n3/0188-4999-rica-35-03-623.pdf>

Montoya, S., & Rodríguez, H. (2019). *Influencia del tiempo de residencia y concentración de dolomita en la disminución de cobre de efluente minero artificial, Trujillo, 2019*. Trujillo - Perú.

Narrea, O. (2018). *La minería como motor de desarrollo económico para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 8, 9, 12 y 17*. Consorcio de Investigación Económica y Social-CIES. Recuperado de https://www.up.edu.pe/egp/Documentos/agenda_2030_la_mineria_como_motor_de_desarrollo_economico_para_el_cumplimiento_de_los_ods_89_12_y_17.pdf

OPS/CEPIS (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Recuperado de https://www.academia.edu/31389977/Cepis_Plantas_de_Filtracion_R%C3%A1pida

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2006). *Guías para la calidad del agua potable Volumen 1*. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39098>

Ortiz, A. (2015). *Impacto de los ingresos por canon minero en el crecimiento económico de las regiones del Perú en el periodo 1996-2013*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

Pérez, A. (2012). *Utilización con fines de riego del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad universitaria, USAC*. Guatemala.

- Quezada, N. (2010). *Metodología de la Investigación*. Macro. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/480438713/Metodologia-de-la-investigacion-Nel-Quezada-Lucio-www-FreeLibros-org-pdf>
- Rodó, J. (2018). *Monitoreo de variables físico-químicas de agua*. Montevideo.
- Rodríguez, A., & Howard, B. (2018). *Tratamiento integral de remediación de efluentes de aguas provenientes de la presa de relaves de cerro verde a través del proceso de precipitación de iones metálicos con dolomita como agente re mediante*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Russi, D. y Martínez, J. (2002). *Los Pasivos Ambientales*. Iconos. Revista de Ciencias Sociales, 15, 123 – 131. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/509/50901513.pdf>
- Ruiz, J. (2018). *Tratamiento de aguas acidas con dolomita para disminuir la concentración de Cu y Zn en efluentes de la Planta Concentradora Victoria en la Provincia de Yauli – La Oroya*. Huancayo - Perú.
- Ruiz, M. A., Garay, C. G. & Martínez, R. (2017). *El aluminio, material trascendente en la historia humana*. Temas de Ciencia y Tecnología, 21 (61), 3 – 9. Recuperado de <http://repositorio.utm.mx/bitstream/123456789/355/1/2017-TCyT-MARE.pdf>
- Salas, C., Garduño, M., Mendiola, P., Vences, J., Zetina, V., Martinez, O. & Ramos, M. (2019). *Fuentes de contaminación por plomo en alimentos, efectos en la*

salud y estrategias de prevención. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 20 (1). Recuperado de

<https://www.redalyc.org/journal/813/81359562002/81359562002.pdf>

Superintendencia de Riesgos del Trabajo. (2019). *Exposición al Cromo y sus Compuestos*. Recuperado de

https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/13_cromo_guia_de_actuacion_y_diagnostico.pdf

Tamani, Y. (2014). *Evaluación de la Calidad de Agua del Rio Negro en la provincia de Padre Abad, Aguaytía*. [Universidad Nacional Agraria de la Selva].

Recuperado de

https://web2.unas.edu.pe/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/PRACTICA%20FINAL%20PARA%20EMPASTAR.pdf

Tarazona, L. N. (2022). *Efecto de la Aplicación de diferentes dosis de Dolomita e Hipoclorito de Sodio en la precipitación de metales pesados en agua ácidas procedentes de la Mina Volcán (Laguna Yanamate), en el distrito Tinyahuarco, Pasco – 2021*. [Tesis de Pregrado, Universidad de Huánuco, Perú]. Recuperado de

<http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/3428/TARAZONA%20TARAZONA%2c%20LUCY%20NELLY.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Tavera, J. (2015). *Influencia de la acidez en la remoción de plomo (Pb²⁺) utilizando dolomita como adsorbente*. Tingo María - Perú.

Terrel, P. C. & Romaní, F. (2019). *Tecnología para la Recuperación de Aguas Contaminada con Metales Pesados: Plomo, Cadmio, Mercurio y Arsenico.*

Recuperado de

<https://web.ins.gob.pe/sites/default/files/Archivos/ogitt/cati/3%20BOLET%20%8DN%20T%20C%89CNOLOGICAS%20N-3%202019.pdf>

Vallarino, C. (2011). *Detección de Metales Pesados en Agua.* [Tesis de Maestría, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y electrónica]. Recuperado de

<https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/671/1/ChavezV C.pdf>

Woolley, A. R., Church, A. A. (2005). Extrusive carbonatites: A brief review. *Lithos*, 85, 1 – 4. Recuperado de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0024493705001064>

ANEXOS

Anexo 1. Localización del Pasivo Ambiental



Anexo 2. Toma de muestra de agua de pasivo ambiental



Anexo 3. Preservación de las muestras de agua de pasivo ambiental



Anexo 4. Resultados de Análisis en Laboratorio Acreditado





LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 1222809

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **QUIROZ GUERRERO, LUIS ADRIAN / ALVARADO SALAZAR, JOSUE LUIS**
Dirección -
Persona de contacto **Quiroz Guerrero, Luis Adrian** Correo electrónico -

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **12.11.22** Hora de Muestreo **10:00 a 11:00**
Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -
Procedimiento de Muestreo -
Tipo de Muestreo **Puntual**
Número de puntos de muestreo **06**
Ensayos solicitados **Químicos**
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación**
Referencia de la Muestra: **EFECTO DE LA DOLOMITA SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE METALES TÓXICOS PRESENTES EN EL PASIVO AMBIENTAL SAN NICOLÁS, HUALGAYOC - CAJAMARCA, 2022**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-832** Cadena de Custodia **CC - 809 - 22**
Fecha y Hora de Recepción **19.12.22 10:20** Inicio de Ensayo **19.12.22 10:35**
Reporte Resultado **28.12.22 16:30**

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Cajamarca, 28 de Diciembre de 2022

INFORME DE ENSAYO N° IE 1222809

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra	MUESTRA PATRÓN	DÍA 1 - 60 MINUTOS	DÍA 2 - 60 MINUTOS	DÍA 3 - 60 MINUTOS	DÍA 4 - 60 MINUTOS	DÍA 5 - 60 MINUTOS		
Código Laboratorio	0122047-01	0122047-02	0122047-03	0122047-04	0122047-05	0122047-06		
Matriz	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual		
Descripción	Industrial	Industrial	Industrial	Industrial	Industrial	Industrial		
Localización de la Muestra	BOCAMINA	LABORATORIO	LABORATORIO	LABORATORIO	LABORATORIO	LABORATORIO		
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales					
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	9.205	2.712	3.028	3.105	2.909	
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	1.016	0.319	0.295	0.362	0.350	
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	3.095	0.824	0.877	0.752	0.910	
Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	8.772	1.052	0.858	0.659	0.712	
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	1.622	0.287	0.262	0.239	0.300	

Legenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Metales Disueltos y Totales por ICP-OES (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Ce, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Hg, K, Li, Na, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, SiO ₂ , Sn, Sr, Ti, Tl, U, V, Zn)	mg/L	EPA Method 200.7 Rev. 4.4, 1994. (Validado) 2020. Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe conciernen única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
 - ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
 - ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
 - ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
 - ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev.N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 28 de Diciembre de 2022