

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



Facultad de Ingeniería

Carrera profesional de Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos

**NEUTRALIZACIÓN DEL DRENAJE ÁCIDO MEDIANTE CENIZA DE
MADERA DE LA UNIDAD MINERA NIVEL V – ALGAMARCA, 2023**

Autores:

Bach. Edy Fernando Arteaga Gómez

Bach. Segundo Franklin Gutti Jara

Asesor:

Dr. Persi Vera Zelada

Cajamarca – Perú

Diciembre - 2023

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



Facultad de Ingeniería

Carrera profesional de Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos

**NEUTRALIZACIÓN DEL DRENAJE ÁCIDO MEDIANTE CENIZA DE
MADERA DE LA UNIDAD MINERA NIVEL V – ALGAMARCA, 2023**

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

Autores:

Bach. Edy Fernando Arteaga Gómez

Bach. Segundo Franklin Gutti Jara

Asesor:

Dr. Persi Vera Zelada

Cajamarca – Perú

Diciembre – 2023

COPYRIGHT © 2023 by

EDY FERNANDO ARTEAGA GÓMEZ &

SEGUNDO FRANKLIN GUTTI JARA

Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERÍA

APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL

NEUTRALIZACIÓN DEL DRENAJE ÁCIDO MEDIANTE CENIZA DE
MADERA DE LA UNIDAD MINERA NIVEL V – ALGAMARCA, 2023

Presidente: _____

Secretario: _____

Asesor: _____

DEDICATORIA

A:

Mis padres que, con su amor incondicional y apoyo, en los momentos más difíciles me ayudaron a seguir adelante, sin ustedes no lo habría logrado.

Familia y amigos que han contribuido en este logro.

Para todos aquellos que depositaron su confianza en que superaría todos los obstáculos y por apoyarme en cada decisión y proyecto.

Edy Fernando Arteaga Gómez

A:

Mi padre y a mi madre por haberme guiado en cada paso de mi vida para lograr mis objetivos y fundamentalmente por el sacrificio que realizaron durante el proceso de mi formación profesional. A mis hermanos por ser el soporte y el principal motivo para no rendirme ante todos los obstáculos que la vida me presentó.

Segundo Franklin Gutti Jara

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, ya que me dio su bendición, salud y fuerza para concluir mis estudios universitarios.

Un especial agradecimiento con todo mi corazón a mis padres, por su apoyo incondicional por sus consejos, confianza y guía en este largo camino.

Y a todas aquellas personas que brindaron su contribución en esta investigación y en el logro de mis objetivos.

Edy Fernando Arteaga Gómez

A Dios por mantenerme con salud y sabiduría y por cuidar de mi familia, quienes han sido un pilar fundamental en mi formación profesional y que con su constante apoyo en todo este largo camino lograron que terminara mis estudios superiores.

Agradezco también a todos los docentes que aportaron sus conocimientos durante mi formación y por último expresar mi agradecimiento al Dr. Persi Vera Zelada por su asesoramiento para poder alcanzar el objetivo de convertirme en un profesional.

Segundo Franklin Gutti Jara

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar el potencial de la ceniza de madera en la neutralización del drenaje ácido de la unidad minera Nivel V – Algamarca, pues, la aplicación de tecnologías sofisticadas conlleva a tener costos elevados y no rentables para las pequeñas empresas que buscan la formalización de extracción de crudo, por esta razón, se plantea la aplicación de un residuo conocido y de basta generación, como es el caso de la ceniza de madera (Eucalipto). La aplicación consiste en probar 5 concentraciones de ceniza: 12, 14, 16, 18 y 20 g/L en 500 mL de drenaje ácido de mina (DAM) y determinar su potencial de neutralización, es decir, alcanzar un pH cercano a 7; para ello, el experimento consiste en aplicar las concentraciones en dos tipos de agitación: rápida (150 RPM) y lenta (40 RPM) y en dos diferentes tiempos de reposo: 30 y 60 minutos. Los parámetros analizados son el pH y la acidez. Para el análisis de datos se aplicó una prueba de análisis de varianza de dos factores para determinar la variabilidad de las diferentes concentraciones y determinar los factores óptimos, mediante gráficas de porcentaje. Se concluye que, la ceniza de madera es un agente neutralizante para el pH y la acidez del drenaje ácido de la Unidad Minera Nivel V, que puede disminuir el consumo de cal en el tratamiento de DAM. Además, el proceso óptimo para obtener el pH más alto (7.44) se produce en la dosis de 20 g/L en 60 min (1h) de reposo, así mismo la menor acidez se presenta en la dosis más alta de 20 g/L. Con respecto a las concentraciones la mejor remoción se presenta en las concentraciones de 18 y 20 g/L en un rango de 92.77 a 96.96%.

Palabras clave: drenaje ácido de mina, ceniza de madera, concentración , dosis, pH y acidez

ABSTRACT

The objective of this research is to determine the potential of wood ash in the neutralization of the acid mine drainage of the mining unit Nivel V - Algamarca, since the application of sophisticated technologies leads to high and unprofitable costs for small companies seeking the formalization of crude oil extraction, for this reason, the application of a known and coarse waste is proposed, as is the case of wood ash (Eucalyptus). The application consists of testing 5 concentrations of ash: 12, 14, 16, 18 and 20 g/L in 500 mL of acid mine drainage (AMD) and determine its neutralization potential, that is, to reach a pH close to 7; for this, the experiment consists of applying the concentrations in two types of agitation: fast (150 RPM) and slow (40 RPM) and in two different rest times: 30 and 60 minutes. The parameters to be analyzed are pH and acidity. For data analysis, a two-factor analysis of variance test was applied to determine the variability of the different concentrations and to determine the most optimal one, by means of percentage graphs. It is concluded that wood ash is a neutralizing agent for the pH and acidity of the acid drainage of the Nivel V Mining Unit, which can reduce the consumption of lime in the DAM treatment. In addition, the most optimal process to obtain the highest pH (7.44) occurs at the dose of 20 g/L in 60 min (1h) of rest, likewise the lowest acidity is presented at the highest dose of 20 g/L. With respect to the concentrations, the best removal occurs at the concentrations of 18 and 20 g/L in a range of 92.77 to 96.96%.

Keywords: acid mine drainage, wood ash, concentration, dosage, pH and acidity.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	v
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Formulación del problema.....	3
1.3 Justificación de la investigación.....	3
1.4 Objetivos de la investigación.....	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Teorías que sustentan la investigación.....	7

2.2	Bases teóricas	10
2.2.1	Drenaje ácido de mina - DAM	10
2.2.2	Ceniza de madera	16
2.3	Definición de términos básicos	18
2.3.1	Concentración	18
2.3.2	Contaminación	18
2.3.3	Contaminante	18
2.3.4	Dosis	18
2.3.5	Efecto adverso o dañino	18
2.3.6	Fuente de contaminación	19
2.3.7	Remediación	19
2.3.8	Sedimento	19
2.4	Hipótesis de investigación	19
2.4.1	Hipótesis nula (<i>H₀</i>)	19
2.4.2	Hipótesis alterna (<i>H_a</i>)	20
2.5	Operacionalización de variables	21
CAPÍTULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN		22
3.1	Tipo de estudio	23
3.2	Unidad de análisis, universo y muestra	23
3.2.1	Unidad de análisis	23

3.2.2	Universo	23
3.2.3	Muestra	23
3.3	Métodos de investigación	23
3.3.1	Descripción del área de estudio	24
3.4	Técnicas de investigación	24
3.5	Diseño de investigación	25
3.5.1	Preparación de ceniza de madera	26
3.5.2	Preparación de drenaje ácido de mina	26
3.5.3	Pruebas experimentales	26
3.6	Instrumentos	27
3.7	Técnicas de análisis de datos	27
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		28
4.1	Análisis de resultados	29
4.1.1	Resultados de experimentación	29
4.1.2	Prueba de normalidad	30
4.1.3	Condiciones iniciales del drenaje ácido de mina y de Ceniza	32
4.1.4	Efecto de la ceniza sobre el pH del DAM – Nivel V	33
4.1.5	Efecto de la ceniza sobre la acidez del DAM – Nivel V	37
4.2	Discusión de resultados	43

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
5.1 Conclusiones	47
5.2 Recomendaciones	48
REFERENCIAS	49
ANEXOS	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Componentes químicos del drenaje ácido de minas de minas típicas en todo el mundo.	13
Tabla 2 Características del DAM de la unidad minera nivel V – Algamarca.	14
Tabla 3 Composición química de las cenizas de dos especies forestales, Pinus pinaster y Pinus radiata.	17
Tabla 4 Operacionalización de variables	21
Tabla 5 Ubicación del área de estudio	24
Tabla 6 Coordenadas del punto de muestreo	24
Tabla 7 Diseño experimental de la investigación	25
Tabla 8 Resultados de experimentación	29
Tabla 9 Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el pH y acidez	30
Tabla 10 Condiciones iniciales de la ceniza y DAM – Nivel V	32
Tabla 11 Análisis de varianza de los factores de concentración y tiempo vs. pH.	33
Tabla 12 Análisis de varianza de los factores de concentración y tiempo vs. Acidez.	37
Tabla 13 Remoción de acidez del DAM – Nivel V con ceniza de madera.	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Formación de DAM y las vías de contaminación correspondientes	12
Figura 2 Reacciones químicas relacionadas con la formación de DAM.	13
Figura 3 Prueba de normalidad del pH en las diferentes concentraciones de la ceniza	30
Figura 4 Prueba de normalidad de la acidez en las diferentes concentraciones de la ceniza.	31
Figura 5 Condición inicial de la ceniza y DAM en el parámetro de pH.	32
Figura 6 Condición inicial de la ceniza y DAM en el parámetro de Acidez.	33
Figura 7 Interacción de los factores vs. pH del DAM – Nivel V.	34
Figura 8 Efecto de los factores vs pH del DAM – Nivel V.	35
Figura 9 Optimización del tratamiento vs. pH del DAM – Nivel V.	36
Figura 10 Interacción de los factores vs. Acidez del DAM – Nivel V.	38
Figura 11 Efecto de los factores vs acidez del DAM – Nivel V.	39
Figura 12 Porcentaje de reducción de la acidez del DAM – Nivel V con ceniza de madera.	41
Figura 13 Optimización del tratamiento vs. Acidez del DAM – Nivel V.	42

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Mapa de Ubicación del punto de muestreo	52
Anexo 2 Bocamina Mina Nivel 5to	53
Anexo 3 Toma de muestras	54
Anexo 4 Cernido de ceniza	57
Anexo 5 Pesado de ceniza en el laboratorio	58
Anexo 6 Preparación de drenaje ácido de mina	60
Anexo 7 Agregado de ceniza al drenaje ácido de mina	61
Anexo 8 Pruebas experimentales	63
Anexo 9 Informe Innodevel S.A.C	65

INTRODUCCIÓN

El presente estudio de investigación titulado “Neutralización del drenaje ácido de mina mediante ceniza de madera de la unidad minera Nivel V-Algamarca, 2023” presenta una alternativa rentable en el tratamiento del DAM.

Capítulo I: Se presenta la situación problemática que da origen al problema de investigación, también muestra la importancia, justificación y objetivos de la investigación.

Capítulo II: Muestra los estudios que sustentan la investigación, así también las bases teóricas y los términos básicos que comprende el estudio. Finaliza con la presentación de la hipótesis y operacionalización de variables.

Capítulo III: Está compuesto por la metodología de la investigación, donde se describe el tipo de estudio, diseño y la unidad de análisis y el proceso para realizar la experimentación.

Capítulo IV: Es el cuerpo principal del estudio pues se muestran los resultados de la investigación con su respectivo análisis.

Capítulo V: Es el capítulo final del estudio y presenta las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

El Drenaje ácido de mina (DAM) es un contaminante con altas concentraciones de metales tóxicos y con características fisicoquímicas dañinas; la causa principal de estos drenajes ácidos es la explotación y extracción del mineral en crudo. Algamarca, es un centro poblado que alberga esta actividad como el principal recurso de producción, esto ha conllevado a la contaminación del ambiente, principalmente, los recursos hídricos.

Las múltiples maneras de tratar los drenajes ácidos provenientes de las unidades mineras metálicas son en su mayoría costosas y muy difíciles de operar, sin embargo, existen desechos como la ceniza de madera que pueden neutralizar la acidez de estos drenajes, esto debido, a “las tendencias de enriquecimiento típicas para las características químicas de la madera y la biomasa leñosa como: humedad, materia volátil, CaO, MgO y Mn.” (Silvie Heviánková, Iva Bestova, & Miroslav Kyncl, 2014, p. 109).

En consecuencia, el potencial alcalino de la ceniza de madera puede usarse como un neutralizante de los drenajes ácidos mina, de ahí que, nos planteamos la siguiente pregunta:

1.2 Formulación del problema

¿Cuál es el potencial de la ceniza de madera en la neutralización del drenaje ácido de la unidad minera Nivel V – Algamarca 2023?

1.3 Justificación de la investigación

La presente investigación tiene el propósito de remediar o tratar los drenajes ácidos de la unidad minera Nivel V del centro poblado de Algamarca –

Cajabamba, pues se ha evidenciado que estos efluentes son descargados en las quebradas y estas a la vez alimentan a ríos, los cuales son importantes para la agricultura, ganadería y/u otras actividades. Estas descargas conllevan altas concentraciones de metales tóxicos y bajos pH que alteran la calidad del agua natural de las quebradas y ríos; esta problemática ha causado buscar diferentes medios de tratamientos, tales como neutralizaciones con hidróxido de sodio, hidróxido de calcio, aplicación de piedra caliza que en cierta medida son sustancias alcalinas que han logrado disminuir los metales tóxicos e incrementar el pH de estos efluentes. La adquisición de las dos primeras sustancias no es económicamente beneficiosa ya que en la actualidad el costo ha incrementado. Por otro lado, tenemos la piedra caliza, la cual su potencial de neutralización es bajo debido a la alta acidez del drenaje.

Las limitaciones de estas sustancias alcalinas han ocasionado que se busquen nuevas alternativas neutralizantes y de bajo costo para que sean útiles en el tratamiento de los efluentes ácido. Una alternativa aceptable es la ceniza de la madera, pues existen estudios que apoyan el alto poder neutralizante de esta sustancia dado que en su composición cuenta con óxidos de calcio los cuales interactúan con los iones de hidrógenos e incrementan el potencial de hidrógeno (pH).

Esta investigación se propone demostrar el potencial neutralizante de la ceniza de madera para incrementar el pH de los drenajes ácidos de mina, ya que, al ser un residuo de las cocinas antiguas o de zonas rurales (cocina a leña) lo hace potencialmente amigable al ambiente, pues se aplica el principio de reciclaje y recirculación.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Determinar el potencial de la ceniza de madera en la neutralización del drenaje ácido de la unidad minera Nivel V – Algamarca 2023

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar las condiciones iniciales (pH y acidez) del drenaje ácido de la unidad minera Nivel V – Algamarca. y el pH de la ceniza de madera.
- Determinar la mayor neutralización (pH y acidez) del drenaje ácido de la unidad minera Nivel V – Algamarca, mediante diferentes pesos de ceniza de madera.
- Conocer el porcentaje de neutralización de los diferentes pesos de ceniza de madera mediante la acidez de drenaje ácido de la unidad minera Nivel V – Algamarca

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Teorías que sustentan la investigación

Silvie Heviánková, Iva Bestova, & Miroslav Kyncl, (2014) en su investigación llamada: “La aplicación de ceniza de madera como reactivo en el tratamiento de drenaje ácido de minas”, estudiaron la capacidad de la ceniza de madera para neutralizar la acidez de los drenajes ácidos; pues usaron drenaje ácido de mina (DAM) de la minería a cielo abierto de lignito y aplicaron diferentes dosis de ceniza de madera de árboles de hoja caduca y de coníferas en un horno doméstico. Los resultados fueron que “la dosificación de ceniza de madera en DAM dio como resultado un aumento del pH en solución de 3,5 a 8,3, lo que provocó la eliminación de iones metálicos principalmente por precipitación, coprecipitación y adsorción.” (p. 109). Los metales: “Fe, Mn, As, Co, Cu, Ni, Zn, Mg, Al y Mo disminuyeron en ambos casos. la caída fue aún más clara en Mn, Zn y Mg. Los resultados de las pruebas de sedimentación en un cono Imhoff confirman que las capacidades de sedimentación de los lodos con cenizas de madera son significativamente mejores que cuando se usa hidróxido de calcio en el tratamiento de drenaje ácido de minas.” (Silvie Heviánková, Iva Bestova, & Miroslav Kyncl, 2014, p. 109).

Anna A. Bogush, Cosmina Dabú, Vera D. Tijova, Jong Kyu Kim, & Luisa C. Campos, (2020) en su estudio titulado: “Cenizas de biomasa para la remediación de drenaje ácido de minas”, investigaron la aplicación de 4 tipos de biomasa del Reino Unido de diferentes combustibles (es decir, paja, harina de carne y huesos, cama de aves) en dos tipos de drenajes ácidos de mina: sintético y sin procesar de la mina Belovo y Ursk; Los experimentos por lotes demostraron que en 1 h la ceniza de biomasa de la combustión de la paja puede neutralizar

eficazmente el AMD sintético y el AMD de Belovo con la eliminación de contaminantes potenciales en una relación líquido-sólido (L/S) de 100–250 y 10–50, respectivamente. Las cenizas de biomasa de la combustión de paja y cama de aves pueden eliminar eficazmente los contaminantes del AMD de Ursk a L/S 100 y ajustar el pH. Las concentraciones de metales de los AMD tratados cumplieron con los estándares de calidad del agua receptora. Los contaminantes potenciales precipitaron como carbonato/hidróxido/sulfato, coprecipitaron con oxihidróxidos de Fe y fosfatos de Ca, y aparecieron como nuevas fases tales como fosfatos de Ca, Cu, Zn y fosfatos de Ca, Fe. (Anna A. Bogush, Cosmina Dabú, Vera D. Tijova, Jong Kyu Kim , & Luisa C. Campos, 2020, pág. 4977).

Horia Barbu, Bianca Pavel, Moise, Sand, & Radu Pop, (2017), en su estudio titulado: “Neutralización del drenaje ácido de minas con ceniza de madera”, aplicaron las cenizas utilizadas provinieron de dos calderas pertenecientes a un fabricante de tableros de fibra, individualmente y mezcladas según su proceso de producción, utilizando drenaje ácido de mina de una mina de cobre. Los resultados han demostrado que las cenizas de fondo (BA) tienen una capacidad de neutralización mucho mejor que las cenizas volantes (FA), lo que compensa en cierta medida el hecho de que la cantidad de FA es tres veces mayor que la de BA. En adición, se demuestra que el agua tratada cumple con la normatividad de dicho país (p. 2770).

Asif Qureshi, yu jia, Mauricio, & Björn Ohlander, (2016), en su investigación titulada: “Potencial de las cenizas volantes para la neutralización del drenaje ácido de minas”, caracterizaron mineralógica y geoquímicamente las cenizas volantes (FAs) de lignito (PK), bituminoso (FI) y biomasa (SE), y se

estudió la lixiviabilidad de sus elementos con pruebas de lixiviación discontinua. El potencial de neutralización ácida (ANP) se cuantificó por su capacidad amortiguadora, lo que refleja su potencial para la neutralización del drenaje ácido de la mina. Las concentraciones de Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Na^{+} y Cl^{-} en los lixiviados fueron mucho más altas en comparación con otros elementos de todas las muestras de AF. Hierro, Cu y Hg no se detectaron en ninguno de los lixiviados de FA debido a su naturaleza alcalina leve a fuerte con un pH que oscila entre 9 y 13. El potasio se lixivió en una cantidad mucho mayor de SE que de las otras cenizas. Arsénico, Mn y Ni lixiviados solo de PK, mientras que Co y Pb solo de SE. Las concentraciones de Zn fueron mayores en los lixiviados del SE. Los FA utilizados en este estudio tienen un gran potencial para la neutralización de AMD debido a su naturaleza alcalina. Sin embargo, por otro lado, los AF deben investigarse más, con experimentos a mayor escala antes de la aplicación a gran escala. (Asif Qureshi, yu jia, Mauricio, & Björn Ohlander, 2016, p. 17083).

Nela Petronijević, y et al., (2022), en su estudio llamado “Análisis del mecanismo de neutralización del drenaje ácido de minas utilizando cenizas volantes como material alternativo: un estudio de caso del lago Robule extremadamente ácido en el este de Serbia”, investigó la neutralización de AMD utilizando cenizas volantes (FA) como material alternativo; para ello, se analizaron y utilizaron muestras de FA de centrales eléctricas de carbón en Serbia ("Nikola Tesla" (EF) y "Kostolac" (KOST)), y se aplicó al drenaje ácido de lago Robule (pH 2,46), ubicado en las zonas mineras del este de Serbia. R obtuvieron resultados prometedores, pues “las concentraciones de elementos y los valores de pH en las soluciones indicaron que las muestras de FA podrían neutralizar el lago

Robule con más del 99 % de Al, Fe, Cu, Zn y más del 89 % de Pb precipitado. Formación de formas de (oxi) hidróxido insolubles (Fe^{3+} y Al^{3+}) crea condiciones favorables para la coprecipitación de otros metales traza (Cu, Zn, Ni, Pb y Cd) de AMD, que se ve reforzada por la adsorción de cationes en partículas de FA. FA demostró ser un agente de neutralización más efectivo que NaOH debido a su efecto de adsorción.” (p. 1, 2022).

Rachel Weinberga, Rachel Coyte, Zhen Wang, Debabrata Das, & Avner Vengosh, (2022), en su estudio llamado “Implicaciones en la calidad del agua de la neutralización del drenaje ácido de mina con cenizas volantes de carbón de India y Estados Unidos”, Dado el nivel típicamente elevado de óxidos en AF, estudios previos han examinado su potencial para neutralizar AMD y eliminar los metales asociados. Se ha demostrado que la neutralización de AMD a través de la reacción con FA elimina con éxito los metales catiónicos, el destino de los elementos formadores de oxianiones está menos estudiado y es el foco de este estudio. Los experimentos de neutralización muestran que las reacciones de AMD-FA provocan la eliminación de elementos catiónicos (es decir, Fe, Mn y Al) de la solución.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Drenaje ácido de mina - DAM

La extracción de metales y la molienda de minerales metálicos provocan un desequilibrio en el ecosistema ambiental. “Los procesos como la molienda, la voladura y la trituración de estos minerales se suman al área de la superficie y hacen que los desechos se desgasten, lo que puede combinarse fácilmente con el oxígeno y el agua circundante para formar iones metálicos y

ácido sulfúrico. Estos productos interactúan con el lecho rocoso, el agua superficial y el agua subterránea para formar hidroquímicos con valores de pH más bajos. Dicha agua se denomina tradicionalmente drenaje ácido de mina.” (Yananjiao , et al. 2023).

El drenaje ácido de mina se genera principalmente por “la oxidación de minerales de sulfuro cuando se exponen al aire, el agua y la actividad microbiana, y está muy extendida en minas de carbón y sulfuro polimetálico activas o abandonadas. AMD es fuertemente ácido y el valor de pH es comúnmente inferior a 4, que generalmente tiene altas concentraciones de sulfato e iones metálicos disueltos.” (Jiaqiao Yuan, et al. 2022).

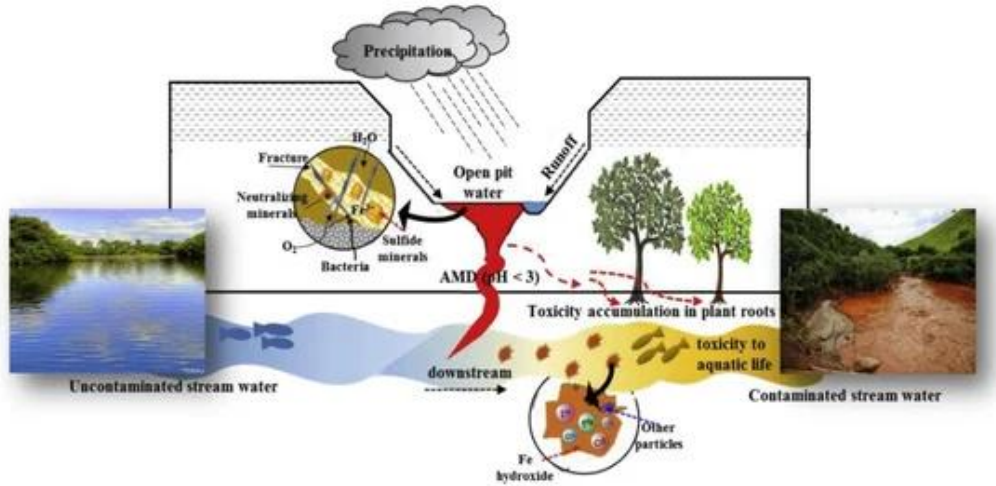
En consecuencia, se deduce que el drenaje ácido de mina (siglas en inglés AMD) se define como: El agua residual producto de la interacción del lecho rocoso, el agua superficial y el agua subterránea de una actividad minera metálica; esto enfocado en la actividad de extracción tal como señala Yananjiao, et al. 2023.

2.2.1.1 Formación del drenaje ácido de mina

Los drejanes ácidos de mina “es uno de los principales contaminantes que causan impactos ambientales y sus principales fuentes incluyen lixiviados de minas abandonadas y depósitos subterráneos, agua de lixiviación de tajos abiertos, pozos de relaves y botaderos de roca estéril, y aguas residuales descargadas durante la flotación y fundición del mineral. Generalmente, AMD es generada por la oxidación de minerales de sulfuro debido a la exposición al aire, agua y actividad microbiana.” (Jiaqiao Yuan, et al. 2022). La formación

de DAM y las vías de contaminación correspondientes se muestran en la Figura 1.

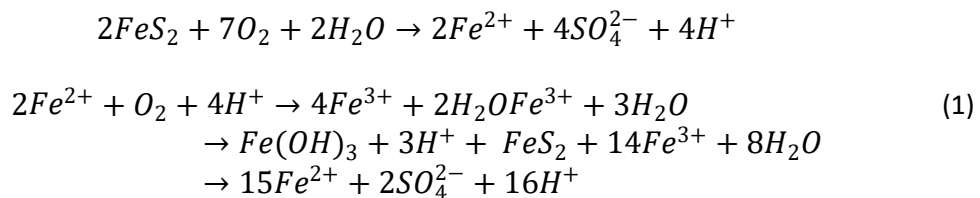
Figura 1 Formación de DAM y las vías de contaminación correspondientes



Nota: Extraído de la investigación de Jiaqiao Yuan, et al. 2022.

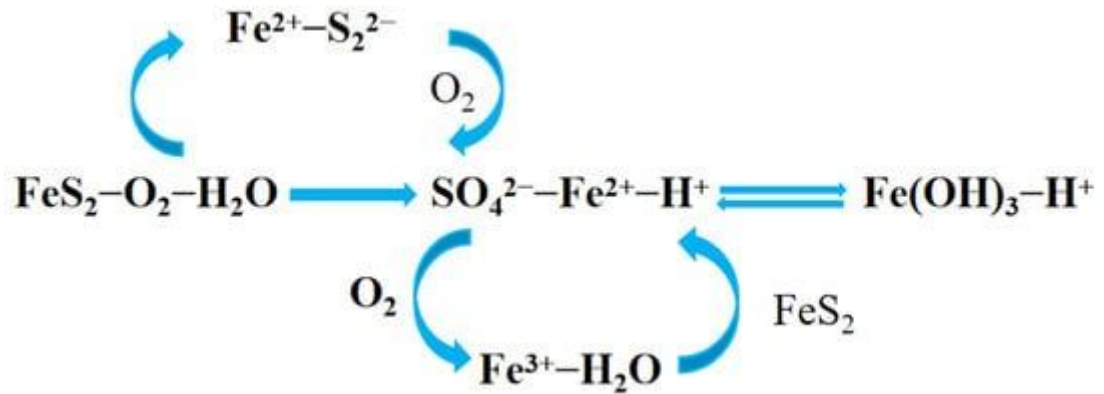
2.2.1.1.1 Mecanismo de formación del drenaje ácido de mina

El proceso de formación de DAM es el proceso de oxidación de los minerales de sulfuro, que se completa con la oxidación química y la oxidación biológica. La oxidación biológica juega un papel decisivo (Yananjiao, et al. 2023).



Con la participación de agua y oxígeno, la pirita forma Fe^{2+} y H_2SO_4 , como se muestra en la reacción de la ecuación 1. Este proceso es la clave para la formación de DAM.

Figura 2 Reacciones químicas relacionadas con la formación de DAM.



Nota: Extraído de la investigación de Jiaqiao Yuan, et al. 2022.

La figura 2, muestra la reacción del drenaje de mina de una manera más resumida, pues se visualiza la recirculación de algunos elementos con el agua y el oxígeno del ambiente.

2.2.1.2 Características de los drenajes ácidos de mina

Una de las peculiaridades de los drenajes ácidos de mina en todo el mundo es su composición química, esto involucra las altas concentraciones de metales disueltos y pH bajos menores a 3, además, que contienen sulfatos.

Tabla 1 Componentes químicos del drenaje ácido de minas de minas típicas en todo el mundo.

País	Minas Típicas	pH	Fe (mg/L)	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	Manganeso (mg/L)	Al (mg/L)	SO_4^{2-} (mg/L)
Porcelana	Mina polimetálica	2.50	2490	500	2670	6590	-	24,530
Sudáfrica	Mina de carbón de Mpumalanga	2	8000	-	-	75	300	30,000

País	Minas Típicas	pH	Fe (mg/L)	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	Manganeso (mg/L)	Al (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)
España	Mina Riotinto	2,60–2,80	1824	557	184	329	2830	24,700
Australia	Mina de oro Monte Morgan	2.70	66	55	sesenta y cinco	245	2317	29,547
EE.UU	Mina de cobre Elizabeth	3.30	123	-	-	2.60	13	1200
Chile	Mina de cobre	2.50	627.50	-	2298	224.50	1139	14,337
Corea	Mina de carbón de Taejeong	3.28	186	-	-	13	40	1950
Canadá	Mina de oro	2.39	788	0.25	3.42	19.40	310	4520
Brasil	Mina de carbón	2.33	611.38	62.65	-	37.98	269.37	7410.40

Nota: Extraído de la investigación de Jiaqiao Yuan, et al. 2022, es importante recalcar que la tabla en la fuente original presenta las referencias de cada país; los (-) indican “por debajo de los límites de detección.”

2.2.1.3 Características del drenaje ácido de mina de Algamarca –

Unidad Minera Nivel V

Las características del drenaje ácido de mina de la unidad minera nivel V – Algamarca, ha sido estudiado y tratado por diferentes investigadores, además, han contribuido con información de sus características de dicho AMD, mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2 Características del DAM de la unidad minera nivel V – Algamarca.

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP minería	Inicial
Hierro Total (1)	mg/L	2.00	1,300.75
Cobre Total	mg/L	0.5	729.81

Arsénico Total	mg/L	0.1	45.09
Zinc Total	mg/L	1.5	64.79
Cromo Total (2)	mg/L	0.1	0.0569
Plomo Total	mg/L	0.2	0.0723
Cadmio Total	mg/L	0.05	1.41715
Mercurio Total	mg/L	0.002	0.00286
pH	Unidad de pH	6 a 9	2.23

Respecto al Hierro Total, según la norma de los LMPs para minería se exige el Hierro Disuelto, pero para efecto de la presente investigación se propone cumplir en base al Hierro Total, con lo cual se cumpliría ampliamente respecto a Hierro Disuelto.

Respecto a Cromo Total, en este caso se exige en los LMPs como cromo hexavalente, pero al igual que en el Hierro la propuesta es cumplir con el cromo total con lo cual se cumplirá el cromo hexavalente.

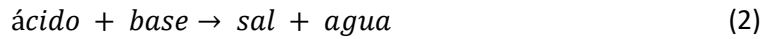
Extraído de la tesis de Gallardo Díaz & Acuña Bustamante, 2020, p. 57.

Los parámetros estudiados en la tesis de Gallardo Díaz & Acuña Bustamante, (2020), son metales totales y pH, lo cuales aplicaron dos tipos de procesos de neutralización para el tratamiento de DAM. Los resultados, se asemejan a los resultados de la tabla 1, que muestran las diferentes características de los diversos tipos de drenaje ácido.

2.2.1.4 Neutralización de drenajes ácidos de mina

2.2.1.4.1 Neutralización

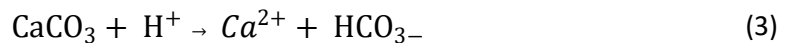
Este término se refiere a todos “los tratamientos destinados a llevar al agua a un pH próximo a la neutralidad, o bien a un pH próximo al pH de equilibrio, puesto que, inicialmente, el agua puede ser ácida o alcalina.” (Bermeo Garay, Bonilla Bermeo, & Coloma Coloma, 2017, p. 17). La reacción mediante la cual una base neutraliza las propiedades de un ácido recibe el nombre de neutralización y se ajusta, en términos generales, a una ecuación química del tipo:



La reacción de neutralización de un ácido con una base siempre producirá agua y sal, tal como se muestra en la ecuación 2; adicionalmente, el ácido o la base deben ser fuertes para que existe un impacto en la reacción.

2.2.1.4.2 Sistemas de neutralización aplicados a drenajes ácidos de minerías

“Uno de los mayores problemas de la minería es el drenaje ácido (DAM). En este caso, el carbonato de calcio actúa como un reactivo neutralizante que lleva al pH a valores aceptables y favorecen la precipitación de la mayor parte de los metales pesados que pueda contener el agua. El proceso que consume los hidrogeniones de la solución ácida, y, por lo tanto, la neutraliza” (Bermeo Garay, Bonilla Bermeo, & Coloma Coloma, 2017, p. 59), se lo resume de la siguiente manera:



2.2.2 Ceniza de madera

Las cenizas se obtienen por “la combustión de madera o corteza de madera en diferentes industrias de fabricación de tableros y pasta de papel para la obtención de energía. Las elevadas cantidades de este residuo y el coste que representa su almacenaje ha suscitado un interés en la búsqueda de alternativas.” (F. Solla-Gullón, R. Rodríguez-Soalleiro, & A. Merino, 2001, p. 379).

Las cenizas de madera presentan contenidos “importantes de diferentes nutrientes como K, P, Mg y Ca, los cuales se encuentran en formas

relativamente solubles. Algunos de estos elementos se encuentran como óxidos, hidróxidos y carbonatos, por lo que el material presenta un fuerte carácter alcalino. De este modo, el potencial neutralizante expresado en términos de equivalentes de CaCO₃, varía entre el 25 y el 100 %, por lo que es posible su uso para corregir la acidez de suelos ácidos.” (F. Solla-Gullón, R. Rodríguez-Soalleiro, & A. Merino, 2001, p. 380). La aplicación de la ceniza de madera a suelos ácidos es muy recurrente en los países de EEUU y en Suecia, donde lo utilizan para mejorar las propiedades químicas del suelo.

2.2.2.1 Composición química de la ceniza de madera

Tabla 3 Composición química de las cenizas de dos especies forestales, *Pinus pinaster* y *Pinus radiata*.

	Totales	Asimilables
Humedad (%)	11,5	
pH (H ₂ O)	10,4	
pH (KCl)	10,9	
Materia orgánica (%)	56,1	
C (g kg ⁻¹)	505	
N (g kg ⁻¹)	5,56	
S (g kg ⁻¹)	0,32	
P (g kg ⁻¹)	2,6	0,4 (15 %)
Ca (g kg ⁻¹)	25,0	13,8 (55 %)
Mg (g kg ⁻¹)	6,0	1,5 (25 %)
Na (g kg ⁻¹)	2,4	1,2 (50 %)
K (g kg ⁻¹)	11,1	5,0 (45 %)
Al (g kg ⁻¹)	16,2	n.d.
Cd (mg kg ⁻¹)	1,8	1,1 (59 %)
Cr (mg kg ⁻¹)	23,7	3,7 (15 %)
Cu (mg kg ⁻¹)	32,9	4,5 (14 %)
Fe (mg kg ⁻¹)	1.390	380 (27 %)
Mn (mg kg ⁻¹)	1.470	354 (24%)
Ni (mg kg ⁻¹)	14,0	8,1 (58 %)
Pb (mg kg ⁻¹)	47,0	14,0 (30 %)
Zn (mg kg ⁻¹)	1.700	44,0 (2,6 %)

n.d. = no determinado

Nota: Extraído de F. Solla-Gullón, R. Rodríguez-Soalleiro, & A. Merino, 2001, p. 382.

“La composición elemental de las cenizas empleadas se recoge en la Tabla 3. Se puede destacar la fuerte reacción alcalina y las importantes concentraciones de Ca, Mg y K, elementos que se encuentran en formas solubles. De igual

modo, se pueden señalar las bajas concentraciones de N y de metales pesados. La capacidad encalante de este material, expresada como equivalentes de carbonato de calcio fue de 26 %.” (F. Solla-Gullón, R. Rodríguez-Soalleiro, & A. Merino, 2001, p. 382.).

2.3 Definición de términos básicos

2.3.1 Concentración

Relación de una sustancia disuelta o contenida en una cantidad dada de otra sustancia.

2.3.2 Contaminación

Distribución de una sustancia química o una mezcla de sustancias en un lugar no deseable (aire, agua, suelo), donde puede ocasionar efectos adversos al ambiente o sobre la salud.

2.3.3 Contaminante

Cualquier sustancia química que no pertenece a la naturaleza del suelo o cuya concentración excede la del nivel de fondo susceptible de causar efectos nocivos para la salud de las personas o el ambiente.

2.3.4 Dosis

Cantidad de una sustancia disponible que interactúa con el proceso metabólico o biológico de los receptores una vez que ha cruzado las barreras externas del organismo.

2.3.5 Efecto adverso o dañino

Cambio en la morfología, fisiología, crecimiento, desarrollo, o reproducción de un organismo, población, comunidad o ecosistema que resulta en

el deterioro de la capacidad funcional y deterioro en la capacidad de compensar los efectos de factores de estrés adicionales. Es una función de la dosis de exposición y, de las condiciones de exposición (vía de ingreso, duración y frecuencia de las exposiciones, tasa de contacto con el medio contaminado, entre otros).

2.3.6 Fuente de contaminación

Punto o área de contaminación y dispersión de materiales peligrosos y residuos peligrosos al ambiente, fuente que emite contaminantes al ambiente en un sitio contaminado.

2.3.7 Remediación

Tarea o conjunto de tareas a desarrollarse en un sitio contaminado con la finalidad de eliminar o reducir contaminantes, a fin de asegurar la protección de la salud humana y la integridad de los ecosistemas.

2.3.8 Sedimento

Materiales de depósito o acumulados por arrastre mecánico de las aguas superficiales o el viento depositados en los fondos marinos, fluviales, lacustres y depresiones continentales.

2.4 Hipótesis de investigación

2.4.1 Hipótesis nula (H_0)

La ceniza de madera no neutraliza el pH y la acidez del drenaje ácido de la unidad minera Nivel V, entonces **no tiene un potencial de neutralización alto.**

2.4.2 Hipótesis alterna (*H_a*)

La ceniza de madera neutraliza el pH y la acidez del drenaje ácido de la unidad minera Nivel V, entonces **tiene un potencial de neutralización alto.**

2.5 Operacionalización de variables

Tabla 4 Operacionalización de variables

Variables	Definición	Dimensión	Indicador	Ítem	Instrumento
<u>Independiente</u> Ceniza de madera.	Componente de diferentes nutrientes como K, P, Mg y Ca, los cuales se encuentran en formas relativamente solubles. Algunos de estos elementos se encuentran como óxidos, hidróxidos y carbonatos, por lo que el material presenta un fuerte carácter alcalino	Componentes de carácter alcalino	pH de la ceniza. Concentraciones: 12, 14, 16, 18 y 20 g/L	¿Cuál es el pH de la ceniza? ¿Cuál es el peso que mejor neutraliza?	Multiparámetros, Análisis de laboratorio.
<u>Dependiente</u> Neutralización del drenaje ácido de mina	Tratamientos destinados a llevar al agua a un pH próximo a la neutralidad, o bien a un pH próximo al pH de equilibrio, puesto que, inicialmente, el agua puede ser ácida o alcalina.”	Neutralidad de aguas ácidos Tiempo de residencia	pH del drenaje ácido inicial y final Acidez del drenaje ácido Tiempo de reacción: 30 y 60 min.	¿A que pH y acidez llegará cuando se lo agregue ceniza? ¿A qué tiempo reaccionará?	Multiparámetros, cronómetro, análisis de laboratorio.

CAPÍTULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de estudio

La presente investigación es de tipo experimental, pues se realiza la comparación de dos o más grupos, se administra un tratamiento y se realiza una manipulación intencional de variables y su respectiva medición (Sampieri, Fernández y Baptista, 2010).

3.2 Unidad de análisis, universo y muestra

3.2.1 Unidad de análisis

Drenaje ácido de mina tratado con ceniza de madera

3.2.2 Universo

Drenaje ácido de mina del Nivel V – Algamarca

Ceniza extraída de restaurantes de la zona.

3.2.3 Muestra

20 mL de drenaje ácido de mina.

1kg de ceniza de madera.

3.3 Métodos de investigación

La presente investigación es de tipo básica – explicativa, dado que, “van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables.” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, p. 95). En consecuencia, este estudio cumple con el criterio de

determinar el efecto que tiene la ceniza de madera sobre el drenaje ácido de mina y si logra neutralizarlo.

3.3.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio se encuentra en las afueras del Centro Poblado de Algamarca, ubicado como se muestra en la Tabla 5 (Ver Anexo 1).

Tabla 5 *Ubicación del área de estudio*

Departamento	Provincia	Distrito	Centro Poblado	Unidad Minera
Cajamarca	Cajabamba	Cachachi	Algamarca	Nivel 5to

El punto de muestreo seleccionado se encuentra en la entrada de la bocamina de la Unidad Minera Nivel 5to. Se encuentra delimitado por las coordenadas que se muestran en la Tabla 6 (Ver Anexo 1).

Tabla 6 *Coordenadas del punto de muestreo*

Nombre del punto de muestreo	Coordenadas UTM	
	X (Este)	Y (Norte)
Bocamina Nivel 5to	802773.00	9157942.00

3.4 Técnicas de investigación

El procedimiento se basa en el estudio de Constantin Horia Barbu, Petronela Bianca Pavel, Cristina Maria Moise, Camelia Sand, & Mihai Radu Pop, (2017), sin embargo, se mantiene algunas variaciones, dado que, ellos estudiaron el efecto de diferentes cenizas de madera y combinadas. Para esta investigación, las variaciones son las cantidades o pesos de la ceniza de madera de Eucalipto, ya que, son las más utilizadas en las cocinas rurales del

centro poblado de Algamarca. El drenaje ácido de mina, se extrae de la unidad minera Nivel V del centro poblado de Algamarca – Cachachi – Cajabamba.

3.5 Diseño de investigación

Tabla 7 *Diseño experimental de la investigación*

N°	Ensayo	Concentración (g/L)	Tiempo mezcla rápida (min)	Agitación rápida (RPM)	Tiempo de mezcla lenta (min)	Agitación lenta (RPM)	Tiempo de reposo (min)	Parámetros	Resultados
1	Prueba	0	0	0	0	0	0	pH	---
2	Prueba	0	0	0	0	0	0	Acidez (mg/L)	---
3	Prueba	12	5	150	30	40	30	pH	---
4	Prueba	12	5	150	30	40	30	Acidez (mg/L)	---
5	Prueba	12	5	150	30	40	60	pH	---
6	Prueba	12	5	150	30	40	60	Acidez (mg/L)	---
7	Prueba	14	5	150	30	40	30	pH	---
8	Prueba	14	5	150	30	40	30	Acidez (mg/L)	---
9	Prueba	14	5	150	30	40	60	pH	---
10	Prueba	14	5	150	30	40	60	Acidez (mg/L)	---
11	Prueba	16	5	150	30	40	30	pH	---
12	Prueba	16	5	150	30	40	30	Acidez (mg/L)	---
13	Prueba	16	5	150	30	40	60	pH	---
14	Prueba	16	5	150	30	40	60	Acidez (mg/L)	---
15	Prueba	18	5	150	30	40	30	pH	---
16	Prueba	18	5	150	30	40	30	Acidez (mg/L)	---
17	Prueba	18	5	150	30	40	60	pH	---
18	Prueba	18	5	150	30	40	60	Acidez (mg/L)	---
19	Prueba	20	5	150	30	40	30	pH	---
20	Prueba	20	5	150	30	40	30	Acidez (mg/L)	---
21	Prueba	20	5	150	30	40	60	pH	---
22	Prueba	20	5	150	30	40	60	Acidez (mg/L)	---
23	Réplica	0	0	0	0	0	0	pH	---
24	Réplica	0	0	0	0	0	0	Acidez (mg/L)	---
25	Réplica	12	5	150	30	40	30	pH	---
26	Réplica	12	5	150	30	40	30	Acidez (mg/L)	---
27	Réplica	12	5	150	30	40	60	pH	---
28	Réplica	12	5	150	30	40	60	Acidez (mg/L)	---
29	Réplica	14	5	150	30	40	30	pH	---
30	Réplica	14	5	150	30	40	30	Acidez (mg/L)	---
31	Réplica	14	5	150	30	40	60	pH	---
32	Réplica	14	5	150	30	40	60	Acidez (mg/L)	---
33	Réplica	16	5	150	30	40	30	pH	---
34	Réplica	16	5	150	30	40	30	Acidez (mg/L)	---
35	Réplica	16	5	150	30	40	60	pH	---

N°	Ensayo	Concentración (g/L)	Tiempo mezcla rápida (min)	Agitación rápida (RPM)	Tiempo de mezcla lenta (min)	Agitación lenta (RPM)	Tiempo de reposo (min)	Parámetros	Resultados
36	Réplica	16	5	150	30	40	60	Acidez (mg/L)	---
37	Réplica	18	5	150	30	40	30	pH	---
38	Réplica	18	5	150	30	40	30	Acidez (mg/L)	---
39	Réplica	18	5	150	30	40	60	pH	---
40	Réplica	18	5	150	30	40	60	Acidez (mg/L)	---
41	Réplica	20	5	150	30	40	30	pH	---
42	Réplica	20	5	150	30	40	30	Acidez (mg/L)	---
43	Réplica	20	5	150	30	40	60	pH	---
44	Réplica	20	5	150	30	40	60	Acidez (mg/L)	---

Nota: El volumen de muestra será 500 ml por tratamiento.

3.5.1 Preparación de ceniza de madera

- La ceniza se extrae de un restaurante del lugar (Centro poblado de Algamarca).
- La ceniza se cierne con un colador de membranas finas, hasta alcanzar el peso de 1 Kg.
- Se determina su pH, agregando 2g de ceniza de madera a 100 mL de agua destilada en un Beaker de 200 ml.

3.5.2 Preparación de drenaje ácido de mina

- El drenaje ácido se extrae de la unidad minera Nivel V – Algamarca.
- Se extrae 20 L de la fuente en un recipiente de 40 galones encapsulado.

3.5.3 Pruebas experimentales

- Se agrega agua del drenaje ácido a un beaker de 500 ml y se realiza las mediciones de pH y Acidez.
- Luego, se pesa la ceniza en las concentraciones de 12, 14, 16, 18 y 20 g/L. y se les añade a las muestras a tratar.
- Se programa la primera agitación a 150 RPM por 5 minutos, y luego la segunda a 40 RMP por 30 minutos.
- Se deja reposar en dos diferentes tiempos 30 y 60 minutos, para luego realizar la medición del pH y acidez.

- Las pruebas se realizaron con una réplica y siguientes el procedimiento anterior.

3.6 Instrumentos

Los principales instrumentos se dividen en dos: primero el diseño de experimentación, pues señalan las variables e indicadores que serán manipulados en el experimento. Segundo, los equipos útiles para la medición de los indicadores, los cuales son: multiparámetros (pH), test de jarras, beaker de 500 ml, balanza y material de escritorio.

3.7 Técnicas de análisis de datos

El análisis de los datos es mediante el método estadístico ANOVA de dos factores para determinar la variabilidad de las diferentes concentraciones y tiempos de reposo, esto quiere decir, que las concentraciones finales son menores a las iniciales.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados

4.1.1 Resultados de experimentación

Tabla 8 *Resultados de experimentación*

Código	Concentración (g/L)	Tiempo reposo (min)	Acidez (mg CaCO ₃ /L)	pH (Unidad de pH)
B-00-01	0	0	3931.25	2.73
B-30-01	0	30	3865.34	2.72
B-60-01	0	60	4222.59	2.70
T12-00-01	12	0	971.92	5.51
T12-30-01	12	30	982.42	5.45
T12-60-01	12	60	805.20	5.47
T14-00-01	14	0	792.50	5.69
T14-30-01	14	30	664.31	5.68
T14-60-01	14	60	540.30	5.76
T16-00-01	16	0	631.25	5.88
T16-30-01	16	30	511.92	5.92
T16-60-01	17	60	398.62	6.07
T18-00-01	18	0	437.62	6.13
T18-30-01	18	30	298.53	6.31
T18-60-01	18	60	226.38	7.11
T20-00-01	20	0	348.04	6.39
T20-30-01	20	30	222.94	6.74
T20-60-01	20	60	120.10	7.42
B-00-02	0	0	3983.92	2.75
B-30-02	0	30	4245.54	2.77
B-60-02	0	60	4527.78	2.66
T12-00-02	12	0	859.60	5.55
T12-30-02	12	30	790.23	5.55
T12-60-02	12	60	603.45	5.50
T14-00-02	14	0	699.00	5.67
T14-30-02	14	30	620.13	5.75
T14-60-02	14	60	405.54	5.81
T16-00-02	16	0	542.01	5.95
T16-30-02	16	30	427.24	6.01
T16-60-02	17	60	267.98	6.37
T18-00-02	18	0	341.35	6.30
T18-30-02	18	30	303.24	6.43
T18-60-02	18	60	182.78	7.21
T20-00-02	20	0	253.57	6.74
T20-30-02	20	30	237.94	6.84
T20-60-02	20	60	133.02	7.47

4.1.2 Prueba de normalidad

Tabla 9 Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el pH y acidez

Parámetro	Valor p
pH	0.071
Acidez	>0.1

Ho: La distribución de los datos es normal

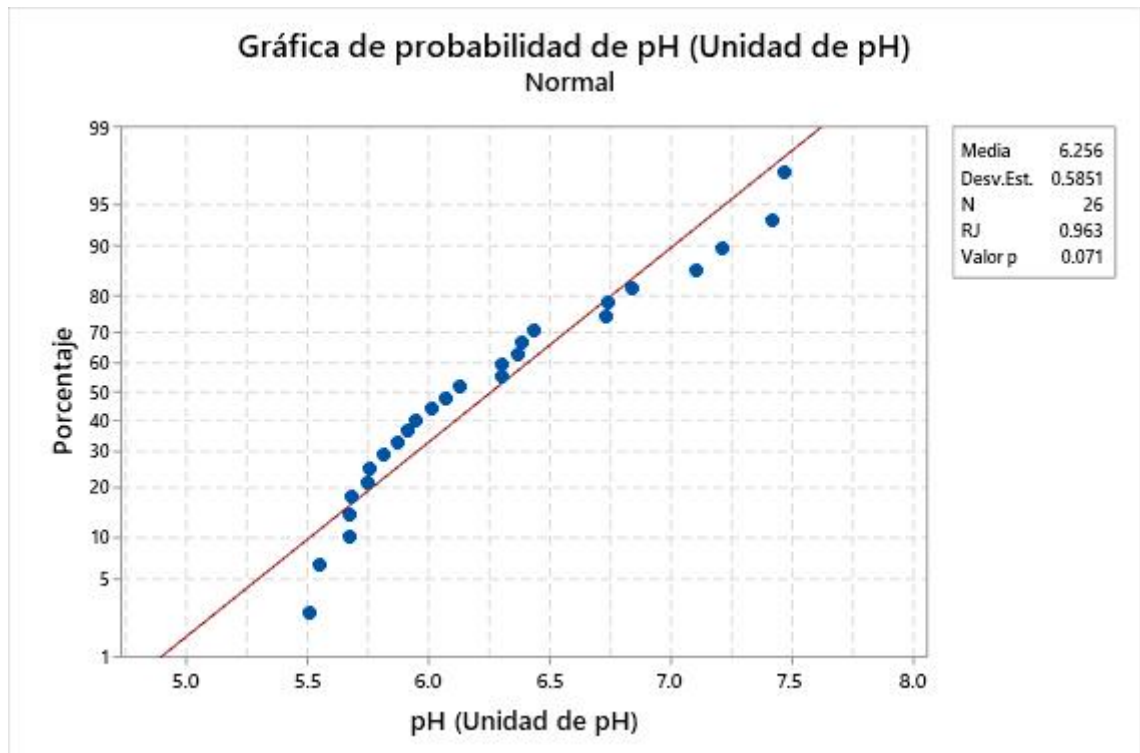
Hi: La distribución de los datos no es normal

Significancia: 0,05

Si: $\alpha < 0,05$; rechazar Ho

$\alpha \geq 0,05$, aceptar Ho

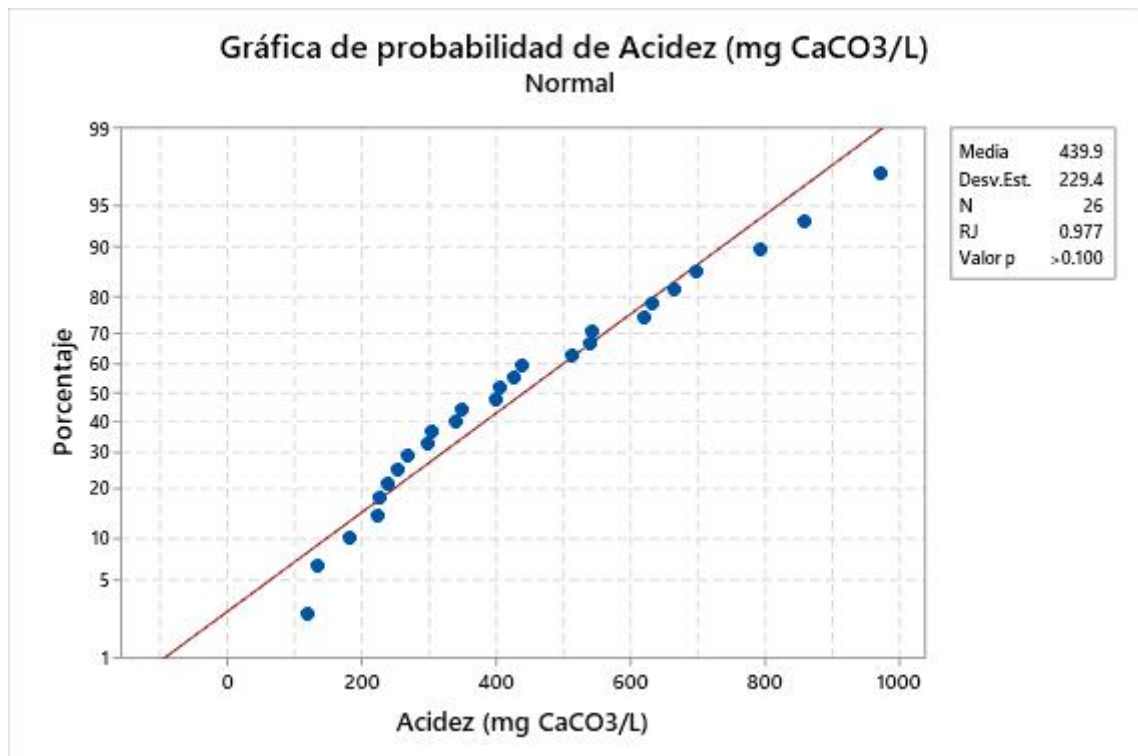
Figura 3 Prueba de normalidad del pH en las diferentes concentraciones de la ceniza



Interpretación

La figura 3, muestra la normalidad de los valores experimentales del pH del DAM – Nivel V medidos en los diferentes tratamientos, el cual, nos muestra que tienen una distribución normal, dado que, el valor p calculado (ver tabla 9: 0.071) es mayor al nivel de significancia 0.05, esto quiere decir que se acepta la hipótesis nula: “La distribución de los datos es normal”, en consecuencia, se utilizará una prueba paramétrica para los propósitos de esta investigación (Análisis multifactorial).

Figura 4 Prueba de normalidad de la acidez en las diferentes concentraciones de la ceniza.



Interpretación

La figura 4, muestra la normalidad de los valores experimentales del pH del DAM – Nivel V medidos en los diferentes tratamientos, el cual, nos muestra que tienen una distribución normal, dado que, el valor p calculado (ver tabla 9: >0.1) es mayor al nivel de significancia 0.05, esto quiere decir

que se acepta la hipótesis nula: “La distribución de los datos es normal”, en consecuencia, se utilizará una prueba paramétrica para los propósitos de esta investigación (Análisis multifactorial).

4.1.3 Condiciones iniciales del drenaje ácido de mina y de Ceniza

Tabla 10 *Condiciones iniciales de la ceniza y DAM – Nivel V*

Condición inicial	Acidez (mg CaCO ₃ /L)	pH (Unidad de pH)
Ceniza	< LC	11.25
DAM - Nivel V	4161.25	2.35

Figura 5 *Condición inicial de la ceniza y DAM en el parámetro de pH.*

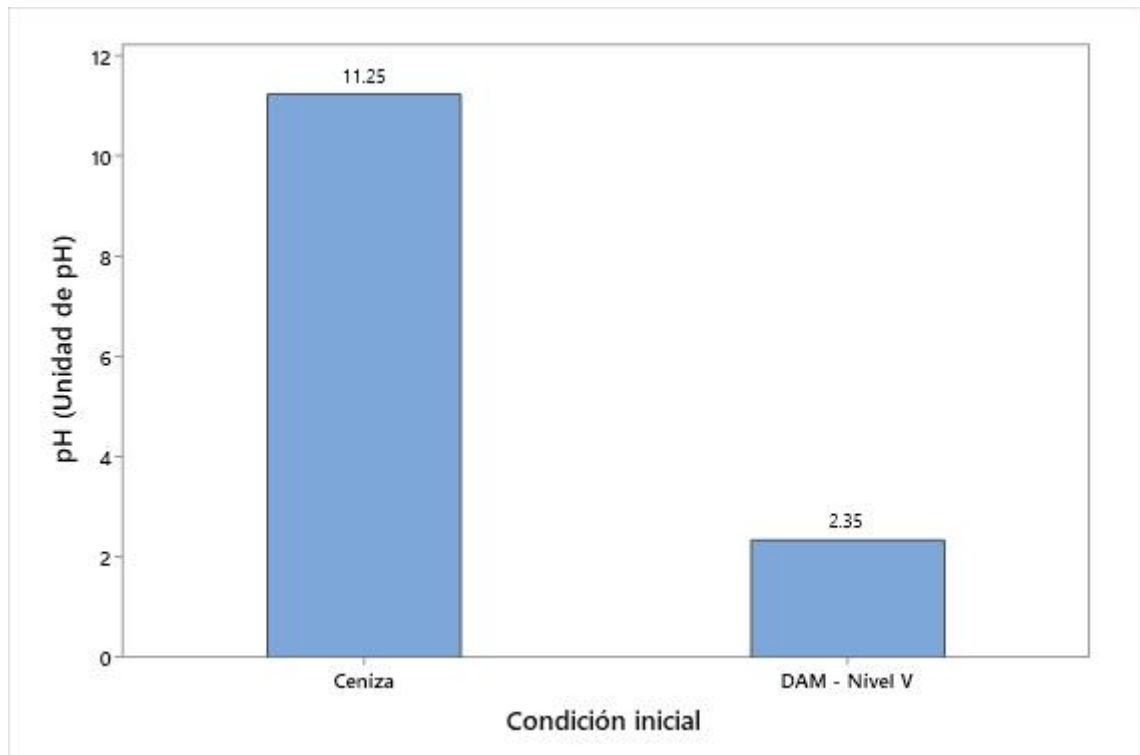
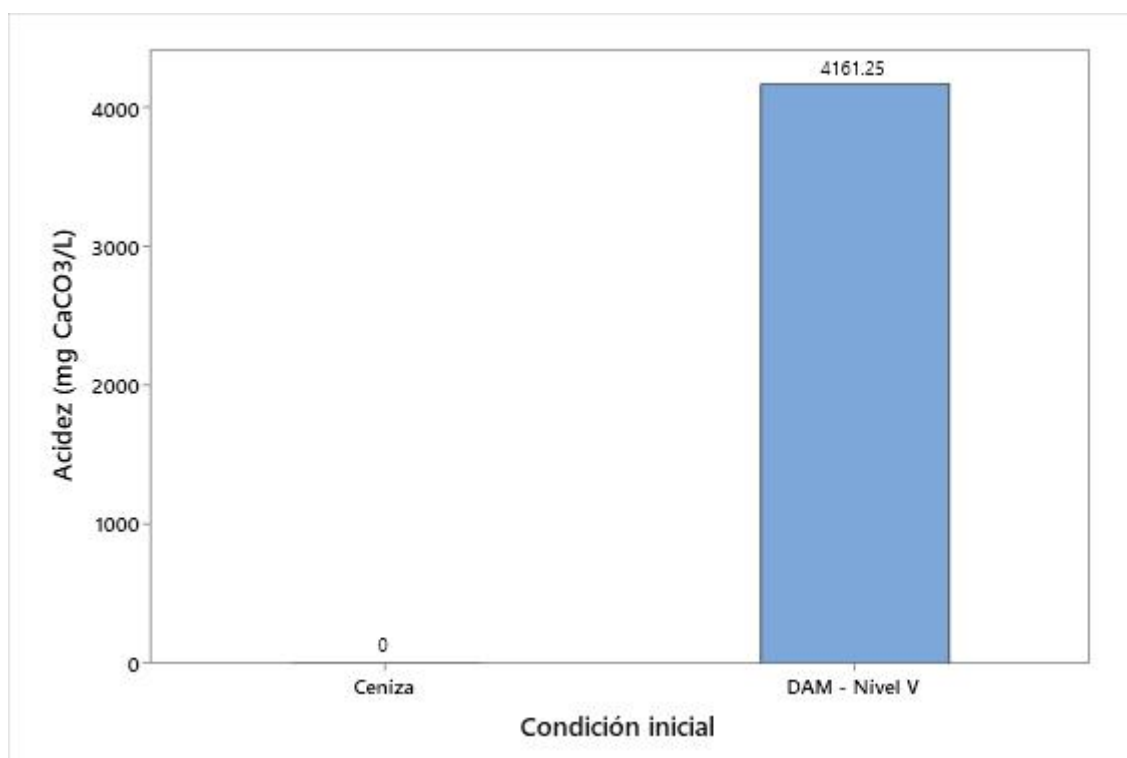


Figura 6 Condición inicial de la ceniza y DAM en el parámetro de Acidez.



Interpretación

La figura 5 y 6, presenta las condiciones iniciales o condiciones naturales del pH y acidez de la ceniza de madera (Eucalipto) y el DAM – Nivel V, tal como se indica: la ceniza de madera tiene un pH de 11.25 y una acidez menor al Límite de cuantificación, es decir, no presenta acidez. Por otro lado, el pH y acidez del DAM se encuentra en un pH de 2.35 y una acidez de 4161.25 mg CaCO₃/ L, lo que significa, que se requiere cal u otros agentes alcalinizantes en altas concentraciones.

4.1.4 Efecto de la ceniza sobre el pH del DAM – Nivel V

Tabla 11 Análisis de varianza de los factores de concentración y tiempo vs. pH.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	17	69.3339	4.0785	446.78	0.000
Lineal	7	68.1872	9.7410	1067.10	0.000
Concentración (g/L)	5	67.3428	13.4686	1475.45	0.000
Tiempo de reposo (min)	2	0.8444	0.4222	46.25	0.000

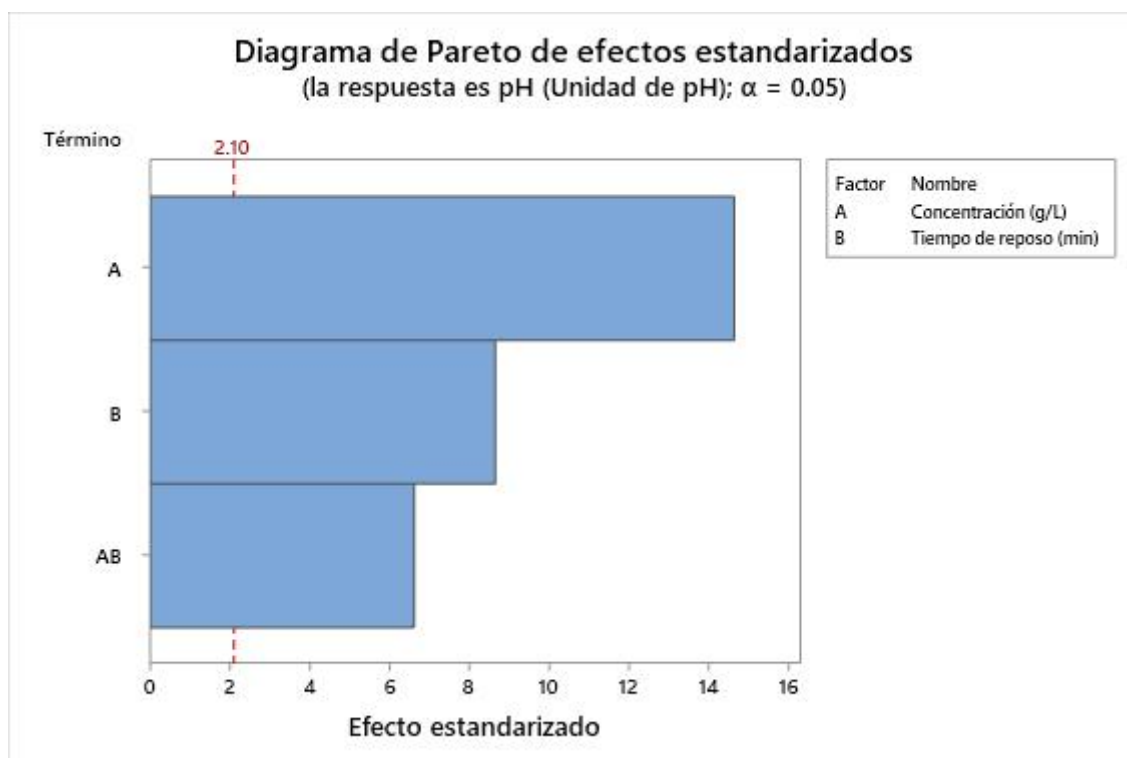
Interacciones de 2 términos	10	1.1467	0.1147	12.56	0.000
Concentración (g/L)*Tiempo de reposo (min)	10	1.1467	0.1147	12.56	0.000
Error	18	0.1643	0.0091		
Total	35	69.4982			

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna No todas las medias son iguales
Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Factor	Niveles	Valores
Concentración (g/L)	6	0; 12; 14; 16; 18; 20
Tiempo de reposo (min)	3	0; 30; 60

Figura 7 Interacción de los factores vs. pH del DAM – Nivel V.

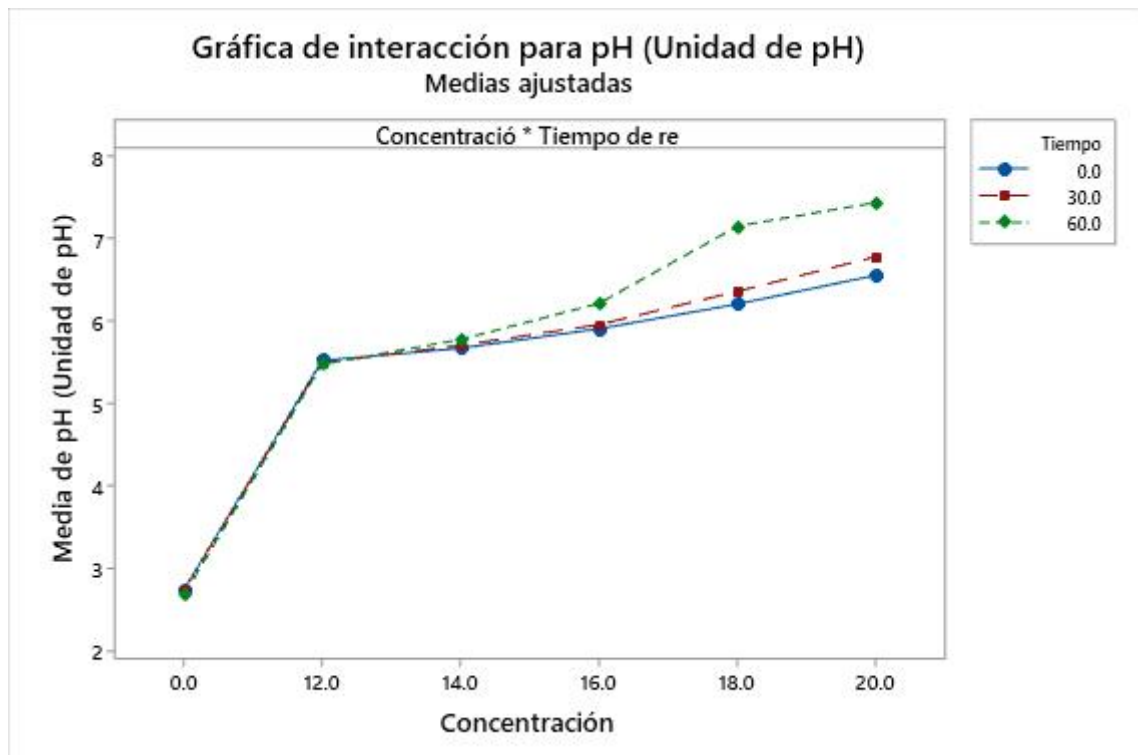


Interpretación

El pH del DAM es afectado por las diferentes concentraciones o dosis de ceniza de madera, esto a partir del efecto estadístico que se presenta en la

tabla 11. Es decir, las concentraciones o dosis y el tiempo de reposo alteran significativamente el parámetro de pH del DAM, debido a que, se acepta la hipótesis alterna: No todas las medias son iguales, dado que, los valores p (0.000) de los factores individuales y la interacción de ambos, son menores a la significancia (0.05) y por ende se infiere el efecto significativo. Por otro lado, en la figura 7, se visualiza que la concentración o dosis de la ceniza (A) es el factor que mayor impacto tienen con respecto al pH del DAM, ya que, tiene un efecto alto de la misma manera que el tiempo de reposo. Además, la interacción de ambos factores produce efectos significativos en el pH del DAM. En consecuencia, la ceniza de madera afecta el pH del DAM – Nivel V.

Figura 8 Efecto de los factores vs pH del DAM – Nivel V.

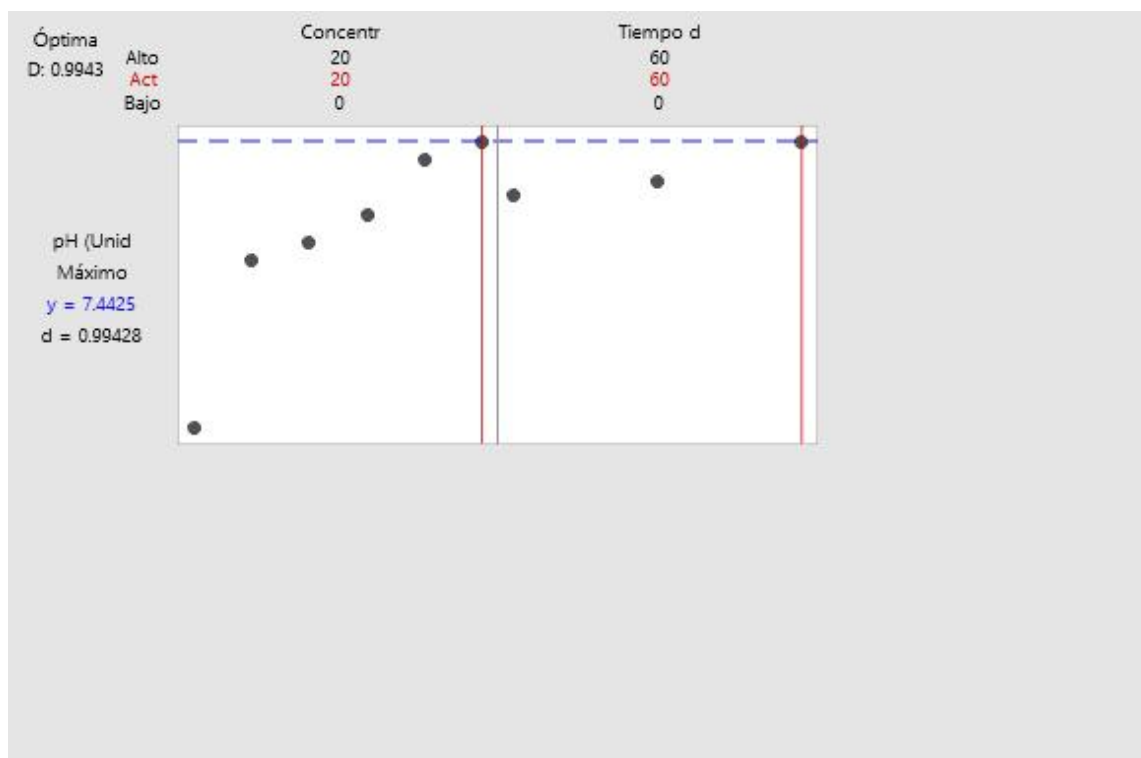


Interpretación

Tal como se demostró, anteriormente, la ceniza afecta significativamente el pH del DAM, sin embargo, no se sabe si incrementa o

disminuye el pH. La figura 8, muestra la dirección del efecto que produce la ceniza de madera y el tiempo sobre el pH, y se visualiza, que conforme se incrementa la concentración o dosis, se incrementa el pH, produciendo de esta manera una correlación positiva de ambos factores. Adicionalmente, se visualiza, que la ceniza puede incrementar el pH del DAM en el tiempo, pues, se visualiza que a un tiempo de 30 minutos tiene un incremento ligero, pero a un tiempo de 60 minutos el incremento es mayor; este acontecimiento se produce a partir de la dosis de 14 g/L, y luego se incrementa y se diferencia con mayor amplitud a los 60 minutos para las dosis de 16, 18 y 20 g/L. En consecuencia, el pH del DAM presenta mayor pH a concentraciones altas de ceniza y a tiempos prolongados de reposo.

Figura 9 Optimización del tratamiento vs. pH del DAM – Nivel V.



Interpretación

Luego de saber el incremento del pH del DAM mediante la ceniza de la madera, ahora se presenta la figura 9, en la cual se visualiza el proceso óptimo para obtener el pH más alto, según la figura 9, el pH más alto es 7.44 se produce en una dosis de 20 g/L y a un tiempo de reposo de 60 min (1h). Esto demuestra, que las dosis altas de ceniza de madera tienen el potencial de neutralizar los drenajes ácidos de mina, aún más si se los sumerge a tiempos prolongados. En consecuencia, la ceniza de madera es un agente alcalinizante que puede contrarrestar la acidez de los DAM.

4.1.5 Efecto de la ceniza sobre la acidez del DAM – Nivel V

Tabla 12 *Análisis de varianza de los factores de concentración y tiempo vs. Acidez.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	17	68255056	4015003	350.58	0.000
Lineal	7	67883720	9697674	846.79	0.000
Concentración (g/L)	5	67806670	13561334	1184.16	0.000
Tiempo de reposo (min)	2	77050	38525	3.36	0.057
Interacciones de 2 términos	10	371336	37134	3.24	0.014
Concentración (g/L)*Tiempo de reposo (min)	10	371336	37134	3.24	0.014
Error	18	206142	11452		
Total	35	68461198			

Hipótesis nula Todas las medias son iguales

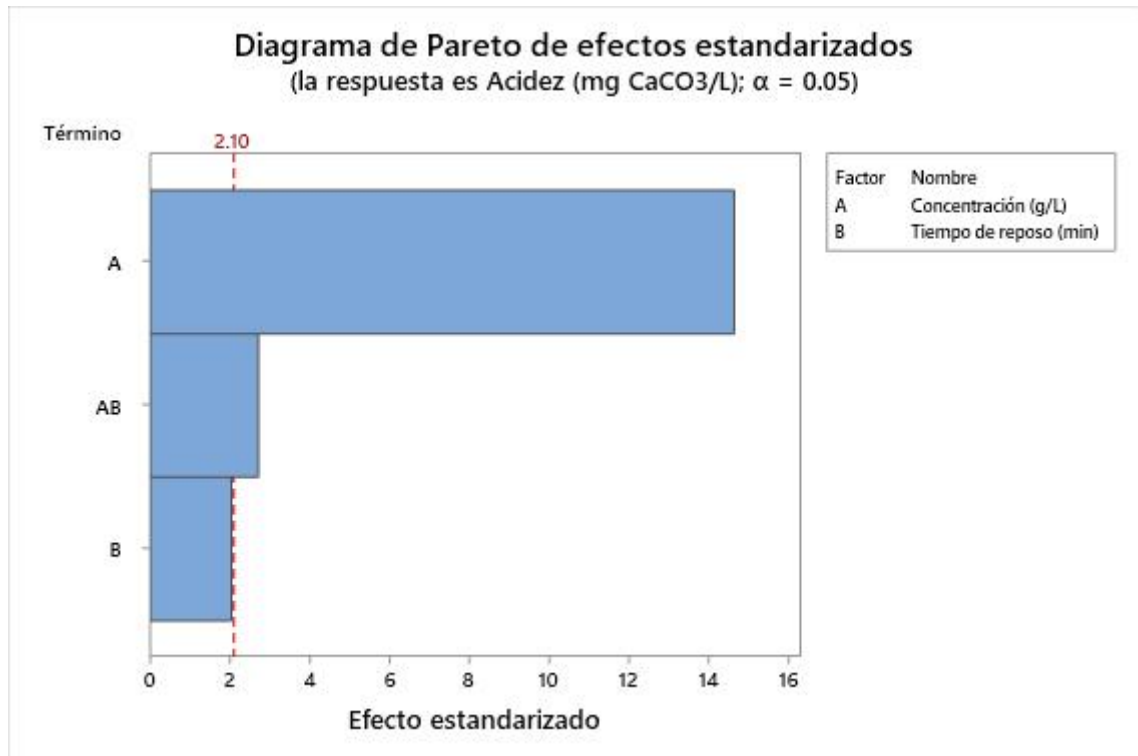
Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Factor	Niveles	Valores
Concentración (g/L)	6	0; 12; 14; 16; 18; 20
Tiempo de reposo (min)	3	0; 30; 60

Figura 10 Interacción de los factores vs. Acidez del DAM – Nivel V.



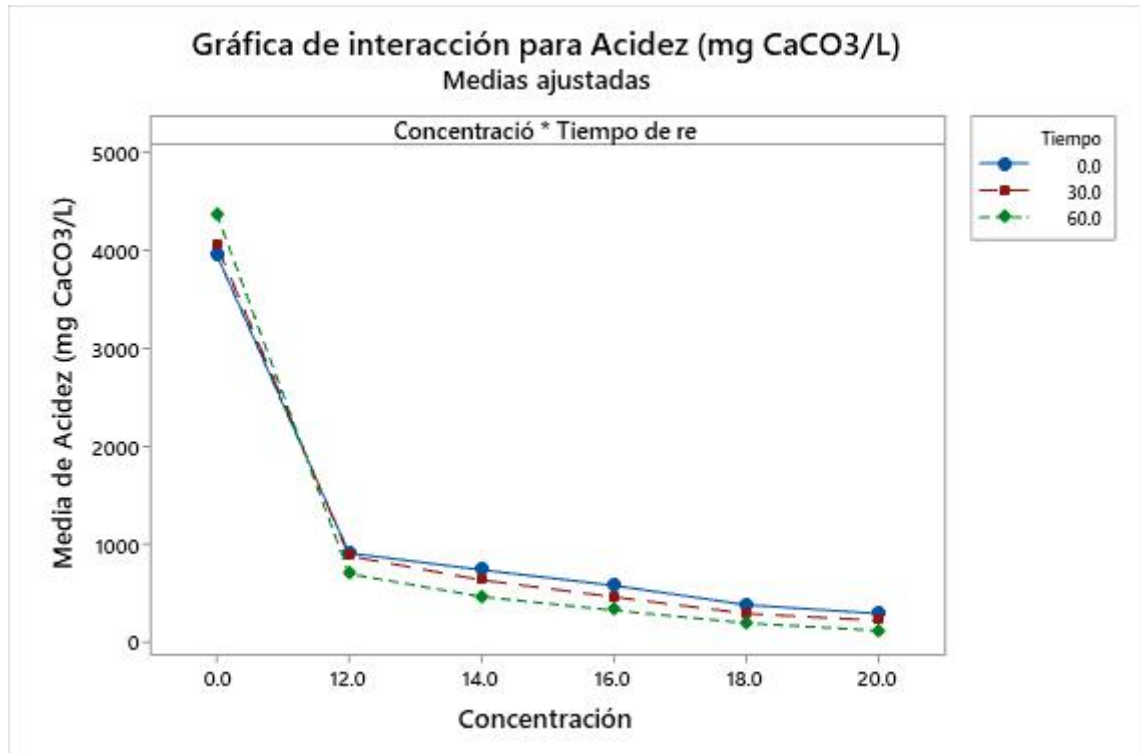
Interpretación

La acidez del DAM es afectada por las diferentes concentraciones o dosis de ceniza de madera, esto a partir del efecto estadístico que se presenta en la tabla 12. Es decir, las concentraciones o dosis altera significativamente el parámetro de acidez del DAM, debido a que, se acepta la hipótesis alterna: No todas las medias son iguales, dado que, el valor p (0.000) de los factores individuales y la interacción de ambos, son menores a la significancia (0.05) y por ende se infiere el efecto significativo. No obstante, el tiempo de reposo no altera la acidez del DAM, debido a que, su valor p (0.057) es mayor a la significancia, por lo que se acepta la hipótesis nula: todas las medias son iguales, y no presenta significancia.

Por otro lado, en la figura 10, se visualiza que la concentración o dosis de la ceniza (A) es el factor que mayor impacto tienen con respecto a la acidez

del DAM, ya que, tiene un efecto alto al igual que la interacción de la dosis y tiempo de reposo; sin embargo, el tiempo de reposo (B) específico no afecta la acidez del DAM. En consecuencia, la dosis de ceniza de madera afecta la acidez del DAM – Nivel V, pero el tiempo de reposo, no.

Figura 11 Efecto de los factores vs acidez del DAM – Nivel V.



Interpretación

Tal como se demostró, anteriormente, la ceniza afecta significativamente la acidez del DAM mas no el tiempo de reposo, sin embargo, no se sabe si incrementa o disminuye la acidez. La figura 11, muestra la dirección del efecto que produce la concentración de ceniza de madera sobre la acidez, y se visualiza, que conforme se incrementa la concentración o dosis, disminuye la acidez del DAM, produciendo de esta manera una correlación negativa. Adicionalmente, se visualiza, que la ceniza disminuye la acidez del DAM en un tiempo inicial, ya que este último no

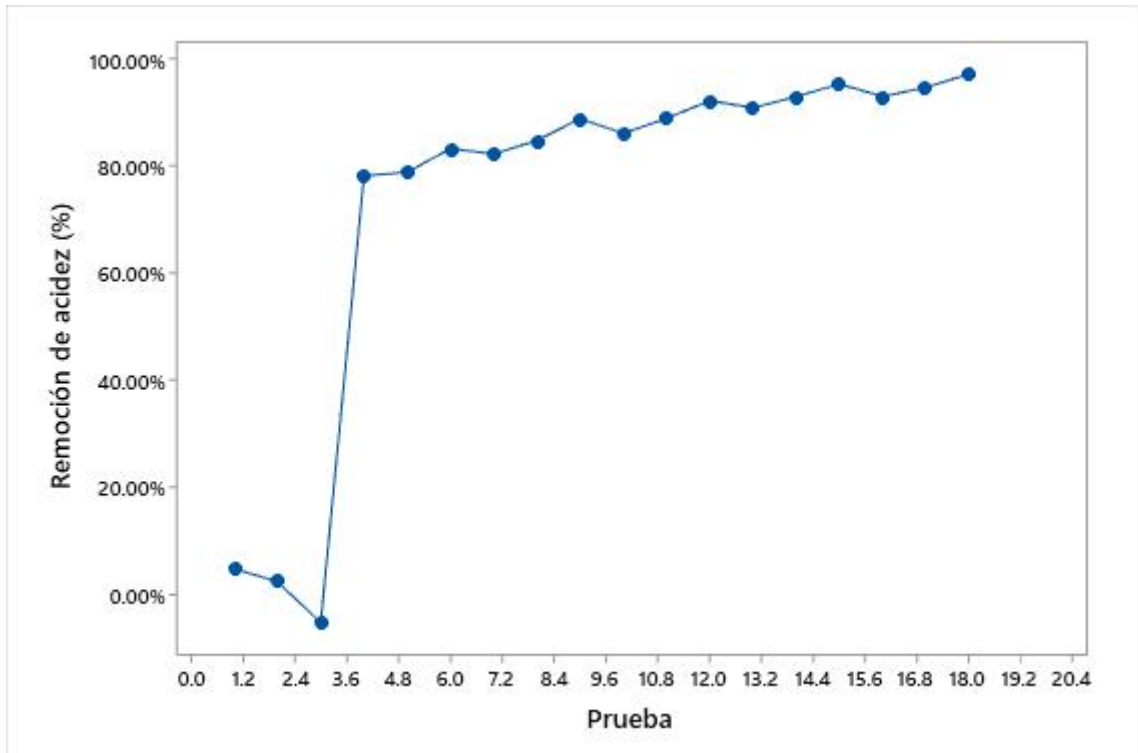
altera en otra ocasión. Se visualiza, que la acidez se mantiene con pequeñas variaciones pero que no son significativas. En consecuencia, la acidez del DAM podría disminuir su consumo de cal, si se utiliza la ceniza de madera como agente coadyuvante.

Tabla 13 *Remoción de acidez del DAM – Nivel V con ceniza de madera.*

Tratamientos	Acidez (mg CaCO₃/L)	Remoción (%)
B-00	3957.58	4.89%
B-30	4055.44	2.54%
B-60	4375.19	-5.14%
T12-00	915.76	77.99%
T12-30	886.33	78.70%
T12-60	704.33	83.07%
T14-00	745.75	82.08%
T14-30	642.22	84.57%
T14-60	472.92	88.64%
T16-00	586.63	85.90%
T16-30	469.58	88.72%
T16-60	333.30	91.99%
T18-00	389.48	90.64%
T18-30	300.89	92.77%
T18-60	204.58	95.08%
T20-00	300.81	92.77%
T20-30	230.44	94.46%
T20-60	126.56	96.96%

Nota: Se tomó la acidez inicial para determinar el porcentaje de remoción de la acidez del DAM -Nivel V.

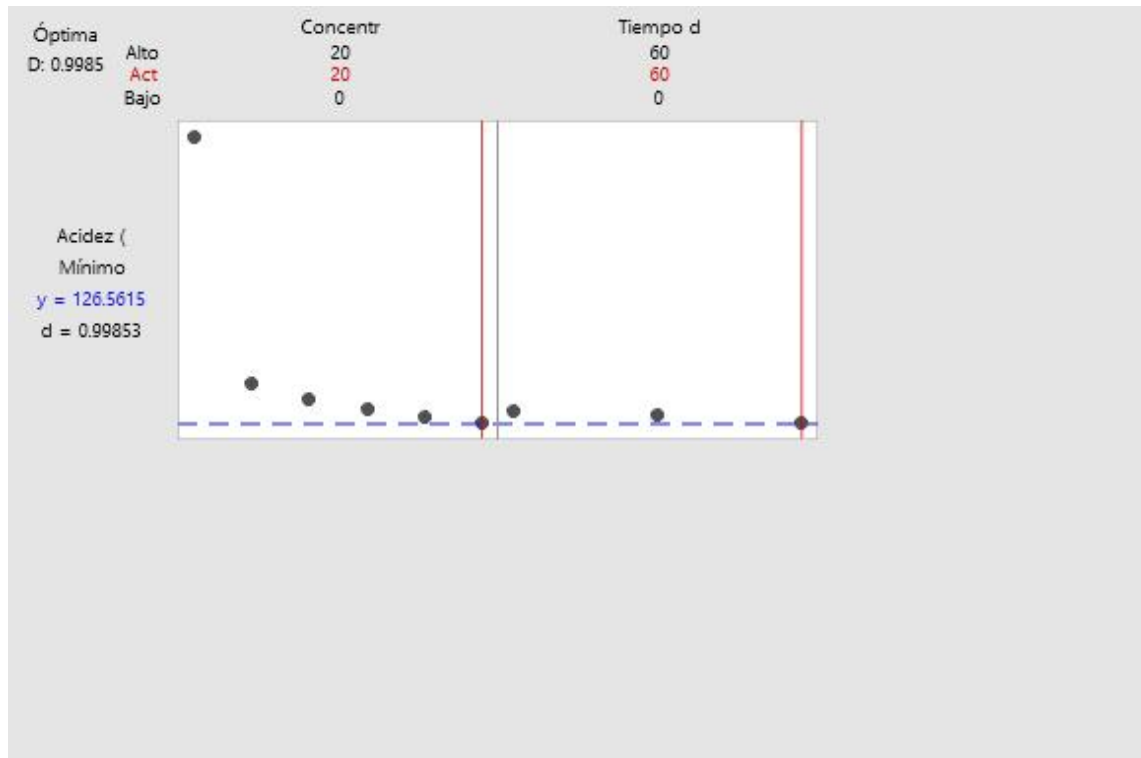
Figura 12 Porcentaje de reducción de la acidez del DAM – Nivel V con ceniza de madera.



Interpretación

En la tabla 13, se muestra el potencial de neutralización de la ceniza de madera mediante la remoción de la acidez del DAM, Las remociones más altas se ubican en las concentraciones de 18 y 20 g/L en un rango de 92.77 a 96.96 %, los cuales son más altos con respecto a las concentraciones de 12, 14 y 16 g/L, con una remoción en rango del 77.99 - 91.99%. En consecuencia, la ceniza es un agente alcalinizante que podría ayudar a disminuir el consumo de cal para el tratamiento de los DAM.

Figura 13 Optimización del tratamiento vs. Acidez del DAM – Nivel V.



Interpretación

Luego de saber la disminución de la acidez del DAM mediante la ceniza de la madera, ahora se presenta la figura 13, en la cual se visualiza el proceso óptimo para obtener la acidez más baja, según la figura 13, la acidez más baja es 126.56 mg CaCO₃/L se produce en una dosis de 20 g/L y a un tiempo de reposo de 60 min (1h). El tiempo tiene baja variación, así que, se puede optar por cualquiera de los estudiados. Esto demuestra, que las dosis altas de ceniza de madera tienen el potencial de neutralizar los drenajes ácidos de mina. En consecuencia, la ceniza de madera es un agente alcalinizante que puede contrarrestar la acidez de los DAM.

4.2 Discusión de resultados

La ceniza de madera de Eucalipto tiene un efecto significativo sobre el pH del DAM, y esto debido a que los compuestos de la ceniza contienen calcio para ajustar los valores de pH y precipitación. Silvie Heviánková, Iva Bestova, & Miroslav Kyncl, (2014), utilizó una dosis de 0.5 g/L para alcanzar un pH de 8.3 del DAM, y posteriormente, se comparó con una sustancia de DAM a una dosis de 0.2 g/L de hidróxido de calcio. Tal como se mencionó, ellos usaron una dosis pequeña de 0.5 g/L de ceniza de madera, a diferencia de esta investigación que se utilizaron dosis más altas de 12, 14, 16, 18 y 20 g/L (ver Tabla 8) y alcanzaron pH en un rango de 5.45 a 7.47. Esta diferencia se debe a dos motivos: la primera, radica en la preservación de la ceniza, es decir, como éste es un residuo que está en contacto con el medio, entonces, elimina CO₂ el cual influyen en la alcalinidad y si se provoca la pérdida de alcalinidad (Silvie Heviánková, Iva Bestova, & Miroslav Kyncl, 2014, p. 110), entonces, disminuirá su potencial neutralización. El segundo motivo, radica en el tipo de ceniza que utilizaron, pues ellos combinaron cenizas de árboles frutales y roble, en cambio, esta investigación se limitó solo en el Eucalipto. En consecuencia, se deduce que la ceniza de madera tiene el potencial de elevar el pH de los DAM a estados neutros, independiente de su origen. Sin embargo, su dosificación influye significativamente, ya que, en algunas cenizas se requieren de dosis pequeñas.

Nela Petronijević, y et al., (2022), remediaron DAM con cenizas volantes, en concentraciones del 3%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% y 40% en masa por 50 ml y en diferentes tiempos: 5, 10, 15 y 30 min y después de 2,

4, 24, 96 y 168 h. Sus resultados mostraron que la ceniza FA KOST para neutralizar el agua de mina, se obtuvo un pH de 7.07 con un contenido de fase sólida de 10 g, es decir, con una densidad de pulpa del 20 por ciento, a un tiempo de 1440 min (1 día). Después de la neutralización, el pH aumentó a 7.5 en 5760 min (4 días) y permaneció casi constante en 7.44 después de 10.080 min (7 días). Estos resultados tienen mayor concordancia con los de esta investigación, dado que, las concentraciones mayores son lo que han elevado a pH más altos (ver figura 9), pero, además, se corrobora que el pH depende del tiempo prolongado, dado que, el pH del DAM se elevó a 7.44 en un tiempo de 60 min. Por lo tanto, se confirma que la ceniza de madera aun actúa sobre el pH del DAM en tiempos largos o prolongados. Según Nela Petronijević, y et al., (2022), esta demora depende de la disolución del aluminosilicato, ya que, su efecto amortiguador actúa a largo plazo.

El estudio de Horia Barbu, Bianca Pavel, Moise, Sand, & Radu Pop, (2017), redujo la concentración de residuos del DAM en un 95 % para diferentes dosis. (p. 2769). Estos resultados se alinean al presente estudio ya que, basados en la acidez del DAM, se pudo reducir en un rango de 92.77 a 96.96 % para concentraciones de 18 y 20 g/L, los cuales son más altos con respecto a las concentraciones de 12, 14 y 16 g/L, con una remoción en rango del 77.99 - 91.99%. Por lo tanto, esta efectividad no solo se debe al cambio de pH, sino también a la reducción de la acidez que implican varios metales. Según Horia Barbu, Bianca Pavel, Moise, Sand, & Radu Pop, (2017), se pudo reducir al Cobre, Hierro, Zinc y Manganeso. Esto no solo se debe al calcio o carbonatos, sino a los “compuestos de aluminio y hierro, de los cuales el

aluminio y el hierro en forma iónica se liberan en contacto con el AMD, produciendo óxidos hidratados de aluminio y hierro con efecto coagulante.” (Silvie Heviánková, Iva Bestova, & Miroslav Kyncl, 2014, p. 110). En consecuencia, la ceniza de madera de Eucalipto es óptimo para actuar como agente alcalinizador o como coadyuvante para el tratamiento del DAM.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se afirma la hipótesis alterna de investigación: La ceniza de madera neutraliza el pH y la acidez del drenaje ácido de la unidad minera Nivel V, y tiene un potencial de neutralización alto, debido a sus compuestos químicos.
- El DAM – Nivel V obtuvo un pH de 2.35 y una acidez de 4161. 25 mg CaCO₃/L, así mismo, la ceniza de madera presento un pH de 11.25.
- El proceso óptimo para obtener el pH más alto (7.44) se produce en una dosis de 20 g/L y a un tiempo de reposo de 60 min (1h). Esta misma condición se presenta para obtener acidez del DAM – Nivel V, baja. Es decir, la alta dosis o concentración de ceniza de madera neutralizan satisfactoriamente los drenajes ácidos.
- Las remociones más altas de acidez se ubican en las concentraciones de 18 y 20 g/L en un rango de 92.77 a 96.96 %, los cuales son más altos con respecto a las concentraciones de 12, 14 y 16 g/L, con una remoción en rango del 77.99 - 91.99%. En consecuencia, la ceniza es un agente alcalinizante que podría ayudar a disminuir el consumo de cal para el tratamiento de los DAM.

5.2 Recomendaciones

- Realizar pruebas experimentales con filtro de ceniza de madera de eucaliptos u otro material para drenajes ácidos de mina.
- Realizar pruebas experimentales evaluando metales totales con una dosificación mayor a 20 g/L.
- Realizar comparaciones de tratabilidad con diferentes cenizas de materiales desechables.
- Neutralizar aguas ácidas de otras fuentes (no metálicas) con cenizas de madera o como coadyuvante de otros agentes alcalinos.

REFERENCIAS

- Anna A. Bogush, Cosmina Dabú, Vera D. Tijova, Jong Kyu Kim , & Luisa C. Campos. (2020). Biomass Ashes for Acid Mine Drainage Remediation. *Waste and Biomass Valorization*, pp. 4977–4989. doi:<https://doi.org/10.1007/s12649-019-00804-9>
- Asif Qureshi, Yu Jia, Mauricio, C., & Björn Ohlander. (2016). Potential of fly ash for neutralisation of acid mine drainage. *Environ Sci Pollut Res Int.* (17), PP. 17083-94. doi:10.1007/s11356-016-6862-3
- Bermeo Garay, M., Bonilla Bermeo, S. M., & Coloma Coloma, T. W. (2017). *Neutralización: aplicado a aguas residuales*. Guayaquil - Ecuador: Compas.
- Constantin Horia Barbu, Petronela Bianca Pavel, Cristina Maria Moise, Camelia Sand, & Mihai Radu Pop. (2017). Neutralization of Acid Mine Drainage with Wood Ash. *Revista de Chimie* , pp. 2768-2770.
- F. Solla-Gullón, R. Rodríguez-Soalleiro, & A. Merino. (2001). Evaluación del aporte de cenizas de madera como fertilizante de un suelo ácido mediante un ensayo en laboratorio. *Invest. Agr.*, 16 (3), pp. 379 - 393.
- Gallardo Díaz, L. S., & Acuña Bustamante, J. H. (2020). *PROCESOS DE NEUTRALIZACIÓN, DIRECTO Y POR ETAPAS, PARA REMOVER METALES DEL DRENAJE ÁCIDO DE MINA - ALGAMARCA, 2020*. Cajamarca - Perú: Repositorio UPAGU. Obtenido de <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/1593>
- Hernández Sampieri , R., Fernández Collado , C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la Investigación* (5° ed.). México: Mc Graw Hill.

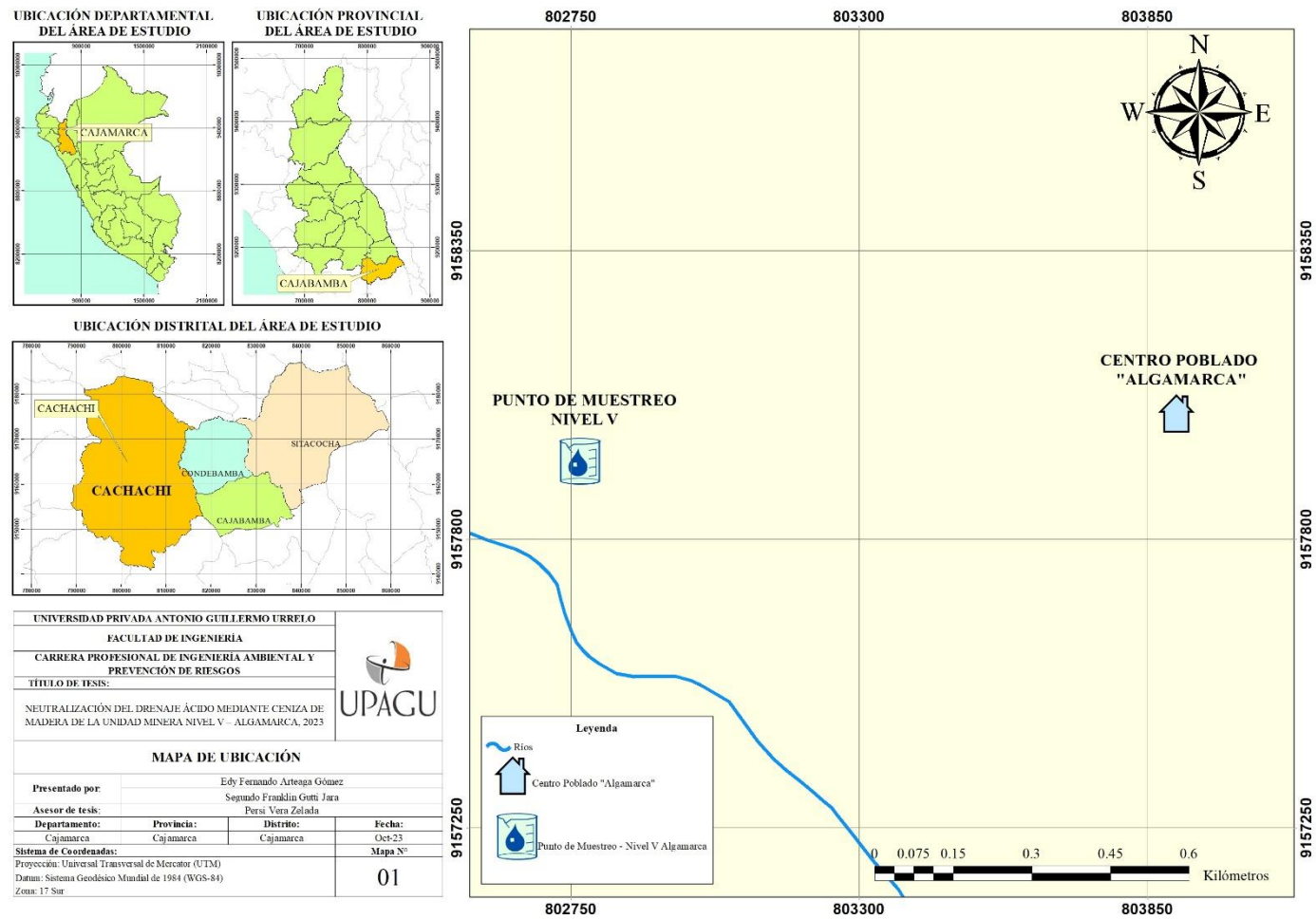
- Horia Barbu, C., Bianca Pavel, P., Moise, C. M., Sand, C., & Radu Pop, M. (2017). Neutralization of Acid Mine Drainage with Wood Ash. *Revista de Chimie*, 68, pp. 2768-2770. doi:<https://doi.org/10.37358/RC.17.12.5975>
- Jiaqiao Yuan, Zhan Ding, Yunxiao Bi, Jie Li, Shuming Wen, & Shaojun Bai. (2022). Resource Utilization of Acid Mine Drainage (AMD): A Review. *Water*, 2385. doi:<https://doi.org/10.3390/w14152385>
- Mugera Gitari, W., Petrik, L., & Akinyemi, S. (2018). Treatment of Acid Mine Drainage with Coal Fly Ash: Exploring the Solution Chemistry and Product Water Quality. En W. Mugera Gitari, L. F. Petrik, & S. A. Akinyemi, *Coal Fly Ash Beneficiation - Treatment of Acid Mine Drainage with Coal Fly Ash* (pág. pp. 208). IntechOpen. doi:DOI: 10.5772/intechopen.69741
- Nela Petronijević, Dragana Radovanović, Marija Štulović, Miroslav Sokić, Gvozden Jovanović, Željko Kamberović, . . . Antonije Onjia. (2022). Analysis of the Mechanism of Acid Mine Drainage Neutralization Using Fly Ash as an Alternative Material: A Case Study of the Extremely Acidic Lake Robule in Eastern Serbia. *Water*, 14(20), pp. 3244. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/w14203244>
- Rachel Weinberga, Rachel Coyte, Zhen Wang, Debabrata Das, & Avner Vengosh. (2022). Water quality implications of the neutralization of acid mine drainage with coal fly ash from India and the United States. *Fuel*, Vol. 330, 125675. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125675>
- Rúa, P., & Orjuela, Á. (2007). Remoción de Níquel presente en aguas efluentes industriales mediante utilización de sustratos de aserrín de pino. *Colombiana de química*, 243-258.

Silvie Heviánková, Iva Bestova, & Miroslav Kyncl. (2014). The application of wood ash as a reagent in acid mine drainage treatment. *Minerals Engineering, Vol. 56*, pp. 109-111. doi:<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2013.10.032>

Yananjiao , Chunhui Zhang, Peidong Su, Yuanhui- tang, Zhipenghuang, & Tao ma. (2023). A review of acid mine drainage: Formation mechanism, treatment technology, typical engineering cases and resource utilization. *Process Safety and Environmental Protection., 170*, pp. 1240-1260. doi:<https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.12.083>

ANEXOS

Anexo 1 Mapa de Ubicación del punto de muestreo



Anexo 2 Bocamina Mina Nivel 5to



Anexo 3 *Toma de muestras*







Anexo 4 *Cernido de ceniza*



Anexo 5 *Pesado de ceniza en el laboratorio*

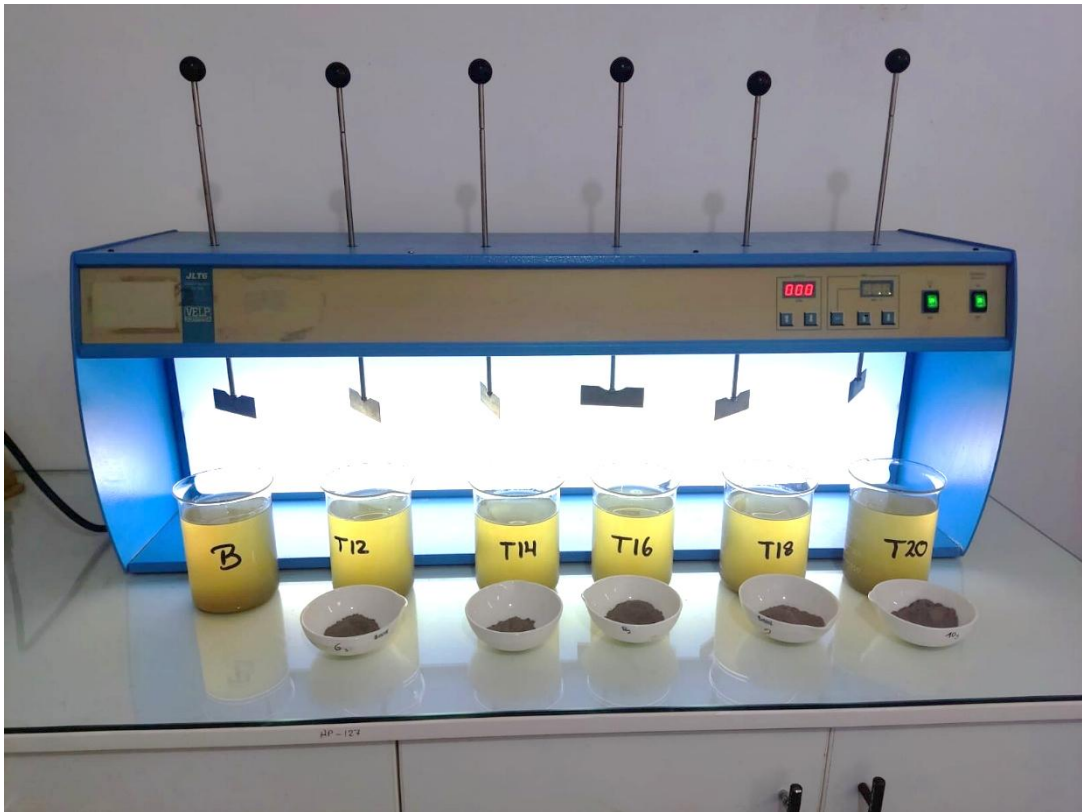
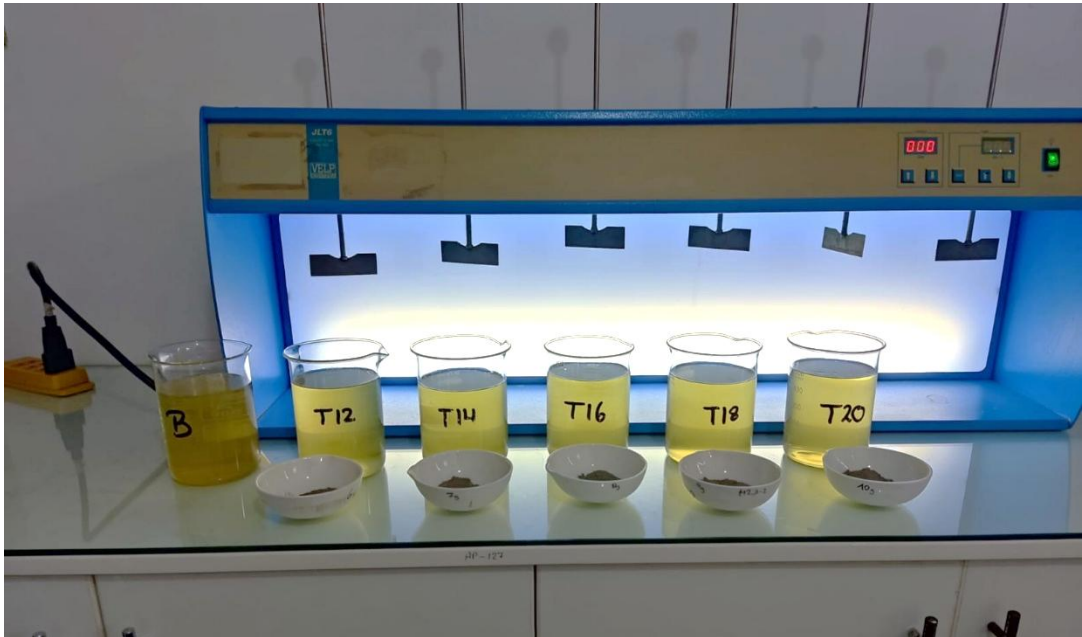




Anexo 6 Preparación de drenaje ácido de mina

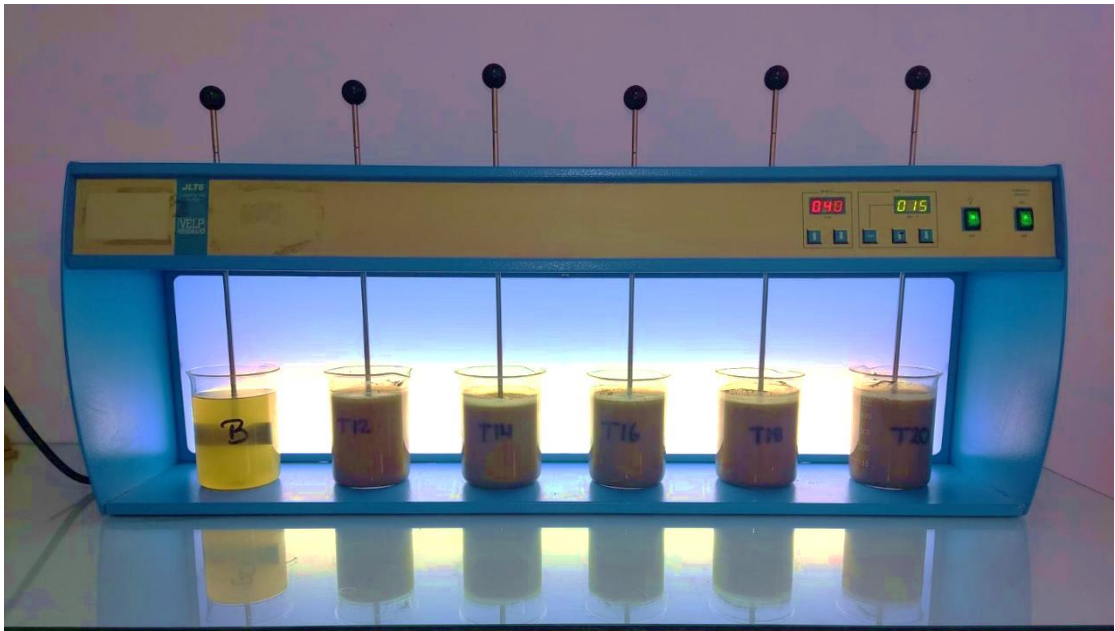


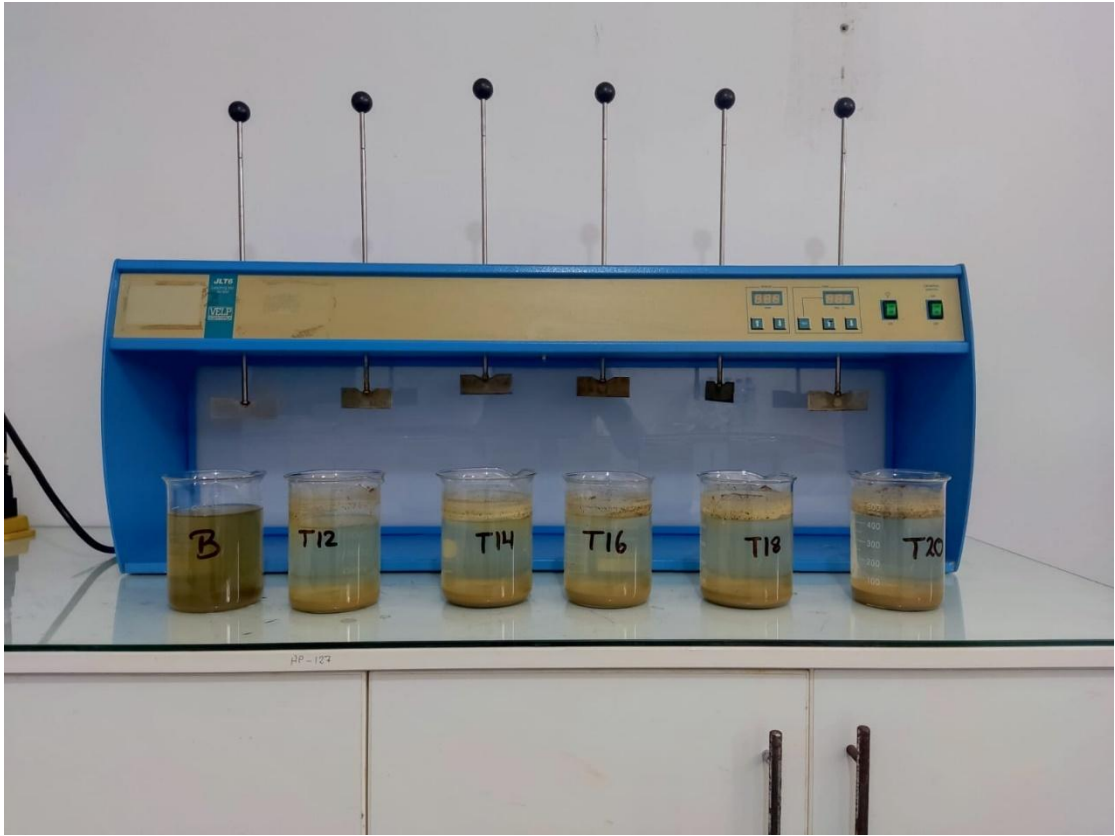
Anexo 7 Agregado de ceniza al drenaje ácido de mina





Anexo 8 Pruebas experimentales





Anexo 9 Informe Innodevel S.A.C



LABORATORIO DE ENSAYOS INNODEVEL

INFORME DE ENSAYO N° IE2811230800
REV. 00

DATOS DEL CLIENTE

Solicitante: Segundo Franklin Gutti Jara
RUC / DNI: 72388196
Dirección fiscal: -----
Representante: Edy Fernando Arteaga Gómez
Correo Electronico: -----
Teléfono: 921 278 680
Proyecto: Neutralización del drenaje ácido mediante ceniza de madera de la unidad minera Nivel V- Algamarca, 2023

CONTROL DEL LABORATORIO

Fecha de recepción: 28/11/2023
Fecha de ejecución: 28/11/2023
Fecha de reporte: 01/12/2023
Cadena de custodia: ---

MUESTREO

Muestreo realizado por: Innodevel
N° de muestras: 38
Procedencia: Agua residual industrial - Unidad Minera Nivel V

ESTACIÓN DE MUESTREO	
C-01	MI-001
B-00-01	B-00-02
B-30-01	B-30-02
B-60-01	B-60-02
T12-00-01	T12-00-02
T12-30-01	T12-30-02
T12-60-01	T12-60-02
T14-00-01	T14-00-02
T14-30-01	T14-30-02

ESTACIÓN DE MUESTREO	
T14-60-01	T14-60-02
T16-00-01	T16-00-02
T16-30-01	T16-30-02
T16-60-01	T16-60-02
T18-00-01	T18-00-02
T18-30-01	T18-30-02
T18-60-01	T18-60-02
T20-00-01	T20-00-02
T20-30-01	T20-30-02
T20-60-01	T20-60-02

Manuel A. Zelada Sangay
CIP: 274151
Encargado de laboratorio ambiental

Jefe del Laboratorio de Ensayos

RESULTADOS

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			C-01		MI-001	
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			28-1101		28-1102	
FECHA DE MUESTREO			28/11/2023		28/11/2023	
HORA DE MUESTREO			08:15		08:30	
MATRIZ			ARI		ARI	
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	DS	RESULTADO	DS
Potencial de hidrógeno	Unidad de pH	----	11.25	± 0.35	2.35	±0.01
Acidez	mg CaCO3/L	----	0.00		4161.25	±1.77

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			B-00-01		T12-00-01	
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			28-1103		28-1104	
FECHA DE MUESTREO			28/11/2023		28/11/2023	
HORA DE MUESTREO			09:50		09:55	
MATRIZ			ARI		ARI	
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	DS	RESULTADO	DS
Potencial de hidrógeno	Unidad de pH	----	2.73	±0.03	5.51	±0.09
Acidez	mg CaCO3/L	----	3931.25	±242.18	971.92	±180.93

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			T14-00-01		T16-00-01	
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			28-1105		28-1106	
FECHA DE MUESTREO			28/11/2023		28/11/2023	
HORA DE MUESTREO			10:00		10:05	
MATRIZ			ARI		ARI	
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	DS	RESULTADO	DS
Potencial de hidrógeno	Unidad de pH	----	5.69	±0.01	5.88	±0.01
Acidez	mg CaCO3/L	----	792.50	±70.71	631.25	±15.91

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			T18-00-01		T20-00-01	
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			28-1107		28-1108	
FECHA DE MUESTREO			28/11/2023		28/11/2023	
HORA DE MUESTREO			10:10		10:15	
MATRIZ			ARI		ARI	
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	DS	RESULTADO	DS
Potencial de hidrógeno	Unidad de pH	----	6.13	±0.01	6.39	±0.04
Acidez	mg CaCO3/L	----	437.62	±39.28	348.04	±0.24

RESULTADOS

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			B-30-01		T12-30-01	
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			28-1109		28-1110	
FECHA DE MUESTREO			28/11/2023		28/11/2023	
HORA DE MUESTREO			10:20		10:25	
MATRIZ			ARI		ARI	
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	DS	RESULTADO	DS
Potencial de hidrógeno	Unidad de pH	----	2.72	±0.06	5.45	±0.1
Acidez	mg CaCO ₃ /L	----	3865.34	±409.57	982.42	±24.07

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			T14-30-01		T16-30-01	
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			28-1111		28-1112	
FECHA DE MUESTREO			28/11/2023		28/11/2023	
HORA DE MUESTREO			10:30		10:35	
MATRIZ			ARI		ARI	
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	DS	RESULTADO	DS
Potencial de hidrógeno	Unidad de pH	----	5.68	±0.02	5.92	±0.01
Acidez	mg CaCO ₃ /L	----	664.31	±122.86	511.92	±25.62

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			T18-30-01		T20-30-01	
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			28-1113		28-1114	
FECHA DE MUESTREO			28/11/2023		28/11/2023	
HORA DE MUESTREO			10:40		10:45	
MATRIZ			ARI		ARI	
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	DS	RESULTADO	DS
Potencial de hidrógeno	Unidad de pH	----	6.31	±0.01	6.74	±0.01
Acidez	mg CaCO ₃ /L	----	298.53	±12.39	222.94	±1.69

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			B-60-01		T12-60-01	
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			28-1115		28-1116	
FECHA DE MUESTREO			28/11/2023		28/11/2023	
HORA DE MUESTREO			10:50		10:55	
MATRIZ			ARI		ARI	
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	DS	RESULTADO	DS
Potencial de hidrógeno	Unidad de pH	----	2.70	±0.06	5.47	±0.05
Acidez	mg CaCO ₃ /L	----	4222.59	±121.95	805.20	±130.75

RESULTADOS

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			T14-60-01		T16-60-01	
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			28-1117		28-1118	
FECHA DE MUESTREO			28/11/2023		28/11/2023	
HORA DE MUESTREO			11:05		11:10	
MATRIZ			ARI		ARI	
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	DS	RESULTADO	DS
Potencial de hidrógeno	Unidad de pH	----	5.76	±0.04	6.07	±0.03
Acidez	mg CaCO ₃ /L	----	540.30	±33.08	398.62	±38.16

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			T18-60-01		T20-60-01	
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			28-1119		28-1120	
FECHA DE MUESTREO			28/11/2023		28/11/2023	
HORA DE MUESTREO			11:15		11:20	
MATRIZ			ARI		ARI	
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	DS	RESULTADO	DS
Potencial de hidrógeno	Unidad de pH	----	7.11	±0.16	7.42	±0.11
Acidez	mg CaCO ₃ /L	----	226.38	±81.51	120.10	±14.21

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			B-00-02		T12-00-02	
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			29-1101		29-1102	
FECHA DE MUESTREO			29/11/2023		29/11/2023	
HORA DE MUESTREO			09:30		09:35	
MATRIZ			ARI		ARI	
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	DS	RESULTADO	DS
Potencial de hidrógeno	Unidad de pH	----	2.75	±0.03	5.55	±0.09
Acidez	mg CaCO ₃ /L	----	3983.92	±242.18	859.60	±180.93

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			T14-00-02		T16-00-02	
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			29-1103		29-1104	
FECHA DE MUESTREO			29/11/2023		29/11/2023	
HORA DE MUESTREO			09:40		09:45	
MATRIZ			ARI		ARI	
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	DS	RESULTADO	DS
Potencial de hidrógeno	Unidad de pH	----	5.67	±0.01	5.95	±0.01
Acidez	mg CaCO ₃ /L	----	699.00	±70.71	542.01	±15.91

RESULTADOS

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			T18-00-02		T20-00-02	
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			29-1105		29-1106	
FECHA DE MUESTREO			29/11/2023		29/11/2023	
HORA DE MUESTREO			09:50		09:55	
MATRIZ			ARI		ARI	
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	DS	RESULTADO	DS
Potencial de hidrógeno	Unidad de pH	----	6.30	±0.01	6.74	±0.04
Acidez	mg CaCO ₃ /L	----	341.35	±39.28	253.57	±0.24

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			B-30-02		T12-30-02	
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			29-1107		29-1108	
FECHA DE MUESTREO			29/11/2023		29/11/2023	
HORA DE MUESTREO			10:00		10:05	
MATRIZ			ARI		ARI	
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	DS	RESULTADO	DS
Potencial de hidrógeno	Unidad de pH	----	2.77	±0.06	5.55	±0.1
Acidez	mg CaCO ₃ /L	----	4245.54	±409.57	790.23	±24.07

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			T14-30-02		T16-30-02	
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			29-1109		29-1110	
FECHA DE MUESTREO			29/11/2023		29/11/2023	
HORA DE MUESTREO			10:10		10:15	
MATRIZ			ARI		ARI	
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	DS	RESULTADO	DS
Potencial de hidrógeno	Unidad de pH	----	5.75	±0.02	6.01	±0.01
Acidez	mg CaCO ₃ /L	----	620.13	±122.86	427.24	±25.62

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			T18-30-02		T20-30-02	
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			29-1111		29-1112	
FECHA DE MUESTREO			29/11/2023		29/11/2023	
HORA DE MUESTREO			10:20		10:25	
MATRIZ			ARI		ARI	
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	DS	RESULTADO	DS
Potencial de hidrógeno	Unidad de pH	----	6.43	±0.01	6.84	±0.01
Acidez	mg CaCO ₃ /L	----	303.24	±12.39	237.94	±1.69

RESULTADOS

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			B-60-02		T12-60-02	
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			29-1113		29-1114	
FECHA DE MUESTREO			29/11/2023		29/11/2023	
HORA DE MUESTREO			10:30		10:35	
MATRIZ			ARI		ARI	
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	DS	RESULTADO	DS
Potencial de hidrógeno	Unidad de pH	----	2.66	±0.06	5.50	±0.05
Acidez	mg CaCO3/L	----	4527.78	±121.95	603.45	±130.75

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			T14-60-02		T16-60-02	
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			29-1115		29-1116	
FECHA DE MUESTREO			29/11/2023		29/11/2023	
HORA DE MUESTREO			10:40		10:45	
MATRIZ			ARI		ARI	
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	DS	RESULTADO	DS
Potencial de hidrógeno	Unidad de pH	----	5.81	±0.04	6.37	±0.03
Acidez	mg CaCO3/L	----	405.54	±33.08	267.98	±38.16

IDENTIFICACIÓN CLIENTE			T18-60-02		T20-60-02	
IDENTIFICACIÓN LABORATORIO			29-1117		29-1118	
FECHA DE MUESTREO			29/11/2023		29/11/2023	
HORA DE MUESTREO			10:50		10:55	
MATRIZ			ARI		ARI	
PARÁMETRO	UNIDAD	LC	RESULTADO	DS	RESULTADO	DS
Potencial de hidrógeno	Unidad de pH	----	7.21	±0.16	7.47	±0.11
Acidez	mg CaCO3/L	----	182.78	±81.51	133.02	±14.21

REFERENCIA DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Parámetro	Método de ensayo
4500 -H+ B. Electrometric Method. SM Ed. 23th.	pH	LE-ME-001
Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th Edition (2017). Method 2130 B.	Acidez	LE-ME-004

OBSERVACIONES
