



Universidad Nacional  
**SAN LUIS GONZAGA**



## [Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

[http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



**UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA**

**EVALUACION DE ORIGINALIDAD**

---

**CONSTANCIA**

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

**“Caracterización y tratamiento de las aguas residuales acidas de mina del centro minero Apumayo-2022”**

Presentado por:

**FLORES CASTILLO, Cindy**

ROL DEL AUTOR del nivel PREGRADO de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria El resultado obtenido es PORCENTAJE DE SIMILITUD del 3% por el cual se otorga el calificativo de:

**APROBADO,**

Según Reglamento de Evaluación de la Originalidad

Con CODIGO: **ATIT-2023-FIAS-003**

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 05 de Abril del 2023

  
UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"  
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN  
  
**Dr. Pedro Córdova Mendoza**  
DIRECTOR

**UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA**

**VICE RECTOR DE INVESTIGACION**

**FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA**



**TESIS**

**Caracterización y tratamiento de las aguas residuales acidas de  
mina del centro minero Apumayo-2022**

**Línea de Investigación:**

Sociedad, desarrollo sostenible, políticas públicas y ambientales.

Proyecto de investigación para optar el título profesional

Autora: Flores Castillo,Cindy

Asesor: Dr. Luis Alberto Massa Palacios

ICA-PERU

2023

## **DEDICATORIA**

La presente tesis se la dedico primeramente a Dios, que nos brindó la sabiduría y Entendimiento para elaborar este documento, a mis padres quienes día tras día Me alimentan a seguir estudiando, a nuestros docentes que nos aportan el saber Y nos guían en nuestro desarrollo académico.

Cindy Flores Castillo

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios nuestro señor por la oportunidad que he tenido de aprender, mejorar de crecer junto a personas tan especiales para mí.

Agradezco principalmente a mi Madre y Padre que con su esfuerzo y dedicación me permitió Salir adelante en todo el transcurso de mi vida y apoyarme en todo lo que estuvo en su alcance.

Agradecimiento especial a Carla, Gabriela y mis hermanos por ser la motivación de salir adelante, paciencia y su constante apoyo durante el desarrollo profesional.

A mi pareja José Luis por compartir los sueños angustias y gratificaciones.

A mis tios Antonia y Sergio los cuales me supieron brindar su apoyo incondicional.

Agradecimiento especial para mis docentes por su amistad, paciencia y su constante apoyo durante el desarrollo académico.

## INDICE DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
Portada	01
Dedicatoria	02
Agradecimientos	03
Índice de contenidos	04
Resumen	06
Abstrac	07
I. Introducción	08
1.1. Situación problemática	08
1.2. Antecedentes de investigación	09
1.2.1.- Antecedentes nacionales	09
1.2.2.- Antecedentes a nivel internacional	11
1.3.-Bases Teóricas	13
1.3.1.- Descripción General del proceso metalúrgico	13
1.3.2.- Aguas residuales acidas de mina	18
1.4.- Formulación del Problema	22
1.4.1.- Problema General	22
1.4.2.- Problemas específicos	22
1.5.- Justificación e Importancia de la investigación	22
1.6. Objetivo de investigación	23
1.6.1.- Objetivo General	23
1.6.2.- Objetivos específicos	23
1.7. Hipótesis de investigación	23
1.7.1.-Hipotesis General	23
1.7.2.-Hipotesis Especificas	23
1.7.3.- Variable de investigación	23
1.8. Marco conceptual	24
II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA	24
2.1.- Tipo, nivel y diseño de Investigación	24
2.2. Población y Muestra	18

2.2.1.- Población de estudio	18
2.2.2.- Tamaño de la muestra	18
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de la información	24
2.5. Técnicas de procesamiento, análisis e interpretación de datos	25
III. RESULTADOS	26
3.1.- De la caracterización de las aguas ácidas de mina	26
3.2.- Del tratamiento químico activo de drenajes ácidos	28
IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	30
V. CONCLUSIONES	34
VI. RECOMENDACIONES	35
VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	36
ANEXOS	37
<b>Índice de Cuadros</b>	
Cuadro 01 Caracterización de las aguas ácidas de minas	26
<b>Índice de Tablas</b>	
Tabla Clase de aguas residuales de minas	18
Tabla 2 Clasificación de drenajes en función del pH y el potencial de acidez/alcalinidad de los minerales	19
<b>Índice de Figuras</b>	
Figura 1 Formación ácidas de minas	21
<b>Índice de Anexos</b>	
<b>Anexo 01</b> Diagrama de Flujo Planta Procesos Metalúrgicos 2MEIA Apumayo	38
<b>Anexo 02</b> Esquema de fundición y recuperación de polvos Proyecto 2MEIA Apumayo	39
<b>Anexo 03 Metodología</b> de análisis	41
<b>Anexo 04</b> Estaciones de muestreo	44
<b>Anexo 05</b> ECA para agua-Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales D.S N°015-2015-MINAM	45
<b>Anexo 06</b> D.S N° 004-2017-MINAM- Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias	47



## **RESUMEN**

El propósito del estudio es Caracterizar y tratar las aguas residuales acidas de mina del centro minero Apumayo-2022, **de Tipo** cuantitativo, aplicado y explicativo, con diseño experimental ,se determinaron los puntos de muestreo, se efectuaron la toma de muestras según el protocolo que se exige para este caso “protocolo de monitoreo de aguas del sector Energía y Minas”; los parámetros fisicoquímicos ha sido adoptada de los criterios establecidos por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Society for Testing Materials (ASTM), Agencia de Protección de Medio Ambiente (EPA) y normas nacionales vigentes, los valores hallados en el trabajo de investigación están comparadas con los estándares de calidad de los recursos hídricos y también se propuso un tratamiento de estas.

Clave: acido,agua,estándar,residual,criterios

## **ABSTRATAC**

The purpose of the study is to characterize and treat the acidic wastewater of the mine of the Apumayo-2022 mining center, of quantitative, applied and explanatory type, with experimental design, the sampling points were determined, the sampling was carried out according to the protocol that is required for this case "water monitoring protocol of the Energy and Mines sector"; the physicochemical parameters have been adopted from the criteria established by Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Society for Testing Materials (ASTM), Environmental Protection Agency (EPA) and current national standards, the results obtained from the characterization of acidic waters are compared with water quality standards and a treatment of these was also proposed.

Key: acid,water,standard,residual,criteria

## **I. Introducción**

### **1.1.- Situación problemática**

La industria minera como actividad industrial es una con elevado nivel de manejo del agua, es así que, en parte la utilizan en un sin número de procesos y operaciones y, por otro lado en las perforaciones produce elevadas cantidades de agua por filtración de los acuíferos intervenidos y el discurrir superficial. Como resultado de esta acción, en la mayoría de planes mineros es necesario establecer controles y retiro del agua fuera de las unidades de labor, bombeándola y utilizando instalaciones desagüe, adoptando normas de prevenir los impactos en el transcurso del aprovechamiento y abandono posterior. Así mismo los beneficios mineros provocan ciertos efectos hidrológicos sobre las aguas subterráneas o superficiales, tales como:

Deterioro de las características del agua, haciendo no apta para el consumo humano y otros usos.

- “Producir perjuicios ecológicos, perturbando o excluyendo a las colectividades biológicas naturales existentes en la trayectoria de agua”.

- “Detrimento del paisaje, ya que el restablecimiento de las áreas dañadas abarcan la totalidad de componentes del entorno físico comprendido el agua”.

“La polución del recurso hídrico en la mina es corrientemente la primera fracción de compuestos así como las formas de energía como el calor, que provocan variaciones en sus características físicas y químicas”. “La formación de ácidos en estas aguas mineras origina varios inconvenientes, ya que en unión con el oxígeno generan oxidaciones química y biológica de compuestos sulfurados, originando el incremento ácido del medio”. “Los componentes de influencia en la producción de las aguas ácidas a partir de los minerales pedregosos que tienen dentro sustancias sulfuradas serían”: el potencial de Hidrogeno, cantidad de oxígeno que reacciona con las sustancias sulfuradas, el calor, la velocidad de producción de ácidos que son evacuados del lugar, la aptitud de neutralizar las piedras inertes en el sitio de oposición, la humectación y existencia de dióxido de carbono, como de nutrimentos y componentes traza fundamentales para la existencia de microorganismos. “Generalmente, estas aguas poseen pequeño potencial de hidrogeno, tienen dentro una cantidad

enorme de sólidos diluidos, con mayor acidez total y contenido elevado de sustancias traza y componentes no orgánicos”. “Continuamente estas aguas se asocian en las producciones de trabajos mineros, no obstante, la referida anomalía no es limitada a las ocupaciones extractivas, ya que puede suceder cuando se muestren materias y rocas conteniendo sustancias sulfuradas”, “que en contacto con el oxígeno del aire y agua producen productos ácidos en las enormes excavaciones de los proyectos mineros y en terrenos sulfurados”. “Estas aguas acidificadas están asociadas a empleos de sulfuros complicados y la explotación aurífero y carbonífero con elevadas cantidades de pirita, tanto así los yacimientos en producción provocan residuos ácidos inclusive aquellos clausurados, los residuos acuosos acidificados perturban el entorno ambiental y la salud humana”.

## **1.2.- Antecedentes de investigación.**

### **1.2.1.-Antecedentes Nacionales**

[1] “La intención de la exploración es la eficacia de separación en el procedimiento de estos líquidos ácidos mineros, a través de neutralizaciones activas con Cal hidratada en el Centro minero Arasi – Puno, producido cerca al Botadero Jessica. El estudio lo realizaron en cuatro partes: inicialmente midiéndose la cantidad de agua y su característica ácida, como siguiente parte se efectuó los análisis en laboratorio procediéndose a la neutralización y exámenes de los indicadores físico-químicos del agua procesada obtenida desde los análisis de laboratorio, como tercera parte la adecuación del tratamiento con óxido de cal hidratada al actual técnica de procesamiento, y por último la cuarta etapa es el análisis de los indicadores evaluados en el lugar. Los resultados logrados es eliminación de metales pesados en el efluente a nivel campo con “pH de 8.1, CE de 5.14 mS/cm y O.D de 5.54mg/l proyecta una separación del 99.96% de Aluminio, Arsénico no tiene, 99.7% de Berilio, 99.8% de Boro, 98.9% de Cadmio, 99.9% de Cobalto, 99.9% de Cobre, 99.5% Cromo”, “99.98% de Hierro, 83.5% de Magnesio, 98.7% de Manganeso, 99.9% de Níquel, 0% de Plomo, y 99.95% de Zinc”. Concluyendo, cuando se equilibra el vaciado ácido con óxido de cal hidratada hay un rendimiento de eliminación formidable de los indicadores físico-químicos e inorgánico”.

[2] “ La fuerte e intensa actividad minera que se transporta a cabo en la parte sur del Perú a lo largo de los años anteriores ha producido gigantes inconvenientes de contaminación ambiental. “Siendo un inconveniente más indispensables causados la acidez hídrica, constituyendo el llamado desagüe ácido de mina, con la constante disolución de metales al estado iónico”. Por medio del actual tratado se realiza la iniciativa en el régimen físico-químico a través de la neutralización-sedimentación después de distintos métodos industriales. Con el desarrollo de HDS, el fango o roca calcárea y barros reutilizados son agregados en el recipiente de mezclado de fangos iniciándose el procesamiento. Esta es una importante forma neutralizadora, consiguiéndose una sustancial disminución de la cantidad

de barros que resulta del incremento en la consistencia del barro. Este desarrollo del proceso, implica un cambio del método de neutralización común consistiendo sencillamente en circular barros obteniéndose una reacción más grande de caliza y originar pequeñas cantidades de lodos aumentando la presencia de sólidos. Cumpliéndose con el propósito de la exploración en relación a la producción de lodos, disminuyendo en un 34,4% respecto a la generación actual; de igual modo, se mejoró la calidad del agua tratada la cual está debajo de los Parámetros Máximos Permisibles señalados en las normas correspondientes y el uso de la cal y floculante han mermado referente al existente, sustentando el examen económico de la optimización del método de depuración aceptada.

[3] “Frecuentemente la característica del efluente tratado de un trabajo minero no acata con la norma exigible como en la situación de Perú los Parámetros Máximos Permisibles para operaciones mineras, debido al contenido de metales como el manganeso que en la mayoría de los casos necesita condiciones particulares para ser removido”. “Para solucionar esta circunstancia se realizaron pruebas de reevaluación del método del régimen aplicado primordialmente en la fase de equilibrio del efluente a fin de detectar el inconveniente y ofrecer probables resoluciones”. El estudio contempla una fase inicial o etapa en fase de prueba, se han realizado un conjunto de análisis en laboratorio siendo el inicial método diferente entre ambos, la clase de equilibrio fijado (neutralización inmediata u ordenada); en tanto que el siguiente método averigua reducir la proporción de reactivos en el desarrollo cuidando la eficacia del régimen establecido. Agregada a los ensayos se hacen controles continuos precedentes a lo largo del proceso y luego de los análisis prácticos de indicadores como el pH, la conductividad y potencial de óxido reductor, que consintieron detectar los periodos de corte en el régimen formulado. Al concluir el ensayo, se pudo remover el excedente de manganeso del efluente tratado; se identificó la secuencia de régimen que permitió lograr el cumplimiento de los indicadores Máximos Permisibles exigibles por las leyes nacionales. Por último, se evidenció la importancia de llevar a cabo una modificación al sistema del régimen que existe, con la finalidad de lograr el cumplimiento de la legislación con el menor valor operativo viable”.

[4] La proposición presentada tiene como finalidad hacer el régimen de aguas ácidas para conseguir agua tipo III en la Sociedad Minera El Brocal, así mismo capturar metales disueltos, conseguir indicadores de control de flujo que se envía las columnas de carbón habilitado para conseguir agua tratada y considerar el alimento y descarga de cada columna de carbón habilitado para conseguir agua requerida. El procedimiento de exploración es APLICADA con acompañamiento del HIPOTÉTICO-DEDUCTIVO puesto que en él se expone una conjetura de investigar deductiva o inductivamente y comprobarlo experimentalmente. La prueba realizada en el campo ambiental nos ofrece un concepto claro que significa conseguir agua para la agricultura ósea para riego. Como diseño en fase de prueba

esta se apoya en la adquisición de los datos, operando las variables. Al realizar el esquema y método de la exploración, la inspección de los exámenes experimentales se llevó a cabo por medio de un análisis del parámetro sin independencia y de los que se interfirieron accidentalmente afectando o favoreciendo el producto de la variable ligada. Las conclusiones arribadas son que en la instalación piloto emplazada se intenta tratar las aguas ácidas fueron bombeadas a partir de procesos mineros, metalúrgicos. Se alcanza separar los metales disueltos y obtener agua de regadío. Así además en el ensayo de presunción se muestra los indicadores a controlar teniendo en consideración Protocolo de Canadá, FAO y Ley de Aguas, en la que se muestran los resultados obtenidos estando cercanos a los LMP, que a lo largo de la metodología realizada en la planta piloto el fluido juntado fue de 355,51 m<sup>3</sup>, y se fue chequeando según lo planificado y por último para el régimen de las aguas ácidas se hecho uso de carbonato de calcio, y carbón habilitado en las columnas de la planta piloto”.

[5] “El actual trabajo de titulación denominada: Caracterización y tratamiento de efluentes de aguas ácidas en la mina La Rinconada - Puno, realizada en la localidad La Rinconada, Distrito de Ananea, Provincia de San Antonio de Putina y Región Puno”.”El periodo de investigación estuvo comprendido entre los meses de noviembre del 2017 a setiembre del 2018, cuya problemática es el derramamiento de los desechos líquidos de aguas ácidas mineras y derrame de las de lluvias y deshielo volcadas sin procesamiento, produciendo contaminación de las aguas, la flora y la fauna para pastos. El estudio es empírico y explicativo utilizando apropiadamente determinaciones físicas y químicas, en el procesamiento se trabajó con el proceso activo de neutralización - precipitación con óxido de calcio a manera de sustancia neutralizante, en el Laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental de la Facultad de Ingeniería de Minas – UNAP. “Se llevaron a cabo pruebas de neutralización con probetas de 500 cc de agua con pH de 3,38 y con metales pesados diluidos como Cu, Fe, Al, Zn, Ni y Mn”; “los resultados finales fueron por un tiempo de 05 a 10 minutos obteniéndose un pH de 6,5 y 8,5 y valores metálicos siguientes: hierro 93,84 %, cobre 80,95 %, aluminio 99,37 %”, zinc 86,88 %, níquel 10,3 % y manganeso 95,55 %”. La óptima cantidad de reactivo calcáreo es de 0,4 g /L de agua ácida”.

### **1.2.2.- Antecedentes a nivel internacional**

En Bolivia [6] “La empresa Minera Colquiri SA, está llevando a cabo acciones mineras desde el 2000 en la Circunscripción Minera Colquiri, con una contrata de arriendo con la Corporación Minera de Bolivia. La totalidad del líquido filtrado desde las cotas principales y las utilizada en cada altura se trasladan por canales hacia zonas de rebombeo. Desde la cota -470 el agua acidificada es succionada a cotas altas donde se mezclan continuamente con aguas de las cotas -405, -365, -325, -285 y -165, consiguiendo definitivamente un desagüe de agua ácida estandarizada evacuándose por embocadura

San Juanillo (nivel -165). No obstante, las propiedades geoquímicas del residuo Ácido de Mina de la cota -470 es diferente, producto del poco periodo de usufructo que tiene. El producto de la cota -470 es de menor acidez, pH de 2.9 cuyo tratamiento, empleando el método activo de equilibrio con Cal es un proceso más fácil y barato. “El costo total estimado para la instalación del procesamiento es de 40000 dólares americanos. El valor de materia prima para la neutralización es de cinco mil dólares americanos por año”. “El precio de mano de obra es de 3600 dólares/año. El gasto de operación es de 6000.00 dólares/ año y las costas administrativas en 1500.00 dólares/ año”. “El líquido tratado final con pH=9.8 se reutiliza en la mina, logrando eliminar la deficiencia de este elemento para el procesamiento y aumentar la cantidad para el gasto humano población civil”.

En Colombia [7] para este estudio , se visitó una compañía de cianuración de oro y se identificó su agua excedente. Se analizaron los procedimientos avanzados de oxidación fotoquímicos: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Cu/UV y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>/UV como opciones de procedimientos”. “En cantidades de inicio de cianuro pequeños a 225 mg/L, el régimen H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Cu/UV es el más eficaz. La cantidad 1 mg/L de Cu<sup>+2</sup> , concentración límite en la regla de reboses, logro el 99% de su oxidación”, “empleando una cantidad de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> entre 49 y 78 cc”. “En elevadas cantidades de cianuro (400 mg CN- /L), el regimen H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Cu/UV admitió conseguir el mismo rendimiento, utilizando una cantidad de Cu<sup>+2</sup> de 6.5 mg/L”. “Demás indicadores como cantidad de H<sub>2</sub> O<sub>2</sub>, DQO, COT y NO<sup>-3</sup> admitieron probar niveles de mineralización de cianuro. Al no conseguirse plenamente, rebaja del DQO y COT estuvo elevada”. “El método de [Cu+2] , vario de 72 y 95% del DQO y COT, correspondientemente”. “La depuración parcial del líquido desechable efectiva, es con 395 mg/L de cianuro ,logro el 99% de su oxidación y una gran velocidad de reacción imputada a una elevada cantidad de Cu<sup>+2</sup> en el líquido residual”.

En Colombia [8] La generación de Drenaje acido de Mina (DAM) en las actividades mineras es y será un problema ambiental muy preocupante, que tiene que ser corregido por los actores de las operaciones. En este trabajo se llevó a cabo un estudio sobre el DAM de la Mina Cascabel localizada en el Municipio de Marmato Caldas, zona minera donde no se está realizando, tratamiento de este tipo de aguas excedentes de sus métodos” mineros. Según los valores hallados de los ensayos se determinó que el residuos tenía metales pesados: “Cobre, cromo, hierro y plomo, sólidos suspendidos en cantidades por debajo de los límites autorizados y otros como: aluminio, arsénico, cadmio, manganeso, mercurio y zinc quienes exceden los valores admitidos por el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible”. “Así mismo se tiene los sulfatos y pH afuera del límite legal”. “Estos efluentes se liberaban a la quebrada Cascabel, razón por la cual había contaminación ambiental, al suelo y al agua.” Motivación para que se efectuó un ensayo piloto como tratamiento inicial al efluente

con con la finalidad de determinar el impacto ambiental y que protección lograría”. “El proceso radicó en un esquema reductor y productor de basicidad utilizándose Hidróxido de Sodio, que además de equilibrar las aguas ácidas, afectan la oxidación de los sulfuros y separa los metales pesados insolubles”. “Una vez realizada el proceso de tratamiento, esta agua es analizada encontrándose que disminuye la existencia de algunas sustancias como: cobre, hierro, aluminio, cadmio, manganeso, zinc”; “a pesar de la reducción, sólo el aluminio, cobre y el hierro permanecen en cantidades debajo de los aceptados en tanto los otros (cadmio, manganeso y zinc) permanecen presentes y en valores que pasan los límites reglamentarios”. “Se hallan asimismo un incremento en su pH pasando valores de 4 hasta 8 de las aguas del drenaje ácido considerándose un paliativo para la quebrada Cascabel”.

En Ecuador [9] “ Esta proposición elaborada con la intención de investigar un método de disminuir los contaminantes de desechos líquidos en tratamiento cianurados en compañías mineras, ofreciendo entendimientos efectivas de las opciones aplicativas de esta clase de técnicas en sus desechos líquidos”. “Para esta finalidad se sacó líquido de un depósito de aguas desechables de la compañía minera hasta una instalación piloto edificada para el estudio”. “El proceso implementado a través de una técnica de ciénagas naturales de fluido superficial tendido, no continuo, con la clase *Thypha Latifolia*, realizándose muestreo al ingreso y al egreso”, “en la investigación de valores de disminución metálica y demás indicadores de contaminación concurrentes en estos líquidos”. “Llevado a cabo la investigación se cumplió con las proposiciones de la investigación probando indicadores de disminución de los otros indicadores ensayados entre ellos”: “sólidos disueltos de 18.81%, sólidos suspendidos 62.48%, sólidos totales 32.89%, cianuro 29.17%, sulfuro 37.47%, cobre 32.79% y arsénico 11.17%”. Así mismo se ensayó el carácter neutralizante del método alcanzando una disminución del pH a unidades cerca de 7 unidades”.

### **1.3.- Bases teóricas**

#### **1.3.1.-Explicación total del procesamiento metálico**

El plan del 2MEI Apumayo, enmarcado en su mejora piensa en el procesamiento de una mena de oro utilizando el método de lixiviación en montones y rescate del oro en disolución con instalación Merrill Crowe, la especie mineralógica a procesarse es con técnica ROM, el beneficio final se consigue en barras metalizadas clase DORE, constituido por mezcla oro y plata.

Las labores mineras de beneficio es a tajo abierto en el yacimiento, considera específicamente los procedimientos subsiguientes:

- Extracción del mineral a tajo abierto.
- Carga del mineral en camiones al pad.
- Lixiviación cianurada en el pad.



- Rescate de elementos preciosos incluidos en la disolución, tratándola en la instalación Merrill Crowe.
- Acondicionamiento del precipitado.
- Derretimiento del precipitado, procesamiento llevado a cabo en las instalaciones Merrill Crowe.

### **Exposición de la zona de procesamiento del mineral**

Las derivaciones de los exámenes metalúrgicos ejecutados en una porción del mineral finalizan, que el método de cianurado es cabalmente adaptable para lograr recobros económicos de los metales preciosos, las propiedades propicias de la mena cumplen las exigencias de una lixiviación en pilas.

La lixiviación radica en hacer pasar una disolución cianurada de sodio a través de la pila del mineral ROM, en su camino por la disolución el cianuro ingresa en las cavidades del mineral alcanzando al oro libre, reaccionando químicamente con él, constituyendo una sustancia de aurocianurado de sodio, solubilizado en agua, como consecuencia de la gravedad se recolecta en el fondo del recipiente recubierto del Pad, seguidamente se envía al recipiente rico de solución siendo sometido al recobro del metal precioso a través de la técnica Merrill Crowe.

### **Esquema del proceso de beneficio:**

El procesamiento en la recuperación de los metales valiosos, está compuesto de las siguientes partes :

- Regadío por goteo del mineral apilado, la disolución pasará a través del montón del mineral, colectándose en el suelo impermeable del pad.
- Manejo y aceptación de las disoluciones, en las albercas de disolución concentrada e intermedia.
- Procedimiento de renovación de las concentraciones de la disolución mediante método Merrill Crowe.
- “Rebombeo de la disolución pobre que emerge de la instalación Merrill Crowe, al pad, continuando con el proceso lixivante del mineral”.
- Rebombeo de la disolución media al pad, prolongando la *lixiviación* y aumentar su concentración.
- Desecación y fusión del producto de la instalación Merrill Crowe, obteniendo las barras Doré.

## Reseña de los mecanismos del procesamiento

### Pad de lixiviación

Este es un área de campo acondicionada apropiadamente, con ensayos geotécnicos, para aguantar el peso del mineral que se está depositando, el suelo es un área impermeabilizada por un interface compuesta de GCL (Geocompuesto de bentonita), donde recibe la geomembrana de polietileno del tipo HDPE de 2.0 mm. de grosor, esta ha sido resguardada con un manto de material denominada over liner, evitando su desperfecto al descargar el mineral en ella. Dispone de ductos subterráneos para aguas y conductos de las soluciones que desaguan del Pad y son trasladados a las pozas.

El bosquejo del Pad tiene un piso inclinado de tal forma que realiza el drenado de toda la solución a una salida única, el pad tiene una protección de las escorrentías de agua de lluvias, por canaletas que rodean las partes principales del Pad siendo su objetivo llevar estas aguas a la zona baja del Pad de manera vigilada, impidiendo la entrada de estos líquidos adentro del Pad.

El volumen de carga y envío del mineral hacia el Pad es de 30,000 TM/ día.

El relleno debe ser en las cotas profundas: primera y segunda, levantando hacia las cotas elevadas, tercera, cuarta, quinta y sexta Lift, etc colocando de manera planeada, sistemática y sucesivamente las superficies donde se amontonaran el mineral.

Las disoluciones concentradas que desagua del Pad, se acumula en la alberca de disolución rica, que cuenta con doble cobertura reforzada de membrana impermeable, de esta se lleva la disolución a la instalación Merrill Crowe, utilizando para ello dispositivos sumergibles.

Aquellas disoluciones que desaguan del Pad y provienen de partes usadas (con un periodo lixiviado), tienen leyes bajas en oro, son derivadas a la poza intermedia (ILS), desde donde se bombea directamente al Pad, elevando su ley en el método de lixiviación.

### **1. Riego de Mineral**

Este se apilara hasta completar la cantidad requerida constituyendo una celda con una extensión de 2500 m<sup>2</sup>, se procede al armado del método de riego usando conductos de HDPE de 6" como principal y mangueras de 1/2" con dispositivos para el goteo de la solución de riego. El ratio de riego es de 10-12 L/h.m<sup>2</sup>, la cantidad de cianuro en la disolución es de 300 ppm, con un pH de 10.5, las celdas se riegan por 60 días, llegando a un 80 % de obtención, se retira posteriormente el sistema de riego y llenar la celda con nuevo mineral.

### Pozas de disoluciones:

#### **1.- Poza de disolución rica (PLS):**

El cometido de esta poza es atraer y acumular la disolución beneficiada de lixiviación, es una disolución enriquecida conteniendo oro y plata como complejo soluble alcalino. La poza fue diseñada para guardar la solución de 15.5 horas de procedimiento cuyo volumen es de 14,000 m<sup>3</sup> y

equipada con dispositivo de vigilancia de fugas. La disolución rica lixiviada gotea por gravedad desde las fuentes de lixiviación a la poza de disolución rica. La poza tiene doble capa de geomembrana, con detección de fugas.

## **2.- Poza de disolución intermedia (ILS):**

Las disoluciones procedentes de partes ya lixiviadas y que tienen leyes bajas en oro, son enviadas a la poza intermedia, Con un volumen de 14,000 m<sup>3</sup>, diseñada para tener la disolución por 30 Hrs de proceso, y equipada con dispositivos de monitoreo de posibles fugas. Su edificación es igualita a la poza de solución rica y el revestimiento de esta poza es con doble geomembrana HDPE, con sistema de detección de fugas

## **3.- Poza de Mayores Eventos (PME):**

Esta poza tiene por función recibir las disoluciones en demasía del procedimiento en el periodo de lluvias, para esto las pozas de disoluciones rica e intermedia elevaran su cota por agua de lluvias captadas en el pad, esta se ubica aguas abajo de las pozas rica y media y con un volumen de 60,000 m<sup>3</sup>. La solución acumulada es posteriormente ingresada al sistema para compensar el equilibrio de agua del circuito.

La poza esta revestida con duplo revestimiento de geomembrana , recibe el fluido por desbordamiento de la poza media o desviación de solución pobre de la planta Merrill Crowe. Posee también un sistema en localización de fugas.

## **4.- Poza de Acumulación de Solución (PAS):**

Esta posee la labor de recoger las disoluciones de excesivas del procedimiento en el período de aguaceros, para esto las albercas de disoluciones concentradas e intermedias elevaran su cota por el agua de aguaceros captadas , esta alberca se ubica aguas abajo de las albercas grandes eventos con un volumen de capacidad de 120,000 m<sup>3</sup>. La solución acumulada es posteriormente ingresada al sistema para compensar el balance de agua del circuito.

## **Procedimiento del conducción de disoluciones.**

Esta se lleva a cabo por procedimientos impermeables, en el suelo del pad, conductos resistentes de HDPE, para el desagüe de disoluciones por gravedad y conductos de hierro al acero de la clase SCH 40 para el rebombeo de las disoluciones de las albercas a la instalación Merrill Crowe y depósitos de paso para el rebombeo hasta el pad, generalmente las ramas de conductos que transportan disoluciones, son emplazadas en cauces impermeables con geomembrana HDPE, derivando las disoluciones cuando se presentan escapes hacia 3 albercas de disoluciones, no permitiéndose en ningún caso que soluciones cianuradas discurran por suelos naturales.

### **Producción de disoluciones.**

El período de lixiviaciones es iniciada cuando la disolución (agua, caliza y NaCN), es colocado por la técnica del goteo en la parte superficial del mineral dosificándosele con 10 a 12 l/h\*m<sup>2</sup>, la disolución traspasa el montículo de mineral y en su trayectoria reacciona el cianuro con el metal rico, conformando un complejo cianurado de Au solubilizado, así el oro atraído es recaudado al fondo del pad y, trasladado a algunas de las dos albercas de disoluciones, siendo es pozas con disolución concentradas y pozas con disolución media, en función del contenido de oro en las disoluciones, se calcula según la superficie que se poseerá en regadío, se calcula que desaguarán 1,350 m<sup>3</sup>/h de disolución hasta las albercas, en las que 900 m<sup>3</sup>/h se depositaran a la alberca de disolución concentrada y otros 450 m<sup>3</sup>/h son captados hacia la alberca de disolución media.

### **Sistema de recirculación de soluciones en pad- planta**

La disolución rica es alimentada a la Instalación Merrill Crowe, donde se adiciona zinc en polvo para recuperar el oro contenido en la disolución. En la alberca media, es recirculada directamente al Pad, hasta que alcance una ley similar a la alberca concentrada.

La disolución es procesada en la instalación Merrill Crowe, inmediatamente de ser recobrado el oro, se transforma en disolución de baja concentración que posteriormente es rebombado al Pad, ejecutándose de esta manera la recirculación de las disoluciones.

En circunstancias corrientes de procesamiento, en la instalaciones hay un gasto de agua por vaporación convencional por permanecer en el mineral juntado al Pad, al llegar este a la saturación de la humedad, motivándose que se adicionen agua al método para conservar el equilibrio de las cantidades de disolución en procesamiento.

Al existir un incremento en las cantidades de las disoluciones en periodos lluviosos se usa la mayor alberca y la acumulación de solución, (cuya cantidad son 60,000 m<sup>3</sup> y 12,000 m<sup>3</sup> respectivamente), se ha valorado para inmovilizar la mayor cantidad de lluvia en los postreros 500 años), para conservar el equilibrio las cantidades manipulados en el pad y en las albercas concentrada y media, los sobrantes son llevados a estas pozas. La disolución incluida en la mayor alberca y la de acumulación, al pasar el periodo de aguaceros, es conducida al Pad compensando el gasto de agua, de esta manera se vuelven a circular las disoluciones logradas en la alberca en el tiempo de aguaceros.

Al ocurrir una eventualidad particular (ejemplo tempestad que resalte la grande sucedida en los postrimeros 100 años), que causen una carga de disoluciones en las albercas por aguaceros excesivos, se tiene que maniobrar la instalación del procesamiento de la disolución cianurada para llevarlos a valores pequeños de los límites permisibles y drenar estos excesos al ambiente.

### 1.3.2.- Aguas residuales acidas de minas

[11]Para establecer la clase de desagüe es obligatorio realizar un estudio pormenorizado de las situaciones físicas, clima y una identificación de los líquidos de mina, es por esto, se ejecutan muestreos de agua y sedimentaciones para ser examinados en el laboratorio y detectar las cantidades de los elementos presentes, igualmente se requiere medir in situ los indicadores siguientes: pH, oxígeno, conductividad, temperatura, Fe, acidez/alcalinidad, turbidez y demás. Independiente de su inicio a los desagües mineros, éstos se dividen en dos clases: - Aquellas excedentes con menor grado de solubilidad. - Aguas desechables con elevado grado de solubilidad. En 1968 White concibe una categorización de las estas aguas desechables mineras en función a su pH y los junta en 6 clases:

**Tabla 01 Clase de aguas residuales de minas**

<b>Clase</b>	<b>pH</b>
Elevadamente ácidas	1,5 a 4,5
Blandas, ligeramente ácidas	5,0 a 7,0
Duras, neutras a alcalinas	7,0 a 8,5
Blandas, alcalinas	7,5 a 11,0
Muy salinas	6,0 a 9,0
Blandas ácidas	3,5 a 5,5

**Tabla 2 Clasificación de drenajes en función del pH y el potencial de acidez/alcalinidad de los minerales [12].**

Clase	pH	Descripción
Acido	Menor 6	<p>Acidez generada por oxidación de minerales, particularmente de sulfuros.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nivel de metales disueltos es mayor que en drenajes casi neutros.</li> <li>- Asociado a minas metálicas, carbón y piritas.</li> </ul>
Alcalino	9 o 10	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta alcalinidad generada por disolución de minerales básicos, particularmente óxidos, hidróxidos y algunos silicatos.</li> <li>- Niveles de algunos metales como el Al son mayores que en los drenajes casi neutros.</li> <li>- Asociado con minería de diamantes, molienda de bauxita, cenizas de combustión de carbón</li> </ul>
Casi neutro	6-9 o 10	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dependiendo de la abundancia de los minerales, en determinados períodos pueden ser ácidos o alcalinos.</li> <li>- Concentración de metales disueltos algunas veces puede exceder niveles tóxicos.</li> </ul>
Otros	irrelevante	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puede afectar la concentración de metales.</li> <li>- Asociado a minería no metálica como: potasa, sales, boratos, bentonitas, gravas, arcillas, etc.</li> </ul>

A lo largo del aprovechamiento de determinados yacimientos (carbón, sulfuros metálicos, hierro, uranio y otros) quedan expuestos a la meteorización, enormes proporciones de minerales sulfurados teniendo la oportunidad de conformar residuos líquidos ácidos. Para lograr este cometido son primordiales ambientes oxigenados, ósea la presencia de proporciones adecuadas de agua, oxigenación de forma simultánea a la actividad reactiva de microorganismos. [13] describen el procedimiento oxidativo de la pirita tan primordial encargado de la producción de líquidos acidulados, asegurando que las reacciones químicas se activen en superficies del mineral gracias a que el oxígeno se pone en relación con más gran simplicidad con los sulfuros a través los trabajos de ingreso y la porosidad construida en las pilas de estériles y residuos, unido a ello el cambio de estructura química y el incremento de la área de contacto de las sustancias particuladas. Además, aseguran que los procesos físicos, químicos y biológicos tienen enorme predominación en la producción, movilidad y atenuación de la polución ácida hídricas, y los causantes que más afectan a la generación ácida son el volumen, la concentración, la capacidad de grano y la organización de la pirita. [14] y [15] desde el pH y la presencia de oxígeno y metales pesados hacen una categorización de los desagües mineros y lo agrupan en 5 tipos. Por consiguiente, los residuos de ámbitos mineros tienen la probabilidad de ser ácidos o alcalinos, tienen la posibilidad de degradar el hábitat acuático y cambiar la propiedad acuática gracias a su toxicidad, corrosión y otros efectos producidos por la solución de sus constituyentes. En la generalidad de los casos tienen valorizaciones de pH entre 2 a 9, tienen dentro cationes y aniones en disolución.

[11] “La constitución de líquidos ácidos se realiza por proceso químico oxidativo de sustancias sulfuradas, apresurada por labor bacteriana. Las importantes sustancias que actúan son: los sulfuros, oxígeno y vapor de agua, y como sustancia acelerante de las bacterias” (Fig. 1).

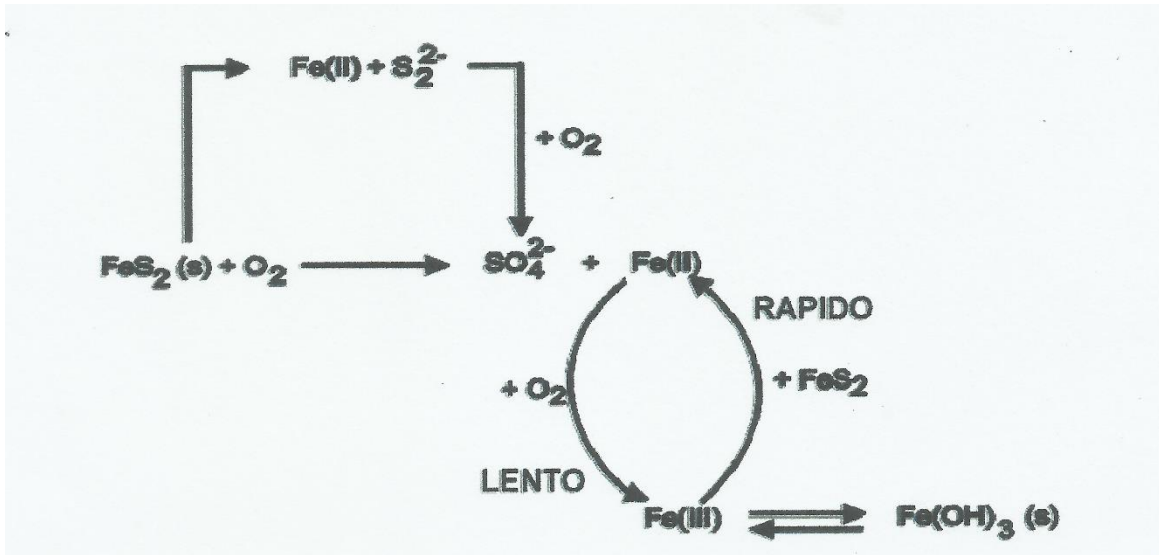


Figura 1 Formación ácidas de minas

“La rapidez de reacción es una variación muy sustancial, ya que si el desarrollo sucede pausadamente la consecuencia en el entorno suele ser nefasto ser repudiable”. “No obstante, si la producción de estas es ligera el inconveniente se agrava, porque se va a producir la contaminación del ámbito”. “Aunque la rapidez de reacción es dependiente de varios componentes como temperatura, proporción de sulfuros, tamaño de grano, existencia de agua, aire y microorganismos”. “Algunos especímenes mineralógicos tienen mayor reactividad que otras; entre otras cosas, la marcasita, de igual formulación química que la pirita, es muy desequilibrado y puede crear de manera rápida aguas”.

“Los compuestos sulfurados de otros elementos son ordinariamente de menor reactividad al del hierro”. “En parte, gracias a la más grande seguridad de su composición cristalina y además constituyen menos poco solubles que envuelven la región de los mismos sulfuros imposibilitando que prospere su oxidación”. “La cantidad y volumen de las partículas del mineral actúan en la rapidez de reacción. Las estructuras diminutas mal solidificadas reaccionan de manera rápida que los granulos cristalizados groseros”. “Entre otras cosas, una representación de pirita creada en situaciones de menor energía logra ocasionar muchísimo más de manera rápida la acidificación que en lugar de una gran masa sulfurada conformada en elevada energía, gracias a la mínima analogía de área respecto al volumen”. “Tanto el líquido y el oxígeno son elementos fundamentales para la oxidación”, “al separar de uno se detendrá la producción de líquidos ácidos”. “Por otro lado, es necesario enormes proporciones de aire en correlación con la cantidad del líquido”. “Entre otras cosas, hundiendo el sulfuro en líquido es frecuente detener la reacción, gracias a la pequeña propagación del oxígeno en el líquido”. “Así mismo, la existencia del oxígeno con pequeñas proporciones de agua provoca la oxidación. El calor además produce un consecuencias de vigilancia considerable, en lugares frescos



la rapidez de oxidación reduce”. “Con generación de nuevas sustancias por reactivación de sulfuros logra variar la rapidez de producción de líquidos ácidos”. “Con la situación del FeS mineralizado, los productos tienen la posibilidad de reaccionar más adelante con la pirita, acelerando el mecanismo de oxidación”. “Además, los resultados de la reacción tienen la posibilidad de recubrir los sulfuros, previniendo su variación”. “Las características químicas de las aguas determinarán si los nuevos compuestos formados precipitarán o se mantendrán en disolución”. “Además, algunas bacterias trabajan acelerando las reacciones”. “La consideración es dependiente fuertemente de las circunstancias de calor y pH, de esta forma con la presencia de cantidades específicas de componentes como el molibdeno siendo venenoso para los microorganismos”. Además, se debe de considerar que varios minerales gastan de manera formal los ácidos generados en la oxidación de los sulfuros. El desarrollo del equilibrio inherente es profundo con la presencia de carbonato de calcio (importante componente de las calcitas), así mismo son compensantes las calcitas de Fe y Mg., y los dihidróxidos de Fe y Al, teniendo la posibilidad de contribuir a subir el pH a valores admisibles. La cuantía referente de estas piedras, en relación proporcional de sulfuros, establece el grado de acidez hídrica. Si hay elevada cantidad de calcita y dolomita, los resultados de reacción del yeso o sales férricas pueden recubrir las moléculas de sulfuros y bajar rápidamente de reacción. Caso opuesto, proporcionalmente los sulfuros es mayúsculo, gastados las sustancias equilibrantes los desagües van a volver a ser ácidos.

#### **1.4 Formulación del problema**

##### **1.4.1.- Problema General**

¿De que manera se caracteriza y trata las aguas residuales ácidas de mina del centro minero Apumayo-2022?

##### **1.4.2.- Problemas Específicos**

¿De qué forma se caracteriza las aguas residuales ácidas de mina?

¿Cómo se realiza el tratamiento de las aguas residuales ácidas de mina?

#### **1.5 Justificación e importancia de la investigación.**

“La ejecución del estudio es significativa porque nos permitirá evaluar los impactos negativos que generan los residuos ácidos de yacimiento con la finalidad de minimizar los impactos de los recursos acuáticos subterráneos y superficiales, como también al sistema ecológico”, “donde afecta directamente eliminando la flora, fauna y poniendo en riesgo la salubridad, es así que al examinar, identificar se determina el procedimiento de depuración de líquidos ácidos, evitando disminuir la polución”. “Estos desagües ácidos de mina son un significativo inconveniente de polución de los líquidos en la actividad minera mundialmente”. “Consiguen

durar varios períodos y hasta centenas de años al producirse la finalización de la producción de la mina, que por tanto es necesario la prevención de su formación”, “aplicando el método más adecuado a las aguas ácidas cuando ya se han producido” [11] . “El conocimiento que se tiene en la actualidad de la actividad minera mayoritaria mente es negativo a un más cuando se habla de las zonas mineras de Apumayo”. “Para ello la búsqueda del actual monografía de investigación sea un instrumento basico, que posibilite a distintos conjuntos de interés realizar acciones similares, o compañías similares que tienen su misma actividad”, “en este contexto comiencen a dialogar de manera seria y comprometido con el discernimiento referido al apropiado administración de desagües de líquidos ácidos mineros y su subsiguiente derrame al entorno evitando de esta manera la polucion”. “Aunando en otros aspectos, es incuestionable que anomalías como el efecto invernadero general nos perturba con secuelas inmediatas en la merma de glaciares (depósitos congelados de agua dulce) y reservas de agua”. [16], “consiguientemente, es necesario minimizar, mitigar y evitar la polución de los recursos hídricos”. “En consecuencia, el proyecto de tesis es de mucha importancia, que sirve para evaluar, caracterizar y diseñar una técnica de procesamiento piloto de los líquidos ácidos de mina y así evitar, reducir la polución de las aguas”.

## **1.6.-Objetivos**

### **1.6.1.-Objetivo General**

Caracterizar y tratar las aguas residuales acidas de mina del centro minero Apumayo-2022

### **1.6.2.-Objetivos Específicos**

Caracterizar las aguas residuales acidas de mina.

Realiza el tratamiento de las aguas residuales acidas de mina.

## **1.7.-Hipótesis y variables de la investigación**

### **1.7.1.-Hipótesis General**

Se caracteriza y trata significativamente las aguas residuales acidas de mina del centro minero Apumayo-2022

### **1.7.2.-Hipótesis específicas**

Se caracteriza fisicoquímicamente las aguas residuales acidas de mina.

Se realiza el tratamiento adecuado de las aguas residuales acidas de mina.

### **1.7.3.-Variable de Investigación**

**Variable Independiente:** Aguas residuales acidas de mina

**Variable dependiente:** tratamiento de aguas residuales acidas de mina

## **1.8.- Marco conceptual**

**Drenaje** “es la separación natural o artificial del agua superficial y del agua subterránea de un área con abundancia de agua” [13].

**Efluente:** “como un fluido originario de un establecimiento industrial. El vocablo procede del verbo **efluir**, que indica la salida al exterior de un gas o de un líquido” [14].

**Limo:** Es una sedimentación plástico incoherente trasladado en suspensión por los ríos y por el viento, que se deposita en el lecho de los cursos de agua o sobre los terrenos que han sido inundados. Para que se clasifique como tal, el tamaño de las partículas de limo debe encontrarse entre 0,0039 mm y 0,0625 mm. [15].

**Lixiviación:** “La lixiviación es un proceso químico que se utiliza para extraer materiales valiosos de una materia prima. Se utiliza ampliamente en la minería, ya que permite obtener metales preciosos como el oro y la plata de las rocas” [16].

**Neutralización:** “viene a ser la unión de un ácido y una base. Mayormente, son reacciones líquidas ácido-base formándose una sal más agua. Durante este proceso se forma una sal. Estas reacciones son corrientemente exotérmicas” [17].

**Polución:** “a la contaminación del medio ambiente, en especial del aire o del agua, producida por los residuos procedentes de la actividad humana o de procesos industriales o biológicos” [18] .

**Precipitación:** “En Química, una precipitación o precipitado consiste en la formación de una sustancia sólida en el fondo de una disolución ya sea porque la disolución contiene una sustancia insoluble o por sobresaturación” [19] .

**Sulfuros:** Son sustancias de diferentes minerales combinados con el azufre. [20].

## **II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA.**

### **2.1.- Tipo y diseño de la investigación**

#### **Tipo**

Es cuantitativo, aplicada y explicativo, porque se recogen las muestras y se realizaron los respectivos análisis de los parámetros físico-químicos y de cantidades de metales pesados en disolución.

#### **Diseño**

El diseño fue experimental, en la que se operaron dos variables una independiente y la otra dependiente, se manipulo la variable independiente (causa), aplicando los tratamientos de neutralización con cal hidratada sobre la variable dependiente tratamiento (efecto) y se procedió a evaluar y determinar los parámetros fisicoquímicos de la muestra de agua ácida antes del método de tratamiento.

## **2.2.- Población y muestra**

La población esta compuesta por todo el desagüe acido producido en la mina

## **2.3 .-Técnicas e instrumentos de recolección de la información**

Primeramente, se identificó los lugares más representativos de producción de desagües de los residuos líquidos ácidos mineros con la manejo de GPS . Explícitos los puntos de muestreo, se realizaron la toma de muestras de acuerdo a la guía exigida para el caso “formulismo de monitoreo de aguas del sector Energía y Minas” las muestras fueron marcadas de acuerdo a su procedencia, y con el procedimiento exigidos fueron conducidos a la unidad de análisis de la compañía, donde fueron analizadas según los protocolos establecidos en la norma peruana.

**UBICACIÓN DEL PROYECTO** La Unidad de Producción APUMAYO, se encuentra localizada en Flanco Oriental de la Cordillera Occidental, en el departamento de Ayacucho, provincia Lucanas, distrito Chaviña

**METODOLOGÍA Del Análisis.** Consideraciones de monitoreo en campo

a) Parámetros físico químicos La metodología de muestreo y la preparación del material correspondiente ha sido adoptada de los criterios establecidos por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Society for Testing Materials (ASTM), Agencia de Protección de Medio Ambiente (EPA) y normas nacionales vigentes. Cada porción es rotulada para su individualización y resguardada según los indicadores a establecer, preparándolo a la temperatura apropiada transportada desde la recepción hasta el Laboratorio. Todo envase se rotula con la siguiente información:

- Nombre/Código de la estación.
- Estación de muestreo.
- Fecha y hora del muestreo
- Parámetro a ser analizado.
- Modo de conservación. Cada lote de muestras tiene una “Cadena de Custodia” donde se registrará fecha y hora de muestreo, análisis a realizar a cada muestra, identificación de la muestra (tal como aparecerá en el Informe de Ensayo), preservación realizada, etc., así como

cualquier observación que hubiere referente a las muestras. Este documento es firmado por el Inspector SGS responsable muestraeador.

La metodología de análisis se muestra en el anexo 03

Las estaciones de muestreo se detallan los códigos, coordenadas geográficas y las descripciones de las estaciones de muestreo, y se detallan en el Anexo 04

En los anexos 5 y 6 se muestran los estándares de calidad Ambiental establecidos en los D.S. N° 015-2015- MINAM y el D.S. N° 004-2017-MINAM , para Agua- Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales, y establecen Disposiciones Complementarias

#### 2.4. Técnicas de procesamiento, análisis e interpretación de datos

Se utilizará el software EXCEL, se elaborarán, Gráficos, tablas, y una base de datos.

Se utilizará la estadística descriptiva.

### III. RESULTADOS

#### 3.1.- De la caracterización de las aguas acida de mina

**Tabla 03**

**Resultados de los análisis de las aguas de minas**

Parametro	Unidad	Coord1	Coord. 2	Coord3	Coord4	Coord5	Coord6
		Marzo21	Marzo21	Marzo21	Marzo21	Marzo21	Marzo21
		12:00	11:00	13:00	13:30	10:50	6:30
<b>Análisis de Campo</b>							
Conductividad	μS/cm	218	1685	24.1	32.9	507	<b>553</b>
Temperatura	°C	19.4	15.5	12.6	12.8	15.1	<b>7.3</b>
Potencial de Hidrogeno	pH	4.73	6.58	7.02	7.09	4.42	<b>4.39</b>
Caudal	L/s	14.85	20.16	2.38	3.10	7.33	<b>9.92</b>
Oxigeno disuelto	mg/L	6.31	6.34	6.14	6.31	5.96	<b>7.26</b>
<b>Análisis Físicoquímicos</b>							
Color Verdadero	UC	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
B carbonatos							
DQO	mgHCO3/L	<1.0	3.7	12	14.2	<1.0	<1.0
DBO	mg/L	<4.50	<4.50	<4.50	<4.50	<4.50	<4.50
Aceites y grasas	mg/L	<2.6	<2.6	<2.6	<2.6	<2.6	<2.6
Fenoles							
SA.A.M	mg/L	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4
Cianuro WAD	mg/L	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
	mg/L	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050
	mg/L	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008

<b>Análisis de aniones</b>							
Cloruros	mg/L	7.011	9.458	0.748	0.662	6.485	5.041
Fluoruro	mg/L	0.057	0.114	0.013	0.017	0.105	0.142
Nitrito	mg/L	<0.002	0.016	<0.002	<0.002	0.014	0.8
Nitratos	mg/L	5.577	24.103	<0.062	<0.062	19.335	8.419
Nitratos(NO <sub>3</sub> ,N)+Nitritos(NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	1.748	2.104	0.256	0.217	2.045	5.234
Cr (hexavalente)	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Sulfato	mg/L	77.86	1435.53	3.32	2.88	224.31	206.93

**Tabla 03**  
**Resultados de los análisis de las aguas de minas**  
**(Continuación-2)**

Parametro	Unidad	Coord1	Coord. 2	Coord3	Coord4	Coord5	Coord6
		Marzo21	Marzo21	Marzo21	Marzo21	Marzo21	Marzo21
		12:00	11:00	13:00	13:30	10:50	6:30
<b>Analisis microbiologicos</b>							
Coliformes totales	NMP/100ml	<b>4.5</b>	<b>2</b>	<b>6.8</b>	<b>2</b>	<b>6.8</b>	<b>4.5</b>
Numeracion de coliformes fecales o termotolerantes	NMP/100ml	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8
Numeracion de Escherichia coli	NMP/100ml	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8
Numeracion de Enterococos fecales	NMP/100ml	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8	<1.8
Larvas de Helmintos	Larvas/L	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Deteccion Y/O Cuantificacion de huevos de Helmintos	Huevos/L	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<b>Metales totales</b>							
Aluminio T	mg/L	6.737	5.801	0.119	0.109	5.778	6.735
Arsenico T		0.00986	0.01259	<0.00010	<0.00010	0.01372	0.00338
Bario		0.0588	0.0502	0.0194	0.0083	0.0456	0.0699
Berilio		0.00029	0.00036	<0.00006	0.0001	0.00168	0.0094

Boro		<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	0.029	0.026
Cadmio		0.031960	0.00213	<0.00003	<0.00003	0.0006	0.00054
Cobalto		0.01429	0.01667	0.00011	<0.00003	0.02627	0.04993
Cobre		0.02455	0.02196	0.0013	0.00146	0.02473	0.11516
Cromo		<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Hierro		3.1222	1.964	0.0884	0.067	8.3871	1.8028
Litio		0.001	0.0267	<0.0003	<0.0003	0.0032	0.0022
Magnesio		7.18	14.399	0.619	0.728	24.841	10.33
Manganeso		0.85502	1.405	0.00347	0.00164	1.11303	0.87166
Mercurio		<0.00009	<0.00009	<0.00009	<0.00009	<0.00009	<0.00009
Niquel		0.0032	0.0057	<0.0006	<0.0006	0.0071	0.0124
Plomo		<0.0006	0.003	0.0021	<0.0006	0.0053	<0.0006
Selenio		<0.001	0.0114	<0.0013	<0.0013	0.0036	0.0380
Zinc		0.2609	0.2264	0.0513	0.0615	0.1065	0.3777

**Tabla 03**

**Resultados de los análisis de las aguas de minas**

**(Continuación-2)**

Parametro	Unidad	Coord1	Coord. 2	Coord3	Coord4	Coord5	Coord6
		Marzo2 1	Marzo2 1	Marzo2 1	Marzo2 1	Marzo2 1	Marzo2 1
		12:00	11:00	13:00	13:30	10:50	6:30
<b>aldicarb</b>							
aldicarb	mg/L	<0.00010	<0.00010	<0.00010	<0.00010	<0.00010	<0.00010
Bifenilos policlorados							
PCB	mg/L	<0.00010	<0.00010	<0.00010	<0.00010	<0.00010	<0.00010
<b>Pesticidas organoclorados y organofosforados</b>							
Aldrin	µg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Clordano (Total de isómeros)	µg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Dicloro difenil tricloroetano	µg/L	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008
Dieldrin	µg/L	<0.0018	<0.0018	<0.0018	<0.0018	<0.0018	<0.0018
Endosulfan	µg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Endrin	µg/L	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020
Heptacloro+Heptacloro Epoxido	µg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Lindano	µg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Paration	µg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002

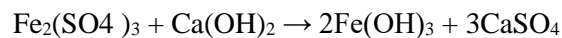
### 3.2.- Tratamiento de aguas acidas

“Se basa en agregar compuestos alcalinos, como son el óxido de calcio, y sus derivados, cal molida, hidróxido de sodio, carbonatos, con la finalidad de equilibrar los ácidos y las bases presentes, teniendo las circunstancias para poder precipitar los iones metálicos pesados”. “Los iones metálicos sedimentan como bases no solubles en valores del potencial de hidrogeno que fluctúa de 8,5 a 10”. “El hierro ferroso se transforma en una base ferrosa a potencial de hidrogeno elevado a 8,5 y el manganeso se convierte en no soluble con el potencial de hidrogeno superior a 9,5”. “El aluminio sedimenta en solución con un potencial de hidrogeno de 5,5 volviéndose soluble a pH elevado a 8,5.elevandose este hasta 9, a mayor basicidad crece la solubilizacion del Pb y Zn”. “La gran cantidad de procesos se basan en la sedimentación de los hidróxidos ,realizándose en tres etapas”:

a) **Oxidación**

Se realiza captando oxígeno atmosférico a través del movimiento de las aguas en unas albercas. Consiguiendo convertir la fase del hierro convirtiéndolo en poco soluble.

b) **Sedimentación de los hidróxidos de hierro.** Los álcalis se producen al interactuar el sulfato férrico con sustancias alcalinas, con cal:

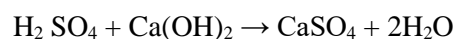


Las porciones con álcalis alcanzan ser esencialmente con:  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y así mismo con  $\text{Na}(\text{OH})$ ,  $\text{NaHCO}_3$  y otros compuestos.

c) **Sedimentación.** “donde se colocan los complejos de metales iónicos constituyendo glomeros sedimentando debido a su peso específico formado. Los procesos químicos más habituales, son” :

**Procesamiento con cal**

“Se utiliza cal hidratada  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ventajoso en el proceso de grandes caudales con elevada acidez; ya que esta sustancia es hidrófoba, en un mezclado con agua, es necesario de agitación”. “En el método si se desea separar el hierro, entonces en la agitación se une el aire para lograr la conversión del metal ferroso a férrico”. “Los lodos tienen gran proporción de sulfato de calcio, y partiendo de los sedimentadores se bombean a un recipiente de acopio o hacerlos pasar por prensa filtros con el propósito de eliminar la humedad y se pueda manejar mejor los sólidos”.

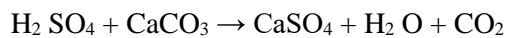




“Posee una limitante en lograr un pH elevado para sedimentar compuestos como el manganeso”.

#### **Procesamiento con caliza/cal**

“La caliza es más barato que el óxido de calcio, de manipulación cómoda . Se utiliza en incrementar el potencial de hidrogeno pH entre un intervalo de 4 a 4,5 para una inicial fase de procesamiento, seguidamente prolongar con el método con cal”. “Al elegir esta clase de procesamiento mixto, de tiene en consideración que el carbonato de calcio posee poca solubilidad”, “asimismo tiene la dificultad de cubrirse de sedimentos con sales o sulfatos producidos desde los iones metálicos presentes en el agua”.



Los inconvenientes para este proceso son: proporciones elevadas, y grandes periodos de detención en la neutralización ,y es que la rapidez de reaccion del hierro es bastante pausado..

#### **Procesamiento con soda cáustica**

“El proceso es utilizado en menores caudales de desagües de mina, el hidróxido de sodio es sumamente soluble y eleve el pH rápidamente. El inconveniente es su alto costo y el riesgo de su operación”.

#### **Procesamiento con carbonato de sodio**

“Puede utilizarse en desagües mineros con menores caudales y bajísimas cantidades de hierro. Las briquetas, se ubican en conductos, para que pueda pasar las aguas residuales ácidos”. “La eliminación de iones metálicos es mejorado por el poder adsorbente de la dolomita, asimismo al ser una sustancia de carbonato doble de calcio y magnesio ( $\text{CaCO}_3$ .  $\text{MgCO}_3$ ) refuerza al neutralizar las aguas que tienen pH ácidos”. “desarrollaron un tratamiento para mejorar el atributo de los residuos generados en las industrias minero metalúrgicas, el tratamiento consistió en la utilización de dolomita que cumplió una función de adsorbente mediante reduciéndose las cantidades de metales pesados”, “presentes como iones diluidos en aguas aciduladas”. “La dolomía al ser una sustancias no metálica de  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  no produce polución adyacente utilizándolo como adsorbente en tratamientos limpios”, “asi mismo es seguro en la separación de metales pesado en los efluentes”, “en base a los resultados eficaces el procedimiento de los drenajes de las instalaciones concentradoras se desarrollaría a nivel piloto para subsiguientemente desarrollarr una instalación de procesamiento de aguas aciduladas con dolomias a nivel industrial”.

#### **IV.DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

➤ Los valores obtenidos para el parámetro conductividad variaron de 24.1  $\mu\text{S/cm}$  (PMAPU-03A) a 1685  $\mu\text{S/cm}$  (PM-APU-02B); por lo tanto, todas las estaciones cumplen con el valor indicado en el ECA Agua- Categoría 3: Riego de Cultivos Tallo Alto y Bajo (2500  $\mu\text{S/cm}$ ), Bebida de Animales (5000  $\mu\text{S/cm}$ ), establecido en el D.S. N° 015-2015-MINAM. De igual manera, se cumple con la normativa referencial, ECA Agua- Categoría 3: Agua para Riego restringido y no restringido (2500  $\mu\text{S/cm}$ ) y Bebida de Animales (5000  $\mu\text{S/cm}$ ), establecido en el D.S. N° 004- 2017-MINAM.

➤ Los valores obtenidos para el parámetro potencial de hidrógeno variaron de 4.39 pH (PMAP-03A) a 4.73 pH (PM-APU-02A); por lo tanto, las estaciones PM-APU-02A, PMAP03 y PMAP-03A no cumplen con el rango indicado en el ECA Agua- Categoría 3: Riego de Cultivos Tallo Alto y Bajo (6.5-8.5 pH), Bebida de Animales (6.5-8.4 pH), establecido en el D.S. N° 015-2015-MINAM. De igual manera, las mencionadas estaciones no cumplen con los rangos de la normativa referencial, ECA Agua- Categoría 3: Agua para Riego restringido y no restringido (6.5-8.5 pH) y Bebida de Animales (6.5-8.4 pH), establecido en el D.S. N° 004- 2017-MINAM. Las demás estaciones cumplen con ambas normativas.

➤ Los valores obtenidos para el parámetro oxígeno disuelto variaron de 5.96 mg/L (PMAP03) a 7.26 mg/L (PMAP-03A); por lo tanto, todas las estaciones cumplen con el valor indicado en el ECA Agua- Categoría 3: Riego de Cultivos Tallo Alto y Bajo ( $\geq 4$  mg/L), Bebida de Animales ( $\geq 5$  mg/L), establecido en el D.S. N° 015-2015-MINAM. De igual manera, se cumple con la normativa referencial, ECA Agua- Categoría 3: Agua para Riego restringido y no restringido ( $\geq 4$  mg/L) y Bebida de Animales ( $\geq 5$  mg/L), establecido en el D.S. N° 004- 2017-MINAM.

➤ Los valores obtenidos para los parámetros: color verdadero, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, aceites y grasas, fenoles, detergentes S.A.A.M y Cianuro WAD fueron menor al límite de cuantificación del método; por lo tanto, todas las estaciones cumplen con el valor indicado en el ECA Agua- Categoría 3: Riego de Cultivos Tallo Alto y Bajo, Bebida de Animales, establecido en el D.S. N° 015-2015- MINAM. De igual manera, se cumple con la normativa referencial, ECA Agua- Categoría 3: Agua para Riego restringido y no restringido y Bebida de Animales, establecido en el D.S. N° 004- 2017-MINAM.

➤ Los valores obtenidos para el parámetro cloruro variaron de 0.662 mg/L (PM-APU-03B) a 9.458 mg/L (PM-APU-02B); por lo tanto, todas las estaciones cumplen con el valor indicado en el ECA

Agua- Categoría 3: Riego de Cultivos Tallo Alto y Bajo (500 mg/L), establecido en el D.S. N° 015-2015-MINAM.

➤ Los valores obtenidos para el parámetro fluoruro variaron de 0.013 mg/L (PM-APU-03A) a 0.142 mg/L (PMAP-03A); por lo tanto, todas las estaciones cumplen con el valor indicado en el ECA Agua- Categoría 3: Riego de Cultivos Tallo Alto y Bajo (1 mg/L), establecido en el D.S. N° 015-2015-MINAM. De igual manera, se cumple con la normativa referencial, ECA Agua- Categoría 3: Agua para Riego restringido y no restringido (1 mg/L), establecido en el D.S. N° 004- 2017-MINAM.

Los valores obtenidos para el parámetro nitrito variaron de < 0.002 mg/L (menor al límite de cuantificación del método) a 0.8 mg/L (PMAP); por lo tanto, todas las estaciones cumplen con el valor indicado en el ECA Agua\_ Categoría 3: Riego de cultivos Tallo alto y Bajo (10 mg/L), Bebida de animales (10 mg/L), establecido en el D.S. N° 015-2015 MINAM. De igual manera, se cumple con la normativa referencial, ECA Agua categoría 3: Agua para riego restringido y no restringido (10 mg/L) y bebidas de animales (10 mg/L), establecido en el D.S N° 004-2017-MINAM

➤ Los valores obtenidos para el parámetro Nitratos (NO<sub>3</sub>-N)+Nitritos (NO<sub>2</sub>-N) variaron de 0.217 mg/L (PM-APU-03B) a 5.234 mg/L (PMAP-03A); por lo tanto, todas las estaciones cumplen con el valor indicado en el ECA Agua- Categoría 3: Riego de Cultivos Tallo Alto y Bajo (100 mg/L), Bebida de Animales (100 mg/L), establecido en el D.S. N° 015-2015- MINAM. De igual manera, se cumple con la normativa referencial, ECA Agua- Categoría 3: Agua para Riego restringido y no restringido (100 mg/L) y Bebida de Animales (100 mg/L), establecido en el D.S. N° 004- 2017-MINAM.

➤ Los valores obtenidos para el parámetro sulfato variaron de 2.88 mg/L (PM-APU-03B) a 1495.53 mg/L (PM-APU-02B); por lo tanto, todas las estaciones cumplen con el valor indicado en el ECA Agua- Categoría 3: Riego de Cultivos Tallo Alto y Bajo (1000 mg/L), Bebida de Animales (1000 mg/L), establecido en el D.S. N° 015-2015-MINAM. De igual manera, se cumple con la normativa referencial, ECA Agua- Categoría 3: Agua para Riego restringido y no restringido (1000 mg/L) y Bebida de Animales (1000 mg/L), establecido en el D.S. N° 004- 2017-MINAM. Con excepción de la estación PM-APU-02B que superó ambas normativas antes mencionadas.

Los valores obtenidos para los parámetros: Numeración de Coliformes Fecales o Termotolerantes, Numeración de Escherichia coli y Numeración de Enterococos Fecales fueron menor al límite de cuantificación del método; por lo tanto, todas las estaciones cumplen con el valor indicado en el ECA Agua- Categoría 3: Riego de Cultivos Tallo Alto y Bajo, Bebida de Animales, establecido en el D.S.

N° 015-2015-MINAM. De igual manera, se cumple con la normativa referencial, ECA Agua- Categoría 3: Agua para Riego restringido y no restringido y Bebida de Animales, establecido en el D.S. N° 004- 2017- MINAM.

➤ Los valores obtenidos para los parámetros: Larvas De Helminto y Detección Y/O Cuantificación De Huevos De Helmintos fueron 0 Organismo/L; por lo tanto, todas las estaciones cumplen con el valor indicado en el ECA Agua- Categoría 3: Riego de Cultivos Tallo Alto y Bajo, Bebida de Animales, establecido en el D.S. N° 015-2015-MINAM. De igual manera, se cumple con la normativa referencial, ECA Agua- Categoría 3: Agua para Riego restringido y no restringido y Bebida de Animales, establecido en el D.S. N° 004- 2017-MINAM

Los valores obtenidos para el parámetro Numeración de Coliformes Totales variaron de 2 NMP/100mL (PM-APU-02B y PM-APU-03B) a 6.8 NMP/100mL (PM-APU-03A y PMAP03); por lo tanto, todas las estaciones cumplen con el valor indicado en el ECA AguaCategoría 3: Riego de Cultivos Tallo Alto y Bajo (1000 NMP/100mL), Bebida de Animales (5000 NMP/100mL), establecido en el D.S. N° 015-2015-MINAM

➤ Los valores obtenidos para los parámetros: Cromo Total y Mercurio Total, fueron menor al límite de cuantificación del método; por lo tanto, todas las estaciones cumplen con el valor indicado en el ECA Agua- Categoría 3: Riego de Cultivos Tallo Alto y Bajo, Bebida de Animales, establecido en el D.S. N° 015-2015-MINAM. De igual manera, se cumple con la normativa referencial, ECA Agua- Categoría 3: Agua para Riego restringido y no restringido y Bebida de Animales, establecido en el D.S. N° 004- 2017-MINAM.

➤ Los valores obtenidos para el parámetro Aluminio Total variaron de 0.109 mg/L (PMAPU-03B) a 6.737 mg/L (PM-APU-02A); por lo tanto, las estaciones PM-APU-02A, PMAPU-02B, PMAP-03 y PMAP-03A no cumplen con el valor indicado en el ECA AguaCategoría 3: Riego de Cultivos Tallo Alto y Bajo (5 mg/L), Bebida de Animales (5 mg/L), establecido en el D.S. N° 015-2015-MINAM. De igual manera, esas estaciones no cumplen con la normativa referencial, ECA Agua- Categoría 3: Agua para Riego restringido y no restringido (5 mg/L) y Bebida de Animales (5 mg/L), establecido en el D.S. N° 004- 2017-MINAM. Las demás estaciones cumplen con ambas normativas antes mencionadas.

➤ Los valores obtenidos para el parámetro Arsénico Total variaron de 0.00010 mg/L (PMAPU-03B) (menor al límite de cuantificación del metodo) a 0.01372 mg/L (PMAP-03);por lo tanto, todas las estaciones cumplen valor indicado en el ECA Agua-Categoría 3: Riego de Cultivos Tallo Alto y Bajo

(5 mg/L), Bebida de Animales (5 mg/L), establecido en el D.S. N° 015-2015-MINAM. De igual manera, esas estaciones no cumplen con la normativa referencial, ECA Agua- Categoría 3: Agua para Riego restringido y no restringido (0.2 mg/L) y Bebida de Animales (0.2 mg/L), establecido en el D.S. N° 004- 2017-MINAM.

➤ Los valores obtenidos para el parámetro Bario Total variaron de 0.0083 mg/L (PM-APU03B) a 0.0699 mg/L (PMAP-03A); por lo tanto, todas las estaciones cumplen con el valor indicado en el ECA Agua- Categoría 3: Riego de Cultivos Tallo Alto y Bajo (0.7 mg/L), establecido en el D.S. N° 015-2015-MINAM. De igual manera, se cumple con la normativa referencial, ECA Agua- Categoría 3: Agua para Riego restringido y no restringido (0.7 mg/L), establecido en el D.S. N° 004- 2017-MINAM.

## **V. CONCLUSIONES**

Se arribo a la siguiente conclusión:

Se han caracterizado y planteado el método de procesamiento de las aguas residuales acidas de mina del centro minero Apumayo-2022

## **VI. RECOMENDACIONES**

Se plantean las siguientes recomendaciones:

Se deben de implementar protocolos de análisis de aguas de minas en el plan de estudio.

## VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] C. C. Jimenez Huallpa, «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, 2017.
- [2] D. O. Panduro Macedo, «Estudio del tratamiento de aguas acidas provenientes de los niveles (socavones) de una compañía minera,» Arequipa, 2019.
- [3] N. Loza y O. Aduvire, «Optimización de un proceso de tratamiento de aguas ácidas de mina para reducir contenidos de manganeso mediante neutralización secuencial,» Lima, sf.
- [4] A. C. Andamayo Vitor, «Tratamiento de aguas ácidas para la obtención de agua tipo III en la Sociedad Minera El Brocal S.A.A. – Tinyahuarco Pasco – 2019,» Cerro de Pasco, 2019.
- [5] W. Mamani Chipana, «Caracterizacion y tratamiento de efluentes de aguas acidas en la mina La Rinconada-Puno,» Puno, 2018.
- [6] E. O. Camacho Quiroga, «Propuesta de tratamiento de las aguas acidas de mina de los actuales niveles de explotacion del distrito minero Colquiri, en funcion de sus características geoquímicas,» Oruro, 2010.
- [7] B. D. Ramos García, «Oxidación fotocatalítica como alternativa de tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de oro con cianuro,» Manizales, 2016.
- [8] J. Diaz Álvarez, «Tratamiento Biológico como alternativas para disminuir el impacto ambiental ocasionado por el drenaje ácido, generado por la actividad minera en el municipio de Marmato-Caldas ÁCIDO GENERADO POR LA ACTIVIDAD MINERA EN EL MUNICIPIO DE MARMATO- CALDAS,» Manizales, 2013.
- [9] J. P. Pesántez Vallejo, «Estudio del proceso de depuración de aguas residuales industriales provenientes de empresas mineras.,» Cuenca, 2014.
- [10] R. Quiroga Flores, «Procesos de Bioprecipitación de metales pesados y Bio-reducción de hierro (III) para el tratamiento de aguas acidas de minas a escala de laboratorio,» La Paz, 2015.
- [11] O. Aduvire, «Drenaje ácido de mina generación y tratamiento,» Madrid, 2006.
- [12] K. Morin y N. Hutt, « Relocation of net-acid-generating waste to improve post-mining water,» *Waste Management*, vol. 2, nº 21, pp. 185-190, 2001.

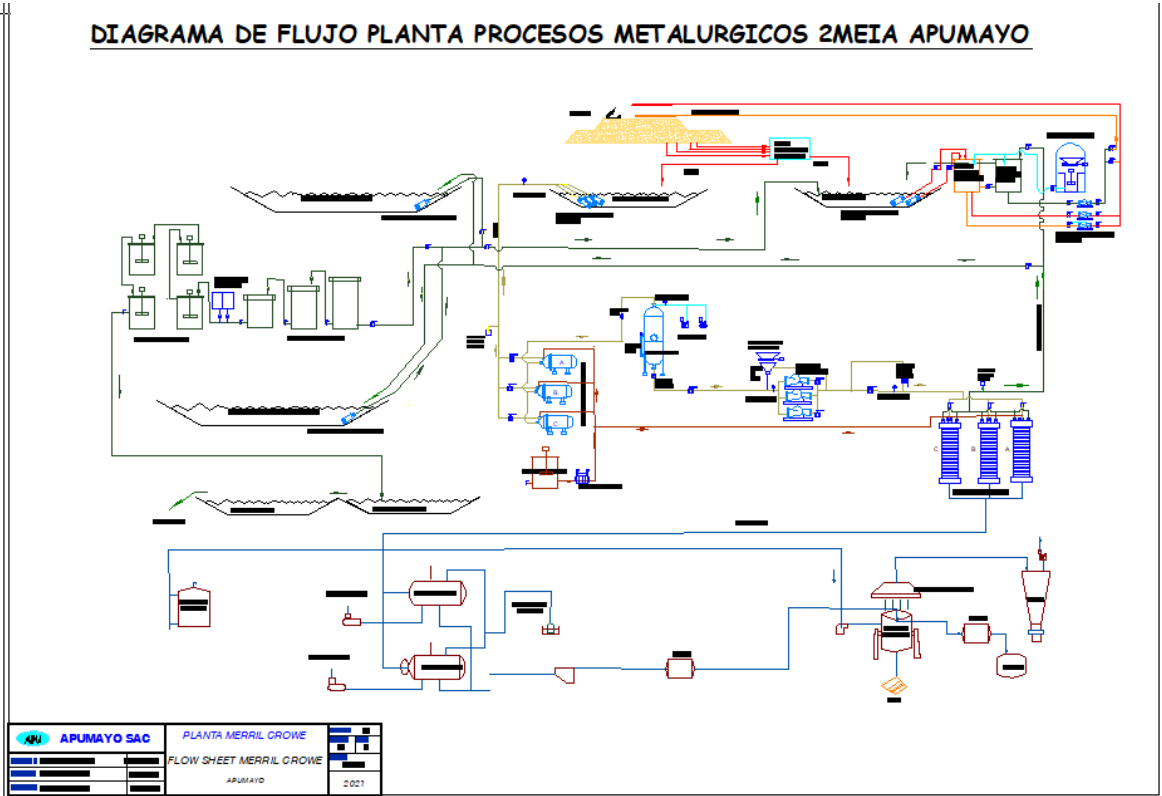


- [13] K. Nordstrom, C. Alpers, C. Ptacek y D. Blowes, «Negative pH and extremely acidic mine,» *Environmental Science & Technology*, vol. 2, nº 34, pp. 254-258, 2000.
- [14] J. Skousen, J. Simmons, M. McDonald y P. Ziemkiewicz, «Acid-base accounting to predict post-mining drainage quality on surface mines,» *Journal Environmental Quality*, vol. 6, nº 31, pp. 2034-2044, 2002.
- [15] P. Ziemkiewicz, J. Donovan, J. Frazier, M. Daly, C. Black y E. Wener, Experimental injection of alkaline lime slurry for in-situ remediation of an acidic surface-mine aquifer, Morgantown: Virginia University, 2000.
- [16] H. Calla y C. Cabrera, «Calidad del agua en la cuenca del río Rímac, sector de San Mateo, afectado por las actividades minera,» *Revista del Instituto de* , vol. 13, nº 25, 2010.

## **VIII ANEXOS**

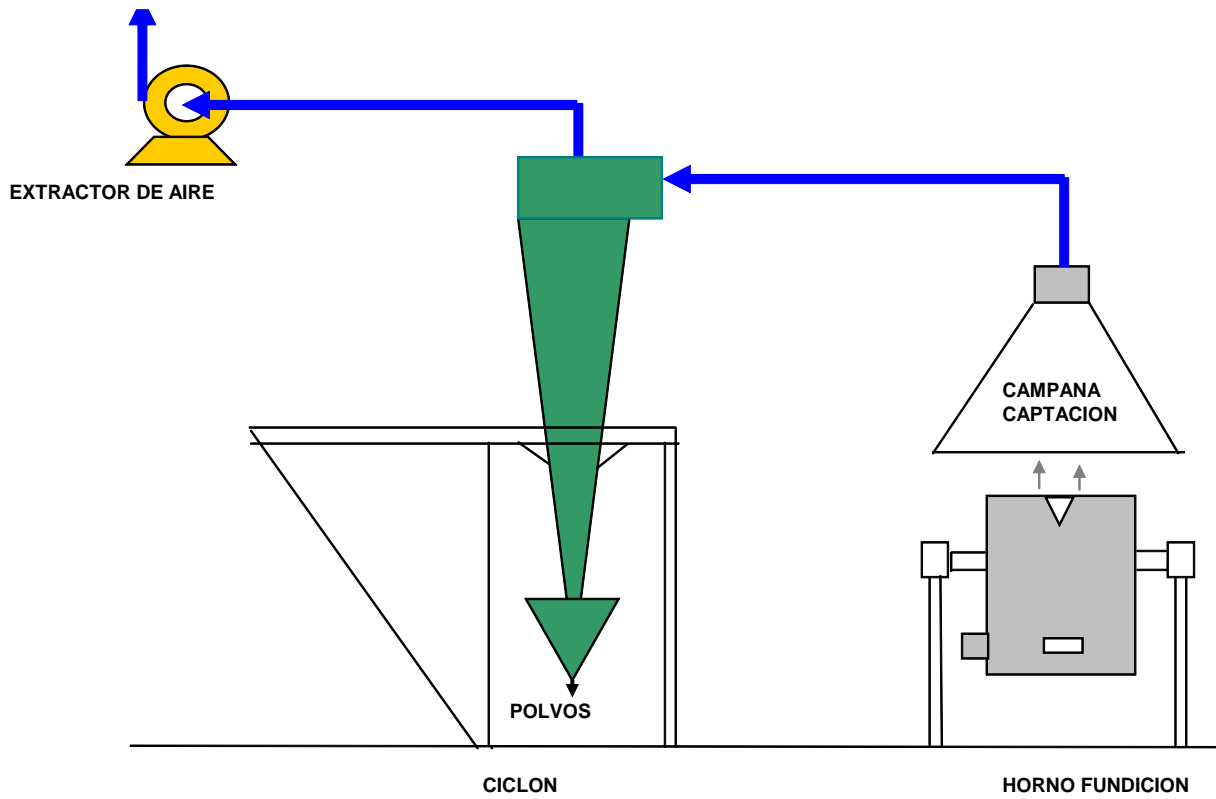
# Anexo 01 Diagrama de Flujo Planta Procesos Metalúrgicos 2MEIA APUMAYO

**DIAGRAMA DE FLUJO PLANTA PROCESOS METALURGICOS 2MEIA APUMAYO**



Anexo 02

ESQUEMA DE FUNDICION Y RECUPERACION DE POLVOS  
PROYECTO 2MEIA APUMAYO



### ANEXO 03

#### METODOLOGIA DE ANALISIS

Parametros	Unidad	Método
Color Verdadero	UC	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C, 23rd Ed.: 2017. Color. Spectrophotometric-Single-Wavelength
Conductividad	µS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510-B, 23rd Ed: 2017. Conductivity: Laboratory Method
Temperatura	°C	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550-B; 23rd Ed: 2017. Temperature, Laboratory and Field Method
Potencial de Hidrógeno	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 2017; 23rd Ed. pH Value. Electrometric Method
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B ;23rd Ed: 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5-Day BOD
Demanda Química de Oxígeno	mgO2/L	
Numeración de Coliformes totales	NMP/100 mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221E.1, 23rd Ed; 2017; Multipletube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)
Numeración de Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 mL	
Numeración de Escherichia coli (ECMUG)	NMP/100 mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9230B. 2017; 23rd Ed. Fecal Enterococcus/Streptococcus: Multiple-Tu
Recuento de Enterococos fecales	NMP/100 mL	
Medición de caudal	L/s	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221B; 23rd Ed; 2017. MultipleTube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentat
Aceites y Grasas	mg/L	ASTM D3858-95 (2014) Standard Test Method For Open Channed Flow Measurement Of Water By Veloc
Oxígeno Disuelto	mg/L	ASTM D3921 - 96 (Reapproved 2011).Standard Test Method for Oil and Grease and Petroleum Hydroca
Metales Totales	mg/L	ASTM D888 - 18 Test Method C; Standard Test Methods for Dissolved Oxygen in Water. Instrumental Probe Procedure Luminescence Based Sensor

Cloruro	mg/L	EPA 200.8, Rev 5.4: 1994. Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled EPA 300.0. Rev. 2.1:1993. Determination Of Inorganic Anions By Ion Chromatography
Fluoruro	mg/L	
Nitrito (como N)	mg/L	EPA 300.0. Rev. 2.1:1993. Determination Of Inorganic Anions By Ion Chromatography
Nitratos(NO3- N)+Nitritos (NO2-N)	mg/L	EPA 300.0. Rev. 2.1:1993. Determination Of Inorganic Anions By Ion Chromatography
Sulfato	mg/L	EPA 300.0. Rev. 2.1:1993. Determination Of Inorganic Anions By Ion Chromatography
Cromo Hexavalente Total (VI)(*)	mgCr/L	EPA 300.0. Rev. 2.1:1993. Determination Of Inorganic Anions By Ion Chromatography
Fenoles	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500-CR-B; 23rd Ed: 2017. Chromium. Colorimetric Method
Aldicarb	mg/L	EPA Method 420.2:1974 Phenolics- Colorimetric, Automated 4- AAPWith Distillation // EPA Method 420.4 Rev. 01:1993 Determination of Total Recoverable Phenolics By Semi-Automated Colorimetry. Validado 2013 US EPA Method 538 Rev.1:2009 Determination of Selected Organic Contaminants in Drinking Water by Direct Aqueous Injection-Liquid Chromatography/Tandem Mass Spectrometry (DAILC/MS/MS).Validado-2016
Bifenilos Policlorados	mg/L	
Pesticidas organoclorados y organofosforados	mg/L	EPA 8082A, Rev. 1: 2007. Polychlorinated Biphenyls (PCBs) by Gas Chromatography
S.A.A.M.(Detergentes)	mg/L	EPA 8270E. Rev. 6:2018. Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometr
Cianuro WAD	mg/L	ISO 16265; 1st.Ed: 2009. Determination of Methylene blue active substances (MBAS) index-Method using EPA Method OIA-1677-09:2010, DW Avaliable Cyanide by Flow Injection, Ligande Exchange and Amper
Determinación de Parásito	Organismo/L	
Detección y/o Cuantificación de Huevos de Helmintos	Huevos/L	OPS/CEPIS.Lima-Perú.1983. Métodos simplificados de análisis de aguas.Detección, identificación y Cuantificación de Protozoarios y Helmintos Manual de técnicas parasitológicas y bacteriológicas de laboratorio. O.M.S. 1997. Item 2.1 Método Bailenger modificado (VALIDADO)2014.

## Anexo 04

### Estaciones de muestreo

Código	COORDENADAS UTM WGS 84- Zona 18S		Descripción
	Norte	Este	
PMAP-03	8 346 186	615 874	Punto de monitoreo del cuerpo del receptor aguas arriba del vertimiento
PMAP 03A	8 346 086	615 066	Punto de monitoreo del cuerpo del receptor aguas arriba del vertimiento
PM-APU-02A	8 344 971	616 884	Punto de monitoreo del cuerpo del receptor aguas arriba del vertimiento
PM-APU-02B	8 344 932	617 048	Punto de monitoreo del cuerpo del receptor aguas arriba del vertimiento
PM-APU-03A	8 348 095	613 646	Punto de monitoreo del cuerpo del receptor aguas arriba del vertimiento
PM-APU-03B	8 348 198	613 603	Punto de monitoreo del cuerpo del receptor aguas arriba del vertimiento

## **Anexo 05**



**ECA para Agua- Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales.**  
**D.S N° 015-2015- MINAM**

PARAMETRO	UNIDAD	Parámetros Para Riego De Vegetales	Parámetros Para Bebidas De Animales
		D1: Riego De Cultivos De Tallo Alto y Bajo	D2: Bebidas De Animales
<b>FÍSICO QUÍMICO</b>			
Aceites y grasas	mg/L	5	10
Bicarbonatos	mg/L	518	**
Cianuro Wad	mg/L	0.1	0.1
Cloruros	mg/L	500	**
Color (b)	Color verdadero escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)
Conductividad Eléctrica	µS/cm	2500	5000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	15	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40	40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0.2	0.5
Fenoles	mg/l	0.002	0.01
Fluoruros	mg/L	1	**
Nitratos (NO3-N) + Nitritos (NO2-N)	mg/L	100	100
Nitritos (NO2-N)	mg/L	10	10
Oxígeno Disuelto (Valor mínimo)	mg/L	4	5
Potencial de Hidrogeno pH	Unidad de pH	6.5 – 8.5	6.5 – 8.4
Sulfato	mg/L	1000	1000
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3
<b>INORGANICO</b>			
Aluminio	mg/L	5	5
Arsénico	mg/L	0.1	0.2
Bario	mg/L	0.7	**
Berilio	mg/L	0.1	0.1
Boro	mg/L	1	5
Cadmio	mg/L	0.01	0.05
Cobre	mg/L	0.2	0.5
Cobalto	mg/L	0.05	1
Cromo total	mg/L	0.1	1
Hierro	mg/L	5	**
Litio	mg/L	2.5	2.5
Magnesio	mg/L	**	250
Manganeso	mg/L	0.2	0.2
Mercurio	mg/L	0.001	0.01
Niquel	mg/L	0.2	1
Plomo	mg/L	0.05	0.05
Selenio	mg/L	0.02	0.05
Zinc	mg/l	2	24
<b>PLAGUICIDAS</b>			
Paratión	µg/l	35	35
<b>ORGANOCORADOS</b>			
Aldrin	µg/l	0.004	0.7
Clordano	µg/L	0.006	7
DDT	µg/L	0.001	30
Dieldrin	µg/L	0.5	0.5
Endosulfan	µg/L	0.01	0.01
Endrin	µg/L	0.004	0.2
Heptacloro y Heptacloro epóxido	µg/L	0.01	0.03
Lindano	µg/L	4	4

PARAMETRO	UNIDAD	Parámetros Para Riego De Vegetales	Parámetros Para Bebidas De Animales
		D1: Riego De Cultivos De Talla Alto y Bajo	D2: Bebidas De Animales
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	100	100
Huevos y larvas de helmintos	Huevos/L	<1	<1
<b>CARBAMATO</b>			
Aldicarb	µg/L	1	11
<b>POLICLORUROS BIFENILOS TOTALES</b>			
Policloruros Bifenilos Totales (PCB's)	µg/L	0.04	0.045
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS</b>			
Coliformes Totales (35-37°C)	NMP/100 ml	1000	5000
Coliformes Termotolerantes (44.5°C)	NMP/100 ml	1000	1000
<i>Enterococos intestinales</i>	NMP/100 ml	20	20

## Anexo 06

**D.S. N° 004-2017-MINAM**  
**Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones**  
**Complementarias**

Parámetros	Unidad de medida	Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales		
		D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
<b>FISICOS- QUIMICOS</b>				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0.1		0.1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escaia Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0.2		0.5
Fenoles	mg/L	0.002		0.01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO <sup>-</sup> -N) + 3 Nitritos (NO <sup>2-</sup> -N)-	mg/L	100		100
Nitritos (NO <sup>-</sup> -N) 2	mg/l	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5 – 8.5		6.5 – 8.4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
<b>INORGÁNICOS</b>				
Aluminio	mg/L	5		5
Arsénico	mg/l	0.1		0.2
Bario	mg/L	0.7		**
Berilio	mg/L	0.1		0.1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0.01		0.05

Parámetros	Unidad de medida	Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales		
		D1: Riego de vegetales		U2: bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Cobre	mg/L	0.2		0.5
Cobalto	mg/L	0.05		1
Cromo Total	mg/L	0.1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2.5		2.5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0.2		0.2
Mercurio	mg/L	0.001		0.01
Níquel	mg/L	0.2		1
Plomo	mg/L	0.05		0.05
Selenio	mg/L	0.02		0.05
Zinc	mg/L	2		24
<b>ORGÁNICO</b>				
<b>Bifenilos Policlorados</b>				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0.04		0.045
<b>PLAGUICIDAS</b>				
Paratión	µg/L	35		35
<b>Organoclorados</b>				
Aldrin	µg/L	0.004		0.7
Clordano	µg/L	0.006		7
Dicloro Difencil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0.001		30
Dieldrín	µg/L	0.5		0.5
Endosulfán	µg/L	0.01		0.01
Endrin	µg/L	0.004		0.2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0.01		0.03
Undano	µg/L	4		4
<b>Carbamato</b>				
Aldicarb	µg/L	1		11
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO</b>				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anual (para aguas que presenten coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.