

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE DRENES
ANÓXICO CALIZO COMBINADO CON HUMEDAL
EN LA MINA MICHQUILLAY- ENCAÑADA, 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de minas

Autores:

Bach. Jesenya Jessica Bejarano Rodriguez

Bach. Micaela Nataly Estacio Ocas

Asesor:

Ing. Oscar Arturo Vásquez Mendoza

Cajamarca - Perú

2019



DEDICATORIA

Dedicado a nuestros padres, por sus consejos, su perseverancia, por el valor mostrado para salir adelante y la motivación constante que nos ha permitido ser personas de bien y a todos aquellos que ayudaron directa o indirectamente a realizar este trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos muy cordialmente a nuestra alma mater la “Universidad Privada del Norte”, a nuestra Escuela Académico Profesional de Ingeniería Minas por brindarnos la oportunidad y facilitarnos las herramientas y equipos necesarios para lograr nuestros objetivos.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	29
CAPÍTULO III. RESULTADOS	49
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	67
4.1. Discusión	67
4.2. Conclusiones	68
4.3. Recomendaciones	69
REFERENCIAS	70
ANEXOS	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Clasificación de drenajes en función del pH y el potencial de acidez/alcalinidad de los minerales.</i>	10
Tabla 2: <i>Tipos de drenajes de mina.</i>	12
Tabla 3: <i>ECA AGUA Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales.</i>	25
Tabla 4: <i>Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicos.</i>	27
Tabla 5: <i>Coordenadas del sitio de estudio.</i>	49
Tabla 6: <i>Resultado del análisis de parámetros físicos de la muestra de agua ácida de mina.</i>	52
Tabla 7: <i>Resultados del análisis químico por metales pesados de la muestra de agua ácida de mina en mg/L.</i>	53
Tabla 8: <i>Valores del pH medidos durante 3 días de la muestra 01 – ALD.</i>	54
Tabla 9: <i>Valores del pH medidos durante 10 días de la muestra 01 – Humedal.</i>	56
Tabla 10: <i>Valores del pH medidos durante 3 días de la segunda muestra - ALD.</i>	58
Tabla 11: <i>Valores del pH medidos durante 10 días de la muestra 02 - Humedal.</i>	60
Tabla 12: <i>Valores del pH medidos durante 3 días de la muestra 03 – ALD.</i>	62
Tabla 13: <i>Valores del pH medidos durante 10 días de la muestra 03 - Humedal.</i>	64
Tabla 14: <i>Comparación del pH inicial y final.</i>	66

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Sección Anóxico de Piedra Caliza.....	9
<i>Figura 2.</i> Etapas en la formación de aguas ácidas.....	14
<i>Figura 3.</i> Diagrama de optimización de tratamiento de DAM.	17
<i>Figura 4.</i> Sistema ALD.	19
<i>Figura 5.</i> Tratamiento combinado ALD y Humedal.....	21
<i>Figura 6.</i> Esquema de un Humedal Aeróbico.....	22
<i>Figura 7.</i> Bocamina Michiquillay.	32
<i>Figura 8.</i> Coordenadas del punto 1.	33
<i>Figura 9.</i> Toma de muestra 1.	34
<i>Figura 10.</i> Toma de muestra 1.....	34
<i>Figura 11.</i> Coordenadas del punto 2.....	35
<i>Figura 12.</i> Toma de muestra 2.....	36
<i>Figura 13.</i> Toma de muestra 2.....	36
<i>Figura 14.</i> Coordenadas del punto 3.....	37
<i>Figura 15.</i> Toma de muestra 3.....	38
<i>Figura 16.</i> Toma de muestra 3.....	38
<i>Figura 17.</i> Berro de Agua.....	39
<i>Figura 18.</i> Carrizo de Jalca.....	40
<i>Figura 19.</i> Materia orgánica.....	40
<i>Figura 20.</i> Piedra Caliza.....	41
<i>Figura 21.</i> Maqueta.....	42
<i>Figura 22.</i> Peso de la Caliza.....	43
<i>Figura 23.</i> Caliza dentro del cubo.....	43
<i>Figura 24.</i> Peso de Materia Orgánica.....	44
<i>Figura 25.</i> Caliza y Materia Orgánica dentro del cubo.....	44
<i>Figura 26.</i> Medida del agua acida.....	45
<i>Figura 27.</i> Caliza, Materia Orgánica y Agua Acida dentro del cubo.....	45
<i>Figura 28.</i> Tapado para condiciones anóxicas.....	46
<i>Figura 29.</i> Maqueta de tratamiento humedal.....	47
<i>Figura 30.</i> Vegetación plantada en la maqueta de Humedal.....	47
<i>Figura 31.</i> Maqueta combinada de ALD y Humedal.....	48
<i>Figura 32.</i> Ubicación del proyecto.....	49
<i>Figura 33.</i> Mina Michiquillay.....	51
<i>Figura 34.</i> Resultados del comportamiento del pH en función al Tiempo de la muestra 01 – ALD.....	55
<i>Figura 35.</i> Resultados del comportamiento del pH inicial y final de la muestra 01 – Humedal.....	57
<i>Figura 36.</i> Resultados del comportamiento del pH en función al Tiempo de la muestra 02 – ALD.....	59
<i>Figura 37.</i> Resultados del comportamiento del pH inicial y final de la muestra 02 - Humedal.....	61
<i>Figura 38.</i> Resultados del comportamiento del pH en función al Tiempo de la muestra 03 – ALD.....	63
<i>Figura 39.</i> Resultados del comportamiento del pH inicial y final de la muestra 03 - Humedal.....	65
<i>Figura 40.</i> Comparación de los resultados de las muestras tomadas en la mina michiquillay.....	66

RESUMEN

En la zona del proyecto de Michiquillay, en la provincia de Cajamarca, distrito la Encañada existen 15 pasivos ambientales mineros que fueron generados por trabajos mineros, por lo cual nosotros optamos por el tratamiento de Drenes Anóxicos Calizos combinado con Humedal para remediar el DAM la cual tomamos 120 litros de agua ácida que fueron divididas en tres muestras, para cada muestra tratada utilizamos 250gr de caliza por 40 litros de agua ácida y 7kg de material orgánico. Las cueles fueron desarrolladas en un periodo de 3 días, tomando muestras de pH y los resultados obtenidos demuestran que es posible lograr aumentar un pH de 3.9 con un tiempo de residencia de 72 horas, el pH de descarga del tratamiento de Drenaje Anóxico Calizo fue de 7 logrando la neutralidad y en el tratamiento de Humedal se utilizó 50 cm de materia orgánica por 30 cm de agua tratada del ALD y se plantamos dos tipos de plantas encontradas en la zona (Berros de Agua y Carrizo de Jalca) después de 10 días de monitoreo los resultados obtenidos demuestran que alcanzamos una alcalinidad de 9.

Palabras clave: Drenes Anóxicos Calizos, Neutralización, Humedal, Alcalinidad, pH, Acides

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

El trabajo de investigación, se circunscribe a realizar una propuesta técnica y económica para el tratamiento de las aguas ácidas de la mina Milluni mediante el paso de las mismas por un dren anóxico calizo, como una alternativa al tratamiento actual por precipitación con cal. La cantidad total de caliza que se calculó para tratar 100 litros por segundo de agua ácida mediante un Dren Anóxico Calizo, considerando un tiempo de residencia de 15 horas y 20 años de operación, fue de 32,271.026 toneladas. Por tanto, el tratamiento de las aguas ácidas de la mina Milluni es técnico, económico y ambientalmente más favorable que el tratamiento convencional por neutralización – precipitación con cal. **(Zamora Echenique, Zamora Mercado, & Gorrity P., 2015)**

El tratamiento ALD comenzó como un agregado anterior a los humedales naturales y artificiales como un modo de añadir alcalinidad ya que el Fe precipita a la salida del drenaje al encontrar condiciones aeróbicas. En algunos casos se han usado como único tratamiento básicamente cuando el influente proviene de bocas de minas profundas con pH bajo y contenidos de Fe relativamente limitados. **(SANCHEZ RIAL & FERREIRA CENTENO, 2016)**

Dentro de los métodos activos esta Drenaje Anóxico Calizo (Anoxic Limestone Drains: ALD). Se trata de un sistema para interceptar y neutralizar flujos subterráneos de DAM, evitando además su contacto con el oxígeno atmosférico, lo que evita la oxidación de los metales y por tanto la formación de revestimientos de óxidos de Fe en la caliza (**fig. 1**). (**Villaseñor, 2002**)

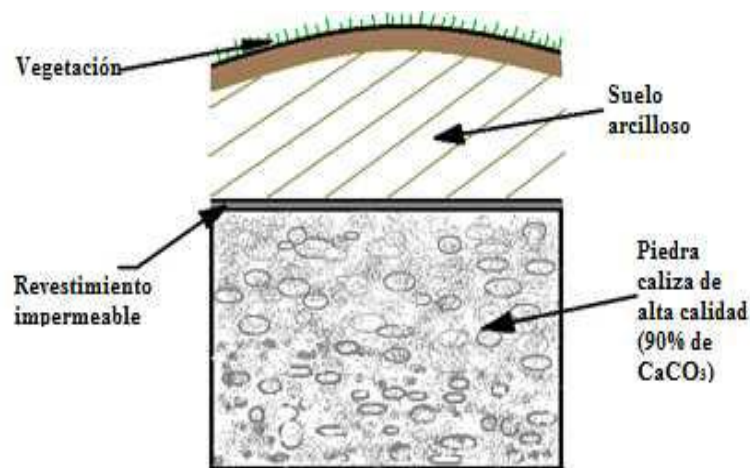


Figura 1. Sección Anóxica de Piedra Caliza.

Fuente: Villaseñor, 2002

La tesis se centra en un caso de tratamiento humedales como una alternativa natural para el tratamiento de drenaje ácido en mina. Se desarrolló en el laboratorio de Metalurgia-La Quinoa de Compañía Minera Yanacocha. Las pruebas fueron desarrolladas en un periodo de 60 días, tomando muestras de pH, y metales totales cada 4 días. Los mejores resultados tanto para incremento de pH y reducción de metales se dieron a los 4 días con el flujo de 25 ml/min. Finalmente, esta tesis muestra cómo se puede aumentar el pH y disminuir la concentración de metales presentes en el agua ácida de mina. (**Ener, 2018**)

1.2 Bases teóricas

1.2.1 Categorías de drenajes de mina

Para determinar el tipo de drenaje es necesario hacer un estudio detallado de las condiciones físicas del medio, el clima de lugar y una caracterización de los efluentes de mina, para ello, se realizan muestreos de agua y sedimentos para su análisis en laboratorio y determinar las concentraciones metálicas presentes, también se recurre a la medición in-situ de parámetros como: pH, contenido de oxígeno, potencial redox, conductividad, temperatura, Fe, acidez/alcalinidad, turbidez y otros. (Aduvire, 2006)

Tabla 1:

Clasificación de drenajes en función del pH y el potencial de acidez/alcalinidad de los minerales.

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

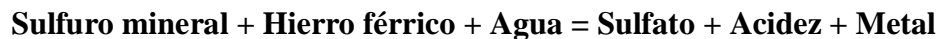
Fuente: Extracto de (Morin & Hutt, 2001)

1.2.2 Drenaje ácido

El drenaje ácido de mina (DAM) es la consecuencia de la oxidación de algunos sulfuros minerales (pirita, pirrotita, marcasita, etc.) en contacto con el oxígeno del aire y agua:



También otros oxidantes como hierro férrico pueden reemplazar al oxígeno del aire en la reacción y en algunos casos al oxígeno del agua:



Nordstrom y Alpers (1998) describen el proceso de oxidación de la pirita como principal responsable de la formación de aguas ácidas y afirman que estas reacciones se aceleran en áreas mineras debido a que el aire entra en contacto con los sulfuros a través de las labores de acceso y la porosidad creada en las pilas de estériles y residuos, unido a ello el cambio de composición química y el incremento de la superficie de contacto de las partículas.

Skousen et al. (1994 y 1998) y **Ziemkiewics et al. (1997)** a partir del pH y el contenido de oxígeno y metales pesados hacen una clasificación de los drenajes de mina y lo agrupan en 5 tipos.

Tabla 2:

Tipos de drenajes de mina.

TIPO	pH	ESCRIPCIÓN
I	<4, 5	Alta concentración de Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, y otros metales. Alto contenido de oxígeno. Muy ácido (llamado DAM).
II	<6, 0	Alta cantidad de sólidos disueltos. Alta concentración de ión Fe y Mn. Bajo contenido de oxígeno. Por oxidación, el pH del agua baja drásticamente hasta convertirse en tipo I.
III	>6, 0	Moderada a alta cantidad de sólidos disueltos. Bajo a moderado contenido de ión ferroso Fe y Mn. Bajo contenido de oxígeno. Alta alcalinidad (llamado DAM). Por oxidación de metales la acidez generada es neutralizada por la alcalinidad presente en el agua.
IV	>6, 0	Alta cantidad de partículas disueltas. Drenaje neutralizado, pero todavía no se han fijado los hidróxidos en el agua. A mayor tiempo de residencia en las balsas mayor fijación de partículas y el agua puede llegar a ser de tipo V.
V	>6, 0	Agua del drenaje es neutralizado. Alta cantidad de sólidos disueltos. Gran cantidad de hidróxidos precipitados y fijados en las balsas. Cationes restantes son disueltos por Ca y Mn. Oxi-aniones solubles como bicarbonato y sulfato quedan en la solución.

Fuente: Extracto de (Skousen & Ziemkiewics, 1996)

Por tanto, los drenajes de entornos mineros pueden ser ácidos o alcalinos, pueden degradar el hábitat acuático y cambiar la calidad de las aguas debido a su toxicidad, corrosión y otros efectos producidos por la disolución de sus constituyentes.

A. ¿Qué características presentan las aguas ácidas?

pH bajo (valores de pH entre 7 y 1,5); asociado a una acidez creciente en el tiempo y una alcalinidad decreciente.

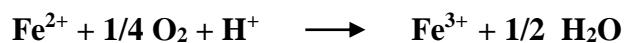
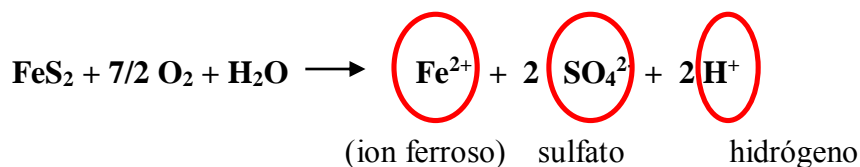
Concentraciones elevadas de sólidos disueltos totales (SDT); de sulfato (> 2.000 mg/L), de hierro y otros metales.

Alcalinidad decreciente y acidez creciente. (LOPEZ GUTIERREZ, 2011)

B. Formación de las aguas ácidas

La formación de aguas ácidas tiene lugar a partir de la oxidación química de los sulfuros, acelerada en muchos casos por la acción bacteriana. Los principales elementos que intervienen son: los sulfuros reactivos, el oxígeno y el agua (vapor o líquida), y como elemento catalizador las bacterias. (Aduvire, 2006)

EPA (2000) explican las reacciones que se producen en la generación ácida a partir de la oxidación de la pirita (FeS₂), por ser uno de los sulfuros minerales más comunes que acompañan a las menas de interés económico. Estas reacciones son:



C. Etapas en la formación de aguas ácidas

El proceso de formación de aguas ácidas, en su conjunto, también se puede explicar en tres etapas, como se observa en la Fig. 2.

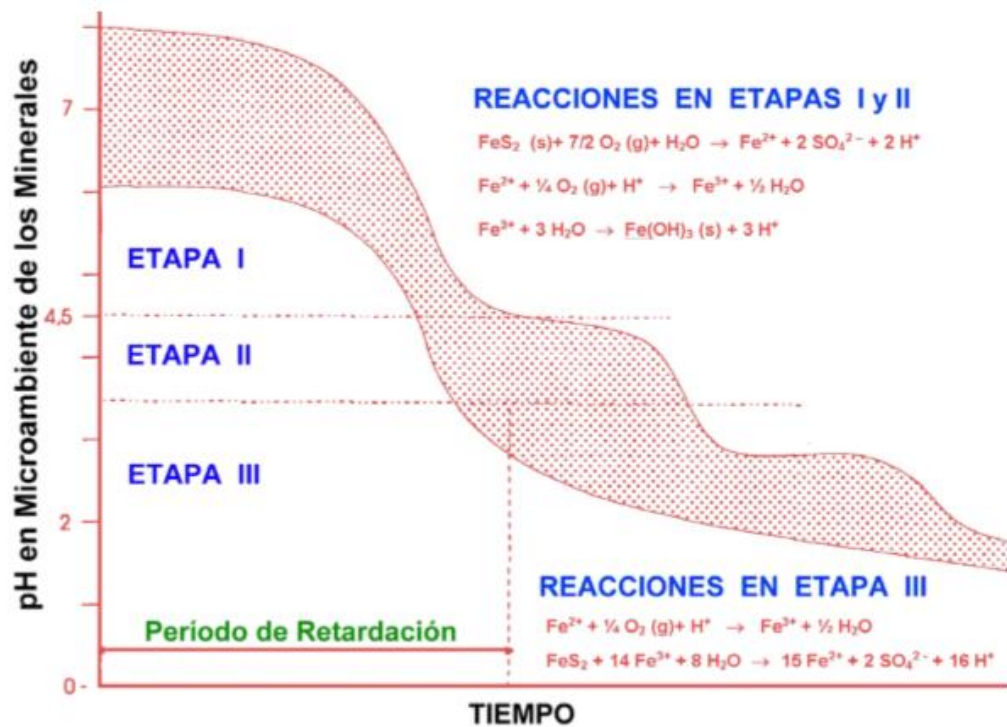


Figura 2. Etapas en la formación de aguas ácidas.

Fuente: (Aduvire, 2006)

Etapa I:

Los minerales sulfurados son oxidados químicamente por el oxígeno del aire. El producto de esta reacción es sulfato, hierro ferroso y ácidos (ión H⁺).

En el rango normal de pH de suelos y aguas (pH 5-7) los minerales liberados por el desgaste de minerales generalmente precipitan y están relativamente inmóviles, debido a que los minerales alcalinos como la calcita (CaCO₃), presentes en la matriz de la roca neutralizan la acidez y originan la oxidación y precipitación del hierro como óxido o hidróxido.

A medida que los minerales alcalinos se consumen o encapsulan por cubiertas de precipitado, disminuirá el pH en el área en torno al sulfuro, pasando a la siguiente etapa.

Etapa II:

El pH del microambiente ha disminuido hasta 4.5; por lo que ocurren reacciones de oxidación tanto químicas como biológicas.

Si la oxidación continúa hasta que se haya agotado todo el potencial de neutralización, se presentarán valores de pH por debajo de 3.5. Existen concentraciones elevadas de hierro ferroso y sulfato y pese a la acidez relativamente alta, las concentraciones de metales en la solución pueden ser bajas.

Etapa III:

Las reacciones de oxidación catalizadas por bacterias aumentan. Se producen hierro ferroso, que se oxida biológicamente a hierro férrico, el cual se convierte en el oxidante dominante, reemplazando al oxígeno y el drenaje se vuelve aún más ácido producto de la oxidación de sulfuros metálicos. (ZnS, PbS, etc), con mayores concentraciones de metales disueltos.

La velocidad de oxidación es considerablemente más rápida que en la etapa I. Mediante estudios se ha podido observar que el aumento de las velocidades es de 10 a 1 millón de veces más.

D. Tratamientos para el DAM

Tratamiento por métodos activos

Las técnicas de tratamiento activo son las que requieren una operación, mantenimiento y monitoreo continuo y utilizan para su funcionamiento energía externa (energía eléctrica) y reactivos. **(LEON, 2017)**

Consisten básicamente en una planta en la que se regula el pH del agua a través de diferentes reactivos como: cal, óxido de calcio, hidróxido de sodio, etc. Este tipo de tratamientos requieren de la adición continua de los reactivos y de dispositivos mecánicos para mezclar los reactivos con el agua, además de mantenimiento y monitoreo activos. **(MACEDO A. H., 2014)**

Este tipo de tratamiento es mayormente utilizado en minas operativas y su ventaja principal radica en que puede ser aplicado para tratar grandes caudales y cualquier tipo de acidez, siendo además adaptable a cambios en la química del agua que pudiera darse durante el avance del minado. Si bien este tipo de tratamiento no requiere de grandes áreas para su infraestructura, su costo de inversión es elevado pues implica el montaje de una planta de tratamiento químico con diversos equipos como tanques, clarificadores, bombas entre otros. Así mismo, por ser de operación continua, su costo operativo considerará la adición rutinaria de reactivos requiriendo el monitoreo permanente del personal. Entre los métodos de tratamiento activo más comunes tenemos: Control de pH o neutralización/precipitación, intercambio iónico, métodos electroquímicos, procesos de membrana como la filtración, ósmosis inversa, etc. **(LEON, 2017)**

Tratamiento por métodos pasivos

Las técnicas de tratamiento pasivo son aquellas donde la intervención del hombre es mínima tanto en la parte operativa (no requiere adición rutinaria de reactivos) como en la parte de mantenimiento. (LEON, 2017)

Los sistemas de tratamiento pasivos como los humedales se caracterizan por utilizar elementos naturales que permiten regular el pH, además de procesos químicos y biológicos para retener los elementos metálicos en solución. Se basan en la energía suministrada por la luz solar y/o el medio ambiente (MEND, 1996). (MACEDO A. H., 2014)

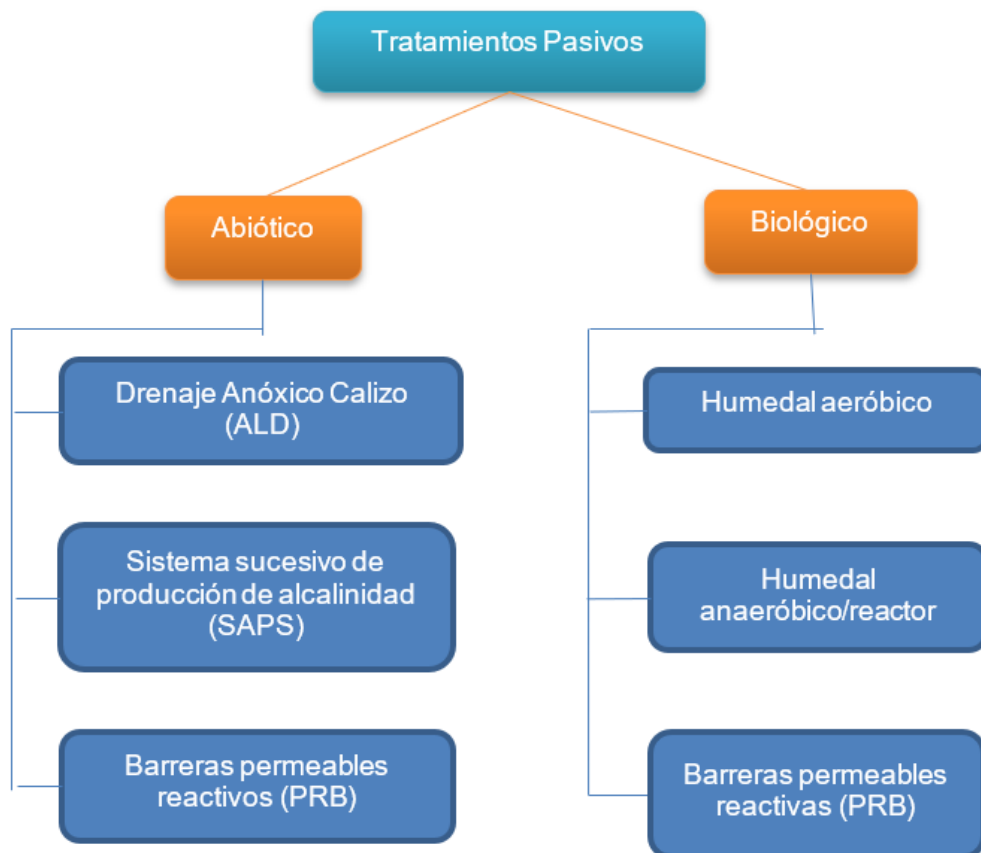


Figura 3. Diagrama de optimización de tratamiento de DAM.

Fuente: (MACEDO A. H., 2014)

1.2.3 Drenaje Anóxico Calizo (ALD)

Este sistema consiste en una zanja rellena con dos substratos, uno de gravas de caliza u otro material calcáreo y de compuesto orgánico, sellada a techo por una capa de tierra arcillosa y una geomembrana impermeable. La zanja se instala a cierta profundidad (1 ó 3 m) para mantener unas condiciones anóxicas. El substrato inferior es de caliza (0,1 a 0,5 m de espesor) y sirve para neutralizar el pH del influente. La capa superior es de material orgánico (0,1 a 0,5 m de espesor) y en ella se elimina el oxígeno disuelto del agua, se reduce el sulfato y se transforma el Fe^{3+} en Fe^{2+} , evitándose la precipitación del hidróxido de Fe^{3+} sobre la capa de la caliza. El drenaje ácido de mina se hace circular por el interior de la zanja provocando la disolución de la caliza lo que genera alcalinidad ($HCO_3^- + OH$) y eleva el pH del agua. (Macedo)

El CO_2 proviene de la disolución de la caliza, y el incremento de la pCO_2 (Dióxido de Carbono) se debe al parcial encapsulamiento del sistema. El pH ácido que presenta el drenaje de mina junto a estas elevadas presiones parciales de CO_2 favorece la disolución de la caliza, aportando una alcalinidad al sistema por encima de lo previsible si funcionara en condiciones totalmente abiertas. (Lopez et al, 2002), (Macedo)

Debido a las condiciones anóxicas del sistema se evita la precipitación de óxidos e hidróxidos y de este modo el recubrimiento de la grava caliza, manteniéndose su eficacia como fuente generadora de alcalinidad.

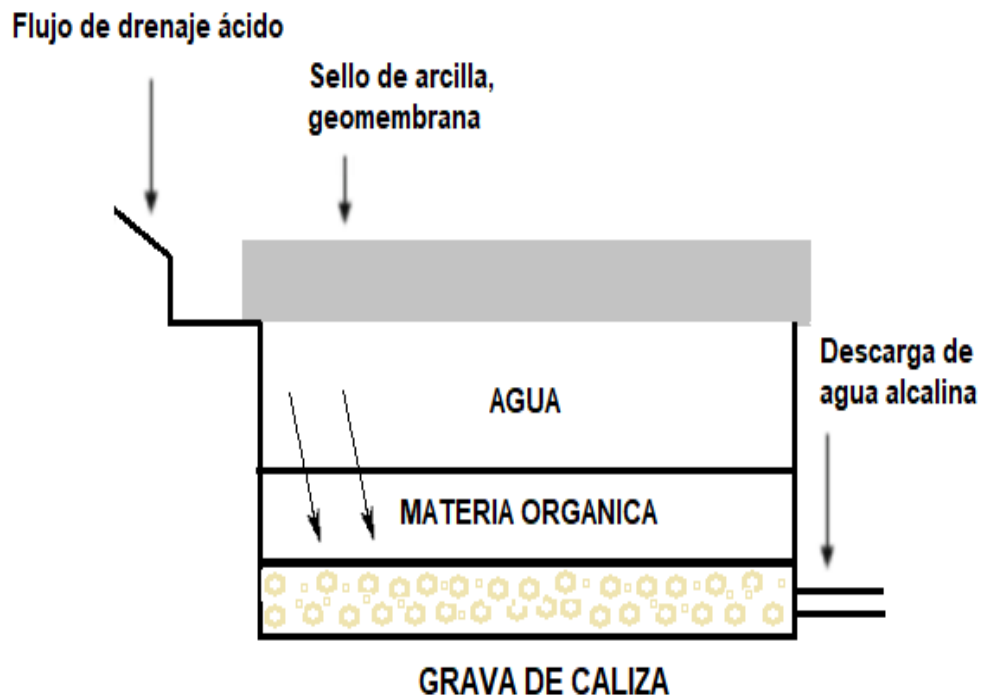


Figura 4. Sistema ALD.

Fuente: Esquema de la sección transversal de un sistema ALD. (MACEDO A. H., 2014)

La única finalidad de un ALD es convertir aguas con acidez neta en aguas con un exceso de alcalinidad. Por lo general el agua ácida tratada en un ALD pasa a continuación a una balsa de precipitación u otro sistema aerobio, lo que favorece la oxidación, hidrólisis, y precipitación de los oxihidróxidos metálicos. La alcalinidad adquirida en el ALD debe ser suficiente para contrarrestar la acidificación asociada a la hidrólisis en esta etapa del tratamiento.

Los sistemas ALD son apropiados para tratar drenajes ácidos de mina con escaso oxígeno disuelto esas concentraciones límites para el oxígeno solo se encuentran en aguas provenientes de minería subterránea ya que estas no han sido expuestas a un medio anaeróbico.

La existencia de Fe^{3+} y Al^{3+} por encima de estos límites puede inutilizar el sistema por el recubrimiento de la grava caliza y por la disminución de la porosidad del sistema, a causa de que sus precipitados saturan el sistema y el flujo del DAM disminuya o se detenga. **(López et al., 2002; Lottermoser, 2007)**

Para reducir el potencial para la solubilización de precipitados, se deben realizar dragados periódicos de las zanjas de oxidación, sustitución del sustrato humedal para remover metales precipitados, y el entierro de los lodos producidos.

El monitoreo puede ser necesario para garantizar la eficacia del sistema o para cumplir con las necesidades de investigación. **(MEND, 1996)**

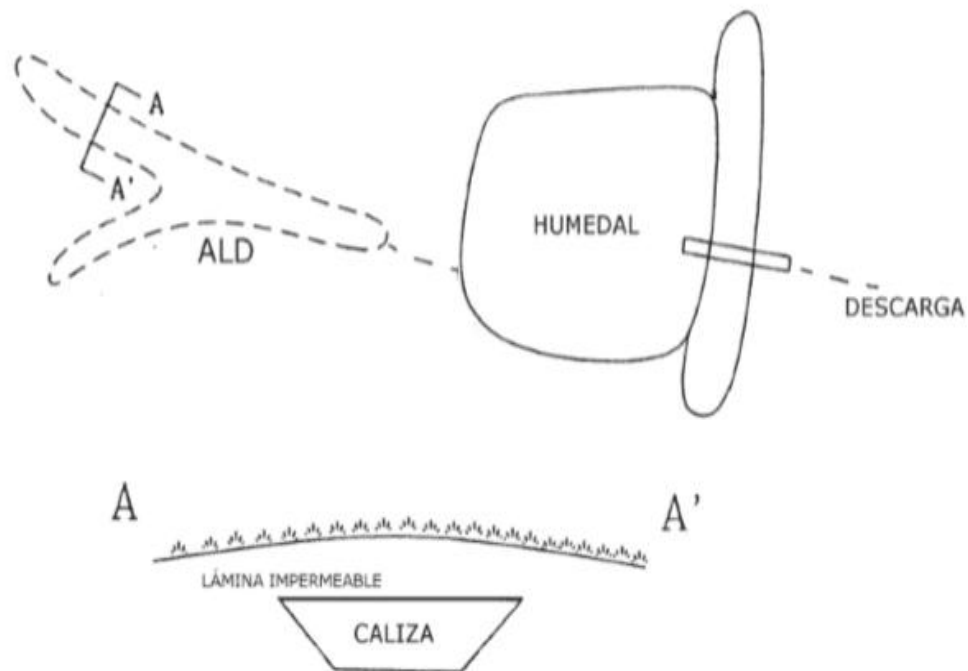


Figura 5. Tratamiento combinado ALD y Humedal.

Fuente: Tratamiento combinado compuesto por sistema ALD y humedal. (Brodie et al.1993)
(MACEDO A. H., 2014)

1.2.4 Humedales Aeróbico

En los humedales aeróbicos artificiales se pretende reproducir los fenómenos y procesos de los humedales naturales (pantanos, marismas, turberas, etc.), creando un ambiente propicio para el desarrollo de ciertas plantas (carrizo, juncos, etc.), comunidades de organismos (algas, protozoos y bacterias) y musgos los cuales participan en la depuración del agua.

Los humedales de este tipo ocupan una gran superficie y tienen una somera lámina de agua que inunda el substrato sobre el que se desarrolla la vegetación.

El lento fluir del agua en el humedal permite alcanzar el tiempo de retención necesario para que tengan lugar los lentos procesos depuradores del agua.

En los sistemas aeróbicos se usó de plantas acuáticas la cual favorece el contacto entre el agua contaminada y el aire atmosférico ya que éstas liberan oxígeno por sus raíces y rizomas; para que la vegetación emergente actúe de este modo el espesor de la lámina de agua no debe superar los 30 cm. (Skousen et al., 1998)

El substrato oxigenado del humedal propicia la formación de un hábitat para que se desarrollen ciertas colonias de bacterias que actúan como catalizadoras en la reacción de oxidación de los contaminantes presentes en el humedal, transformando en el caso del hierro el Fe^{2+} a Fe^{3+} , el cual finalmente precipita en forma de hidróxido. (López et al., 2002). (MACEDO A. H., 2014)

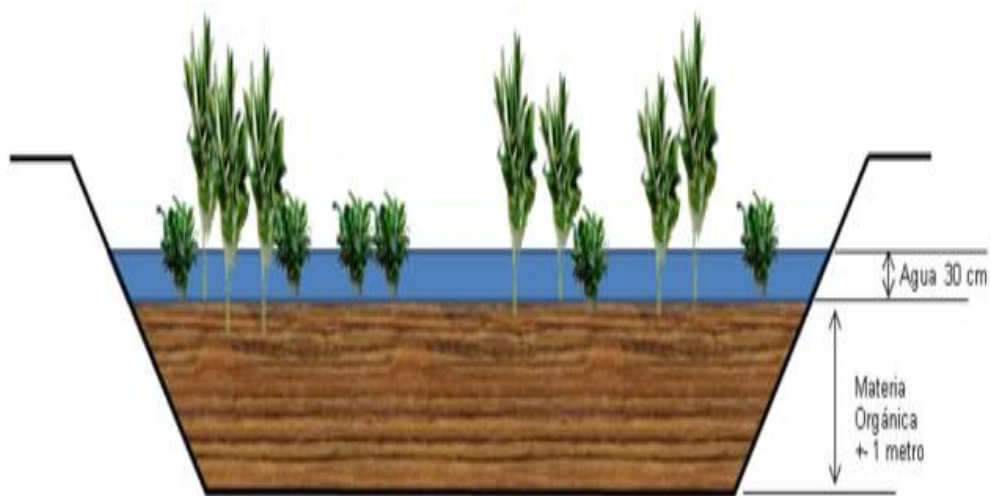


Figura 6. Esquema de un Humedal Aeróbico.

Fuente: Tratamiento humedal aeróbico. (Sanchez Rial & Ferreira Centeno)

1.2.5 Los estándares de calidad ambiental (ECA) - PERÚ

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) es un instrumento de gestión ambiental que se establece para medir el estado de la calidad del ambiente en el territorio nacional. El ECA establece los niveles de concentración de elementos o sustancias presentes en el ambiente que no representan riesgos para la salud y el ambiente. **(MINAM, ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL, 2017).**

Por la cual en nuestro estudio nos basaremos en los estándares de calidad ambiental del agua.

ARTICULO 2: Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

ECA CATEGORIA 1: Poblacional y recreacional.

ECA CATEGORIA 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino-costeras y continentales.

ECA CATEGORIA 3: Riego de vegetales y bebida de animales.

Subcategoría D1: Riego de vegetales Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

Agua para riego no restringido: Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

Agua para riego restringido: Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej. habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej. árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

Subcategoría D2: Bebida de animales: Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno, equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

ECA Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

(MINAM, Normas Legales, 2017)

Tabla 3:

ECA AGUA Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales.

ECA AGUA: CATEGORIA 3			
PARAMETRO	UNIDAD	PARAMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES	PARAMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES
FISICOS - QUIMICOS			
BICARBONATOS	mg/L	518	**
CIANURO WAD	mg/L	0,1	0,1
CLORURO	mg/L	500	**
COLOR (b)	Color	100(a)	100(a)
CONDUCTIVIDAD	(Us/cm)	2 500	5000
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO_5)	mg/L	15	15
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (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 ($NO_3 - N$)	mg/L	100	100
NITRITOS ($NO_2 - N$)	mg/L	10	10
OXIGENO DISUELTOS (VALOR MINIMO)	mg/L	4	5
POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)	pH	6,5 -8,5	6,5 - 8,4
SULFATOS	mg/L	1000	1000
TEMPERATURA	+0C	Δ 3	Δ 3

INORGANICOS			
ALUMINIO	mg/L	5	5
ARSENICO	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

Fuente: (MINAM, Normas Legales, 2017) – Extraído del diario El Peruano.

1.2.6 Límites Máximos Permisibles (LMP)

Son la medida de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente o una emisión, que al ser excedido causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. (**juridica, 2019**)

Tabla 4:

Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicos.

PARAMETROS	UNIDAD	LIMITE EN CUALQUIER MOMENTO	LIMITE PARA PROMEDIO ANUAL
PH		6 – 9	6 – 9
SOLIDOS TOTALES EN SUSPENSION	mg/L	50	25
ACEITES Y GRASAS	mg/L	20	16
CIANURO TOTAL	mg/L	1	0.8
ARSENICO TOTAL	mg/L	0,1	0,08
CADMIO TOTAL	mg/L	0,05	0,04
CROMO HEXAVALENTE (*)	mg/L	0,1	0,08
COBRE TOTAL	mg/L	0,5	0,4
HIERRO (DISUELTE)	mg/L	2	1,6
PLOMO TOTAL	mg/L	0,2	0,16
MERCURIO TOTAL	mg/L	0,002	0,0016
ZINC TOTAL	mg/L	1.5	1,2

Fuente: (DS N° 010-2010 MINAM). (**Soberón, 2015**)

1.3 Formulación del problema

¿Cómo la técnica de Drenes Anóxico Calizo combinado con Humedal ayuda a remediar el drenaje ácido de la mina Michiquillay – Encañada, 2019?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Remediar el drenaje ácido de agua usando Drenes Anóxico Calizo combinado con Humedal en la zona de Michiquillay – Encañada, 2019.

1.4.2 Objetivos específicos

Aumentar el nivel de pH en la mina Michiquillay – Encañada, 2019.

Utilizar la técnica Drenes Anóxico Calizo combinado con Humedal.

Utilizar el agua tratada en riegos tecnificados.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

Se remediará el drenaje ácido usando el método de drenes anóxicos calizos combinado con Humedal de la Mina Michiquillay – Encañada, 2019.

1.5.2 Hipótesis específicas

Se incrementará el nivel de pH en la mina Michiquillay – Encañada, 2019.

Se utilizará la técnica Drenes Anóxico Calizo combinado con humedal.

Se utilizará el agua tratada en riegos tecnificados.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Experimental, pre experimental: porque se analiza la variable de la investigación experimental, en el que se trata de comprobar la hipótesis planteada del proyecto.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

Población: Las aguas ácidas generadas por la mina de Michiquillay en el distrito de la Encañada.

Muestra: 120 litros de agua ácida provenientes de un pasivo ambiental en la comunidad Michiquillay.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

La técnica utilizada en la recolección de datos:

Observación directa: Se realizó para la descripción de la zona, corriente del agua ácida y percibir el color del agua.

Análisis de documentos: Bibliografías, Antecedentes.

Los instrumentos para la recopilación de datos son:

Para el desarrollo del presente tratamiento se tomó 120 litros de agua ácida dividida en 3 muestras para determinar su nivel de pH. Cada muestra fue recolectada en baldes esterilizados especificando el número de muestra, para así empezar con el tratamiento combinado.



Figura 7. Baldes esterilizados.

Fuente: Elaboración propia

Se usó GPS para tomar lectura de las coordenadas de los puntos de muestreo.



Figura 8. GPS

Fuente: Elaboración propia

pH-metro para medir la acidez de las muestras es un sensor utilizado en el método de electroquímico para medir el pH de una solución.



Figura 9. pH-metro.

Fuente: Elaboración propia

Análisis de datos

Terminando el muestreo se realiza el análisis de las muestras de Agua Acida en el laboratorio químico “**Laboratorio Regional del Agua**”-CAJAMARCA.

2.4. Procedimiento

Para el desarrollo del presente estudio de Agua Acida en la mina Michiquillay nos dirigimos al centro poblado de Michiquillay que esta 45min de la ciudad de Cajamarca (bocamina)



Figura 10. Bocamina Michiquillay.

Fuente: Elaboración propia

En la primera visita se realizó una medición de pH con papel indicador, con lo que se determinó la presencia de agua ácida.

Ubicamos los puntos de muestras para el estudio.

MUESTRA 01:

Se ubicó las coordenadas utilizando el GPS.

ESTE: 0795635
NORTE: 9220970



Figura 11. Coordenadas del punto 1.

Fuente: Elaboración propia

luego recolectamos en un frasco de polietileno la muestra para llevarlo al laboratorio.



Figura 12. Toma de muestra 1.

Fuente: Elaboración propia



Figura 13. Toma de muestra 1.

Fuente: Elaboración propia

MUESTRA 02:

Se ubicó las coordenadas utilizando el GPS.

ESTE: 0795574

NORTE: 9220807



Figura 14. Coordenadas del punto 2.

Fuente: Elaboración propia

luego recolectamos en un frasco de polietileno la muestra para llevarlo al laboratorio.



Figura 15. Toma de muestra 2.

Fuente: Elaboración propia



Figura 16. Toma de muestra 2.

Fuente: Elaboración propia

MUESTRA 03

Se ubicó las coordenadas utilizando el GPS.

ESTE: 0795495

NORTE: 9220691



Figura 17. Coordenadas del punto 3.

Fuente: Elaboración propia

luego recolectamos en un frasco de polietileno la muestra para llevarlo al laboratorio.



Figura 18. Toma de muestra 3.

Fuente: Elaboración propia



Figura 19. Toma de muestra 3.

Fuente: Elaboración propia

Se realizó los análisis en el laboratorio “**Laboratorio Regional del Agua**”- **CAJAMARCA**. En donde se determinó la conductividad, la turbidez, el color, pH, barrido de metales, sólidos disueltos de las muestras.

Se recolectaron 40 litros de agua ácida en recipientes esterilizados de cada punto para realizar el tratamiento de Drenes Anóxico Calizo combinado con Humedal.

Se recolectaron 2 especies de plantas: el carrizo de jalca, Berro de agua.

Berro de Agua (*Nasturtium officinale*)

Habitad: Cajamarca, La encañada.

Características: Son hierbas anuales, bienales con pelos suberectos. Hojas simples, por lo general oblongas o lanceoladas, Flores pequeñas de color blanco, acumuladora de Zn, Cd y Pb.



Figura 20. Berro de Agua.

Fuente: Elaboración propia

Carrizo de Jalca (*Phragmites australis*)

Habitad: Zonas altas de Cajamarca, La encañada.

Esta planta ayuda a concentrar Mg, Mn y Fe ya que tiende a ser más resistente las demás plantas del sistema por tener su forma de su caña más resistente y las hojas.



Figura 21. Carrizo de Jalca.

Fuente: Elaboración propia

Se recolectaron 2 sacos de material orgánico cada uno pesaba 15kg.



Figura 22. Materia orgánica.

Fuente: Elaboración propia

Se recolecto 750gr de piedra caliza de una calera aledaña a la encañada.



Figura 23. Piedra Caliza.

Fuente: Elaboración propia

Se utilizo cuadros comparativos para la interpretación de los resultados de laboratorio.

Diseño de Planta Piloto

Primera Fase:

Se construyó dos cubos por cada muestra de 40 cm por lado y en uno de los lados tiene una salida.



Figura 24. Maqueta.

Fuente: Elaboración propia

En el primer cubo de cada muestra se colocó 250 gramos de caliza por 40 litros de agua a tratar y 7 kilos de materia orgánica, inmediatamente se selló con film de paletizar.

Primero pesamos la caliza y la colocamos dentro del cubo.



Figura 25. Peso de la Caliza.

Fuente: Elaboración propia



Figura 26. Caliza dentro del cubo.

Fuente: Elaboración propia

Seguido pesamos la materia orgánica (eliminar el oxígeno disuelto del agua, se reduce el sulfato y se transforma el Fe^{3+} en Fe^{2+} , evitando la precipitación del hidróxido de Fe^{3+} sobre la capa de caliza) y lo colocamos encima de la caliza.



Figura 27. Peso de Materia Orgánica.

Fuente: Elaboración propia



Figura 28. Caliza y Materia Orgánica dentro del cubo.

Fuente: Elaboración propia

Medimos el agua acida y lo introducimos al interior de la maqueta provocando la disolución de la caliza, lo que genera alcalinidad y eleva el pH del agua.



Figura 29. Medida del agua acida.

Fuente: Elaboración propia



Figura 30. Caliza, Materia Orgánica y Agua Acida dentro del cubo.

Fuente: Elaboración propia

Por último, lo tapamos con film de paletizar para mantener las condiciones anóxicas, con lo que se consigue incrementar la presión parcial de CO₂ para maximizar la disolución de la caliza.



Figura 31. Tapado para condiciones anóxicas.

Fuente: Elaboración propia

Se monitoreo cada 8 horas por 3 días seguidos, hasta convertir el agua acida en neutro de ahí lo dejamos fluir por el caño que se encuentra en la parte inferior al segundo cubo.

Segunda Fase:

Tratamiento Humedal Aeróbico; en el segundo cubo de cada muestra se llena de materia orgánica, se plantan las 2 especies de plantas (Berros de agua, Carrizo de Jalca) que se encuentran en la zona y se llena 3 cm de agua tratada de la primera fase.



Figura 32. Maqueta de tratamiento humedal.

Fuente: Elaboración propia.

Se monitorea cada 15 horas por 10 días.



Figura 33. Vegetación plantada en la maqueta de Humedal.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 34. Maqueta combinada de ALD y Humedal.

Fuente: Elaboración propia

Se utilizo cuadros comparativos para la interpretación de los resultados de laboratorio.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Descripción general del proyecto

A. Ubicación

El yacimiento se ubica en el departamento de Cajamarca, provincia de Cajamarca, distrito de La Encañada, a 47 km. al noreste de la ciudad de Cajamarca y 908 km. al norte de Lima, a 3,600 msnm. (AMAYO RUIZ & VILLON SERNA, 2018)

Tabla 5:

Coordenadas del sitio de estudio.

ESTE	0795635	NORTE	9220970
------	---------	-------	---------



Figura 35. Ubicación del proyecto.

Fuente: Google Maps

B. Tipo de yacimiento

Pórfido de cobre-molibdeno con contenidos de oro y plata. (**AMAYO RUIZ & VILLON SERNA, 2018**)

C. Geología

Michiquillay es un yacimiento tipo pórfido de cobre con contenidos de molibdeno, oro y plata. La zona mineralizada con contenidos mayores a 0.40% de cobre tiene forma ovalada con lados de 1,500 y 600 m. y una profundidad que supera los 600 m. La mineralización ocurre predominantemente en fracturas, las que se relacionan con las fallas.

El proyecto cuenta con información exploratoria realizada por Anglo American que hizo una “Estimación de recursos minerales Michiquillay en etapa conceptual modelo 2012” con el análisis de 12,642 muestras de 53 sondajes con 36,413.1 m. Durante 2009-2012. Anglo American realizó en total 102 sondajes. (**AMAYO RUIZ & VILLON SERNA, 2018**)

D. Recursos naturales

De acuerdo a estudios realizados, se estima que el yacimiento minero posee recursos como para iniciarse con una producción de entre 40,000 y 80,000 toneladas métricas por día, lo que significará una inversión del orden de los US\$ 1,950 millones.

Los recursos de mineral indicado se estiman en 1,159 Millones de TM con ley de 0.63% Cu, con un cut off de 0.40% **(Fuente: MINEM Cartera Estimada de Proyectos Mineros). (AMAYO RUIZ & VILLON SERNA, 2018)**



Figura 36. Mina Michiquillay.

Fuente: Elaboración propia

3.2. Presentación de resultados

3.2.1 Caracterización de las aguas acidas de la mina michiquillay.

Los resultados de la caracterización físico-química del Drenaje Ácido de Mina (DAM) o Aguas Ácidas de Mina provenientes de la bocamina de michiquillay, es presentada en la tabla 6.

Tabla 6:

Resultado del análisis de parámetros físicos de la muestra de agua ácida de mina.

PARAMETROS	UNIDAD	LCM	RESULTADOS
Turbidez	NTU	0.09	25.54
pH a 25°C	pH	NA	3.90
Conductividad a 25°C	uScm	NA	165.1
Solidos Disueltos Totales	mg / L	2.5	98.5
(*) Color Verdadero	UC	4.0	<LCM

Fuente: Laboratorio Regional del Agua en Cajamarca.

Los resultados del análisis químico por metales pesados de la muestra de las Aguas Ácidas de Mina estudiada, se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7:

Resultados del análisis químico por metales pesados de la muestra de agua ácida de mina en mg/L.

METALES TOTALES				
PARAMETROS	NOMENCLATURA	UNIDAD	LCM	RESULTADOS
Plata	Ag	mg/L	0.017	<LCM
Aluminio	Al	mg/L	0.022	0.932
Arsénico	As	mg/L	0.003	<LCM
Boro	B	mg/L	0.021	<LCM
Bario	Ba	mg/L	0.002	0.018
Berilio	Be	mg/L	0.002	<LCM
Bismuto	Bi	mg/L	0.016	<LCM
Calcio	Ca	mg/L	0.070	5.82
Cadmio	Cd	mg/L	0.002	<LCM
Cobalto	Co	mg/L	0.002	0.006
Cromo	Cr	mg/L	0.002	<LCM
Cobre	Cu	mg/L	0.014	1.155
Hierro	Fe	mg/L	0.019	6.296
Potasio	K	mg/L	0.049	1.468
Litio	Li	mg/L	0.004	<LCM
Magnesio	Mg	mg/L	0.017	2.433
Manganeso	Mn	mg/L	0.002	0.088
Molibdeno	Mo	mg/L	0.002	<LCM
Sodio	Na	mg/L	0.018	2.291
Níquel	Ni	mg/L	0.002	0.003
Fósforo	P	mg/L	0.020	0.222
Plomo	Pb	mg/L	0.003	0.004
Azufre	S	mg/L	0.085	17.41
Antimonio	Sb	mg/L	0.005	<LCM
Selenio	Se	mg/L	0.017	<LCM
Silicio	Si	mg/L	0.085	9.642
Estroncio	Sr	mg/L	0.002	0.038
Titanio	Ti	mg/L	0.004	<LCM
Talio	Tl	mg/L	0.003	<LCM
Uranio	U	mg/L	0.004	<LCM
Vanadio	V	mg/L	0.003	<LCM
Zinc	Zn	mg/L	0.016	0.041

Fuente: Laboratorio Regional del Agua en Cajamarca.

Los resultados en negrita, indican que las condiciones iniciales cumplen con los requisitos para la implementación del tratamiento combinado.

3.2.2. Pruebas en Drenes Anóxicos Calizos combinado con Humedal Aeróbico

Con el equipo experimental se procedió a realizar el estudio del comportamiento de las aguas ácidas en el tratamiento de Drenes Anóxico Calizo combinado con Humedal en las tres diferentes muestras:

MUESTRA 01: (bocamina)

Resultados de la fase 1: En el tratamiento de Drenes Anóxico Calizo, se tomaron muestras cada 8 horas y se obtuvieron los siguientes valores de pH.

Tabla 8:

Valores del pH medidos durante 3 días de la muestra 01 – ALD.

Fecha	Hora	pH
20/05/2019	3:25 p.m.	3.9
20/05/2019	11:25 p.m.	4.2
21/05/2019	7:25 a.m.	4.9
21/05/2019	3:25 p.m.	5.2
21/05/2019	11:20 p.m.	5.8
22/05/2019	7:15 a.m.	6.1
22/05/2019	3:25 p.m.	6.4
22/05/2019	11:20 p.m.	6.6
23/05/2019	7:25 a.m.	7

Fuente: Elaboración propia

La grafica siguiente muestra los resultados obtenidos:

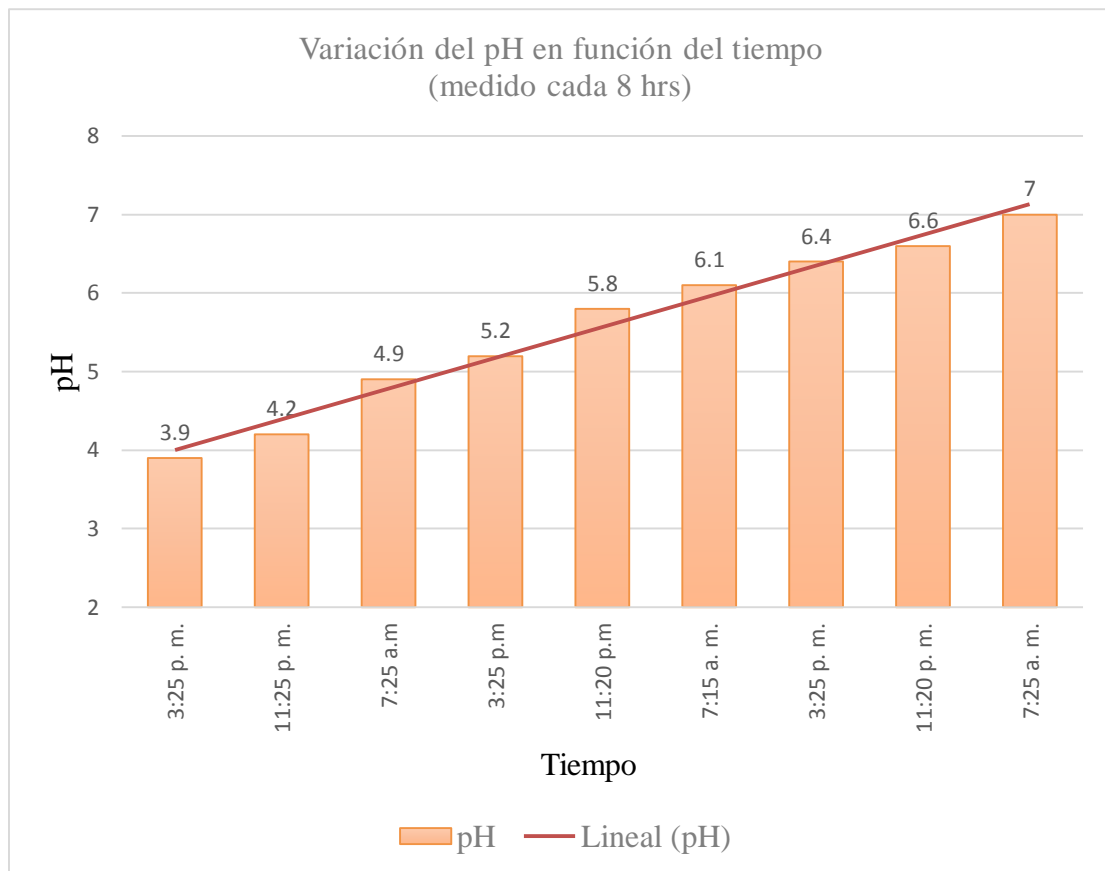


Figura 37. Resultados del comportamiento del pH en función al Tiempo de la muestra 01 – ALD.

Fuente: Elaboración propia

En la figura N°30, se puede observar que el pH aumento entre 0.3 y 0.7 hasta llegar al valor 7 (neutro), donde se mantiene; por lo cual se pasó a la siguiente fase.

Resultados de la fase 2: En el tratamiento de Humedal, se tomaron muestras cada 15 horas y se determinó el valor del pH.

Tabla 9:

Valores del pH medidos durante 10 días de la muestra 01 – Humedal.

Fecha	Hora	pH
24/05/2019	7:50 a. m.	7
24/05/2019	10:50 p. m.	7
25/05/2019	1:50 p. m.	7.5
26/05/2019	4:50 a. m.	7.7
26/05/2019	7:50 p. m.	7.9
27/05/2019	10:50 a. m.	8
28/05/2019	1:50 a. m.	8.4
29/05/2019	4:50 p. m.	8.4
30/05/2019	7:50 a. m.	8.6
30/05/2019	10:50 p. m.	8.8
31/05/2019	1:50 p. m.	8.9
01/06/2019	4:50 a. m.	9
01/06/2019	7:50 p. m.	9.3
02/06/2019	10:50 a. m.	9.4

Fuente: Elaboración propia

La grafica siguiente muestra los resultados obtenidos:

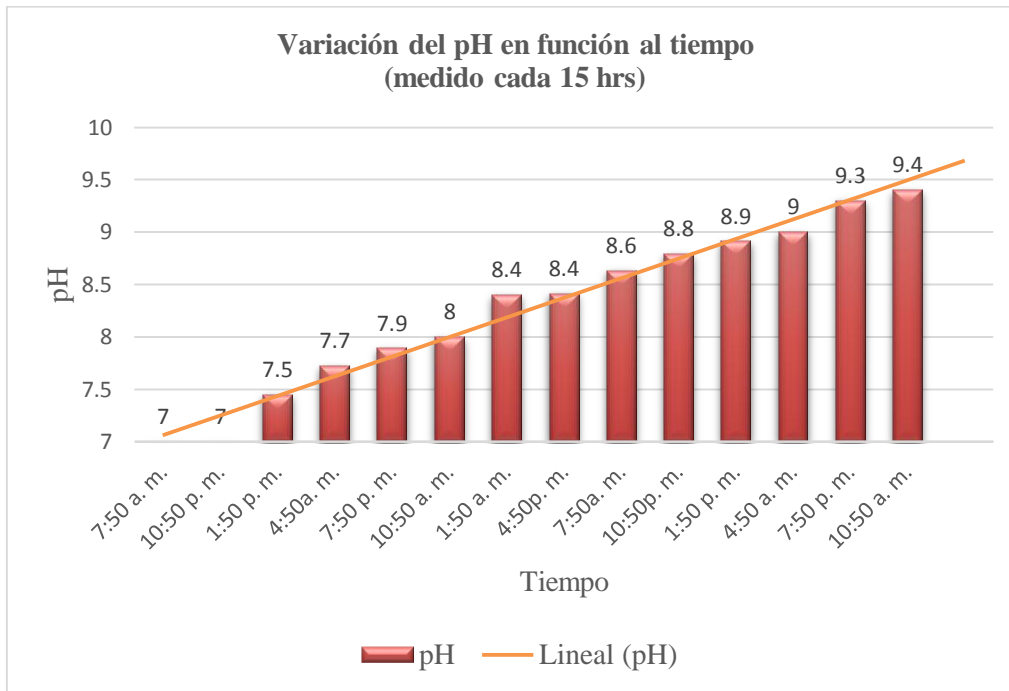


Figura 38. Resultados del comportamiento del pH inicial y final de la muestra 01 – Humedal.

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura N°31, se puede observar que el pH se mantiene en el primer día y de ahí aumenta 0.2 hasta llegar al valor a un pH 9, donde se nota que hay alcalinidad.

MUESTRA 02:

Resultados de la fase 1: En el tratamiento de Drenes Anóxico Calizo, se tomaron muestras cada 8 horas y se obtuvieron los siguientes valores de pH.

Tabla 10:

Valores del pH medidos durante 3 días de la segunda muestra - ALD.

Fecha	Hora	pH
20/05/2019	3:30 p. m.	5
20/05/2019	11:30 p. m.	5.3
21/05/2019	5:30 a.m.	5.5
21/05/2019	10:30 p.m.	5.9
21/05/2019	3:30 p.m.	6
21/05/2019	8:30 p. m.	6.4
22/05/2019	1:30 a. m.	6.5
22/05/2019	6:30 a. m.	7
23/05/2019	11:30 a. m.	7

Fuente: Elaboración propia

La grafica siguiente muestra los resultados obtenidos

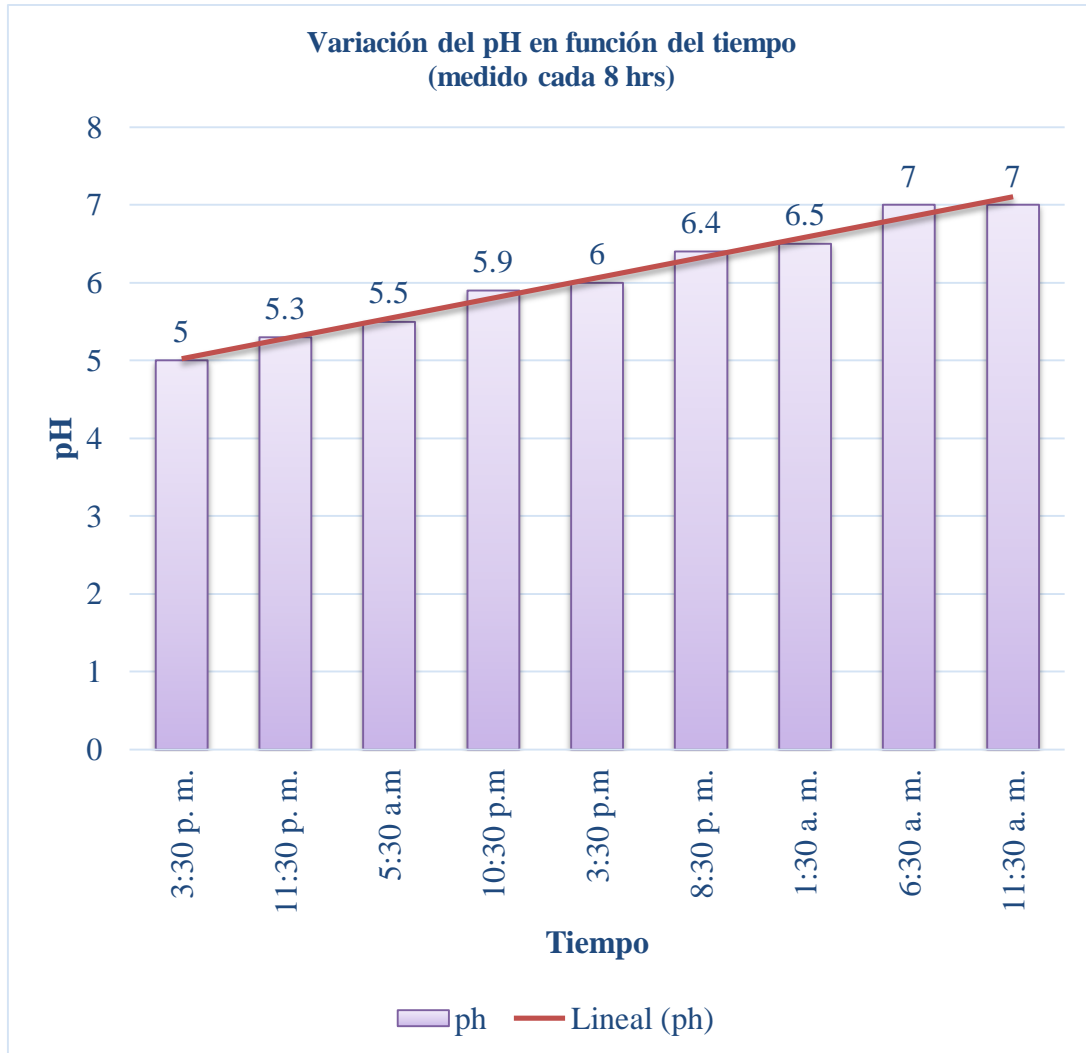


Figura 39. Resultados del comportamiento del pH en función al Tiempo de la muestra 02 – ALD.

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura N°32, se puede observar que el pH inicial tiene un valor de 5 y al pasar los 3 días se eleva a un valor de 7 (neutro), donde se mantiene; por lo cual se pasó a la siguiente fase.

Resultados de la fase 2: En el tratamiento de Humedal, se tomaron muestras cada 15 horas y se obtuvieron los diferentes valores de pH.

Tabla 11:

Valores del pH medidos durante 10 días de la muestra 02 - Humedal.

Fecha	Hora	pH
24/05/2019	9:25 a. m.	7
24/05/2019	12:25 a. m.	7
25/05/2019	3:25 p. m.	7.2
26/05/2019	6:25 a. m.	7.5
26/05/2019	9:25 p. m.	7.9
27/05/2019	12:25 p. m.	8
28/05/2019	3:25 a. m.	8
29/05/2019	6:25 p. m.	8.4
30/05/2019	9:25 a. m.	8.5
30/05/2019	12:25 a. m.	8.9
31/05/2019	3:25 p. m.	8.95
01/06/2019	6:25 a. m.	9
01/06/2019	9:25 p. m.	9.5
02/06/2019	12:25 p. m.	9.8

Fuente: Elaboración propia

La grafica siguiente muestra los resultados obtenidos

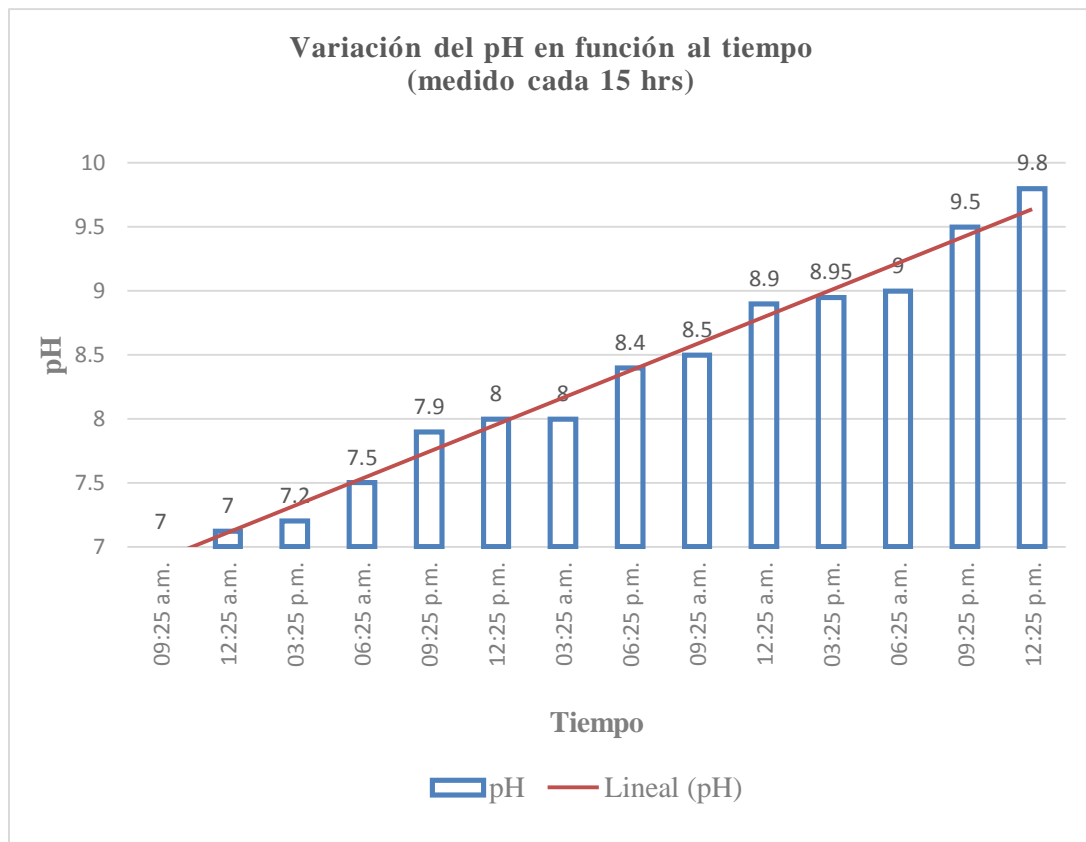


Figura 40. Resultados del comportamiento del pH inicial y final de la muestra 02 - Humedal.

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura N°33, se puede observar que en el primer día el pH se mantiene, en el cuarto y quinto día aumenta hasta llegar a un valor de pH 8 y al noveno día notamos presencia de alcalinidad.

MUESTRA 03:

Resultados de la fase 1: En el tratamiento de Drenes Anóxico Calizo, se tomaron muestras cada 8 horas y se determinó el valor del pH.

Tabla 12:

Valores del pH medidos durante 3 días de la muestra 03 – ALD.

Fecha	Hora	pH
20/05/2019	4:00pm	4
20/05/2019	9:00pm	4.2
21/05/2019	2:00am	4.8
21/05/2019	7:00am	5
21/05/2019	12:00am	5.9
22/05/2019	5:00pm	6
22/05/2019	10:00pm	6.5
22/05/2019	3:00am	6.7
23/05/2019	8:00am	6.9

Fuente: Elaboración propia

La grafica siguiente muestra los resultados obtenidos:

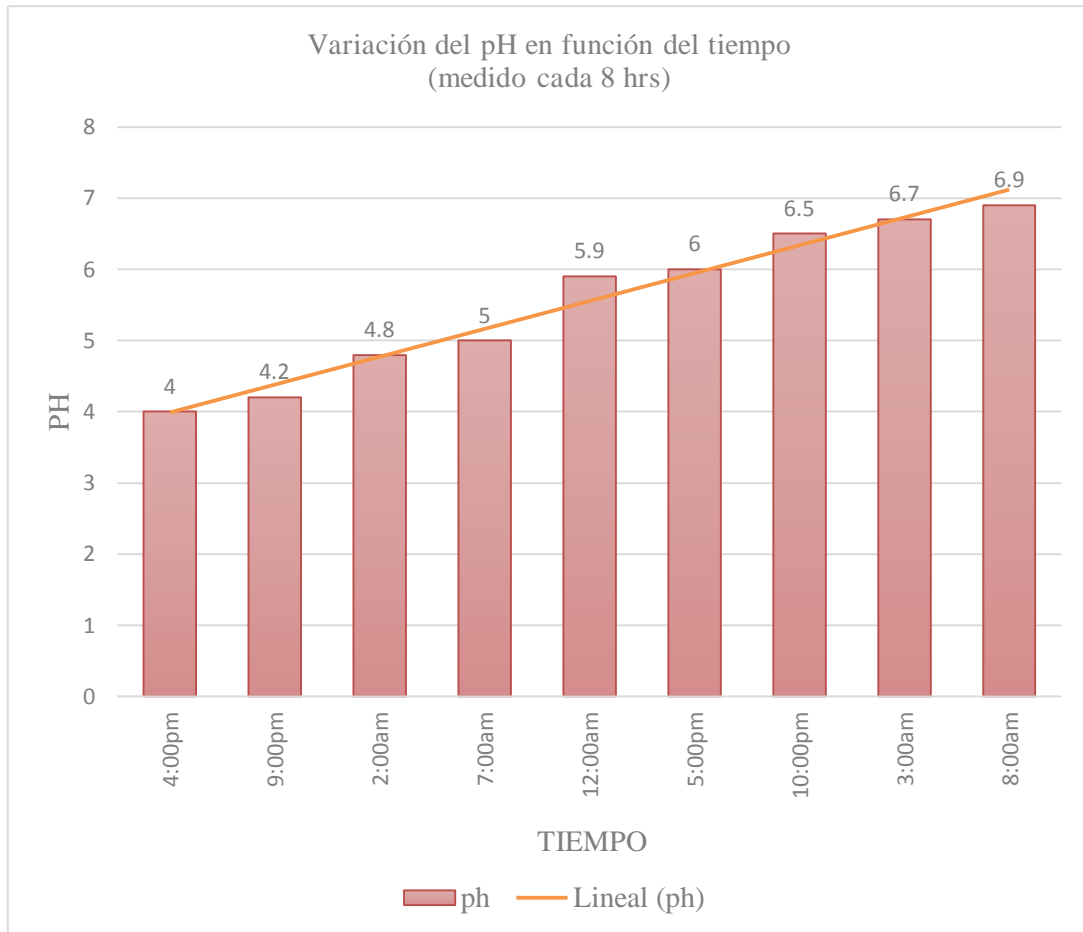


Figura 41. Resultados del comportamiento del pH en función al Tiempo de la muestra 03 – ALD.

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°34, se puede observar que el pH inicial es de 4. A los 2 días el pH aumento a 5 y a los 3 días el pH casi llega a neutro; por lo cual se pasó a la siguiente fase.

Resultados de la fase 2: En el tratamiento de Humedal, se tomaron muestras cada 15 horas y se determinó el valor del pH.

Tabla 13:

Valores del pH medidos durante 10 días de la muestra 03 - Humedal.

Fecha	Hora	pH
24/05/2019	11:45 a. m.	6.9
24/05/2019	2:45 a. m.	7
25/05/2019	5:45 p. m.	7.15
26/05/2019	8:45 a. m.	7.39
26/05/2019	11:45 p. m.	7.53
27/05/2019	2:45 p. m.	7.71
28/05/2019	5:45 a. m.	7.92
29/05/2019	8:45 p. m.	8
30/05/2019	11:45 a. m.	8.21
30/05/2019	2:45 a. m.	8.47
31/05/2019	5:45 p. m.	8.59
01/06/2019	8:45 a. m.	8.78
01/06/2019	11:45 p. m.	8.9
02/06/2019	2:45 p. m.	8.9

Fuente: Elaboración Propia

La grafica siguiente muestra los resultados obtenidos:

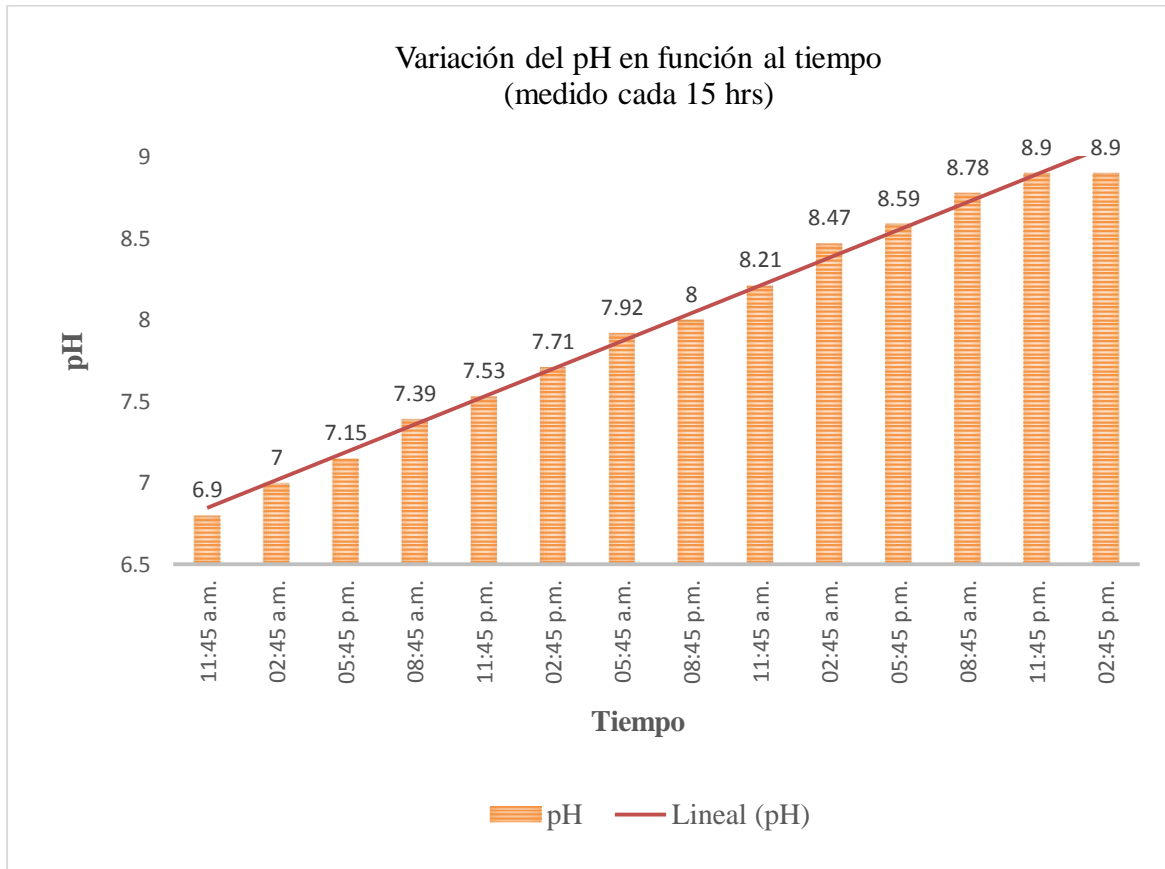


Figura 42. Resultados del comportamiento del pH inicial y final de la muestra 03 - Humedal.

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°35, se puede observar que en el primer día el pH aumenta hasta ser neutro y al décimo día el pH aumenta a un valor de alcalinidad.

3.2.3. Comparación final de las tres muestras con el tratamiento Drenes Anóxicos Calizos combinado con Humedal Aeróbico

Tabla 14:

Comparación del pH inicial y final.

	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA3
pH inicial	3.9	5	4
pH final	9.4	9.8	8.9

Fuente: Elaboración Propia

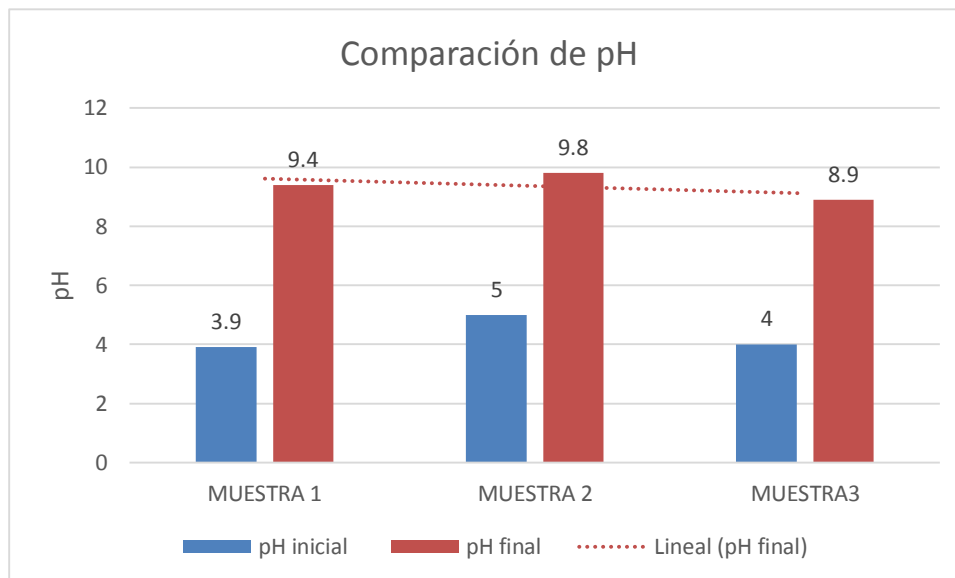


Figura 43. Comparación de los resultados de las muestras tomadas en la mina michiquillay.

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N° 36, se puede observar que existen diferencias notables entre los valores de pH inicial y final. Con estos resultados se sostuvo que el tratamiento de Drenaje Anóxico Calizo combinado con Humedal si pueden mejorar la calidad del efluente con lo que respecta a pH.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

En el tratamiento de Drenes Anóxico Calizo combinados con Humedales, pudimos obtener resultados positivos en el incremento de pH que incluso logrón cumplir con los LMP. (MINAM, 2010).

Nuestro tratamiento esta dividió en 2 fases: En la primera fase “Drenes Anóxicos Calizos” los resultados fueron bastante alentadores ya que comparemos con nuestra referencia y pudimos observar que los investigadores de la **UNIVERSIDAD TECNICA DE ORURO (Zamora Echenique, Zamora Mercado, & Gorritty P., 2015)** que realizaron la misma técnica que nosotros y ellos llegaron a elevar el pH del agua ácida tratada hasta valores cercanos a la neutralidad.

En la segunda fase “Humedal Aeróbico” también fue satisfactoria porque el pH incremento casi a un valor de 9, ya que cuando el pH se encuentra en este valor pertenece a la CATEGORÍA 3; es bueno para sembríos y consumo de los animales del centro poblado de Miquichillay. Comparemos con nuestra referencia y los investigadores de la **UNIVERSIDAD DE OVIEDO (ORDOÑEZ, 1999)** nos dicen que sus resultados conseguidos mediante la aplicación del sistema mixta “ALD-Humedal” de laboratorio se pueden considerar satisfactorios, puesto que se han podido alcanzar importantes mejoras en la calidad del efluente con de dicho sistema.

Así nosotras cumplimos con nuestro objetivo de elevar el pH del agua de la mina de Michiquillay.

4.2 Conclusiones

- Se incremento de un pH inicial de 3,9 a un pH final de 9 aumentando la acidez.
- Se utilizo el tratamiento de Drenes Anóxico Calizo combinado con Humedal, porque las aguas acidas de la mina Michiquillay contienen las principales características físico-química para dicho tratamiento, también se optó porque los insumos se encuentran en la zona de estudio.
- Se concluye que el agua tratada con el tratamiento de Drenes Anóxico Calizo combinado con Humedal es eficaz. Ya que obtuvimos un valor de pH 9 y cumple que es para riegos tecnificados.

4.3 Recomendaciones

- Se recomienda mayor investigación en qué otros tipos de plantas cumplen la función de reducción de metales o eliminación de los mismos, que permitan ayudar a mejorar el sistema que proponemos, y a la vez que estas plantas puedan adaptarse en la zona que se va a ejecutar el humedal.
- A partir de este estudio se recomienda realizar continuamente con pruebas a nivel laboratorio para evaluar los parámetros físicos-químicos que presentan el agua tratada en el presente estudio.
- Seguir investigando como lograr la neutralización con menos cantidad de caliza para disminuir el pH que se pueden tratar con este sistema para adecuarla al mismo como parte de un pre-tratamiento que se pueda adaptar luego de la salida del Drenaje Anóxico Calizo.

REFERENCIAS

- aduvire, O. (2006). *Drenaje Acido de Mina Generación y Tratamiento*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Amayo Ruiz, J., & Villon Serna, C. (2018). El Ingeniero. *Revista del Colegio de Ingenieros del Perú-Cd Lima*, 6 Y 7.
- Ambiente, M. D. (06 De Junio De 2017). [Http://Www.Minam.Gob.Pe/Estandares-de-calidad-Ambiental/Wp-Content/Uploads/Sites/146/2017/06/Preguntas-Frecuentes.Pdf](http://Www.Minam.Gob.Pe/Estandares-de-calidad-Ambiental/Wp-Content/Uploads/Sites/146/2017/06/Preguntas-Frecuentes.Pdf). Obtenido de [Http://Www.Minam.Gob.Pe/Estandares-de-Calidad-Ambiental/Wp-Content/Uploads/Sites/146/2017/06/Preguntas-Frecuentes.pdf](http://Www.Minam.Gob.Pe/Estandares-de-Calidad-Ambiental/Wp-Content/Uploads/Sites/146/2017/06/Preguntas-Frecuentes.pdf): Estandares de Calidad Ambiental
- Echenique, G. Z., & Mata Calcina, J. (2017). *Estudio Técnico de la Recuperación de un producto Comerciable de Zinc Mediante Desulfatación, Dren Anóxico Calizo y Precipitación de las Aguas Ácidas de la Mina de Porco*. Bolivia: Revistas Bolivarianas.
- Ener, H. C. (2018). *Tratamiento de Drenaje Ácido del Depósito de Desmonte Unsuitable iv Yanacocha Norte por el proceso de Humedales en serpentín*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Galves, S. T. (2014). *Eficiencias de las estructuras contruidas para meorar la caldad del Agua en el cierre de actividades en la Mina Banco Mineroy Taona-Hualgayoc-Cajamarca*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Juridica, S. I. (06 de Junio de 2019). [Https://Www.Servilex.Pe/Blog/Estandar-de-Calidad-Ambiental-Limite-Maximo-Permisible](https://Www.Servilex.Pe/Blog/Estandar-de-Calidad-Ambiental-Limite-Maximo-Permisible). Obtenido de [Https://Www.Servilex.pe/Blog/Estandar-de-Calidad-Ambiental-Limite-Maximo-Permisible](https://Www.Servilex.pe/Blog/Estandar-de-Calidad-Ambiental-Limite-Maximo-Permisible): Www.Servilex.pe
- Leal, L. T. (2017). Drenajes Ácidos de Mina. *Esaica*, 53.
- Leon, M. I. (2017). *Caracterizacion de Efruentes de Mina para la eleccion de la alternativa optima de tratamiento*. Lima: Universidad Catolica del Perú.
- Lopez Gutierrez, H. (2011). *Tratamiento Anaeróbico de Aguas Acidas de Mina con travertino y ompost a escala de laboratorio*. Huancayo: Niversidad Nacional del Centro del Peru.

- Macedo, A. H. (2014). *“Caracterización del Drenaje Ácido y de las Rocas Asociadas a una Mina para.* Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Minam. (06 de Junio de 2017). *Estandares de Calidad Ambiental.* Obtenido de el Perú Primero: <Http://Www.Minam.Gob.pe/Estandares-de-Calidad-Ambiental/Wp-Content/Uploads/Sites/146/2017/06/Preguntas-Frecuentes.pdf>
- Minam. (07 de Junio de 2017). Normas Legales. *El Peruano*, Págs. 10, 11. Obtenido de <Https://Www.Minam.Gob.pe/Wp-Content/Uploads/2017/06/DS-004-2017-Minam.pdf>: <Https://Www.Minam.Gob.pe/Wp-Content/Uploads/2017/06/DS-004-2017-Minam.pdf>
- Minam. (19 de Diciembre de 2017). Normas Legales. *El Peruano*, Pág. 569081.
- Morin, & Hutt. (2001). *Clasificación de Drenaje.*
- Ordoñez, A. A. (1999). *Sistema de Tratamiento Pasivo para Agua Ácidas de Mina .* España: Universidad de Oviedo.
- Ortiz, S. S. (2015). *Pasivos Ambientales Mineros en la Región de Cajamarca.* Cajamarca: Grupo de Formación e Intervención para Desarrollo Sostenible.
- Quijada, M. C. (2015). Los Pasivos Ambientales Mineros: Diagnóstico y Propuesta. *Minería Ambiente Comunidades*, 6.
- Redolfo, G. S. (2015). *Influencia del Tiempo de Retención y Composición del Sustrato en la Remoción de Hierro y Cobre Ácido de Mina en Humedales Artificiales.* Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Ruiz, J. A., & Villon Serna, C. (2018). Ya hay Michiquillay. *El Ingeniero de Lima*, 6.
- Sanchez Rial, J. E., & Ferreira Centeno, J. P. (2016). Drenajes Ácidos de Mina Alternativas de Tratamiento. *Revista de Medio Ambiente Minero y Minería*, 5.
- Soberón, L. P. (2015). Límites Máximos Permiabiles de Agua en la Actividad Minera y la realidad Hidrológica del Perú. *Portal Portales Latindex*, 283.
- Zamora Echenique, G., Zamora Mercado, V., & Gorrity P., M. (2015). *Propuesta de tratamiento de las Aguas Ácidas de la Mina Milluni mediante Drenes Anóxicos Calizos.* Mexico: Universidad Técnica de Oruro.

ANEXOS

ANEXO 1. Ubicación de los puntos de GPS de la toma de muestras.



Fuente: Google Earth

ANEXO 2. Bocamina del proyecto Michiquillay.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 3. Se observo presencia de Azufre.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 4. Recorrido del drenaje acido.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 5. Filtración de drenaje acido.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 6. Apuntes de campo.






Fuente: Elaboración propia


ANEXO 7. Recojo de muestras.



Fuente: Elaboración propia


ANEXO 8. Resultados del Laboratorio de la muestra 01.

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA			
			
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA CON REGISTRO N° LE-084			
INFORME DE ENSAYO N°		IE 0519287	
DATOS DEL CLIENTE/USUARIO			
Razon Social/Usuario	YESICA BEJARANO RODRGIGUEZ		
Dirección	SANTA ANITA N# 234		
Persona de contacto	-	Correo electrónico	jessi_07_94@hotmail.com
DATOS DE LA MUESTRA			
Fecha del Muestreo	06.05.19	Hora de Muestreo	17:00
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de Muestras	01 Muestra	N° Frascos x muestra	05
Ensayos solicitados	Fisicosquímicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.		
Responsable de la toma de muestra	Las muestras fueron tomadas por el personal usuario		
Procedencia de la Muestra:	LA ENCAÑADA - CAJAMARCA		
DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO			
N° Contrato	SC - 385	Cadena de Custodia	CC - 287 -19
Fecha y Hora de Recepción	07.05.19	10:00	Inicio de Ensayo 07.05.19 10:30
Reporte Resultado	23.05.19	16:00	
 Ing. Qco Freddy H. López León Responsable del Laboratorio(e) CIP: 198264			
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA			
Cajamarca, 24 de Mayo de 2019.			
Página: 1 de 3			
<small> "LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO" JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ e-mail: laboratorio@lagua@regioncajamarca.gob.pe FONO: 599000 Anexo 1140 </small>			



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 0519287

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS			
Código Cliente	BOCAMINA		-	-	-	-
Código Laboratorio	0519287-01		-	-	-	-
Matriz	NATURAL		-	-	-	-
Descripción	Subterránea		-	-	-	-
Localización de la Muestra	C.P Michiquillay - La Encañada		-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados			
Turbidez	NTU	0.09	25.54	-	-	-
pH a 25°C	pH	NA	3.90	-	-	-
Conductividad a 25°C	uScm	NA	165.1	-	-	-
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	2.5	98.5	-	-	-
(*) Color Verdadero	UC	4.0	<LCM	-	-	-

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

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Metales Disueltos y Totales por ICP-OES (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Ce, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, K, Li, Na, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, U, V, Zn)	mg/L	EPA Method 200.7 Rev. 4.4, 1994. (Validado) 2014 Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Turbidez	NTU	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2130. B. 23rd Ed. 2017. Turbidity. Nephelometric Method
Potencial de Hidrógeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 4500-H+ B. 23rd Ed. 2017. pH Value. Electrometric Method.
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2510. B. 23rd Ed. 2017. Conductivity. Laboratory Method
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A.C. 22nd Ed. 2012. Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C
Color Verdadero	UC	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C. 23rd Ed. 2017. Color. Spectrophotometric Single Wavelength Method (Proposed)

NOTAS FINALES

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA.

(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.

✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.


✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.

✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.

✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

"Fin del documento"


Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev: N°06 Fecha : 02/01/2019



Cajamarca, 24 de Mayo de 2019.

Página: 3 de 3


"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
 JR. LUIS ALBERTO SANCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
 e-mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe FON: 599000 anexo 1140



LABORATORIO REGIONAL
AGUA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Organismo Peruano
Acreditado
Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 0519287

ENSAYOS			QUÍMICOS				
Código Cliente	BOCAMINA		-	-	-	-	-
Código Laboratorio	0519287-01		-	-	-	-	-
Matriz	NATURAL		-	-	-	-	-
Descripción	Subterránea		-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	C.P Michiquillay - La Encañada		-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales				
Plata (Ag)	mg/L	0.017	<LCM	-	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.022	0.932	-	-	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-
Boro (B)	mg/L	0.021	<LCM	-	-	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.002	0.018	-	-	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.002	<LCM	-	-	-	-
Bismuto (Bi)	mg/L	0.016	<LCM	-	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.070	5.82	-	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	<LCM	-	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.002	0.006	-	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.002	<LCM	-	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.014	1.155	-	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.019	6.296	-	-	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.049	1.468	-	-	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.004	<LCM	-	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.017	2.433	-	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.002	0.088	-	-	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	<LCM	-	-	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.018	2.291	-	-	-	-
Níquel (Ni)	mg/L	0.002	0.003	-	-	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.020	0.222	-	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.003	0.004	-	-	-	-
Azufre (S)	mg/L	0.085	17.41	-	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	<LCM	-	-	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.017	<LCM	-	-	-	-
Silicio (Si)	mg/L	0.085	9.642	-	-	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.002	0.038	-	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.004	<LCM	-	-	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-
Uranio (U)	mg/L	0.004	<LCM	-	-	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.016	0.041	-	-	-	-

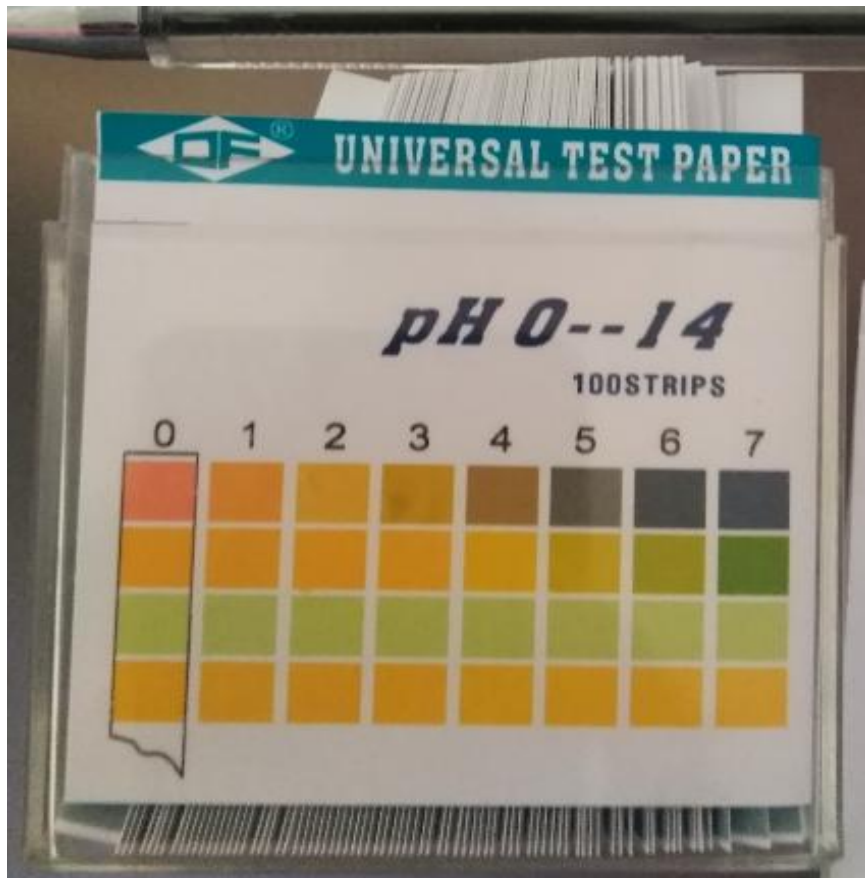
Cajamarca, 24 de Mayo de 2019.

Página: 2 de 3

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
 JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
 e-mail: laboratorio@delagua@regioncajamarca.gob.pe FONOS: 5692003 anexo 1140

Fuente: Laboratorio Regional del Agua - CAJAMARCA

ANEXO 9. Papel indicador del pH.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 10. pH inicial de la muestra 01.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 11. pH inicial de la muestra 02.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 12. pH inicial de la muestra 03.



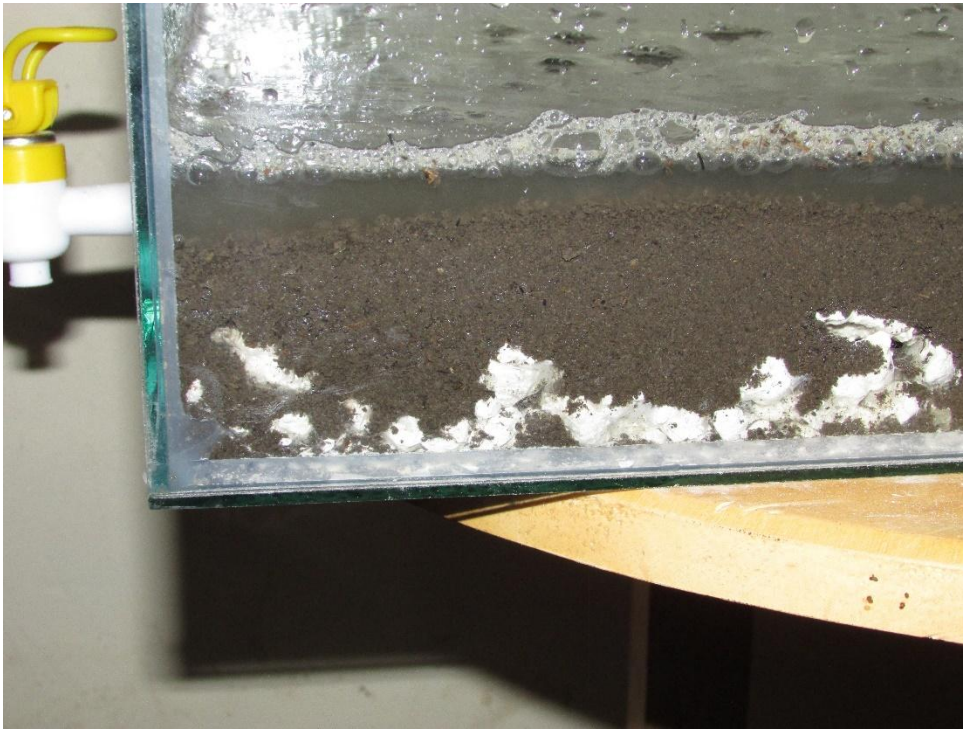
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 13. Tratamiento Anóxico.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 14. Proceso de eliminar el oxígeno disuelto del agua.



Fuente: Elaboración propia