



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

“Eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas
de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio – 2017”.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental

AUTORA

Rosly Lizbeth Sevillano Galindos

ASESOR

Msc. Wilber Samuel Quijano Pacheco

LINEA DE INVESTIGACION:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales


LIMA – PERU

Año 2017 - 1

JURADO CALIFICADOR



Dr. José Eloy Cuellar Bautista
Presidente



Dr. Milton Tullume Chavesta
Secretario



Msc. Wilber Samuel Quijano Pacheco

DEDICATORIA

A mis padres que siempre me han apoyado y nunca me ha faltado nada, si no fuera por ellos no hubiese podido desarrollar mi tesis.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por darme la vida y por todas las cosas que me ha dado a lo largo de mi vida, por haberme dado la familia que tengo y porque nunca me dejó sola. Agradezco a mis padres, Gilmer Sevillano de la Cruz y Leonor Galindos Trujillo por la persona que soy, por su buena educación y por todo el amor que me brindan.

Agradezco también a la Universidad César Vallejo de San Juan de Lurigancho por brindarme las herramientas para desarrollarme en mi carrera profesional, a mi asesor el M Sc Wilber Samuel Quijano Pacheco, por sus asesorías y sus sabios consejos que me permitió desarrollar esta tesis.

Gracias a mi jefe de prácticas de CGT Company profesionales Ing. Elvis Pineda Villalva, por las facilidades y comprensión que me dio para el término de esta investigación.

Agradezco al MSC. Ing. Juan Armando Pinillos Torres; por su apoyo.

A mis amigos que me apoyaron durante los análisis de laboratorio.

Y a todas las personas que pusieron su granito de arena para la culminación de esta tesis, muchas gracias.

DECLARATORIO DE AUTENTICIDAD

Yo, **Sevillano Galindos Rosly Lizbeth**, con DNI N° **71302100**, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento de grado y títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda documentación es auténtica y veraz.

Asimismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento y omisión tanto de los documentos como de información aportada por la cual me someto a lo dispuesto en la norma académica de la Universidad César Vallejo.

Lima 25 de julio del 2017



Sevillano Galindos Rosly Lizbeth
DNI: 71302100

PRESENTACIÓN

Señores miembro del jurado, presento ante ustedes la tesis titulada “Eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio, 2017”, con la finalidad de evaluar la eficiencia del hidróxido de calcio aplicando 3 tratamientos con dosis diferentes de este neutralizante alcalino para el tratamiento de las aguas ácidas de la relavera Quilacocha, distrito Simón Bolívar, Cerro de Pasco, que será realizado a nivel laboratorio de forma ex situ, en cumplimiento del reglamento de grados y títulos de la Universidad César Vallejo para obtener el título de Ingeniería Ambiental.

Esperando cumplir con los requisitos de aprobación.

INDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	12
	1.1 Realidad Problemática	13
	1.2 Trabajos Previos.....	13
	1.3 Teorías relacionadas al tema	22
	1.3.1 Marco Teórico	22
	1.3.2 Marco conceptual	26
	1.3.3 Marco Legal.....	27
	1.4 Formulación del problema.....	28
	1.4.1 Problema General	28
	1.4.2 Problemas Específicos	28
	1.5 Justificación del estudio.....	28
	1.6 Hipótesis	29
	1.6.1 Hipótesis General	29
	1.6.2 Hipótesis Específicas.....	29
	1.7 Objetivos	29
	1.7.1. Objetivo General.....	29
	1.7.2 Objetivos Específicos.....	29
II.	MÉTODO	30
	2.1 Diseño de la investigación	30
	2.2 Variables, operacionalización	30
	2.2.1 Variables	30
	2.2.2 Operacionalización	31
	2.3 Población y muestra	32
	2.3.1 Población	32
	2.3.2 Muestra	32
	2.3.3 Muestreo	32
	2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	34
	2.4.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	34
	2.4.1.1 Técnica.....	34
	2.4.1.2 Instrumento de recolección de datos.....	34
	2.4.1.3 Validez y confiabilidad	35
	2.5 Procedimiento a seguir en la presente investigación	35

2.5.1 Metodología del desarrollo.....	35
2.5.2 Metodología para el método estadístico.....	38
2.6 Aspectos éticos.....	38
III. RESULTADOS.....	39
3.1 Resultados del análisis del agua ácida	39
3.2 Resultados después de los tratamientos.....	40
3.3 Análisis Estadístico	46
IV. DISCUSIÓN.....	54
V. CONCLUSIÓN	56
VI. RECOMENDACIONES.....	57
VII. REFERENCIAS	58
ANEXOS	63
Anexo N° 1: Ubicación de Quiulacocha	63
Anexo N° 3 Fichas de Observación.....	65
Anexo N° 4: Estación de muestreo.....	67
Anexo N° 5: Determinación de parámetros físico-químicos	68
Anexo N° 6: Fotos de los análisis en el laboratorio.....	69
Anexo N° 7: Validación de Instrumentos de recolección de datos	74
Anexo N° 8: Informe de Resultado de aguas.....	83

Índice de Cuadros

Cuadro N° 1: Operacionalización de Variables	31
Cuadro N° 2: Ubicación del punto de muestreo de la relavera	33
Cuadro N° 3: Evaluación de los parámetros físico-químicos de las aguas de la relavera de Pasco – Estación LQ:.....	39
Cuadro N° 4: Resultados después del tratamiento N° 1	40
Cuadro N° 5: Resultados después del tratamiento N° 2	40
Cuadro N° 6: Resultados después del tratamiento N° 3.....	41
Cuadro 7: Eficiencia de remoción de parámetros con 6 g/l de hidróxido de calcio:.....	45
Cuadro N° 8: Eficiencia de remoción de parámetros con 8 g/l de hidróxido de calcio....	45
Cuadro N° 9: Eficiencia de remoción de parámetros con 10 g/l de hidróxido de calcio .	45

Índice de Tabla

Tabla N° 1: Rangos del pH en los que se produce la precipitación algunos metales.	24
Tabla N° 2: Estándares de Calidad Ambiental para Agua Categoría 3: agua para riego de vegetales.....	36
Tabla N° 3: Resultados estadísticos de ANOVA para el pH.....	46
Tabla N° 4: Prueba de Duncan.....	47
Tabla N° 5: Resultados estadísticos de ANOVA para sulfatos	47
Tabla N° 6: Prueba de Duncan.....	48
Tabla N° 7: Resultados estadísticos de ANOVA para conductividad.....	48
Tabla N° 8: Prueba de Duncan.....	49
Tabla N° 9: Resultados estadísticos de ANOVA para plomo	49
Tabla N° 10: Prueba de Duncan.....	50
Tabla N° 11: Resultados estadísticos de ANOVA para turbidez.....	50
Tabla N° 12: Prueba de Duncan.....	51
Tabla N° 13: Resultados estadísticos de ANOVA para sólidos suspendidos totales	51
Tabla N° 14: Prueba de Duncan.....	52
Tabla N° 15: Resultados estadísticos de ANOVA para sólidos disueltos totales	52
Tabla N° 16: Prueba de Duncan.....	53

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco ubicada en Cerro de Pasco, a nivel laboratorio, para el cual se tomó una muestra de 14 litros de agua ácida, la cual fue preservada hasta llegar al laboratorio para su tratamiento; el pH se midió in situ, este alcanzó 2.88, lo cual indicó que el agua es muy ácida. Los otros parámetros fueron determinados en el laboratorio, las concentraciones iniciales de algunos de ellos fueron; 0.17 mg/l de plomo, 1616.44 mg/l de sulfatos, 2833.33 mg/l de sólidos suspendidos, 8798.67 uS/cm de conductividad, lo que indicó que estos superaban ampliamente los Estándares de Calidad Ambiental de agua Categoría 3: agua para riego de vegetales. Esta investigación tuvo un diseño experimental, longitudinal y explicativo; en la que se realizó un pre y post prueba, el diseño fue Completamente al Azar. Los resultados obtenidos fueron que el hidróxido de calcio es eficiente en el tratamiento de las aguas ácidas, ya que con 10 g por litro de este neutralizante se removió un 52.82% de plomo, 99.96% de sólidos suspendidos y 99.42% sólidos disueltos. Se concluyó que a eficiencia en los tratamientos T1, T2, y T3 fue 57.78 %, 63.24 % y 74.08 % respectivamente, siendo el T3 el más eficiente en la remoción de los parámetros físico-químicos.

Palabras clave: eficiencia, hidróxido de calcio, aguas ácidas, precipitación, sedimentación.

ABSTRACT

The present investigation aimed to evaluate the efficiency of calcium hydroxide in the treatment of the acid waters of the tailings. The location in Cerro de Pasco, a level laboratory, for which a sample of 14 liters of acid water is shown. Which was preserved until arriving at the laboratory for its treatment; The pH was measured in situ, this reached 2.88, which indicated that the water is very acidic. The other parameters were determined in the laboratory, the initial concentrations of some of them were; 0.17 mg / l lead, 1616.44 mg / l sulfate, 2833.33 mg / l suspended solids, 8798.67 uS / cm of conductivity, indicating that they exceeded the Environmental Quality Standards for Category 3 water: water for irrigation of Plants This research had an experimental, longitudinal and explanatory design; In which a before and after the test was performed, the design was Completa al Azar. The results obtained were that calcium hydroxide is efficient in the treatment of acid waters, since with 10 g per liter of this neutralizer was removed 52.82% lead, 99.96% suspended solids and 99.42% dissolved solids. It was concluded that the efficiency of T1, T2, and T3 treatments was 57.78%, 63.24% and 74.08% respectively, with T3 being the most efficient in the removal of physical-chemical parameters.

Key words: efficiency, calcium hydroxide, acid waters, precipitation, sedimentation.

I. INTRODUCCIÓN

Lo que motivó a desarrollar la presente investigación es el gran problema de contaminación causado por la acumulación de relaves en Pasco, en el Distrito de Simón Bolívar, siendo considerado de acuerdo a la revista CRESER (2013) el distrito con mayor contaminación de la región Pasco.

En el oficio N° 425-2011-2012-WTVR/CR en el informe de actividades desarrolladas en la Región Pasco, la relavera almacenó los relaves procedentes de la Concentradora Paragsha desde el año 1943 hasta 1992, en la que acumuló aproximadamente 78 millones de toneladas de relaves en un área de 115 Has, en el distrito de Simón Bolívar. (Agenda Directiva del Consejo Directivo, 2012, p.5).

El centro poblado de Quiucocha se ve afectado por la gran acumulación de relaves mineros, que contiene aguas ácidas con alta carga de metales disueltos y otros materiales. Pues en 1943 la concentradora Paragsha inició sus operaciones en la que procesaba cobre y plomo, zinc y plata. (Libro Blanco, p.13).

El objetivo general de la presente investigación es evaluar la eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio – 2017, como hipótesis general se tiene que el hidróxido de calcio es eficiente en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio – 2017, por lo cual se busca demostrar esta eficiencia en cada tratamiento realizado.

En cuanto a metodología, el diseño de la investigación es experimental, explicativo y longitudinal; se realizaron tres tratamientos y se evaluó la eficiencia del hidróxido de calcio en cada uno de ellos y se determinó el más eficiente.

Este trabajo presenta los siguientes capítulos:

En el capítulo I se presenta la realidad problemática, los trabajos previos, las teorías y conceptos, el problema, la justificación, las hipótesis y los objetivos. En el capítulo II se presenta el método utilizado en la presente investigación, las variables, las técnicas e instrumento de recolección de datos. En el capítulo III, se presentan los

resultados y su interpretación, En el capítulo IV las discusiones. En el capítulo V las conclusiones y en el capítulo VII las recomendaciones.

1.1 Realidad Problemática

La laguna relavera se encuentra a pocos metros del centro poblado de Quiulacocha, el problema de contaminación causado por las aguas ácidas de esta relavera afecta al medio ambiente y a la salud de la población. De acuerdo a la revista CRESER (2013), el distrito de Simón Bolívar es denominado como el histórico distrito más contaminado de la región Pasco, y que se bebe agua contaminada; por lo cual, cerca de dos mil personas sufren de contaminación por plomo en la sangre, debido a las explotaciones mineras irresponsables que contaminan el agua haciéndola inadecuada para el consumo, pues esta presenta altas concentraciones de metales disueltos causado por la gran acidez del agua

Es así que, en el Boletín Labor Pasco Perú N° 6 Valerio Baldeón Poma, Presidente de la Comunidad Campesina de Quiulacocha, manifestó que uno de los problemas que más afecta a su comunidad son los pasivos ambientales que fueron dejados por Centromin Perú, pues han afectado la salud de sus pobladores y ha deteriorado la actividad ganadera. (2006, p. 4).

Por otro lado, en el Informe Técnico N° 30 del Ministerio de Salud-Instituto Nacional de Salud (2005) se realizó un estudio de la evaluación del coeficiente intelectual y la intoxicación por plomo realizado en los niños de 1 a 10 años de Quiulacocha, los resultados obtenidos fueron que el 14.6% tienen coeficiente normal y no están intoxicados, el 73% tiene coeficiente normal pero están intoxicados, el 10.9% tienen riesgo en su desarrollo y están intoxicados, el 4.3% restante tienen retraso en su desarrollo y también se encuentran intoxicados.(p. 11).

1.2 Trabajos Previos

A nivel Nacional

Tuiro, María. (2010) en la tesis titulada *“Evaluación y propuesta de mitigación de efluentes de aguas ácidas de cantera de Caolin”*, el cual fue sustentado en la universidad Nacional de Ingeniería. El objetivo fue proponer un proceso viable que

haga frente a las emisiones de aguas ácidas cumpliendo los estándares de calidad ambiental de las aguas, este trabajo de investigación se desarrolló en base a un problema de contaminación ambiental, en el agua, aire, suelo, flora y fauna causado por efluentes de aguas ácidas. Se tomaron muestras en 3 puntos (CE-1, CE-2, CE-3) y fueron analizadas en el laboratorio, en la que se le agregó dosis de cal hasta alcanzar el pH deseado y se utilizó un floculante para acelerar la sedimentación, también se determinó la eficiencia del tratamiento en cada estación. Se tuvo como resultados que las muestras CE-1, CE-2 y CE-3 tuvieron un pH inicial de 2.3 y 2.2 y 3.8 respectivamente, los SST fueron CE-1= 2350mg/l, CE-2= 2100mg/l, CE-3= 30mg/L, en cuanto a los sulfatos CE-1= 256.5 mg/l, CE-2= 509.5 mg/l, y CE-3= 15.7 mg/l, conductividad CE-1= 1972 uS/cm, CE-2= 1573 uS/cm y CE-3=77 uS/cm, y la carga metálica fue muy alta, principalmente en el As con un 1.833 mg/l (CE-1) por encima de los LMP; en el Cu se obtuvo 5,41 mg/l (CE-2) y en Pb CE-1= 0,144 mg/l, CE-2= 0.121 mg/l y CE-3= 0.006 mg/l. En las pruebas de neutralización en el punto CE-1 con 0.97 g/l de cal elevó el pH a 8.3 y se removió carga metálica (Pb= 0.007 mg/l), sulfatos a 230.4 mg/l, SST= 0.012 mg/l, turbiedad= 0.9 UNT, conductividad= 1386 uS/cm, en el punto CE-2 con un 1.6 g/l de cal elevó el pH a 8.3 logrando remover la carga metálica (Pb= 0.008 mg/l), y los sulfatos a 491.6 mg/l, SST= 0.014 mg/l, turbiedad= 0.8 UNT, conductividad= 1350 uS/cm, en el punto CE-3 con 0.09 g/l de cal elevó el pH a 8.3 logrando remover la carga metálica (Pb= 0.003 mg/l) y los sulfatos a 12.8 mg/l, SST= 0.010 mg/l, turbiedad= 0.5 UNT, conductividad= 193 uS/cm; y los metales descendieron muy por debajo de los ECA agua. Se llegó a la conclusión que la eficiencia de remoción de contaminantes fue superior al 90 % después de la neutralización con cal, y el contenido de metales descendió muy debajo de los límites de calidad de aguas, además se requiere un gasto de cal bajo (al 61.80% CaO). Este trabajo se relaciona con la investigación en curso en el uso de distintas dosis de hidróxido de calcio y la evaluación de la eficiencia de remoción de los parámetros.

Rosas, R y Carranza, J. (2010) en la tesis titulada "*Estudio técnico para el tratamiento de aguas ácidas en los drenajes de la industria minera*", fue sustentado en la universidad Nacional de Trujillo, el objetivo fue suprimir la acidez, precipitar los metales, eliminar los sólidos en suspensión y estabilizar a un pH neutro. La

problemática está en que las explotaciones mineras a cielo abierto dejan sus residuos en la cabecera de cuencas, contaminando el suelo, ríos y acuíferos que abastecen a los pobladores de la zona. Su metodología fue experimental, se realizó cálculos matemáticos de la solución neutralizante (hidróxido de calcio o hidróxido de sodio) necesaria para neutralizar el agua ácida, se tomó los valores experimentales de aguas de mina reportados en la bibliografía; inicialmente el pH se elevó de 2.5 a 4 usando $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para precipitar el Fe, seguido se elevó el pH de 4 a 7 para precipitar el Cr, enseguida se elevó el pH de 7 a 8.1 y precipitó Cu^{+2} , finalmente el pH se elevó de 8.1 a 10.5 para precipitar Zn^{+2} y Ni^{+2} . Se tuvo como resultados que por cada litro de agua de mina es necesario 2,190g de hidróxido de calcio, los hidróxidos metálicos formados fueron 2,023g, el sulfato de calcio formado fue 3,768g, la cantidad de ácido sulfúrico necesario para la estabilización fue 0,015g y la cantidad de sólidos obtenidos fue de 5,791 g/l agua. Se concluyó que, este tratamiento activo se hace cuando la mina se encuentra en operación y la acidez es muy alta; por otro lado, la cantidad necesaria de hidróxido de sodio depende del pH óptimo que se desea alcanzar para precipitar los metales. Este trabajo guarda cierta relación con la investigación en curso en cuanto a la metodología, pues a una muestra de agua ácida se le va aplicando cierta dosis de cal hasta alcanzar el pH deseado para la precipitación de los metales.

Castillo, Victor y Chávez, Rafael (2016) en la tesis titulada *“Influencia del pH y dosis de hidróxido de aluminio sobre el porcentaje de eliminación de sulfatos en agua de mina artificial mediante tratamiento por precipitación mineral”*, el cual fue sustentado en la universidad Nacional de Trujillo, tuvo como objetivo determinar la dosificación de cal para obtener el pH necesario para eliminar los sulfatos del agua de mina superficial realizando la gráfica aumento de pH según dosis de cal. El drenaje ácido de mina causa grandes problemas ambientales por su alto potencial de contaminación en el recurso agua como son los sulfatos, que disueltos en el agua puede ocasionar efectos catárticos y laxantes si es usado para el consumo humano. El diseño fue experimental, se variaron los niveles de pH y las dosis de hidróxido de aluminio ($\text{Al}(\text{OH})_3$), se utilizó 30 volúmenes de 100 ml de agua de mina artificial, se preparó el agua de mina artificial, y para la precipitación de metales se añadió cal al agua ácida y se elevó el pH hasta 11.50, 12 y 12.50 aproximadamente,

como consecuencia los metales de Cu, Mg, Fe y Mn disueltos precipitaron como hidróxidos, luego se dejó reposar la solución por 10 minutos y con una fibra de 0.45 μm se filtró la solución para la separación de los metales que fueron precipitados como hidróxidos, más adelante se añadió la dosis $\text{Al}(\text{OH})_3$ al agua de mina artificial en constante agitación a 1200 rpm en un agitador magnético, por 2 horas. Los resultados fueron que la dosis de hidróxido de aluminio de 2 g/l permite obtener mayores porcentajes de eliminación y por lo tanto, es eficiente, con un pH de 11.50 se obtiene un 89.62 % de eliminación de sulfatos, equivalente a 181 ppm, el cual cumple con lo establecido en la legislación ambiental peruana (aguas residuales debe contener como máximo 250 ppm para ser drenadas a ríos y mares). Se concluyó que existe una influencia entre variar los niveles de pH y la dosis de hidróxido de aluminio en la eliminación de sulfatos como precipitados mediante el tratamiento por precipitación, además, el tratamiento con hidróxido de aluminio fue eficiente ya que removió gran cantidad de sólidos y metales presentes en el agua. Este trabajo se relaciona con la investigación en curso en la metodología, ya que se utilizó distintas dosis de un neutralizante para elevar el pH, así como también, se halló la eficiencia en la remoción de parámetros.

López, José. (2013) en la tesis titulada "*Tratamiento de aguas ácidas provenientes del PAD de lixiviación con NaOH-almidón; en la Cia Minera Sipan SAC, durante el cierre ambiental, distrito de Llapa, Cajamarca, Perú, 2011-2012*" el cual fue sustentado en la universidad Nacional de Trujillo. Su objetivo fue emplear NaOH en los procesos de tratamiento de aguas ácidas, demostrándose su efectividad; y demostrar que los iones de los metales pesados solubles precipitan fácilmente al elevar los niveles de pH en la solución. La metodología fue experimental, se tomó diferentes muestras de aguas ácidas (200ml, 350ml, 450ml, 500ml, 550ml, 600ml) del PAD de lixiviación de la Cia Minera Sipan y fueron sometidos a tratamientos activos, se realizó la comparación de la acción del NaOH-Almidón (de papa) y el uso único de NaOH (al 98%) y un sistema donde se empleó cal (al 98%) que es el parámetro comparativo, las muestras de agua fueron sometidas a diferentes concentraciones de NaOH con almidón y en cantidades repetitivas para sacar un promedio de cada uno de los tratamientos, como muestra comparativa se utilizó las mismas cantidades de aguas ácidas y el agente de tratamiento fue la cal, se aireó

(con un pequeño motor de pecera) la muestra para oxidar la pirita que queda en la muestra, lo que originó el incremento de sólidos disueltos, seguido se agitó para mezclar el almidón con el agua ácida, luego se adicionó el hidróxido de sodio en varias dosis, de igual manera se hizo con la cal, se buscó llegar a un pH entre 6 a 7 y el sedimento se extrajo por decantación”. Los resultados obtenidos de análisis de las aguas ácidas del PAD de lixiviación dieron: en un volumen de 200l, pH inicial 2.24, con la adición de 0.015 g de almidón y NaOH= 1g el pH se elevó a 2.8, tuvo una coloración marrón claro; con un volumen de 450ml pH inicial= 2.24, almidón= 0.015g ,NaOH= 1.50g, pH final= 6.5 y tuvo una coloración verde; con 500ml de muestra pH inicial= 2.24, almidón= 0.015g, NaOH= 1.75g se obtuvo un pH final= 7.5 y tuvo una coloración verde; y en 550ml el pH inicial= 2.24, almidón= 0.015g, NaOH= 2.25g y se obtuvo un pH final= 9.5 y una coloración verde; en la dosis óptima fue 1.50 g de cal ya que el pH final medido 4 días después fue 6.5. En cuanto al tratamiento con cal con 200ml de muestra y un pH inicial constante= 2.24, cal= 2g, se obtuvo un pH final= 2.3 y una coloración crema, en 450ml, cal= 6g, obtuvo un pH final= 4.8 y una coloración marrón claro, en 500ml, cal= 8g, obtuvo un pH final= 6.5 y una coloración marrón claro, en 550ml, cal= 10g, obtuvo un pH final= 10.5 y una coloración marrón claro, la dosis óptima fue 6 g de cal ya que el pH final medido 4 días después fue 6.5. Se concluyó que tanto el NaOH-almidón como la cal redujeron la concentración de metales, pues no superan el 0.001mg/l, es decir no superan los límites máximos permisibles y el requerimiento fue entre 1 - 1.50 gr de NaOH, y en 2 g de cal, para lograr un pH entre 6.2 – 7.3 después de los 4 días de observada, en la cual los iones de los metales solubles, precipitaron al elevarse el de pH en una solución y se formó hidróxidos de metal, los cuales precipitaron. Este trabajo se relaciona con la investigación en curso en el uso de distintas dosis del neutralizante para la precipitación de los metales y otros contaminantes.

Salvá, Miguel (2012) en la tesis titulada *“Tratamiento y remoción de sólidos suspendidos y metales en la cuenca del río Boca Cabana”*, el cual fue sustentado en la Universidad Nacional de Ingeniería. Se planteó como objetivo reducir la cantidad de sólidos suspendidos y la concentración de iones metálicos a niveles permisibles de acuerdo a los ECAs categoría 3. La cuenca no presenta fauna acuática y tiene una escasa vegetación, cuando según sus características

geográficas debería ser todo lo contrario. En cuanto a la metodología el diseño fue experimental, se procedió a calcular la dosis de cal y floculante (Magnafloc a 0.05% w/v) necesarios para realizar el tratamiento y remoción de los metales que superan los estándares ambientales; se adicionó cal en agitación hasta obtener un pH entre 7.5 y 8.0, luego se adicionó floculante en agitación para acelerar la sedimentación. Como resultados se tuvo, antes de la neutralización con cal, pH= 5.1, plomo= 0.396 mg/l, SST= 1684.7 mg/l; después del tratamiento se tuvo un pH= 7.5, conductividad= 1200 Us/cm, plomo= 0.01 mg/l, por lo tanto, para alcanzar un pH entre 7.5 y 8.0 es necesario 0.4 g de cal / litro de agua y 0.5 ml de floculante/ litro de agua. Se concluyó que los SST superan 117 veces el valor establecido por la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations-ONU) para riego (50mg/l) y para la precipitación de iones metálicos, a partir de los datos de laboratorio, es necesario 400 gramos de cal/m³ de agua y la cantidad de floculante a usar para la sedimentación es de 500ml de floculante/m³. Este trabajo se relaciona con la investigación en curso en la parte metodológica, ya que se determinó y evaluó la dosis del neutralizante y el floculante necesario para el tratamiento de aguas ácidas de tal manera que no se supere los estándares de calidad ambiental.

A Nivel Internacional

Calvo, D. et. al. (2013) en el artículo titulado "*Estudio para el Tratamiento de las aguas ácidas por neutralización – precipitación en interior de la Mina Santa Fe, Bolivia*", el cual fue sustentado en la Universidad Técnica de Oruro-Bolivia, tuvo como objetivo realizar una propuesta de tratamiento físico-químico mediante neutralización-precipitación de las aguas ácidas de la mina Santa Fe utilizando una metodología simple y económica. La problemática se basa en la acidez del agua por la intensa actividad minera en Bolivia y como consecuencia genera la disolución de metales tóxicos. En cuanto a su metodología, el trabajo fue experimental en la que se tomó 20 litros de agua ácida del interior de la mina, se realizaron ensayos y repeticiones para la verificación de resultados, los ensayos realizados fueron los de neutralización-precipitación, los cuales fueron realizados por agitación mecánica en un volumen de 500 ml de muestra, en la que se añadió 0,1 g de cal (óxido de calcio

al 62.35 % de pureza) y se esperó la estabilización del pH, luego se añadió nuevamente 0,1 g de cal hasta alcanzar un valor de pH aproximado de 12. Así mismo, se realizaron ensayos utilizando distintas cantidades de floculante, en el primer caso no se añadió floculante, en el segundo 5ml y en el tercer 10 ml. Además, en un ambiente sin corriente se realizó dos ensayos en la que en el primero se utilizó cal en polvo como elemento neutralizante, en el segundo se utilizó lechada de cal. Tuvo como resultados que el pH antes de la neutralización fue de 3.22, sólidos disueltos 5 ppm, plomo 0,048; luego de la neutralización-precipitación en el primer ensayo añadiendo 0.2 g de cal por 500 ml de agua se alcanzó un pH de 6.01 y agregando 0,3 g de cal 9,77; en el segundo ensayo añadiendo 0.2 g de lechada de cal se obtuvo pH= 6,03 y con 0,3 g de lechada de cal pH=10.05. Para el cumplimiento de la norma boliviana el valor de descarga del pH de descarga debe ser entre 6 y 9. Se concluyó que el consumo de cal mínimo para cumplir con la normativa ambiental de descarga debe ser 0,6 g/l de agua ácida y el pH debe estar por encima de 6, entonces para tratar un volumen de agua de 6912m³ es necesario 4150 kg de cal por día y el tiempo necesario para la sedimentación será de 8 minutos utilizando un floculante. Este trabajo se relaciona con la investigación en curso, ya que se utilizan distintas dosis del neutralizante para precipitar metales y sólidos en suspensión y se demostró la eficiencia de la cal para tratar las aguas ácidas de la mina Santa Fé-Bolivia.

Zamora, G. (2006) en el artículo titulado *“Tratamiento físico-químico de drenajes ácidos de mina: Manejo Ambiental de lodos de alta densidad-estabilidad-disposición final o aplicaciones”*, el cual fue sustentado en la Universidad Técnica de Oruro-Bolivia”. Su objetivo fue determinar el grado de eliminación de metales pesados y las condiciones de operación adecuadas en el proceso y alcanzar los niveles de descarga de contaminantes que se enmarquen a la normativa ambiental boliviana. La problemática se basa en que una de las principales fuentes de contaminación del altiplano boliviano son las aguas ácidas generadas por las minas, pues debido a que presentan un pH muy ácido hay presencia de metales disueltos. Se realizó la caracterización físico-química de las aguas ácidas en la que se encontró altas concentraciones de metales como pb= 0.2 ppm y el Cd (12.41 ppm), el pH= 2.5, conductividad 2950 uS/cm y sólidos disueltos <5 ppm. Las

pruebas de neutralización - precipitación se realizaron en un reactor de lixiviación con agitación mecánica con un volumen de 500ml de agua ácida, como neutralizante se utilizó cal (62.35% de pureza). Como resultados se tuvo que utilizando 0.1 g de cal se alcanzó un pH= 5.8, con 0.5 g de cal pH= 7.2 y utilizando 1.2 g de cal se obtuvo un pH= 8.5; para la precipitación de metales fue necesario elevar el pH a 8.8, de tal forma que las concentraciones disminuyeron en gran medida, Pb= 0.1 mg/l, Cd= 0.01 mg/l, conductividad=5 uS/cm, sólidos disueltos= 5mg/l y sulfatos= 1mg/l. Se concluyó que con 1.4 g de cal se logró elevar el pH a 8.8 y con ello fue posible precipitar los metales hasta las concentraciones por debajo de las medidas máximas permisibles. Este trabajo se relaciona con la investigación en curso, en la metodología, ya que se prueban distintas dosis de cal para elevar el pH y de esta manera precipitar metales disueltos y los sólidos en suspensión.

Zamora, G. (2012) en el artículo titulado "*Estudio técnico, económico y ambiental del tratamiento de las aguas ácidas de la mina San José*", el cual fue sustentado en la Universidad Técnica de Oruro-Bolivia. El problema radica en el vertimiento de aguas ácidas de la mina San José al ambiente, contaminando fuentes de agua dulce. Su objetivo fue estudiar técnica, económica, ambiental y social, las alternativas de tratamiento de las aguas ácidas de la mina San José a partir de pruebas a escala de laboratorio. Su metodología fue experimental, en la que estudió varias alternativas de tratamiento, entre ellas el tratamiento de aguas ácidas activo por Neutralización Precipitación con cal y separación sólido-líquido, en la que se aplicó cal al estanque y se homogenizó, luego se descargó el agua neutralizada a la superficie, los lodos se trataron mediante el proceso de solidificación por fraguado y fueron depositados en rajos abiertos, el agua obtenida producto del tratamiento puede ser utilizada en el campamento para duchas, baño y regado de jardines. Como resultados se tuvo que el pH antes de la neutralización fue 1.2 y sulfatos = 16 411 mg/l superando la normativa boliviana, entonces, el consumo mínimo de cal fue 10 g cal por litro de agua ácida de la mina San José, para alcanzar un pH de 6 y para tratar un caudal de 691.2 m³ de agua al día es necesario 6 912 kg de cal por día. Se concluyó que la mejor alternativa para el tratamiento de las aguas ácidas de la mina San José es por Neutralización Precipitación con cal y

separación sólido-líquido, en interior mina. Este trabajo se relaciona con la investigación en curso, ya que se necesitó elevar el pH con una dosis de cal determinada para precipitar materiales que se encontraban en solución.

Bologo V., Maree JP., Carlsson F. (2012) en el artículo titulado *“Application of magnesium hydroxide and barium hydroxide for the removal of metals and sulphate from mine water”*, el cual fue sustentado en el Departamento de Ciencias Aplicadas. Tuvo como objetivo reducir la concentración de metales y sulfatos del agua ácida. La problemática se basó en que la cuenca de Witwatersrand es una gran productora de agua de mina, lo que genera que el agua sea menos apta para el riego de cultivos y haya menos agua disponible para las comunidades. En cuanto a su metodología, fue experimental; en la que se utilizaron aguas de mina de carbón y de mina de oro, esta fue colocada en vasos de precipitado, se aireó para oxigenar el hierro ferroso (II) y se realizó la neutralización con $Mg(OH)_2$ (para ajustar el pH) y la eliminación de sulfatos con $Ba(OH)_2$, se agitó 30 minutos para completar las reacciones de oxidación y precipitación, enseguida se dejó sedimentar el lodo y decantar el agua transparente. Luego se mezcló $Ba(OH)_2$ con agua decantada para la eliminación de los sulfatos y para la eliminación del Ca presente en el agua, esta se pasó a través CO_2 . El calcio y el magnesio se determinaron mediante espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados alcanzados en los parámetros del agua de mina antes del tratamiento fueron pH= 2.4, sulfatos= 4890, pb= 0.52 SDT= 3406 mg/l, mientras que con el tratamiento los resultados obtenidos fueron; pH= 7.7, sulfatos= 24, Pb= 0.50, SDT= 416. Se concluyó que durante el tratamiento con $Mg(OH)_2$ el ácido y la concentración de metales, menos el de calcio y magnesio se redujeron por debajo de los LMP para el agua potable en Sudáfrica, los SDT descendieron debido a la oxidación del Fe^{2+} a Fe^{3+} y su precipitación como $Fe(OH)_3$. Este trabajo se relaciona con la presente investigación en algunas partes de la metodología, como lo es el aireado de la muestra para la oxidación del hierro ferroso a hierro férrico para facilitar su precipitación, además de una constante agitación para el mezclado de la muestra con el neutralizante.

1.3 Teorías relacionadas al tema

1.3.1 Marco Teórico

Según Aduvire (2006) para la formación de drenajes ácidos es necesario la existencia de suficiente cantidad de agua, oxígeno, sulfuros (pirita, pirrotita, marcasita, etc.) y la acción catalizadora de bacterias para acelerar la reacción. Se consideran aguas altamente ácidas cuando tienen un pH de 1.5 a 4.5 y son ligeramente ácidas con un pH de 5 a 7 (p.49).

Además, Aduvire (2006) señala que, debido a que el oxígeno y el agua son componentes esenciales en la reacción, la supresión de cualquiera de ellos paralizará el proceso de formación de aguas ácidas. No obstante, es necesario gran cantidad de oxígeno en relación a un volumen de agua. Por otro lado, la presencia de las bacterias catalizadoras de las reacciones depende de la concentración de molibdeno ya que puede ser tóxico para las bacterias (p. 7).

Lopez, Aduvire y Baretino (2002) manifiestan que el principal objetivo del tratamiento de aguas ácidas es eliminar la acidez, la precipitación de los metales pesados y la eliminación de los sólidos en suspensión. El tratamiento actúa de tal forma que cambia las condiciones de pH, para que se favorezca la formación de especies insolubles y de esta manera facilite la precipitación y retención de carga contaminante (p. 4).

También, Aduvire (2006) señala las aguas ácidas pueden contener elevadas concentraciones de SO_4 , Fe, Mn, Al y otros iones; la presencia de Fe, Al, y Mn disueltos pueden generar iones H^+ por hidrólisis (alta concentración de iones H^+) y así bajar el pH (p.6).

De acuerdo a Schmidt, K; Sharpe, W (2002) menciona que la presencia de los metales en el agua son un factor muy importante, pues son muy tóxicos para la vida acuática, debido a que los metales precipitan al fondo de los arroyos cubriéndolo y destruyendo la vida acuática. (4)

Para Fernández, R., Fernandez, S., Esreban, J. (1986), la oxidación de la pirita desciende el pH, de tal forma que aumenta la solubilidad de los metales pesados

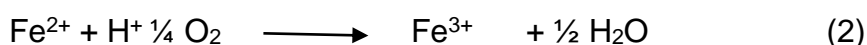
como Fe, Ca, Mg, Al, Mg, Cn, Zn, Pb, etc. El aumento de la solubilidad se debe a las reacciones que se da entre sulfatos, hierro, ácido sulfúrico y elementos que están presentes en las rocas afectadas, por lo cual, existe la presencia de Ca, Mg, Na, Fe, silicatos, etc. en el agua de mina. Es así que la mayor parte de los metales pesados tienden a precipitar cuando el pH aumenta (p. 158).

En cuanto a los procesos generadores de aguas contaminadas por minería Rodríguez, R y García A. (2006) señala que la pirita (FeS₂) es el sulfuro metálico que más se encuentra en explotaciones y residuos mineros. Por lo tanto, cuando se da la oxidación de la pirita, esta genera acidez y se puede expresar de la siguiente manera:



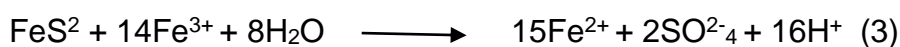
Como se puede observar en la ecuación (1), para la oxidación de la pirita es necesaria la presencia de agua y oxígeno, generándose 2 moles de acidez (protones) por cada mol de pirita oxidado. El azufre es oxidado a sulfato y se libera Fe²⁺.

El hierro ferroso liberado en la reacción (1) puede ser oxidado en presencia de oxígeno y forma hierro férrico según la siguiente reacción.



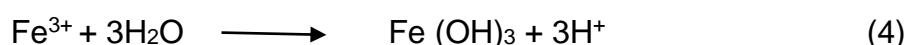
Esta reacción se da muy lenta en medios ácidos, por lo tanto, es necesario que se encuentren presentes las bacterias oxidantes de Fe y S (covierte el Fe²⁺ a Fe³⁺), entre las más comunes se encuentran *Thiobacillus ferrooxidans*, en la que la oxidación del hierro es catalizada cuando el pH se encuentra debajo de 3.5, *Leptospirillum ferrooxidans* y otras.

El Fe³⁺ generado, puede promover la oxidación de la pirita reemplazando al oxígeno de acuerdo a la siguiente reacción:



Esta reacción es más rápida que la reacción (1) y forma 16 moles de acidez, pero está limitada por la regeneración de Fe^{3+} mediante la reacción (2), que depende de la presencia de bacterias.

Así mismo, la hidrólisis del Fe^{3+} se da a un pH 2,7. Por otro lado, el Fe^{3+} puede precipitar como hidróxido férrico a niveles de pH por encima de 3.5 mediante reacciones de hidrólisis similares a la reacción (4) con lo que se genera 3 moles de acidez. El precipitado generado forma el color rojo que se observa en la mayoría de las minas generadoras de ácido.



Respecto al pH en el que precipitan algunos metales Baretino, D. y Loredó, J (2005) sostiene que los metales precipitan como hidróxidos insolubles al reaccionar el sulfato férrico con agentes alcalinos. El hierro ferroso se oxida a hierro férrico haciéndolo insoluble y precipita como hidróxido férrico ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), el hierro precipita a un pH de al menos 6. El aluminio se hidroliza y precipita como $\text{Al}(\text{OH})_2$, y la actividad bacteriana no es de mucha importancia, precipita a un pH de 5 o superior, el pb^{+2} precipita un pH mínimo de 6.3; el manganeso se oxida e hidroliza a MnOOH u óxido de manganeso (MnO_2), para su precipitación es necesario un pH superior a 6; generalmente se da cuando todo el hierro haya precipitado (p. 76).

Tabla Nº 1: Rangos del pH en los que se produce la precipitación algunos metales.

Ion	pH	Ion	pH
Fe (III)	3.5 - 4.5	Na (I)	7.0 – 8.0
Al (III)	4.5 – 6.0	Cd (II)	7.0 – 8.0
Cr (III)	5.5 - 6.5	Hg (II)	7.5 – 8.5
Pb (II)	6.0 – 7.0	Fe (II)	7.5 – 9.0
Cu (II)	6.5 – 7.5	Zn (II)	8.0 – 9.5
		Mn (II)	8.5 – 9.5

Fuente: Singh y Rabat, 1986

En cuanto a los tipos de tratamiento de aguas ácidas, Rodríguez, García, (2006) sostiene que son dos, el tratamiento pasivo y el tratamiento activo. El tratamiento pasivo se basa en la construcción de sistemas que son destinados a potenciar los procesos químicos y biológicos naturales, por lo cual no es necesario una adición

continua de agentes químicos ni energía. Algunos tratamientos pasivos son los humedales, drenajes anóxicos, barreras reactivas permeables, etc. (p.28).

En cuanto al tratamiento activo, Rodríguez, García, (2006) señala que es necesario la adición continua de productos químicos y/o energía, siguiendo un esquema: en el que primero se da la oxidación por métodos físicos, como la aireación en cascado, o el uso de químicos como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), seguido se adiciona de productos químicos como $Ca(OH)_2$ y por último se da la precipitación de los elementos contaminantes. (p.31).

Por otro lado, Manahan (2007) señala que la precipitación química de los metales en se da generalmente en forma de hidróxidos y sales básicas, ya que el anión carbonato es el que produce hidróxidos al reaccionar con el agua (p. 621).

En cuanto al proceso de neutralización Rodríguez, R y García A. (2006) menciona que la opción más sencilla es la neutralización química, que consiste en disminuir las concentraciones de los iones H^+ y OH^- hasta valores cercanos a los que contiene el agua y presenta los siguientes objetivos: neutralizar los líquidos muy ácidos o muy básicos a un pH cercano a 7, ajustar el pH para facilitar otros tratamientos y ajustar el pH, como etapa post a otro tratamiento. (p. 35).

Respecto a las sustancias neutralizantes, Aduvire (2006) señala que el tratamiento con cal hidratada llamada también hidróxido de calcio se usa generalmente para tratar caudales de gran magnitud que presenten condiciones de alta acidez. Debido a que la cal hidratada es hidrófoba, para que se dé una buena mezcla con el agua es necesario un dispositivo de agitación. Sin embargo, esta técnica tiene una limitación cuando se quiere alcanzar un pH muy alto para precipitar metales como el manganeso. (p. 82)

Además, según el Manual de usos ecológicos de la cal (2002) menciona que el hidróxido de calcio es un neutralizante - coagulante muy económico y que da buenos resultados, también, elimina olores. El catión Ca es seguro ambientalmente y las sales que se forman al reaccionar con las aguas ácidas son insolubles lo que causa su precipitación. Una de las ventajas que tiene respecto a otros coagulantes

es su capacidad de precipitar metales pesados tales como: cadmio, plomo, zinc, entre otros. (p.6).

Aduvire (2006) menciona que la precipitación de hidróxidos se realiza para remover los metales disueltos; también, los hidróxidos tienen propiedades de absorción de otros contaminantes. La precipitación se realiza en tres pasos: (I) Oxidación de la muestra para convertir el Fe^{2+} en Fe^{3+} , (ii) aplicación de dosis de álcali, siendo el más económico el hidróxido de calcio, y (iii) la sedimentación que separa el líquido y el sólido formado. (p. 81)

El Manual de usos ecológicos de la cal (2002) señala que, para la sedimentación de las partículas insolubles, antes es necesario realizar la mezcla mediante agitación del neutralizante con el agua ácida para formar precipitados, luego se adiciona el coagulante para la desestabilización de las partículas en suspensión y se adiciona el floculante para unir las partículas desestabilizadas, de tal manera que estas aumentan su tamaño y sedimentan. (p. 5).

En cuanto al mezclado, Ruiz, Oscar señala que existen dos tipos, el mezclado rápido se realiza para desestabilizar las partículas suspendidas, se da entre el coagulante y el agua a tratar y el mezclado lento se da para la floculación. (p.3).

1.3.2 Marco conceptual

Eficiencia del hidróxido de calcio

La eficiencia es la reducción porcentual de ciertos indicadores o determinadas sustancias; de modo que, se requiere de la determinación de las concentraciones de cada indicador presentes en las muestras de agua. (Asociación Andina de Empresas e Instituciones de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado, 1994)

El hidróxido de calcio es una base que reacciona contra la acidez, y los metales elevando el pH, también es un coagulante económico que tiene la capacidad de precipitar metales y otros sólidos que se encuentran disueltos y de esta manera facilita su remoción; por lo cual, es utilizado en diversos tratamientos químicos. (Manual de usos ecológicos de la cal, 2002, p.4).

Tratamiento de aguas ácidas

El tratamiento de aguas es un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos, de tal forma que se modifique de manera favorable algunas características de las aguas contaminadas. Las aguas ácidas tienen un pH muy bajo, contienen gran cantidad de sólidos disueltos y un alto contenido de metales. Las aguas ácidas sufren algunas alteraciones físicas, químicas y biológicas y dan origen a drenajes ácidos de mina. (López, E, Aduvire, O y Baretino, D, 2002, p. 45)

Precipitación

Formación de sólidos por adición de sustancias químicas que generalmente caen al fondo de la solución. El precipitado son numerosas partículas de pequeño tamaño (Riaño, 2007, p. 120).

Coagulación

Es un proceso mediante el cual las partículas que se encuentran suspendidas o en solución son desestabilizadas, favoreciendo al acercamiento de ellas. (Aguilar, 2002, p. 35)

Sedimentación

Es el proceso en el cual las partículas densas que se encontraban suspendidas caen al fondo, en las que son separadas y recogidas las partículas sólidas. (Rico, Pérez, Castellanos, 2008, p. 39).

1.3.3 Marco Legal

1.3.3.1 Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.

El objetivo primordial de este protocolo es la preservación sanitaria y ambiental de la calidad de los recursos hídricos con la finalidad de preservar la salud de la población, asegurar la calidad de las aguas y mantener el equilibrio ecológico en los hábitats acuáticos.

1.3.3.2 Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua. D.S. N° 004-2017--MINAM

Los estándares de calidad ambiental son mecanismos implementados para cumplir la política nacional y las normas ambientales del país, así mismo son indicadores que miden los parámetros físicos, químicos, entre otros.

1.4 Formulación del problema

1.4.1 Problema General

- ¿Cuál fue la eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio - 2017?

1.4.2 Problemas Específicos

- ¿Cuál fue la dosis óptima de hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio - 2017?
- ¿Cuál fue la reducción porcentual de plomo, sólidos suspendidos y sólidos disueltos después del tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio - 2017?

1.5 Justificación del estudio

La gran contaminación que existe en Quiulacocha, como lo menciona La Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública (2008), Cerro de Pasco está contaminado por metales como cadmio, arsénico y plomo en el agua, de tal forma que afecta la salud de la población, Se optó por la presente investigación debido a que actualmente existe escasa información respecto a la laguna relavera de Pasco y su tratamiento.

La presente investigación se justifica debido a que se evaluó la eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, lo cual fue útil ya que permitió conocer la dosis más eficiente para tratar dicha agua y reducir los parámetros que superaban los estándares de calidad ambiental para agua de categoría 3; con esto se contribuye a una posible solución a la gran

problemática de las aguas ácidas que aqueja a la comunidad de Quiulacocha y a gran parte de Cerro de Pasco.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis General

- El hidróxido de calcio es eficiente en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio - 2017.

1.6.2 Hipótesis Específicas

- La dosis óptima de hidróxido de calcio genera un efecto significativo en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio – 2017.
- La reducción porcentual de plomo, sólidos suspendidos y sólidos disueltos es mayor a 70% después del tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio – 2017.

1.7 Objetivos

1.7.1. Objetivo General

- Determinar la eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio - 2017.

1.7.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la dosis óptima de hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio – 2017.
- Evaluar la reducción porcentual de plomo, sólidos suspendidos y sólidos disueltos después del tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio – 2017

II. MÉTODO

2.1 Diseño de la investigación

El diseño de investigación fue experimental, en la que se operaron dos variables una independiente y otra dependiente, se manipuló la variable independiente, aplicando los tratamientos con distintas dosis de hidróxido de calcio sobre la variable dependiente (tratamiento de aguas ácidas y procedió a evaluar y determinar en el laboratorio los parámetros físico-químicos de la muestra de agua ácida de la relavera y antes y después de los tratamientos.

Hernández Sampieri, Fernández y Baptista (2010) señala que el diseño experimental se refiere a un estudio en el que se manipulan una o más variables independientes, para luego analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes. (p. 160)

El tipo de estudio fue explicativo, pues se explicarán las causas de los fenómenos que se den en el tratamiento de las aguas ácidas de la relavera aplicando diferentes dosis de hidróxido de calcio. Entonces, Hernández Sampieri, Fernández y Baptista (2010) señala que un estudio explicativo se centra en explicar el por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da. (p. 102)

Según su prolongación en el tiempo es longitudinal, ya que hay un registro y comparación de los datos observados antes y después del tratamiento de las aguas ácidas con el hidróxido de calcio.

2.2 Variables, operacionalización

2.2.1 Variables

- Variable Independiente (**VI**): Eficiencia del hidróxido de calcio
- Variable Dependiente (**VD**): Tratamiento de las aguas ácidas

2.2.2 Operacionalización

Cuadro N° 1: Operacionalización de Variables

Eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio, 2017						
Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición	Diseño Metodológico
EFICIENCIA DEL HIDRÓXIDO DE CALCIO	La eficiencia es la reducción porcentual de ciertos indicadores o determinadas sustancias. (Asociación Andina de Empresas e Instituciones de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado, 1994). El hidróxido de calcio es una base que reacciona contra la acidez y los metales ya que eleva el pH, también es un coagulante económico que tiene la capacidad de precipitar metales y otros sólidos que se encuentran disueltos y de esta manera facilita su remoción. La eficiencia de esta base depende de las dosis a utilizar y alcanzar la máxima remoción de metales pesados y otras impurezas. (Manual de usos ecológicos de la cal, 2002, p.4).	Se pesaron las 3 dosis (6 g/l, 8g/l y 10g/l) de hidróxido de calcio en la balanza analítica. La dosis óptima es aquella que permita alcanzar un pH entre 6.5 – 8.5 según los ECA agua, y la que precipite y remueva la mayor cantidad de metales, sólidos en suspensión y sólidos disueltos.	Dosis de Ca(OH) ₂	Bajo	5-6 g/l	
				Medio	7-8 g/l	
				Alto	9-10 g/l	
			Reducción porcentual	Pb removido	%	
				SST removido	%	
				SDT removido	%	
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS ÁCIDAS	El tratamiento de aguas es un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos, de tal forma que se modifique de manera favorable algunas características de las aguas contaminadas. Las aguas ácidas tienen un pH muy bajo, contienen gran cantidad de sólidos disueltos y un alto contenido de metales. Así mismo, sufren algunas alteraciones físicas, químicas y biológicas y dan origen a drenajes ácidos de mina. (López, E, Aduvire, O y Baretino, D, 2002).	Se midió los parámetros físico-químicos antes de la aplicación de las dosis de Ca(OH) ₂ a las muestras de aguas ácidas como: pH, conductividad, turbidez, SST, SDT, sulfatos y plomo. Luego se procedió a oxigenar la muestra por 15 minutos y en la prueba de jarras se utilizó 3 vasos de precipitado con 500ml de agua ácida y se aplicó las 3 dosis de Ca(OH) ₂ a una mezcla rápida de 240 rpm por 30 minutos. Luego, se esperó a la estabilización del pH y se procedió a medir en cada vaso los parámetros físico-químicos.	Características físicas	Turbidez	NTU	Metodología: Técnica: la observación
				Conductividad	uS/cm	
			Características químicas	pH	0-14	Diseño: experimental Explicativo Longitudinal
				Plomo	mg/l	
				SST	mg/l	
				SDT	mg/l	
				sulfatos	mg/l	

Fuente: Elaboración propia

2.3 Población y muestra

2.3.1 Población

La población está conformada por una Laguna de Pasco, esta es una laguna de relaves que tiene una superficie de 114 has, está localizada a 4340 metros de altitud, la laguna se encuentra casi totalmente rellena por aproximadamente 26 400 000 m³ de rocas de desecho que cubren 94 has y contiene cerca del 60 % de pirita (Bianchini, 2009, 62p.). La laguna - relavera presenta dos tipos de relaves; los relaves ricos en zinc y plomo y los relaves ricos en cobre. (Wade C. et al., 2006).

Según LAGESA Ingenieros Consultores (1998) el volumen acumulado de agua en la relavera es de 348 281 m³ aproximadamente.

2.3.2 Muestra

La muestra recolectada fue en total 14 litros de agua ácida, en la que se utilizaron 14 frascos de polietileno de 1 litro de capacidad. La muestra fue simple, ya que se recogió una sola vez para determinar la eficiencia del hidróxido de calcio evaluando las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos de las aguas ácidas y la dosis óptima de hidróxido de calcio para su tratamiento.

2.3.3 Muestreo

El muestreo se tomó a 30cm de profundidad en un solo punto de acceso seguro, se evitó la presencia de espuma superficial, el punto de muestreo estuvo ubicado cerca al pueblo de Quiulacocha, en algunos bordes de la laguna había presencia de escasos pastizales. Para el muestreo, se tomó en cuenta el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales con Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA, donde describe los procedimientos para la toma de muestra, los materiales a usar, codificación de los puntos de muestreo, preservación de la muestra entre otros.

El muestreo fue no probabilístico por conveniencia, ya que no se hace uso de la estadística para la elección de los puntos de monitoreo, además, la muestra fue tomada de acuerdo a las posibilidades del investigador, debido a que no se pudo

acceder a la parte central de la laguna, pues hubo presencia del personal de la minera; para Hernández, Fernández y Baptista (2010), en el muestreo probabilístico, el tamaño de la muestra depende del criterio del investigador.

Hernández Sampieri, Fernández y Baptista señala que en el muestreo no probabilístico la elección de los sujetos no depende de que todos tengan la misma probabilidad de ser elegidos, sino de la elección del investigador o grupo de personas que recolectan los datos. (2010, p. 262)

La estación de muestreo de agua, fue seleccionada siguiendo los criterios establecidos en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales con Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA, cuyas características se detallan a continuación:

Cuadro N° 2: Ubicación del punto de muestreo de la relavera

Muestras	Ubicación	Coordenadas WGS 84	
		Este	Norte
LQ	Al lado del pueblo Quiulacocha	359 391.12	8 817 108.02

Fuente: Elaboración propia

Criterios de inclusión y exclusión de la muestra

a. Criterios de inclusión

Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales con Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA, el cual indica lo siguiente:

- La muestra de agua debe ser tomada el más lejano al borde de la laguna, para que esta sea representativa.
- La muestra de agua debe ser obtenida de un punto cercano a la comunidad de Quiulacocha.

b. Criterios de exclusión

- Se excluye el agua con presencia de espuma superficial

Unidad Experimental

Los litros de agua ácida recolectados de la relavera de Pasco.

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Yuni, José y Urbano, Claudio señala que la técnica de recolección de datos indica los procedimientos para la generación de información válida y confiable, para luego ser utilizado como datos científicos; uno de los métodos más utilizados es la observación. (28, 29 p.).

2.4.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.4.1.1 Técnica

La técnica utilizada fue la observación para evaluar la eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, la razón por la que se utilizó esta técnica fue porque es una investigación experimental en la que la recolección de datos estuvo controlada por el investigador, porque este puede manipular las variables.

Hernández Sampieri, Fernández y Baptista (2010) afirma que la observación consiste en el registro sistemático, válido y confiable de los comportamientos o conductas que manifiesta el estudio. (p. 316). Por lo tanto, se observará el comportamiento y los cambios que se presenten en las aguas ácidas de una relavera de Pasco después del tratamiento con diferentes dosis de hidróxido de calcio.

2.4.1.2 Instrumento de recolección de datos

La recolección de datos se dio mediante la generación de fichas de observación (ver Anexo N° 2) lo cual permitió los cambios generados en las variables.

2.4.1.3 Validez y confiabilidad

La validez del instrumento se dio mediante la validación de los expertos, que mediante su amplia experiencia evaluarán el presente trabajo y darán las observaciones del caso.

La confiabilidad es cuando se obtienen los mismos resultados al medir eventos varias veces. Es así que, se trabajó con una confianza del 5% en el programa SAS.

2.5 Procedimiento a seguir en la presente investigación

2.5.1 Metodología del desarrollo

Recolección de muestra

Se siguió lo establecido en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.

Materiales y equipos utilizados en el muestreo

Materiales	Reactivos	Equipos
-Fascos de polietileno de boca ancha de 1 litro -Bolsas plásticas, marcadores indelebles -Etiquetas para la identificación de fascos -Cadena de custodia, lapicero, sogá, balde -Cooler, guantes descartables, libreta de campo, -Tiras de papel con indicador de pH	-Ácido nítrico	- GPS -Cámara fotográfica Papel de tornasol (medidor de pH)

En campo

En la recolección de muestras se evitó agitar los sedimentos que se encontraban en la laguna. Antes de tomar las muestras, se enjuagó los fascos 3 veces con el agua que fue recolectada para eliminar posibles sustancias que alteren la muestra, se agitó y desechó el agua de lavado. Las muestras fueron tomadas directamente del cuerpo de agua a 20 cm de profundidad aproximadamente.

Se tomó 14 muestras de agua en cada estación de muestreo (LQ) en frascos de polietileno de 1 litro, estas fueron combinadas en un depósito grande previamente lavado. A dos frascos se le añadió 4 ml de HNO₃ para su conservación, estas muestras se utilizaron para el análisis de plomo.

A las muestras restantes se las trajo intactas, se las preservó en un cooler con hielo para que se mantengan a baja temperatura. Además, en el campo se recogió adicionalmente en un balde agua de la laguna y se midió el pH in situ obteniéndose un valor de 2.6.

Las muestras fueron llevadas al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria la Molina, en las que se analizó plomo y sulfatos. Las muestras restantes fueron analizadas en el laboratorio de Calidad de la Universidad César Vallejo, los parámetros analizados fueron, pH, turbidez, sólidos en suspensión, sólidos disueltos y conductividad.

Estándares utilizados en la evaluación de las aguas

Para la evaluación del agua de la relavera Quiuacocha se utilizó los Estándares de Calidad Ambiental para Aguas (ECAs) - Categoría 3: Riego Vegetales y Bebida de Animales. Los parámetros evaluados fueron: sulfatos, pH, conductividad eléctrica, sólidos en suspensión, turbidez y plomo.

Tabla N° 2: Estándares de Calidad Ambiental para Agua Categoría 3: agua para riego de vegetales

Parámetros	Unidad	Riego de vegetales	Bebida de animales
pH	Unidad de pH	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5
Sulfatos	mg/l	1000	1000
Conductividad	(uS/cm)	2500	5000
Plomo	mg/l	0.05	0.05

Fuente: DS N° 004-2017-MINAM

Los ECA –categoría 3 no determinan las concentraciones máximas para los sólidos en suspensión totales y la turbidez. Sin embargo, la FAO (Food and Agriculture

Organization of the United Nations-ONU) establece como concentración máxima para los sólidos en suspensiones totales 50mg/l para riego de vegetales.

Tratamientos con 3 dosis diferentes de hidróxido de calcio

Los tratamientos consistieron en neutralizar del agua ácida, precipitar los metales y sedimentar de los sólidos formados, la fase experimental se llevó a cabo con un total de tres tratamientos con 3 dosis diferentes de hidróxido de calcio y 3 repeticiones por cada tratamiento, además, se promedió los resultados obtenidos en los 3 tratamientos y las 3 repeticiones.

Lo primero que se hizo fue oxigenar la muestra con un motor de pecera para la oxidación del hierro ferroso a hierro férrico y facilitar su precipitación y remoción.

- **Tratamiento N° 1: dosis – 6 g/l Ca(OH)₂**

El tratamiento se llevó a cabo en la prueba de jarras, con un mezclado rápido a 240 revoluciones por minuto (rpm) por un tiempo de 30 minutos de agitación, en la que se colocó 3 vasos con 500 ml de agua ácida para mezclarlo con 3 g de hidróxido de calcio. Luego, se finalizó con la fase de sedimentación en la cual se dejó el agua en reposo hasta que los sólidos quedaran en el fondo del recipiente.

- **Tratamiento N° 2: dosis – 8 g/l Ca(OH)₂**

En la prueba de jarras, con un mezclado rápido a 240 revoluciones por minuto (rpm), en un vaso con 500 ml de agua ácida se mezcló 4g de hidróxido de calcio por un periodo de 30 minutos. Luego, se finalizó con la fase de sedimentación.

- **Tratamiento N° 3: dosis – 10 g/l Ca(OH)₂**

De igual forma como en los tratamientos anteriormente mencionados, en la prueba de jarras se utilizó un vaso con 500 ml de agua ácida y se colocó en el agitador con 5 g de hidróxido de calcio con un mezclado rápido de 240 revoluciones por minuto (rpm) por 30 minutos y se dejó sedimentar

Al finalizar los tratamientos se procedió a medir el pH, conductividad, sulfatos, plomo, SSR, SDT de la muestra sobrenadante.

Tratamiento más eficiente

El tratamiento más eficiente utilizando hidróxido de calcio fue aquel que con cuya dosis removió la mayor cantidad de metales e impurezas que se encontrabas disueltas y suspendidas en la muestra de agua.

2.5.2 Metodología para el método estadístico

La investigación se realizó mediante un Diseño Completamente al Azar (DCA) con un solo factor, con un total de 3 tratamientos y 3 repeticiones, en el que se seleccionó el más eficiente.

Modelo Estadístico: $y_{ij} = \mu + \tau_i + u_{ij}$, $i = 1, 2 \dots, t$ $j = 1, \dots, n_i$

Donde:

Y_{ij} = es la respuesta (variable de interés o variable medida)

μ = media general del experimento

τ_i = efecto del tratamiento i = tratamientos

E_{ij} = error aleatorio asociado a la respuesta Y_{ij} j = repeticiones

Para el análisis estadístico los datos fueron procesados en el software SAS, en la que se utilizó la Prueba Estadística ANOVA, y como prueba de contraste de utilizó la Prueba de Duncan. Además, se utilizó el software Microsoft Excel para la representación de datos mediante: tablas y gráficos de barras que muestren la eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de los relaves de Pasco.

2.6 Aspectos éticos

Según Arguello (2001) la ética ambiental considera la relación entre el hombre y el medio ambiente, por lo cual tiene un papel importante en la construcción de la

conciencia ambiental, pues se ocupa de las acciones y valores de los seres humanos hacia los ambientes naturales.

Entonces, la ética ambiental es importante porque el ser humano es el responsable de la contaminación ambiental, en este caso de la contaminación del agua por los drenajes ácidos que son abandonados. La ética ambiental implica ser conscientes de las acciones que tomemos y los valores que tengamos en cuanto al cuidado del medio ambiente.

III. RESULTADOS

3.1 Resultados del análisis del agua ácida

La muestra fue analizada para observar las concentraciones que tiene antes de aplicar los tratamientos con dosis de hidróxido de calcio.

3.1.1 Resultados iniciales

Los parámetros que se indican en el siguiente cuadro se obtuvieron antes de aplicar el tratamiento (dosis de hidróxido de calcio y sedimentación).

Cuadro Nº 3: Evaluación de los parámetros físico-químicos de las aguas de la relavera de Pasco – Estación LQ:

Agua de la relavera de Pasco					
Parámetros físico-químicos	Rep1	Rep2	Rep3	Promedio	ECA-Cat.3
pH	2.86	2.88	2.90	2.88	6.5 – 8.5
Sulfatos (mg/l)	1529.17	1703.71	...	1616.44	1000
Conductividad (uS/cm)	8880	8705	8811	8798.67	2500
Plomo (mg/l)	0.17	0.16	...	0.17	0.05
Turbidez (NTU)	4.01	4.52	4.65	4.39	
Sólidos suspendidos (mg/l)	2889	2905	2760	2833.33	* 50
Sólidos disueltos (mg/l)	24703	23928	24085	24238.67	-----

Fuente: Elaboración propia

ECAs: Estándares Nacionales de la calidad ambiental para agua categoría III - Clase D1: Agua para riego de vegetales.

* Concentración máxima según la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations-ONU)

Se realizaron 3 repeticiones por cada parámetro excepto plomo y sulfatos.

Como se observa en el cuadro N° 3 los valores de los parámetros evaluados en el laboratorio sobrepasan lo establecido en el DS 004-2017-MINAM.

3.2 Resultados después de los tratamientos

Cuadro N° 4: Resultados después del tratamiento N° 1

Tratamiento N° 1 – 6g/l Ca(OH)2					
Parámetros físico-químicos	Rep1	Rep2	Rep3	Promedio	ECA-Cat.3
pH	4.40	5.08	4.58	4.68	6.5 – 8.5
Sulfatos (mg/l)	1236.22	1215.68	1202.03	1217.98	1000
Conductividad (uS/cm)	4450	4610	4650	4570	2500
Plomo (mg/l)	0.16	0.16	0.15	0.16	0.05
Turbidez (NTU)	0.92	0.89	0.91	0.91
Sólidos suspendidos (mg/l)	10	10.13	10.21	10.11	* 50
Sólidos disueltos (mg/l)	240.04	234.14	258.01	244.06

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en el cuadro N° 4, con el tratamiento N° 1 los parámetros físico-químicos disminuyen, pero siguen superando los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua de Categoría 3.

Cuadro N° 5: Resultados después del tratamiento N° 2

Tratamiento N° 2 - 8g/l Ca(OH)2					
Parámetros físico-químicos	Rep1	Rep2	Rep3	Promedio	ECA-Cat.3
pH	6.01	5.55	6.15	5.90	6.5 – 8.5
Sulfatos (mg/l)	1128.01	1128.13	1127.89	1127.95	1000
Conductividad (uS/cm)	2536	2550	2538	2541.33	2500
Plomo (mg/l)	0.13	0.121	0.129	0.13	0.05
Turbidez (NTU)	0.74	0.66	0.68	0.69
Sólidos suspendidos (mg/l)	9.86	9.73	9.48	9.69	* 50
Sólidos disueltos (mg/l)	176.15	186.36	180.01	180.84

Fuente: Elaboración propia

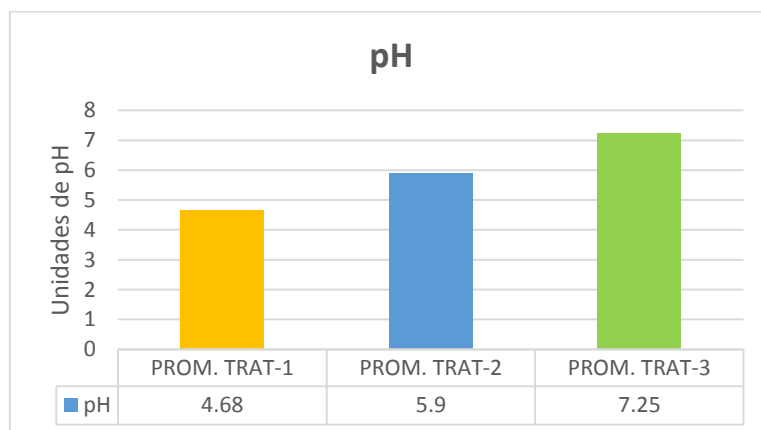
Como se observa en el cuadro N° 5, con el tratamiento N° 2 los parámetros físico-químicos disminuyeron más que con el tratamiento N° 1, pero estos aún superan los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua de Categoría 3.

Cuadro N° 6: Resultados después del tratamiento N° 3

Tratamiento N° 3 - 10g/l Ca(OH) ₂					
Parámetros físico-químicos	Rep1	Rep2	Rep3	Promedio	ECA-Cat.3
pH	7.28	7.33	7.15	7.25	6.5 – 8.5
Sulfatos (mg/l)	1001.1	999.89	1000	1000.33	1000
Conductividad (uS/cm)	2180	2185	2210	2191.67	2500
Plomo (mg/l)	0.11	0.05	0.06	0.07	0.05
Turbidez (NTU)	0.20	0.19	0.17	0.19
Sólidos suspendidos (mg/l)	1.13	1.05	0.90	1.03	* 50
Sólidos disueltos (mg/l)	146.03	135.49	140.04	140.52

Fuente: Elaboración propia

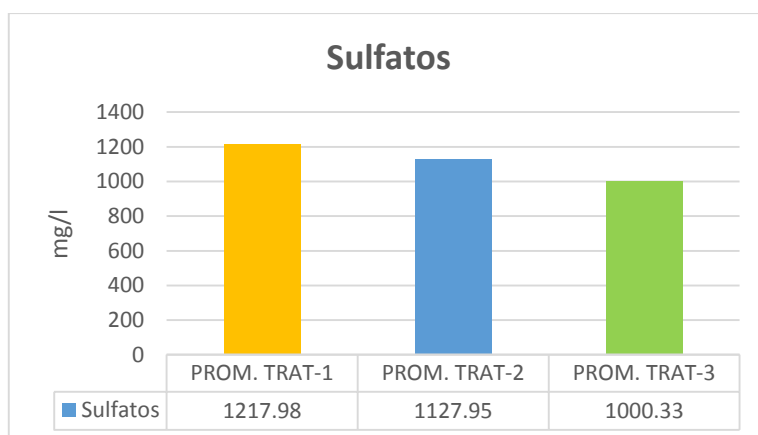
Como se observa en el cuadro N° 6, con el tratamiento N° 3, los parámetros físico-químicos disminuyeron en gran medida en comparación con los otros tratamientos. El pH, conductividad, turbidez, sólidos suspendidos y sólidos disueltos no superaron los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua de Categoría 3, mientras que la concentración de plomo y sulfatos también disminuyeron, pero aún superan los Estándares de Calidad Ambiental para el agua.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 1: Promedio del pH en los 3 Tratamientos

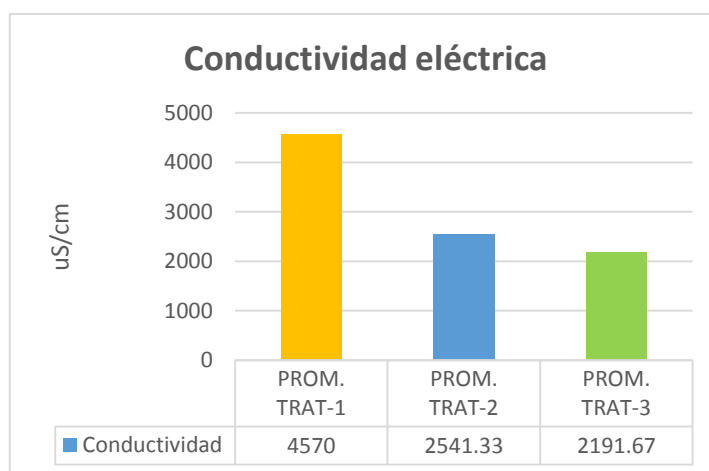
En el gráfico N° 1, se observa que con el tratamiento N° 3 EL pH subió considerablemente comparado con los otros tratamientos, encontrándose este parámetro dentro de los ECA agua Cat.3 (6.5-8.5).



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 2: Promedio de la concentración de sulfatos en los 3 Tratamientos

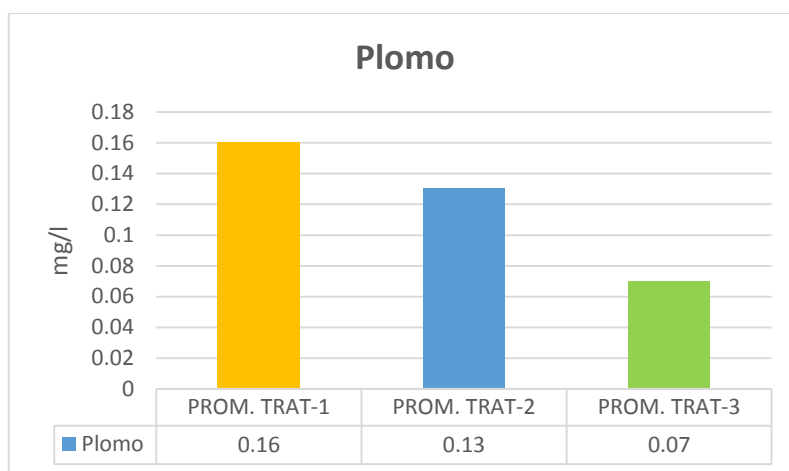
En el gráfico N° 2 se observa que el tratamiento más eficiente fue el N°3 con un 38.12% de remoción de sulfatos, pero este aún supera los ECA agua Cat.3 (1000 mg/l).



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3: Promedio de la conductividad eléctrica en los 3 Tratamientos

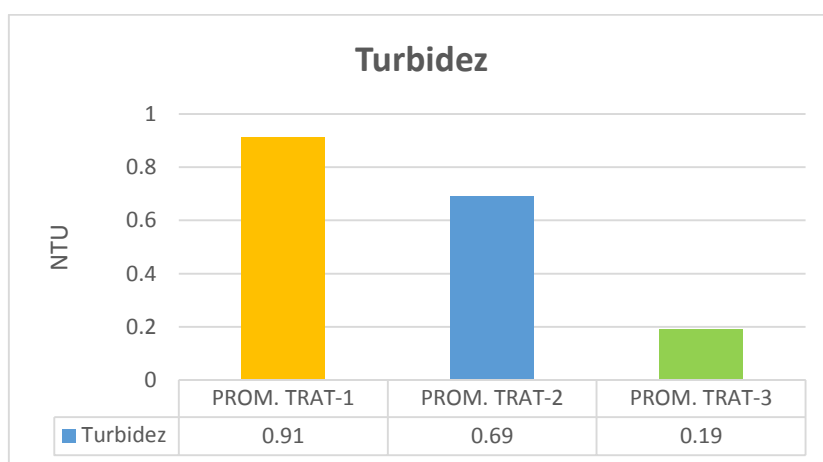
En el gráfico N° 3 se observa que el mejor tratamiento fue el N° 3, ya que este fue el que más disminuyó la conductividad eléctrica en comparación a los otros tratamientos, y no supera los ECA agua Cat.3 (2500 uS/cm).



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 4: Promedio de la concentración de plomo en los 3 Tratamientos

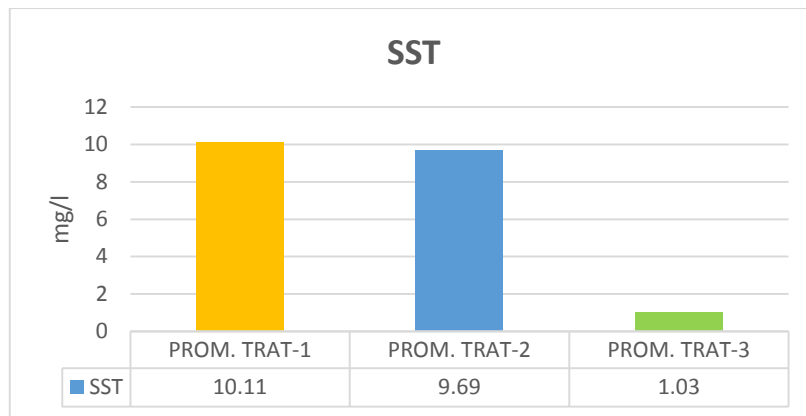
En el gráfico N° 4 se observa que el tratamiento más eficiente fue el N°3 con un 58.82% de remoción de plomo, pero este aún supera los ECA agua Cat.3 (0.05 mg/l).



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 5: Promedio de la turbidez en los 3 Tratamientos

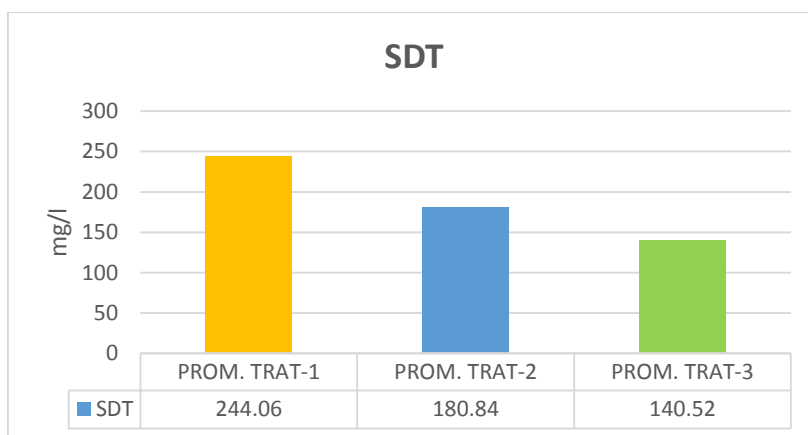
En el gráfico N° 5, se observa que el mejor tratamiento es el N°3, ya que este fue el que más disminuyó la turbidez del agua.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 6: Promedio de los sólidos suspendidos totales en los 3 Tratamientos

En el gráfico N° 6 se observa que el tratamiento más eficiente fue el N°3 con un 99.96% de remoción de sólidos suspendidos totales, y no supera lo establecido por la FAO. (50 mg/l).



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 7: Promedio de los sólidos disueltos en los 3 Tratamientos

En el gráfico N° 7 se observa que el tratamiento más eficiente fue el N°3 con un 99.42% de remoción de sólidos suspendidos totales.

Eficiencia del hidróxido en el tratamiento de las aguas ácidas

Para hallar la eficiencia del hidróxido de calcio se utilizó la siguiente fórmula.

$$Ef (\%) = \frac{Ci - Cf}{Ci} \times 100$$

Ef= Eficiencia en %
 Ci= Concentración inicial de los indicadores
 Cf= Concentración final de los indicadores

Cuadro 7: Eficiencia de remoción de parámetros con 6 g/l de hidróxido de calcio:

Tratamiento N° 1: 6g/l Ca(OH) ₂					
Muestra	Rep1	Rep2	Rep3	Promedio de % Eficiencia	ECA-Cat. 3
	% Eficiencia	% Eficiencia	% Eficiencia		
pH	4.40	5.08	4.58		6.5 – 8.5
Sulfatos (mg/l)	23.52	24.80	25.64	24.65	1000
Plomo (mg/l)	5.88	5.88	11.76	7.84	0.05
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	99.65	99.64	99.64	99.64	* 50
Sólidos disueltos totales (mg/l)	99	99.03	98.94	99	

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro N° 7, se observa que con el Tratamiento N° 1 la eficiencia total de remoción de los parámetros físico-químicos fue del 57.78 %.

Cuadro N° 8: Eficiencia de remoción de parámetros con 8 g/l de hidróxido de calcio

Tratamiento N° 2 – 8 g/l Ca(OH) ₂					
Muestra	Rep1	Rep2	Rep3	Promedio de % Eficiencia	ECA-Cat. 3
	% Eficiencia	% Eficiencia	% Eficiencia		
pH	6.01	5.55	6.15		6.5 – 8.5
Sulfatos (mg/l)	30.22	30.21	30.22	30.22	1000
Plomo (mg/l)	23.53	28.82	24.12	23.53	0.05
Sólidos suspendidos (mg/l)	99.65	99.66	99.67	99.66	* 50
Sólidos disueltos (mg/l)	99.27	99.23	99.36	99.25	

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro N° 8, se observa que con el Tratamiento N° 2 la eficiencia total de remoción de los parámetros físico-químicos fue del 63.24 %.

Cuadro N° 9: Eficiencia de remoción de parámetros con 10 g/l de hidróxido de calcio

Cuadro N° 9: Eficiencia de remoción de parámetros con 10 g/l de hidróxido de calcio

Tratamiento N° 3 – 10 g/l Ca(OH) ₂					
Muestra	Rep1	Rep2	Rep3	Promedio de % Eficiencia	ECA-Cat. 3
	% Eficiencia	% Eficiencia	% Eficiencia		
pH	7.28	7.33	7.15		6.5 – 8.5
Sulfatos (mg/l)	38.07	38.14	38.14	38.12	1000
Plomo (mg/l)	35.30	70.59	64.71	58.82	0.05
Sólidos suspendidos (mg/l)	99.96	99.96	99.97	99.96	* 50
Sólidos disueltos (mg/l)	99.40	99.44	99.42	99.42	

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro N° 9, se observa que con el Tratamiento N° 3 la eficiencia total de remoción de los parámetros físico-químicos fue del 74.08 %.

3.3 Análisis Estadístico

Prueba ANOVA de un factor

Hipótesis nula (H₀): El hidróxido de calcio no es eficiente en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio - 2017

Hipótesis alterna (H₁): El hidróxido de calcio es eficiente en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio – 2017.

Confiabilidad Alfa: 0.05= 5%

Tabla N° 3: Resultados estadísticos de ANOVA para el pH

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F Value	Pr > F
Entre tratamientos	2	9.89055556	4.94527778	64.14	<.0001
Error	6	0.46260000	0.07710000		
Total	8	10.35315556			

R-Cuadrado	Coef. Var	Raiz MSE	VR MediA
0.955318	4.668447	0.277669	5.947778

Fuente: Elaboración propia

De la tabla N° 3 el análisis de varianza para el pH obtenido después de los tratamientos nos dio un valor de significancia ($Pr > F$) menor de 0.05, es decir, las medias presentan diferencia significativa entre los tratamientos; lo que indica que, en al menos uno de los tratamientos la media del pH es diferente y las variables están relacionadas. Para conocer la media que presenta diferencia significativa, se sometió a la prueba de contraste de Duncan.

Tabla N° 4: Prueba de Duncan

Duncan Groupin	Mean	N	Tratamiento
A	7.2533	3	T3
B	5.9033	3	T2
C	4.6867	3	T1

Alfa: 0.05

Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Fuente: Elaboración propia

Respecto a la tabla N° 4, se observa que con los tres tratamientos se obtiene un pH diferente, siendo T3 el mejor tratamiento.

Tabla N° 5: Resultados estadísticos de ANOVA para sulfatos

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F Value	Pr > F
Entre tratamientos	2	71585.07928	35792.53964	301.64	<.0001
Error	5	593.29267	118.65853		
Total	7	72178.37195			

Fuente: Elaboración propia

R-Cuadrado	Coef. Var	Raiz MSE	VR MediA
0.991780	0.977962	10.89305	1113.853

De la tabla N° 5: el análisis de varianza para sulfatos obtenido después de los tratamientos nos dio un valor de significancia ($Pr > F$) menor de 0.05, lo que indica

que al menos en uno de los tratamientos la media de la concentración de sulfatos es diferente y las variables están relacionadas. Para conocer la media que presenta diferencia significativa, se sometió a la prueba de contraste de Duncan.

Tabla N° 6: Prueba de Duncan

Duncan Groupin	Mean	N	Tratamiento
A	1217.977	3	T1
B	1127.950	3	T2
C	1000.330	3	T3

Alfa: 0.05

Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la prueba de Duncan, se puede observar que con los tres tratamientos se obtiene diferentes concentraciones de sulfatos, siendo T3 el mejor tratamiento.

Tabla N° 7: Resultados estadísticos de ANOVA para conductividad

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F Value	Pr > F
Entre tratamientos	2	9894224.667	4947112.333	1288.80	<.0001
Error	6	23031.333	3838.556		
Total	8	9917256.000			
R-Cuadrado	Coef. Var	Raiz MSE	VR MediA		
0.997678	1.997939	61.95608	3101.000		

Fuente: Elaboración propia

De la tabla N° 7, el análisis de varianza para la conductividad obtenido después de los tratamientos nos dio un valor de significancia (Pr>F) menor de 0.05, lo que indica que al menos en uno de los tratamientos la media de la conductividad es diferente y las variables están relacionadas. Para conocer la media que presenta diferencia significativa, se sometió a la prueba de contraste de Duncan.

Tabla N° 8: Prueba de Duncan

Duncan Groupin	Mean	N	Tratamiento
A	4570.00	3	T1
B	2541.33	3	T2
C	2191.67	3	T3

Alfa: 0.05

Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la prueba de Duncan, existe diferencia significativa de la conductividad en los tratamientos, siendo T3 el mejor tratamiento.

Tabla N° 9: Resultados estadísticos de ANOVA para plomo

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F Value	Pr > F
Entre tratamientos	2	0.01086667	0.00543333	15.27	0.0044
Error	6	0.00213533	0.00035589		
Total	8	0.01300200			

Fuente: Elaboración propia

R-Cuadrado	Coef. Var	Raiz MSE	VR Media
0.835769	15.72085	0.018865	0.120000

De la tabla N° 9, el análisis de varianza para la concentración de plomo obtenido después de los tratamientos nos dio un valor de significancia ($Pr > F$) menor de 0.05, lo que indica que al menos en uno de los tratamientos la media de la concentración de plomo es diferente y las variables están relacionadas. Para conocer la media que presenta diferencia significativa, se sometió a la prueba de contraste de Duncan.

Tabla N° 10: Prueba de Duncan

Duncan Groupin	Mean	N	Tratamiento
A	0.15667	3	T1
A	0.13000	3	T2
B	0.07333	3	T3

Alfa: 0.05

Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la prueba de Duncan, se puede observar que en los tratamientos T1 y T2 son similares en la concentración de plomo, mientras que el T3 es diferente y la media es menor, siendo este último el mejor tratamiento.

Tabla N° 11: Resultados estadísticos de ANOVA para turbidez

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F Value	Pr > F
Entre tratamientos	2	0.82062222	0.41031111	559.52	<.0001
Error	6	0.00440000	0.00073333		
Total	8	0.82502222			

Fuente: Elaboración propia

R-Cuadrado	Coef. Var	Raiz MSE	VR MediA
0.994667	4.547036	0.027080	0.595556

De la tabla N° 11, el análisis de varianza para la turbidez obtenido después de los tratamientos nos dio un valor de significancia ($Pr > F$) menor de 0.05, lo que indica que al menos en uno de los tratamientos la media de la turbidez es diferente y las variables están relacionadas. Para conocer la media que presenta diferencia significativa, se sometió a la prueba de contraste de Duncan.

Tabla N° 12: Prueba de Duncan

Duncan Groupin	Mean	N	Tratamiento
A	0.90667	3	T1
B	0.69333	3	T2
C	0.18667	3	T3

Alfa: 0.05

Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la prueba de Duncan, existe diferencia significativa de la turbidez en los tratamientos, siendo T3 el mejor tratamiento.

Tabla N° 13: Resultados estadísticos de ANOVA para sólidos suspendidos totales

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F Value	Pr > F
Entre tratamientos	2	157.8000667	78.9000333	3807.51	<.0001
Error	6	0.1243333	0.0207222		
Total	8	157.9244000			

Fuente: Elaboración propia

R-Cuadrado	Coef. Var	Raiz MSE	VR Media
0.999213	2.073243	0.143952	6.943333

De la tabla N° 13, el análisis de varianza para los sólidos suspendidos totales obtenido después de los tratamientos nos dio un valor de significancia ($Pr > F$) menor de 0.05, lo que indica que al menos en uno de los tratamientos la media de los sólidos suspendidos es diferente y las variables están relacionadas. Para conocer la media que presenta diferencia significativa, se sometió a la prueba de contraste de Duncan.

Tabla N° 14: Prueba de Duncan

Duncan Groupin	Mean	N	Tratamiento
A	10.1133	3	T1
B	9.6900	3	T2
C	1.0267	3	T3

Alfa: 0.05

Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la prueba de Duncan existe diferencia significativa en la concentración de sólidos suspendidos totales en los tratamientos, siendo T3 el mejor tratamiento.

Tabla N° 15: Resultados estadísticos de ANOVA para sólidos disueltos totales

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F Value	Pr > F
Entre tratamientos	2	16344.11416	8172.05708	117.24	<.0001
Error	6	418.21607	69.70268		
Total	8	16762.33022			

Fuente: Elaboración propia

R-Cuadrado	Coef. Var	Raiz MSE	VR MediA
0.975050	4.429679	8.348813	188.4744

De la tabla N° 15: el análisis de varianza para los sólidos disueltos totales obtenido después de los tratamientos nos dio un valor de significancia ($Pr > F$) menor de 0.05, lo que indica que al menos en uno de los tratamientos la media de los sólidos disueltos es diferente y las variables están relacionadas. Para conocer la media que presenta diferencia significativa, se sometió a la prueba de contraste de Duncan.

Tabla N° 16: Prueba de Duncan

Duncan Groupin	Mean	N	Tratamiento
A	244.063	3	T1
B	180.840	3	T2
C	140.520	3	T3

Alfa: 0.05

Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la prueba de Duncan existe diferencia significativa de la concentración de sólidos disueltos totales en los tratamientos, siendo T3 el mejor tratamiento.

Con los resultados obtenidos en las tablas N° 3 a N° 17 con un nivel de significancia ($Pr > F$) < 0.05, se rechaza la H_0 : el hidróxido de calcio no es eficiente en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco y se acepta la H_a : el hidróxido de calcio es eficiente en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran que la eficiencia del hidróxido de calcio en los tratamientos T1= 6g Ca(OH)₂ por litro de agua , T2= 8g Ca(OH)₂ por litro de agua y T3=10g Ca(OH)₂ por litro de agua fueron 57.78%, 63.24% y 74.08% respectivamente, en la que el T3 con 10 g de Ca(OH)₂ por litro de agua ácida, fue el más eficiente; resultado que difiere con lo mencionado por TUIRO (2010), quien obtuvo una eficiencia mayor al 90 % después de la neutralización con cal en la que el contenido de metales descendió muy debajo de los límites; tuvo como pH inicial en las estaciones CE-1= 2.3, CE-2= 2.2 y CE-3= 3.8 y para elevar el pH a 8.3 en la estación CE-01 se necesitó 0.97 g de cal por litro de agua, en la estación CE-02 se necesitó 1.6 g de cal por litro de agua y en la estación CE-03 se necesitó 0.09 g de cal por litro de agua. Por lo tanto, el consumo de cal del presente trabajo difiere mucho con lo establecido por TUIRO, ya que este último necesitó menos de 2 g de cal para elevar el pH a 8.3, mientras q en la presente investigación se tuvo un pH inicial de 2.88, y con 10 g de Ca (OH)₂ el pH solo subió hasta 7.25; de acuerdo a la ANFACAL (Asociación Nacional de Fabricantes de cal), manifiesta que la dosificación de este neutralizante varía ampliamente en función al proceso utilizado en el tratamiento; entonces, debido a que TUIRO (2010) utilizó un floculante, esto aceleró la sedimentación, pues contribuyó a que los metales y sólidos más finos que precipitaron sedimentaran con mayor rapidez y en mayor cantidad, por lo que la remoción de parámetros fue mayor; en cambio en la presente investigación no se utilizó floculante, esto pudo haber influido en el arrastre de partículas, ya que solo se dejó sedimentar por dos horas.

La dosis óptima de hidróxido de calcio en la presente investigación fue 10 g por litro de agua, a una mezcla rápida de 240 rpm por media hora, permitió elevar el pH de 2.88 a 7.25, lo cual está dentro de los Estándares de Calidad Ambiental para el agua de categoría 3, y con ello se disminuyó la concentración de los parámetros físico-químicos evaluados y la mayoría no superaron los estándares de calidad ambiental para el agua de Categoría 3, excepto la concentración de sulfatos= 1000.33 mg/L (ECA agua categoría 3= 1000 mg/l) y plomo= 0.07 mg/l (ECA agua categoría 3= 0.05 mg/l). Comparado con la investigación de ZAMORA (2010), quien realizó un estudio de alternativas de tratamiento de aguas ácidas de la mina San

José, en la que tuvo un pH inicial de 2.5, utilizó 10 g de cal por litro de agua ácida para elevar el pH a 6 y de esta forma cumplir con lo establecido por la normativa boliviana; en ambas investigaciones se utilizó 10 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ por litro de agua, pero en la presente investigación el pH logró subir más que en la investigación realizada por ZAMORA; de acuerdo a RODRIGUEZ (2003) menciona que la intensidad y el tiempo de mezcla influye en la eficiencia final del tratamiento.

Con el mejor tratamiento (T3) de 10 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ el pH subió a 7.25; por lo tanto, la concentración de plomo se redujo de 0.17 mg/l a 0.07 mg/l siendo la reducción porcentual de 58.82%, en cuanto a la conductividad, esta disminuyó de 8798.67 uS/cm a 2191.67 uS/cm siendo la reducción porcentual del 75.09%, mientras que SALVÁ (2012) en su investigación, con solo 0.4 g de cal/por litro de agua y 0.5 ml de floculantes el pH subió a 7.5; y la concentración de plomo disminuyó ampliamente de 0.396 mg/l a 0.01 mg/l, obteniendo una gran reducción porcentual de 97.47%, mientras que la conductividad disminuyó de 1940 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo menor la reducción porcentual de 38.14%. La reducción porcentual de plomo fue mayor en la investigación de SALVÁ porque obtuvo un pH mayor al de la presente investigación, pues de acuerdo a Baretino y Loredo (2005), el plomo precipita a un pH mínimo de 6.3.

V. CONCLUSIÓN

Se evaluó la eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento las aguas ácidas de la relavera de Pasco, a nivel laboratorio – 2017, en la que se demostró la eficiencia en los tratamientos T1, T2, y T3 fue 57.78 %, 63.24 % y 74.08 % respectivamente, siendo el T3 el más eficiente en la remoción de los parámetros físico-químicos.

Se determinó que la dosis óptima de hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de la relavera de Pasco fue la utilizada en el T3 con 10 g Ca(OH)_2 por litro de agua, ya que esta dosis fue la que más disminuyó las concentraciones de los parámetros evaluados en comparación a los otros tratamientos.

Se determinó que la reducción porcentual después de la aplicación del mejor tratamiento (T3) respecto a plomo fue del 58.82 %, sólidos suspendidos totales 99.96 % y sólidos disueltos totales 99.42 %.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un análisis completo de todos los metales que se encuentran presentes en agua de la laguna relavera de Pasco, para de esta manera conocer la eficiencia del hidróxido de calcio en la remoción de otros metales que no se estudiaron en la presente investigación.

Se recomienda utilizar un floculante para acelerar la sedimentación y facilitar el mayor arrastre de partículas suspendidas y metales precipitados.

Tomar muestras de distintos puntos de la laguna para obtener una muestra más representativa, por lo tanto, se recomienda solicitar con anticipación el respectivo permiso a la minera responsable del relave para evitar inconvenientes en la toma de muestras.

En los tratamientos, se recomienda utilizar dosis (de hidróxido de calcio) mayores a las utilizadas en el trabajo de investigación para conocer la máxima remoción de otros metales y sólidos.

VII. REFERENCIAS

- AGUILAR, M. Tratamiento Físico-químico de Aguas Residuales. Coagulación-Floculación. [en línea]. España: Universidad de Murcia, 2002. [Fecha de consulta: 28 abril 2017]. Disponible en:
<https://books.google.com.pe/books?id=8vIQBXPvhAUC&printsec=frontcover&dq=coagulacion+floculacion&hl=es-419&sa=X&sqi=2&pf=1&ved=0ahUKEwiyjomG-cfTAhVNziYKHU6CBWgQ6AEIITAA#v=onepage&q=coagulacion%20floculacion&f=false>
- ADUVIRE, Osvaldo. Drenaje ácido de Mina Generación y Tratamiento. INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA. [en línea]. Madrid, 2006 [fecha de consulta: 6 Abril 2016]. Disponible en:
file:///C:/Users/CLIENTE/Downloads/113258_0000001.PDF
- ASOCIACIÓN ANDINA DE EMPRESAS E INSTITUCIONES DE SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO. Determinación del Grado de Eficiencia de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. [en línea]. Costa Rica. Disponible en:
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/026935/026935.pdf>
- BARETTINO, Daniel, LOREDO, Jorge PENDÁS, Fernando. Acidificación de los suelos y aguas: problemas y soluciones. INSTITUTO MINERO GEOLÓGICO DE ESPAÑA: Madrid, 2005. 210 p.

ISBN: 84 7840 586 0
- BIANCHINI, Flaviano. Evaluación de la Calidad de los Recursos Hídricos en la provincia de Pasco y de la salud en el centro poblado de Paragsha. Centro de Cultura Popilar: Perú, 2009. [Fecha de consulta: 9 noviembre 2016]. Disponible en:
<http://www.source-international.org/wp-content/uploads/2012/11/Evaluacci%C3%B3n-de-la-calidad-de-los-recursos-h%C3%ADricos-en-la-provincia-de-Pasco-y-de-la-salud-en-el-centro-poblado-de-Paragsha.pdf>

- BOLOGO V., MAREE JP. CARLSSON F. "Application of magnesium hydroxide and barium hydroxide for the removal of metals and sulphate from mine water". Artículo. Sudáfrica: Tshwane University of Technology, 2012.
- CALVO, D. Estudio para el tratamiento de las aguas ácidas por neutralización-precipitación en interior de la mina Santa Fe, Bolivia. [en línea]. Oruro: 2013. [fecha de consulta: 8 Octubre 2016]. Disponible en: [http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/20956/C15%20CALVO%20-%20CASADO%20\(pp.%20297%20-%20306\).pdf](http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/20956/C15%20CALVO%20-%20CASADO%20(pp.%20297%20-%20306).pdf)

ISBN: 9992017692

- RICRA, Ángel. Acciones pendientes de la emergencia ambiental en Simón Bolívar – Pasco. *CRESER*: 12, 13, 2013.
- FERNANDEZ, Rafael., FERNANDEZ, Sergio., ESTEBAN, Jorge. Abandono de Minas. Impacto Hidrológico. Instituto Geológico y Minero de España: Madrid, 1986.
- Labor Pasco. [en línea]. Perú, Pasco. Julio 2006. [fecha de consulta: 2 diciembre 2016]. Disponible en: http://www.laborpascooperu.org.pe/images/stories/pdfs_boletines/boletin6.pdf
- LAGESA Ingenieros Consultores. [en línea]. Perú. [fecha de consulta: 28 junio 2017]. Disponible en: <http://lagesa.com.pe/>
- LIBRO BLANCO [fecha de consulta: 17 febrero 2017]. Disponible en: http://www.proyectosapp.pe/RepositorioAPS/0/0/JER/PACENTROMIN/para_gsha/Resumen_Ejecutivo_Paragsha.pdf
- LOPEZ, E, ADUVIERE, O y BARETTINO, D. Tratamiento de pasivos de drenajes ácidos de mina: estado actual y perspectivas de futuro. Boletín Geológico y Minero [en línea]. 2002 [fecha de consulta: 8 octubre 2016]. Disponible en: http://www.igme.es/Boletin/2002/113_1_2002/4ARTICULO%20TRATAMIENTOS.pdf

ISSN: 0366-0176

- MANAHAN, Stanley. Introducción a la Química Ambiental [en línea]. México: Reverté, 2007. [Fecha de consulta: 28 abril 2017]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=5NR8DIk1n68C&pg=PA621&dq=precipitaci%C3%B3n+de+metales&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiKy9u988fTAhVRziYKHcp-CCQQ6AEIITAA#v=onepage&q=precipitaci%C3%B3n%20de%20metales&f=false>

ISBN: 968 7108 60 X

- Manual de usos ecológicos de la cal [en línea]. México: grupo Calidra, 2002 [Fecha de consulta: 7 octubre 2016]. Disponible en: <http://foccal.org/portal/sites/default/files/archivos/articulos/Tratamiento%20AGUAS-CAL.pdf>
- MINAM. (2012). Fecha de consulta: 2 diciembre 2016]. Disponible en http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/rm_117-2012-minam.pdf
- Ministerio de Salud-Instituto Nacional de Salud. Determinación de plomo en sangre y factores asociados en niños y mujeres gestantes de las poblaciones Quiulacocho y Champamarca Cerro de Pasco. Setiembre 2005. [Fecha de consulta: 2 diciembre 2016]. Disponible en: http://www.bvs.ins.gob.pe/insprint/cindoc/informes_tecnicos/30.pdf
- RIAÑO, Néstor. Fundamentos de Química Analítica Básica. Análisis Cuantitativo. [en línea]. Colombia: Universidad de Calda, 2007. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=CfxqMXYfu7wC&pg=PA119&dq=precipitaci%C3%B2n+quimica&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwibxNaLq7PTAhUD2SYKHaJGAJ4Q6AEILDAC#v=onepage&q=precipitaci%C3%B2n%20quimica&f=false>
- ROSAS, R. y CARRANZA, J. Estudio técnico para el tratamiento de aguas ácidas en los drenajes de la industria minera (Ingeniero Químico). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería Química, 2015.

- RICO, Antonio, PÉREZ, Rosa, CASTELLANOS, María. Química I. Agua y oxígeno. [en línea]. México: Colegio de Ciencias y Humanidades, 2007. Disponible en: https://books.google.com.pe/books?id=QrwBFieMG04C&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- RODRIGUEZ, Francisco. Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización. Díaz de Santos, 2003

ISBN: 9788479785871

- RUIZ, Oscar. Tratamiento físico-químico de aguas residuales [en línea]. México. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/mexicona/R-0196.pdf>
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, FERNÁNDEZ Y BAPTISTA. Metodología de la Investigación. 5^{ta}. ed. México: McGraw-Hill Interamericana, 2010.
- SCHMIDT, Katherine; SHARPE, Willian. Passive Treatment Methods for Acid Wather in Pennsylvania. Pensilvania: Pennstate, 2002.
- SINGH, BP y RABAT, Morocco. Journal Indian Society of Soil Science. 1986.

ISBN 978-607-15-0291-9

- SOCIEDAD NACIONAL DE MINERÍA PETRÓLEO Y ENERGÍA. El Ciclo Productivo de la Minería. Lima, 2015. Disponible en: <http://www.snmpe.org.pe/informes-y-publicaciones/informes-quincenales/sector-minero/1841-el-ciclo-productivo-de-la-mineria-actualizado-setiembre-de-2015.html>
- TUIRO, María. Evaluación y Propuesta de Mitigación de Efluentes de aguas ácidas de Cantera de Caolín (Maestro en Ciencias con mención en Ciencias y Medio Ambiente). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2010.

- YOUNGER, Paul. et.al. Acidificación de suelos y agua: problemas y soluciones. INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA: Madrid, 2005. 211p.

ISBN: 84-7840-586-0

- YUNI, José, URBANO, Claudio. Técnicas para investigar y formular proyectos de investigación. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=XWIkBfrJ9SoC&printsec=frontcover&dq=tecnicas+de+recoleccion+de+datos&hl=qu&sa=X&ved=0ahUKEwiPpMTNkorUAhVIKCYKHXSqBJUQ6wEIlzAA#v=onepage&q=tecnicas%20de%20recoleccion%20de%20datos&f=false>
- ANFACAL [en línea]. México. Disponible en: http://anfocal.org/media/Biblioteca_Digital/Usos_Ecologicos/Tratamiento_de_Aguas/USOS_DE_CAL_EN_TRATAMIENTOS_DE_AGUA.pdf
- WADE, Cheikh. Exposiciones a metales pesados en niños y mujeres en edad fértil en tres comunidades mineras de Cerro de Pasco. 7ma Conferencia Internacional sobre Drenaje Ácido de Mina (ICARD), 26-30 marzo del 2016.
- ZAMORA, G. Tratamiento físico-químico de drenajes ácidos de mina: Manejo Ambiental de lodos de alta densidad-estabilidad-disposición final o aplicaciones. Santa Cruz: 2006.[fecha de consulta: 3 abril 2017].Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=0-Lr8UEXLjsC&pg=PA249&dq=aguas+acidas+de+mina&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiYh67c0ojTAhWC4yYKHTLYCVcQ6AEIGDAA#v=onepage&q=aguas%20acidas%20de%20mina&f=false>

ISBN: 85-7227-236-4

ANEXOS

Anexo N° 1: Ubicación de Quiulacocha

El pueblo Quiulacocha se encuentra ubicado en el distrito de Simón Bolívar de la provincia de Pasco en el departamento del mismo nombre. Se encuentra ubicado a 8 km. de la capital de la provincia, Cerro de Pasco, enclavado en las alturas andinas del Perú, a 4200 msnm. departamento de Pasco.



Fuente: Municipalidad Simón Bolívar

Anexo N° 2: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio, 2017									
	Problema	Objetivo	Hipótesis	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición	Diseño Metod.
EFICIENCIA DEL HIDRÓXIDO DE CALCIO	¿Cuál fue la eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio - 2017?	Evaluar la eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio - 2017.	El hidróxido de calcio es eficiente en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio - 2017.	La eficiencia es la reducción porcentual de ciertos indicadores o determinadas sustancias. (Asociación Andina de Empresas e Instituciones de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado, 1994). El hidróxido de calcio es una base que absorbe impurezas, reacciona contra la acidez y los metales elevando el pH, también es un coagulante económico que tiene la capacidad de precipitar metales y otros sólidos que se encuentran disueltos facilitando su remoción. La eficiencia de esta base depende de las dosis a utilizar y alcanzar la máxima remoción de metales pesados y otras impurezas. (Manual de usos ecológicos de la cal, 2002).	Se pesó las 3 dosis de Ca(OH) ₂ en la balanza analítica. La dosis óptima es aquella que permita alcanzar un pH entre 6.5 – 8.5 según los ECA agua, la que precipite metales y remueva la mayor cantidad de sólidos en suspensión y sólidos disueltos.	Dosis de Ca(OH) ₂	Bajo	5-6 g/l	Metodología: Técnica: la observación Diseño: experimental Explicativo Longitudinal
							Medio	7-8 g/l	
							Alto	9-10 g/l	
						Reducción porcentual	Pb removido	%	
							SST removido	%	
							SDT removido	%	
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS ÁCIDAS	¿Cuál fue la dosis óptima de hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio - 2017?	Determinar la dosis óptima de hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio – 2017	La dosis óptima de hidróxido genera un efecto significativo positivo en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio – 2017.	El tratamiento de aguas es un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos, de tal forma que se modifique de manera favorable algunas características de las aguas contaminadas. Las aguas ácidas tienen un pH muy bajo, contienen gran cantidad de sólidos disueltos y un alto contenido de metales. Así mismo, sufren algunas alteraciones físicas, químicas y biológicas y dan origen a drenajes ácidos de mina. (López, E, Aduvire, O y Baretino, D, 2002).	Se midió los parámetros físico-químicos antes de la aplicación de las dosis de Ca(OH) ₂ a las muestras de aguas ácidas. Luego se procedió a oxigenar la muestra por 15 minutos y en la prueba de jarras se utilizó 3 vasos de precipitado con 500ml de agua ácida y se aplicó las 3 dosis de Ca(OH) ₂ a una mezcla rápida de 240 rpm por 30 minutos. Luego, se esperó a la estabilización del pH y se procedió a medir en cada vaso los parámetros físico-químicos.	Características físicas	Turbidez	NTU	Metodología: Técnica: la observación Diseño: experimental Explicativo Longitudinal
							Conductividad	uS/cm	
	Características químicas	pH	0-12						
		plomo	mg/l						
		SST	mg/l						
		SDT	mg/l						
Sulfatos	mg/l								
¿Cuál fue la reducción porcentual de plomo, sólidos suspendidos y sólidos disueltos después del tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio - 2017?	Determinar la reducción porcentual de plomo, sólidos suspendidos y sólidos disueltos después del tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio – 2017.	La reducción porcentual de plomo, sólidos suspendidos y sólidos disueltos es mayor a 70% después del tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio – 2017.							

FICHA DE OBSERVACIÓN	
Proyecto de Investigación:	Eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio - 2017
Línea de Investigación:	Calidad de Gestión de los Recursos Naturales.
Investigador:	Sevillano Galindos, Rosly Lizbeth
Tiempo del proyecto:	5 meses
Lugar de experimentación	Laboratorio de la Universidad César Vallejo

VARIABLE INDEPENDIENTE	TRATAMIENTOS	APLICACIÓN CA(OH) ₂ A MUESTRAS	HORA	FECHA	Cantidad de Na(OH) ₂			% de Remoción			
					2-3	4-5	6-7	SST	SDT	Pb	
					g/l	g/l	g/l	mg/l	mg/l	mg/l	
EFICIENCIA DEL HIDRÓXIDO DE CALCIO	Tratamiento 1	Rep-1									
		Rep-2									
		Rep-3									
	Tratamiento 2	Rep-1									
		Rep-2									
		Rep-3									
	Tratamiento 3	Rep-1									
		Rep-2									
		Rep-3									

FICHA DE OBSERVACIÓN	
Proyecto de Investigación:	Eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio - 2017
Línea de Investigación:	Calidad de Gestión de los Recursos Naturales.
Investigador:	Sevillano Galindos, Rosly Lizbeth
Tiempo del proyecto:	5 meses
Lugar de experimentación	Laboratorio de la Universidad César Vallejo

VARIABLE DEPENDIENTE	MUESTRA DE AGUA	COORDENADAS WGS 84	HORA	FECHA	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS				
					Turbidez (NTU)	Conductividad (μS/cm)	Pb (mg/l)	pH	Sulfatos	SST (mg/l)	SDT (mg/l)
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS ÁCIDAS	Rep-1 (antes del tratamiento)										
	Rep-2 (antes del tratamiento)										
	Rep-3 (antes del tratamiento)										
	Rep-1 (después del tratamiento)										
	Rep-2 (después del tratamiento)										
	Rep-3 (después del tratamiento)										

Anexo N° 4: Estación de muestreo

Estación de Muestreo LQ



Fuente: Elaboración propia



Vista panorámica de la relavera de Pasco



Fuente: Google earth



Relavera de Pasco

Fuente: Elaboración propia

Anexo N° 5: Determinación de parámetros físico-químicos

Procedimiento para la determinación de parámetros físico-químicos

Para el análisis de las muestras de agua tomadas de la relavera de Pasco, se tomaron los siguientes parámetros:

El pH y la conductividad eléctrica se determinaron mediante el peachímetro y conductímetro respectivamente.

Determinación de los sólidos en suspensión

Materiales	Equipo
Luna de reloj	Balanza analítica
cucharita	Bomba de vacío
pinza	Desecador
probeta	Estufa

Se secó la luna de reloj y la fibra en la estufa a una temperatura de 105 C° por una hora, seguido se enfrió en la mufla y se pesó (B) en la balanza analítica. Luego la fibra se colocó en la bomba de vacío y se añadió 100 ml de la muestra de agua ácida, se dejó que filtre.

La fibra y la luna de reloj se dejaron secar en la mufla por una hora a 105 C°, luego se dejó enfriar en la mufla y se pesó en la balanza analítica (A). Y se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{SST (mg/l)} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volumen de muestra en ml}} \quad \text{donde:}$$

A= Peso de la luna de reloj + fibra de vidrio + residuo seco+ a 105 °C (mg)

B= Peso de la luna de reloj + fibra de vidrio a 105 C° (mg)

Determinación de sólidos disueltos

Materiales	Equipo
Luna de reloj	Balanza analítica
cucharita	Bomba de vacío
pinza	Desecador
probeta	Estufa

Antes se determinó la cantidad de sólidos totales presentes en la muestra de agua ácida. Luego, se secó un vaso de 100 ml en la mufla por una hora a 105 °C, luego se dejó enfriar en el desecador y se procedió a pesar en la balanza analítica (B). Luego, se llenó el vaso con 100 ml de la muestra de agua, se puso a secar en la mufla hasta que no quede líquido, se procedió a enfriar en el desecador y se pesó en la balanza analítica (A). Entonces, se utilizó la siguiente fórmula:

$$ST \text{ (mg/l)} = \frac{(A - B) \times 100}{\text{Volumen de la muestra en ml}}$$

Los sólidos disueltos en el agua ácida se hallaron mediante la siguiente fórmula:

$$ST = SST + SSD$$
$$SSD = ST - SST$$

Anexo N° 6: Fotos de los análisis en el laboratorio

Medición del pH de las muestras LQ-1 y LQ-2



Medición de la conductividad



Fuente: Elaboración propia

Determinación de sólidos en suspensión

Secado de fibra de vidrio a 105 °C



Enfriamiento de fibra en el desecador



Pesado de fibra de vidrio



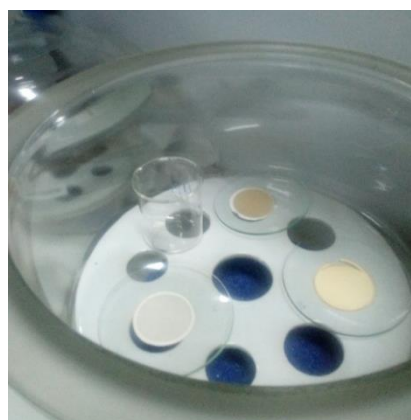
Se filtró el agua en la bomba de vacío



Secado de la fibra en la estufa



Enfriamiento de la fibra



Pesado de la fibra de vidrio con la muestra



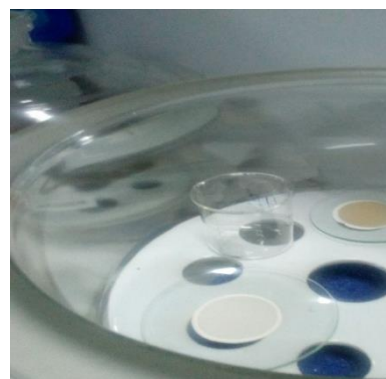
Fuente: Elaboración propia

Determinación de sólidos disueltos

Secado del vaso de en la estufa
A 105 °C



Enfriamiento del vaso en el desecador



Pesado del vaso de precipitado
ml de muestra



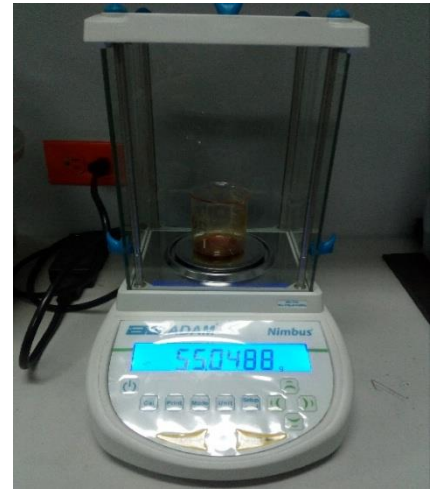
Secado del vaso con 100



Enfriamiento del vaso con la muestra
muestra seca



Pesado del vaso con la



Oxigenación de la muestra



Pesado del $\text{Ca}(\text{OH})_2$



Mezclado del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con la muestra a 240 rpm



Muestra antes de los tratamientos



Fuente: Elaboración propia

Muestra después de los tratamientos (neutralización y sedimentación)



Fuente: Elaboración propia

Anexo N° 7: Validación de Instrumentos de recolección de datos



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y Nombres del validador: Dr. ING: Víctor Hugo Cargado Lopez
 1.2. Cargo e institución donde labora: Coordinador de Gestión Educativa
 1.3. Especialidad del validador: Física - Biología
 1.4. Nombre del instrumento: Fichas de Observación
 1.5. Título de la investigación: Eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una reja de Pasco, a nivel laboratorio, 2017
 1.6. Autor del instrumento: Sevillano Galindos, Rosly Lizbeth

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

1. Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado y específico. Las preguntas en conductas observables.	90
2. Objetividad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología.	90
3. Actualidad	Existe una organización lógica.	90
4. Organización	Comprende los aspectos en cantidad y calidad.	90
5. Suficiencia	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias.	90
6. Intencionalidad	Basados en aspectos teórico-científicos	90
7. Consistencia	Entre los índices, indicadores y dimensiones.	90
8. Coherencia	La estrategia responde al propósito del diagnóstico.	90
9. Metodología	El instrumento es funcional para el propósito de la investigación.	90
10. Pertinencia		90
		90

III. PERTINENCIA DE LOS ÍTEMES O REACTIVOS DEL INSTRUMENTO

Primera Variable: Eficiencia del hidróxido de calcio

Ítem	La evaluación se realiza de todos los ítems de la primera variable
Ítem 1	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 2	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 3	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 4	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 5	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 6	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 7	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 8	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 9	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 10	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 11	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 12	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 13	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 14	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 15	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 16	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 17	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 18	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 19	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 20	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 21	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 22	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 23	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 24	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 25	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 26	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 27	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 28	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 29	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 30	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 31	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 32	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 33	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 34	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 35	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 36	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 37	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 38	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 39	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 40	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 41	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 42	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 43	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 44	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 45	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 46	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 47	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 48	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 49	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 50	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 51	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 52	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 53	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 54	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 55	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 56	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 57	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 58	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 59	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 60	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 61	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 62	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 63	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 64	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 65	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 66	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 67	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 68	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 69	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 70	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 71	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 72	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 73	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 74	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 75	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 76	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 77	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 78	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 79	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 80	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 81	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 82	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 83	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 84	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 85	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 86	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 87	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 88	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 89	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 90	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 91	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 92	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 93	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 94	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 95	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 96	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 97	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 98	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 99	<input checked="" type="checkbox"/>
Ítem 100	<input checked="" type="checkbox"/>

La evaluación se realiza de todos los ítems de la primera variable

OFICINA DE INVESTIGACIÓN UCV – LIMA ESTE - 2017

Segunda variable: Tratamiento de las aguas ácidas

Características físicas antes	<input checked="" type="checkbox"/>
Características físicas después	<input checked="" type="checkbox"/>
Características químicas antes	<input checked="" type="checkbox"/>
Características químicas después	<input checked="" type="checkbox"/>

La evaluación se realiza de todos los ítems de la segunda variable

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN: 90 %; V. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento puede ser aplicado, tal como está elaborado
 El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.

Lugar y fecha:

Firma del experto informante.
 DNI. N° 4054247 Teléfono N° 9454247

OFICINA DE INVESTIGACIÓN UCV – LIMA ESTE - 2017

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y Nombres del validador: Dr. Mg. GAMARRA CHAVARRY Luis FELIPE
 1.2. Cargo e institución donde labora: SEMAMHL - UCV
 1.3. Especialidad del validador: Ings. GEORRIFO - ESCUELA MATA
 1.4. Nombre del instrumento: Fichas de Observación
 1.5. Título de la investigación: Eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una rechina de Pasco, a nivel laboratorio, 2017
 1.6. Autor del instrumento: Scyllano Galindo, Rosly Lizbeth

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

1. Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado y específico.				85
2. Objetividad	Esta expresado en conductas observables.				85
3. Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología.				85
4. Organización	Existe una organización lógica.				85
5. Suficiencia	Cubre los aspectos en cantidad y calidad.				85
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias científicas.				85
7. Consistencia	Basados en aspectos técnicos-científicos.				85
8. Coherencia	Entre los índices, indicadores y dimensiones.				85
9. Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico.				85
10. Pertinencia	El instrumento es funcional para el propósito de la investigación.				85

III. PERTINENCIA DE LOS ÍTEMES O REACTIVOS DEL INSTRUMENTO

Primera Variable: Eficiencia del hidróxido de calcio

Desa de Ca(OH) ₂	✓	
% Remoción	✓	

La evaluación se realiza de todos los ítems de la primera variable

OFICINA DE INVESTIGACIÓN UCV – LIMA ESTE - 2017

Segunda variable: Tratamiento de las aguas ácidas

Características físicas antes	✓	
Características físicas después	✓	
Características químicas antes	✓	
Características químicas después	✓	

La evaluación se realiza de todos los ítems de la segunda variable

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN: 85 %; **OPINIÓN DE APLICABILIDAD:**

- () El instrumento puede ser aplicado, tal como está elaborado
 (X) El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.

Lugar y fecha:

[Firma]
 Firma del experto informante.
 DNI N° 10228442 Teléfono N° 952822387

OFICINA DE INVESTIGACIÓN UCV – LIMA ESTE - 2017

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN.

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y Nombres del validador: Dr. Mg. César Romero José Bay
 1.2. Cargo e institución donde labora: Director de Investigación - INIA
 1.3. Especialidad del validador: Agrofitotecnia
 1.4. Nombre del instrumento: Fidias de Observación
 1.5. Título de la investigación: Eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio, 2017
 1.6. Autor del instrumento: Sevillano Guimóns, Rosly Lizbeth

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

CRITERIOS	INDICADORES	Deficiente 00-20%	Regular 21-40%	Buena 41-60%	Muy Buena 61-80%	Excelente 81-100%
1. Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado y específico.					81
2. Objetividad	Esta expresado en conductas observables.					81
3. Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología.					91
4. Organización	Existe una organización lógica.					81
5. Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad.					81
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrate. gés.					81
7. Consistencia	Basados en aspectos técnicos-científicos					81
8. Coherencia	Entre los índices, indicadores y dimensiones.					81
9. Metodología	La estrategia responde al propósito del estudio. El instrumento es funcional para el propósito de la investigación.					81
10. Pertinencia						81
PROMEDIO DE VALIDACIÓN						
						81.6

III. PERTINENCIA DE LOS ÍTEMES O REACTIVOS DEL INSTRUMENTO

Primera Variable: Dosis óptima de hidróxido de calcio

DIMENSION	INSTRUMENTO	SUFICIENTE	MEDIANAMENTE SUFICIENTE	INSUFICIENTE
Dosis de Ca(OH) ₂		X		
Reducción porcentual		X		

La evaluación se realiza de todos los ítems de la primera variable

OFICINA DE INVESTIGACIÓN UCV – LIMA ESTE - 2017

Segunda variable: tratamiento de aguas ácidas

DIMENSION	INSTRUMENTO	SUFICIENTE	MEDIANAMENTE SUFICIENTE	INSUFICIENTE
Características Físicas		X		
Características Químicas		X		

La evaluación se realiza de todos los ítems de la segunda variable

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN: 81 %; V. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento puede ser aplicado, tal como está elaborado
 El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.

Lugar y fecha: 19 de Mayo 2017


 Firma del experto informante.
 DNI N° 8736005 / Teléfono N° 5421 00733

Segunda variable: Tratamiento de las aguas ácidas

Características físicas antes				
Características físicas después				
Características químicas antes				
Características químicas después				

La evaluación se realiza de todos los ítems de la segunda variable

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN: 85 % V. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento puede ser aplicado, tal como está elaborado
 El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.

Lugar y fecha:

Firma del experto informante.

DNI N° 1041253 Teléfono N° 996540211

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

- I.1. Apellidos y Nombres del validador: Dr. No. Valdivia Quiñele Brachi A.
I.2. Cargo e institución donde labora: UCV-DTC- Ing. Ambiental - Lima Este
I.3. Especialidad del validador: Especialista en CC-Ambientales
I.4. Nombre del instrumento: Fichas de Observación
I.5. Título de la investigación: Eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio, 2017
I.6. Autor del instrumento: Sevillano Galimdes, Rosly Lizbeth

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

1. Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado y específico.								85
2. Objetividad	Esta expresado en conductas observables.								85
3. Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología.								85
4. Organización	Existe una organización lógica.								85
5. Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad.								85
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias.								85
7. Consistencia	Basados en aspectos técnicos-científicos								85
8. Coherencia	Entre los índices, indicadores y dimensiones.								85
9. Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico.								85
10. Pertinencia	El instrumento es funcional para el propósito de la investigación.								85

III. PERTINENCIA DE LOS ÍTEMES O REACTIVOS DEL INSTRUMENTO

Primera Variable: Eficiencia del hidróxido de calcio

Dosis de Ca(OH) ₂					
% Remoción					

La evaluación se realiza de todos los ítems de la primera variable



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y Nombre del validador: Antonio Delgado Arenaz
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Coordinador del Investigación de la Escuela In. Amb.
- 1.3. Especialidad del validador: Inq. Químico - M. de la UCV
- 1.4. Nombre del instrumento: Fichas de Observación
- 1.5. Título de la investigación: Eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una rellena Pasco, a nivel laboratorio, 2017.
- 1.6. Autor del instrumento: Sevillano Gallinas, Rosly Lizbeth

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

1. Claridad	Esta formulada con lenguaje apropiado y específico.	90%
2. Objetividad	Esta expresado en conductas observables.	90%
3. Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología.	90%
4. Organización	Existe una organización lógica.	90%
5. Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad.	90%
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias.	90%
7. Consistencia	Basados en aspectos teóricos-científicos	90%
8. Coherencia	Entre los índices, indicadores y dimensiones.	90%
9. Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico.	90%
10. Pertinencia	El instrumento es funcional para el propósito de la investigación.	90%

III. PERTINENCIA DE LOS ÍTEMS O REACTIVOS DEL INSTRUMENTO

Primera Variable: Eficiencia del hidróxido de calcio

Desa de Ca(OH) ₂	<input checked="" type="checkbox"/>
% Remoción	<input checked="" type="checkbox"/>

La evaluación se realiza de todos los ítems de la primera variable

OFICINA DE INVESTIGACIÓN UCV – LIMA ESTE - 2017

Segunda variable: Tratamiento de las aguas ácidas

Características físicas antes	<input checked="" type="checkbox"/>
Características físicas después	<input checked="" type="checkbox"/>
Características químicas antes	<input checked="" type="checkbox"/>
Características químicas después	<input checked="" type="checkbox"/>

La evaluación se realiza de todos los ítems de la segunda variable

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN: 90 %; OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento puede ser aplicado, tal como está elaborado
- El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.

Lugar y fecha: S.T.L 26 de Junio de 2017

Firma: [Firma]
 DNI. N° 2671841 Teléfono N° 999 06080

OFICINA DE INVESTIGACIÓN UCV – LIMA ESTE - 2017



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y Nombres del validador: D^o. Mg. Talía Chaves Caceres, Milto Caceres
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente UCV
- 1.3. Especialidad del validador: Iny. Forestal
- 1.4. Nombre del instrumento: Fichas de Observación
- 1.5. Título de la investigación: Eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una reja de Pasco, a nivel laboratorio, 2017
- 1.6. Autor del instrumento: Sevillano Galindo, Rosly Lizbeth

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

1. Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado y específico.				80
2. Objetividad	Esta expresado en conductas observables.				80
3. Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología.				80
4. Organización	Existe una organización lógica.				80
5. Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad.				80
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias.				80
7. Consistencia	Basados en aspectos teóricos-científicos				80
8. Coherencia	Entre los índices, indicadores y dimensiones.				80
9. Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico.				80
10. Pertinencia	El instrumento es funcional para el propósito de la investigación.				80

III. PERTINENCIA DE LOS ÍTEMES O REACTIVOS DEL INSTRUMENTO

Primera Variable: Eficiencia del hidróxido de calcio

Doais de Ca(OH) ₂				
% Remoción				

La evaluación se realiza de todos los ítems de la primera variable

OFICINA DE INVESTIGACIÓN UCV – LIMA ESTE - 2017

Segunda variable: Tratamiento de las aguas ácidas

Características físicas antes		✓		
Características físicas después		✓		
Características químicas antes		✓		
Características químicas después		✓		

La evaluación se realiza de todos los ítems de la segunda variable

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN: _____ %; Y: OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- () El instrumento puede ser aplicado, tal como está elaborado
- () El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.

Lugar y fecha: 28.06.2017

Firma del experto informante.
 DNI. N° 0748251 Teléfono N° 966255191

OFICINA DE INVESTIGACIÓN UCV – LIMA ESTE - 2017



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telefáx: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 003605

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO
 DE AGUA**

SOLICITANTE : ROSLY LIZBETH SEVILLANO GALINDOS
PROCEDENCIA : Laguna relave Quilacocha - Cerro de Pasco
RESPONSABLE ANÁLISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 08 de Mayo del 2017

N° LABORATORIO	3605
N° DE CAMPO	LQ
Sulfatos	mg/L 1525.17



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO
 Ing. Misc. Teresa Velásquez Bazarano
 JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telefáx: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 003606

**ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO
 DE AGUA**

SOLICITANTE : ROSLY LIZBETH SEVILLANO GALINDOS
PROCEDENCIA : Laguna relave Quilacocha - Cerro de Pasco
RESPONSABLE ANÁLISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 08 de Mayo del 2017

N° LABORATORIO	3606
N° DE CAMPO	LQ
Plomo	mg/L 0.16



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO
 Ing. Misc. Teresa Velásquez Bazarano
 JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n. Telefáx: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-lia@lamolina.edu.pe



Nº 003604

**ANALISIS FISICO-QUIMICO
 DE AGUA**

SOLICITANTE : ROSLY LIZBETH SEVILLANO GALINDOS
PROCEDENCIA : Laguna relave Quilacocha - Cerro de Pasco
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 08 de Mayo del 2017

Nº LABORATORIO	3604
Nº DE CAMPO	LQ
Piomio	mg/L 0.17



LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO
 Ing. Msc. Teresa Valásquez Cajalano
 JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n. Telefáx: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-lia@lamolina.edu.pe



Nº 008607

**ANALISIS FISICO-QUIMICO
 DE AGUA**

SOLICITANTE : ROSLY LIZBETH SEVILLANO GALINDOS
PROCEDENCIA : Laguna relave Quilacocha - Cerro de Pasco
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 08 de Mayo del 2017

Nº LABORATORIO	3607
Nº DE CAMPO	LQ
Sulfatos	mg/L 1703.71



LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO
 Ing. Msc. Teresa Valásquez Cajalano
 JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE AGRONOMÍA
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN AGUA

SOLICITANTE : ROSY LISBETH SEVILLANO GALINDOS
 PROCEDENCIA : PASCO
 REFERENCIA : H.R. 59286
 DCI/ETA : 481
 FECHA : 03/07/17

N° LAB	CLAVES	Pb ppm	Sulfatos ppm
4553	T1-1	0.36	12.8122
4554	T1-2	0.36	12.1568
4555	T1-3	0.15	1002.03
4556	T2-1	0.15	128.01
4557	T2-2	0.21	128.15
4558	T2-3	0.129	177.86
4559	T3-1	0.11	101.16
4560	T3-2	0.05	999.89
4561	T3-3	0.06	1000.00

Romy García Bandoza
 Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
 Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5822
 e-mail: labisueb@lamolina.edu.pe

Anexo N° 8: Informe de Resultado de aguas



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL – UCV
 INFORME DE RESULTADOS DE AGUA

Estudiante: Rosly Lizbeth Sevillano Galindos
 Dirección: Los granados M "c" Lie, Cantio Grande
 Tipos de ensayos: Análisis físico-químicos
 Tipo de muestra: Agua ácida
 Identificación de la muestra: Tratamientos
 Descripción de la muestra: Tratamiento N° 1, 2, 3 (Rep1, rep2, rep3)
 Muestra tomada por: Rosly Lizbeth Sevillano Galindos
 Procedencia: Quiulacocha – Simón Bolívar – Cerro de Pasco
 Fecha de ingreso de muestra: 26/05/2017
 Lugar que se realizó el ensayo: Laboratorio de Calidad Ambiental – UCV
 Fecha de realización de ensayos: 05/06/2017 – 23/06/2017

UNID.	MÉTODO	RESULTADO											
		T1-1	T1-2	T1-3	T2-1	T2-2	T2-3	T3-1	T3-2	T3-3	T4-1	T4-2	T4-3
pH	numérico APHA-AWWA-WEF (2005) método 4500 H B	4.40	5.08	4.58	6.01	5.55	6.15	7.28	7.33	7.15			
Conductividad	µS/cm APHA-AWWA-WEF (2005) método 2510 B	4450	4610	4650	2536	2550	2538	2180	2185	2210			
Turbidez	NTU SM 2130 B, Turbidity, Nephelometric Method, (2045)	0.92	0.89	0.91	0.74	0.66	0.68	0.20	0.19	0.17			
Sólidos suspendidos totales	mg/l APHA-AWWA-WEF (2012) 2540 D	10	10.13	10.21	9.86	9.73	9.48	1.13	1.05	0.90			
Sólidos disueltos totales	mg/l APHA-AWWA-WEF (2012) 2540 C	240.04	234.14	258.01	176.15	186.36	180.01	146.03	135.49	140.04			

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO		
			REP1	REP2	REP3
pH	numérico	APHA-AWWA-WEF (2005) método 4500 H B	2.86	2.88	2.9
Conductividad	µS/cm	APHA-AWWA-WEF (2005) método 2510 B	8880	8705	8811
Turbidez	NTU	SM 2130 B, Turbidity, Nephelometric Method, (2045)	4.01	4.52	4.65
Sólidos suspendidos totales	mg/l	APHA-AWWA-WEF (2012) 2540 D	288	2905	2760
Sólidos disueltos totales	mg/l	APHA-AWWA-WEF (2012) 2540 C	24703	23928	24085

[Signature]
 Daniel Neclous Gonzales
 ASISTENTE DE LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

[Signature]
 Antonio Delgado Arenas
 COORDINADOR DE INVESTIGACIÓN DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL