

UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“EFICIENCIA DE CANALES CON DOS
DIÁMETROS DE ROCA CALIZA EN LA
PRECIPITACIÓN DEL ALUMINIO TOTAL Y
MEJORA DEL pH DE LAS AGUAS ÁCIDAS DEL
RÍO NEGRO, CAPTADAS A TRAVÉS DEL CANAL
MÁTARA EN EL SECTOR CANREY CHICO,
DISTRITO Y PROVINCIA DE RECUAY - ANCASH,
PERIODO SETIEMBRE - OCTUBRE 2019”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR:

Bach: BAZAN AGÜERO DARWIN YOUNG

ASESOR:

Dr. LOARTE RUBINA MAXIMILIANO

Huaraz, Ancash, Perú

Febrero, 2020

UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“EFICIENCIA DE CANALES CON DOS
DIÁMETROS DE ROCA CALIZA EN LA
PRECIPITACIÓN DEL ALUMINIO TOTAL Y
MEJORA DEL pH DE LAS AGUAS ÁCIDAS DEL
RÍO NEGRO, CAPTADAS A TRAVÉS DEL CANAL
MÁTARA EN EL SECTOR CANREY CHICO,
DISTRITO Y PROVINCIA DE RECUAY - ANCASH,
PERIODO SETIEMBRE - OCTUBRE 2019”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR:

Bach: BAZAN AGÜERO DARWIN YOUNG

ASESOR:

Dr. LOARTE RUBINA MAXIMILIANO

Huaraz, Ancash, Perú

Febrero, 2020



FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL - UNASAM

Conforme al Reglamento Nacional de Trabajos de Investigación – RENATI
Resolución de Consejo
Directivo de SUNEDU N° 033-2016-SUNEDU/CD

1. Datos del Autor:

Apellidos y Nombres: BAZAN AGÜERO DARWIN YOUNG

Código de alumno: 081.0204.456 Teléfono: 993886580

Correo electrónico: darwinba1516@gmail.com DNI o Extranjería: 46709601

2. Datos del Autor:

Trabajo de investigación Trabajo académico

Trabajo de suficiencia profesional Tesis

3. Título profesional o grado académico:

Bachiller Título Segunda especialidad

Licenciado Magister Doctor

4. Título del trabajo de investigación:

EFICIENCIA DE CANALES CON DOS DIÁMETROS DE ROCA CALIZA EN LA PRECIPITACIÓN DEL ALUMINIO TOTAL Y MEJORA DEL pH DE LAS AGUAS ÁCIDAS DEL RÍO NEGRO, CAPTADAS A TRAVÉS DEL CANAL MÁTARA EN EL SECTOR CANREY CHICO, DISTRITO Y PROVINCIA DE RECUAY - ANCASH, PERIODO SETIEMBRE - OCTUBRE 2019

5. Facultad de: CIENCIAS DEL AMBIENTE

6. Escuela, Carrera o Programa: INGENIERÍA AMBIENTAL


7. Asesor:

Apellidos y Nombres: LOARTE RUBINA MAXIMILIANO Teléfono: 952647082

Correo electrónico: Maxloarte@hotmail.com DNI o Extranjería: 32295136

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por el presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNASAM, versión impresa y digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito respecto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

Firma: 

D.N.I.: 46709601

FECHA: Huaraz, 25 de febrero de 2020



**UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**

“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”

Av. Centenario N° 200 – Teléfono (043) 640020 anexo 1103

HUARAZ - ÁNCASH - PERÚ



“Año de la Universalización de la Salud”

ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS

Los Miembros del Jurado en pleno que suscriben, reunidos en la fecha, en el Auditorium de la FCAM-UNASAM, de conformidad a la normatividad vigente conducen el Acto Académico de Sustentación y Defensa de Tesis **“EFICIENCIA DE CANALES CON DOS DIÁMETROS DE ROCA CALIZA EN LA PRECIPITACIÓN DEL ALUMINIO TOTAL Y MEJORA DEL pH DE LAS AGUAS ÁCIDAS DEL RÍO NEGRO, CAPTADAS A TRAVÉS DEL CANAL MATARA EN EL SECTOR CANREY CHICO, DISTRITO Y PROVINCIA DE RECUAY-ANCASH, PERÍODO SETIEMBRE – OCTUBRE 2019”**, que presenta **BAZAN AGÜERO DARWIN YOUNG** para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

En seguida, después de haber atendido la exposición oral y escuchada las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, lo declaramos:

APROBADA

Con el calificativo de: *QUINCE* (15)

En consecuencia, **BAZAN AGÜERO DARWIN YOUNG** queda expedito para que el Consejo de Facultad de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo” apruebe el otorgamiento de su **Título Profesional de Ingeniero Ambiental** de conformidad al Art. 113 numeral 113.9 del Reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 761-2017-UNASAM) y el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 232-2017-UNASAM).

Huaraz, 18 de febrero del 2020

Dr. Alfredo Walter Reyes Nolasco
Presidente
Jurado de sustentación

MSc. Mario Vladimir Leyva Collas
Primer miembro
Jurado de sustentación

Dra. Bheny Janett Tuya Cerna
Segundo miembro
Jurado de sustentación

Dr. Maximiliano Loarte Rubina
Asesor de tesista

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y velar por mi salud.

A mis padres Villanueva Bazán y Genara Agüero por su apoyo incondicional
para cumplir mis metas.

A mis Hermanos: Noemi Y., Vladimir R., Yosselin F., Luz M. y Flor M.; por su
paciencia y comprensión.

A mis sobrinos Romario R. Bazán y Neyzán A. Dextre; por inspirarme a
seguir adelante.

A mi novia Lesly Nieto por todo el amor que me brinda y su apoyo incondicional.

Darwin Young

AGRADECIMIENTO

A los docentes, alumnos y administrativos de la Escuela profesional de Ingeniería Ambiental - EPIA por contribuir en mi formación profesional.

Al Dr. Maximiliano Loarte Rubina, por su orientación y apoyo en el desarrollo de la tesis.

Al Dr. Alfredo Walter Reyes Nolasco, MSc. Mario Vladimir Leyva Collas y Dra. Bheny Janett Tuya Cerna; miembros del jurado, por sus sugerencias.

A las autoridades del sector Canrey Chico, por la autorización del trabajo dentro de sus predios privados.

A la Ing. Noemí Yovanna Bazán Ávila; mi hermana, por su constante apoyo y sugerencias durante los diseños del sistema de tratamiento.

Al Ing. Roger Dionicio Dextre Cadillo, por su apoyo en cuanto a la movilidad.

A Carlos Julián Pacheco Sotelo; compañero de promoción, por su apoyo durante el proceso de instalación del sistema de canales.

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la eficiencia de canales con dos diámetros de roca caliza en la precipitación del aluminio total y mejora del pH de las aguas ácidas del río Negro, captadas a través del canal Mátara en el sector Canrey Chico. Metodológicamente deriva de un tipo de investigación cuantitativa y explicativa; con un diseño de investigación experimental y de corte longitudinal; para lo cual se ha instalado dos sistemas de canales con lechos de $\varnothing=1/2''$ y de $\varnothing=1''$ durante un periodo de 08 semanas. Para determinar la eficiencia, se registraron tres mediciones de las concentraciones del aluminio total y valores de pH, los cuales fueron tomados del ingreso y salida del sistema de tratamiento. Se determinó que estadísticamente no hubieron diferencias en la primera, cuarta y octava semana respecto a la precipitación del aluminio total; sin embargo en la primera y cuarta semana, la diferencia de ambos tratamientos son estadísticamente diferentes en la mejora del pH, a excepción de la octava semana; lo que permite concluir que ambos sistemas de canales con lechos de caliza, no fueron eficientes en la precipitación del aluminio total en el periodo de las 8 semanas de registro; mientras que en la primera y cuarta semana, ambos tratamientos mostraron ligera eficiencia en la mejora del pH, siendo el canal de lecho de $\varnothing=1/2''$ ligeramente mayor en la primera semana y en la octava no fueron eficientes.

Palabras claves: Eficiencia de canales, precipitación de aluminio total, mejora de pH, aguas ácidas.

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the efficiency of channels with two diameters of limestone rock in the precipitation of total aluminum and improvement of the pH of the acidic waters of the Negro River, captured through the Mátara channel in the Canrey Chico sector. Methodologically derived from a type of quantitative and explanatory research; with an experimental and longitudinal cutting research design; for which two channel systems with beds of $\varnothing = 1/2$ "and $\varnothing = 1$ " have been installed over a period of 08 weeks. To determine the efficiency, three measurements of the total aluminum concentrations and pH values were recorded, which were taken from the entry and exit of the treatment system. It was determined that statistically there were no differences in the first, fourth and eighth week with respect to the precipitation of total aluminum; however, in the first and fourth week, the difference of both treatments is statistically different in the improvement of pH, except for the eighth week; what allows to conclude that both systems of channels with limestone beds, were not efficient in the precipitate of the total aluminum in the period of the 8 weeks of registration; while in the first and fourth week, both treatments showed slight efficiency in the improvement of the pH, with the bed channel of $\varnothing = 1/2$ "slightly greater in the first week and in the eighth they were not efficient.

Keywords: Channel efficiency, total aluminum precipitation, pH improvement, acidic waters.

ÍNDICE

CONTENIDO	Pág.
AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN.....	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xii
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.2. Formulación del problema.....	6
1.3. Hipótesis.....	7
1.4. Objetivos.....	7
1.5. Definición de variables.....	8
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Antecedentes.....	9
2.2. Bases teóricas.....	11
2.2.1. Potencial de hidrógeno (pH) del agua.....	11
2.2.2. Aluminio en aguas.....	15
2.2.3. Rocas calizas y carbonato de calcio.....	17
2.2.4. Drenaje ácido de roca y generación de aguas ácidas.....	20
2.2.4.1. Etapas y mecanismos de desarrollo del drenaje ácido de roca.....	21

2.2.4.2. Sistemas disponibles para el tratamiento de las aguas ácidas	22
2.2.4.3. Canales de roca caliza	23
2.3. Definición de términos.....	24

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA	25
3.1. Tipo de investigación	25
3.2. Diseño de investigación	25
3.3. Población y muestra.....	26
3.4. Ubicación	26
3.5. Procedimientos	26

CAPÍTULO IV

RESULTADOS	40
4.1. Primera semana.....	40
4.2. Cuarta semana.....	45
4.3. Octava semana	49
4.4. Precipitación del aluminio total en las 8 semanas.....	54
4.5. Mejora de pH en las 8 semanas.....	55
DISCUSIÓN	56

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
5.1. Conclusiones.....	58
5.2. Recomendaciones	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
ANEXOS	65
ANEXO 1. Mapa de ubicación del trabajo de investigación.....	66
ANEXO 2. Resultados del dimensionamiento del sistema de canales	68

ANEXO 3. Planos de diseño del sistema	78
ANEXO 4. Reportes de laboratorio	82

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de calizas según el contenido de CaCO_3	17
Tabla 2: Características de la roca caliza de la cantera SARTRACON.....	28
Tabla 3: Codificación de los canales para la toma de muestra	36
Tabla 4: Cronograma para la toma de muestras.....	36
Tabla 5: Cuadro general de análisis de varianza	39
Tabla 6: Resultados de análisis de laboratorio en la primera semana.....	41
Tabla 7: Análisis de varianza.....	42
Tabla 8: Análisis de varianza.....	44
Tabla 9: Prueba de Tukey	45
Tabla 10: Resultados de análisis de laboratorio.....	45
Tabla 11: Análisis de varianza.....	47
Tabla 12: Análisis de varianza.....	49
Tabla 13: Prueba de Tukey	49
Tabla 14: Resultados de análisis de laboratorio en la octava semana.....	50
Tabla 15: Análisis de varianza.....	51
Tabla 16: Análisis de varianza.....	53
Tabla 17: Resultados de análisis de laboratorio de las 3 observaciones. ...	54
Tabla 18: Resultados de análisis de laboratorio de las 3 observaciones. ...	55
Tabla 19: Parámetros de diseño del sistema de canales	69
Tabla 20: Resultados de los cálculos del caudal de ingreso constante.....	71
Tabla 21: Datos para calcular el tiempo de contacto.....	72
Tabla 22: Datos para calcular la cantidad de caliza empleado.....	73

Tabla 23: Volumen de agua que circula por el canal.....	74
Tabla 24: Datos para calcular la cantidad de caliza de $\varnothing=1/2"$	74
Tabla 25: Cantidad de caliza de $\varnothing=1/2$ empleada.....	75
Tabla 26: Datos para calcular la cantidad de caliza de $\varnothing=1"$	75
Tabla 27: Cantidad de caliza de $\varnothing=1"$ empleada.....	75
Tabla 28: Datos para calcular la carga del vertedero.....	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Captación de las aguas del rio Negro a través	6
Figura 2: Limpieza y desbroce del terreno	30
Figura 3: Trazo y excavación manual de zanja.....	30
Figura 4: Suministro de caliza de la cantera SARTRACON.....	31
Figura 5: Tamizado y cribado de la caliza.....	31
Figura 6: Instalación del sedimentador	32
Figura 7: Colocación y sellado de los vertederos triangulares y rectangular sobre la tina de plástico	32
Figura 8: Instalación del desarenador y de los vertederos.....	33
Figura 9: Instalación de canales con material de PVC de 4" de 7.5m y con pendientes constantes de 2%	33
Figura 10: Instalación del sistema de canales con 3 repeticiones de cada uno.....	34
Figura 11: Instalación de cerco de protección con alambre de púas y su respectiva instalación de la cobertura.	34
Figura 12: Limpieza de las malezas en las cribas del desarenador.....	35
Figura 13: Medición de pH en campo y toma de muestra, al ingreso del sistema de canales	37
Figura 14: Medición de pH en campo y toma de muestra, a la salida del sistema de canales	37
Figura 15. Porcentaje de precipitación de aluminio total en los 3 tratamientos	41

Figura 16. Concentración promedio de aluminio total vs ECA	42
Figura 17. Porcentaje de mejora de pH en los 3 tratamientos.	43
Figura 18. Valores promedio de pH de los tratamientos vs ECA.	44
Figura 19. Porcentaje de precipitación de aluminio total en las 3 observaciones.....	46
Figura 20. Concentración promedio de aluminio total vs ECA.	46
Figura 21. Porcentaje de mejora de pH en las 3 observaciones.	48
Figura 22. Valores promedio de pH de los tratamientos vs ECA.	48
Figura 23. Porcentaje de precipitación de aluminio total en las 3 observaciones.....	50
Figura 24. Concentración promedio de aluminio total vs ECA.	51
Figura 25. Porcentaje de mejora de pH en las 3 observaciones.	52
Figura 26. Valores promedio de pH de los tratamientos Vs ECA.....	53
Figura 27. Tendencias de precipitación de las 3 observaciones en las 8 semanas.	54
Figura 28. Porcentaje de pH en las 08 semanas de las 3 observaciones.	55

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los canales de roca caliza son sistemas de tratamiento pasivo que se emplean para mejorar la calidad de aguas proveniente de drenaje ácido de roca o mina, los lechos se rellenan con roca caliza por el cual fluye el agua a tratar con el objetivo de disminuir la acidez (Villanueva y Sánchez, 2013). El tiempo de contacto, el caudal de ingreso, la pendiente, la acidez y la composición química inicial del agua ácida, son factores cruciales a manipular para alcanzar o no la neutralización de la solución (López A. , 2016).

Para garantizar la eficiencia de estos sistemas de canales en el tiempo, se debe tener en cuenta los factores de diseño anteriormente mencionados, de esta manera se evitará la saturación o recubrimiento; ya que la presencia de los precipitados en forma de gel serán arrastradas por el accionar del flujo de arrastre del agua (Ziemkiewicz, Skousen, Brant, Sterner, y Lovett, 1997).

Las aguas ácidas del río Negro, tienen altas concentraciones de aluminio total (6.4 mg/l) y pH ácidos (3.00), que, al ser utilizados, generan impactos negativos al ambiente y la sociedad. A la fecha, vienen siendo usadas por los pobladores del sector para el riego de sus cultivos y bebida de animales principalmente, los cuales de acuerdo a los Estándares de Calidad Ambiental para Agua DS-004-2017-MINAM en cuanto a la Categoría 01 y subcategoría A1, la concentración de aluminio y los valores de pH se encuentran superando los ECA para la categoría mencionada.

Por lo expuesto anteriormente se plantea la siguiente pregunta de investigación, ¿Cómo precipitar las altas concentraciones del aluminio total y mejorar el pH de las aguas ácidas del río Negro captadas a través del canal Mátara en el sector Canrey Chico?, a esta problemática, se plantea como objetivo general, evaluar la eficiencia de canales con lechos de roca caliza de dos diámetros en la precipitación del aluminio total y mejora del pH de las aguas ácidas del río Negro, captadas a través del canal Mátara en el sector Canrey Chico, distrito y provincia de Recuay - Ancash, periodo setiembre - octubre 2019. Para poder desarrollar adecuadamente el objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos: (a) instalar un experimento con dos canales de roca caliza de $\varnothing=1/2''$ y $\varnothing=1''$ de pendiente constante; (b) registrar tres mediciones de aluminio total y pH de las aguas ácidas a la entrada y salida del sistema de canales durante los dos meses del proceso experimental; (c) determinar el porcentaje de precipitación de aluminio total y mejora de pH de las aguas ácidas del río Negro captadas a través del canal Mátara en el sector Canrey Chico, al finalizar el proceso de experimentación; y finalmente (d) determinar la eficiencia de los canales de roca caliza de $\varnothing=1/2''$ y $\varnothing=1''$, en la precipitación del aluminio total y mejora del pH de las aguas ácidas del río Negro captadas a través del canal Mátara en el sector Canrey Chico.

El estudio se justifica desde el punto de vista ambiental, porque de continuar las altas concentraciones de aluminio total y bajo pH, estas aguas seguirán generando impactos ambientales negativos a todo el ecosistema por donde fluye. Asimismo, se justifica desde la perspectiva social, porque al hacer uso de aguas con mayor calidad en cuanto a concentración de aluminio total y pH adecuados, la población mejorará su producción agrícola, ganadera e indirectamente la calidad de vida. De igual forma en lo económico, porque al continuar usando aguas de mala calidad en cuanto al aluminio total y pH; se afectará la salud de la población incrementando sus gastos para acudir a los centros médicos.

Metodológicamente el estudio fue de enfoque cuantitativo, dado que se realizó la recolección de datos fundamentada en la medición de variables y fueron analizados mediante métodos estadísticos y posteriormente representados mediante números; de nivel explicativo, porque los lechos de caliza influyen en la precipitación del aluminio total y mejora el pH de las aguas del río Negro estableciéndose una relación causa-efecto; de diseño experimental porque se realizó la manipulación de variables (supuestas causas – supuestos efectos), para analizar las consecuencias que la

manipulación tiene sobre la otra variable (supuestos efectos – consecuentes), cabe indicar que en todo momento el investigador tuvo el control; y finalmente de corte longitudinal porque se realizaron mediciones en distintos periodos de tiempo. La población de estudio estuvo conformada por las aguas del río Negro captas a través del canal Mátara, con una muestra de 0.5 litros de muestra de cada sistema de tratamiento.

La investigación se enfocó en la precipitación del aluminio total y su posterior mejora del pH, mediante tratamientos con sistemas de canales con lechos de roca caliza de $\varnothing=1/2$ " y de $\varnothing=1$ ", ubicado en el margen derecho del canal Mátara, en la cuenca del río Negro, en la vertiente sur de la comunidad campesina Cordillera Blanca, en el sector Canrey Chico, en el distrito y provincia de Recuay, departamento de Ancash, a 3,655 m.s.n.m. El estudio consideró tres periodos de observación, posterior a ello se realizó la preparación y acondicionamiento para la instalación del sistema; realizándose el procesamiento mediante un diseño completamente randomizado con 3 tratamientos y 3 repeticiones.

Se instaló el experimento con dos sistemas de canales con lechos de $\varnothing=1/2$ " y de $\varnothing=1$ " de pendiente constante de 2% para ambos casos, se registraron tres mediciones de aluminio total y pH de las aguas a la entrada y salida del sistema de canales durante los dos meses del proceso experimental. Se determinó el porcentaje de precipitación de aluminio total de las aguas al finalizar el proceso de experimentación y finalmente se tuvo que determinar la eficiencia de los canales con lechos de $\varnothing=1/2$ " y de $\varnothing=1$ ", en la precipitación del aluminio total y mejora del pH de las aguas.

Concluyendo que, ambos sistemas de canales con lechos de caliza, no fueron eficientes en la precipitan del aluminio total en el periodo de las 8 semanas de registro; mientras que en la primera y cuarta semana, ambos tratamientos mostraron ligera eficiencia en la mejora del pH, siendo el canal de lecho de $\varnothing=1/2$ " ligeramente superior en la primera semana y en la octava no fueron eficientes.

JUSTIFICACIÓN

a. Ambiental

Es necesario mitigar y controlar el pH ácido y la alta concentración del aluminio total de las aguas, ya que estas condiciones de acidez facilitan el

movimiento de metales pesados que impactan negativamente a los ecosistemas por donde fluyen; éste al entrar en la cadena trófica genera daños irreversibles al ecosistema, reduciendo los servicios ambientales de la flora y fauna principalmente.

b. Social

Al precipitar el aluminio total y al mejorar el pH ácido del agua del río Negro, la población usuaria de estas aguas, mejorarán su producción agrícola y asimismo reducirán los gastos en la salud de la población del ámbito de Canrey Chico.

c. Económica

El consumo de estas aguas ácidas con niveles de pH bajo y elevadas concentraciones de aluminio total ya sea por los pobladores de la zona y por los animales o el uso para riego de vegetales trae consecuencias negativas en la salud humana, y por ende la población utilizará recursos económicos para acudir a los centros médicos, incrementando sus costos personales y las del Estado; ya que el estado asignará recursos económicos para el tratamiento de los pacientes.

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad la calidad del agua de los ríos y lagos principalmente son contaminados por el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales y drenajes ácidos de roca o mina, los cuales contribuyen a la alteración del ciclo hidrológico y la extinción del ecosistema acuático. Asimismo, el cambio climático está generando impactos negativos sobre el ambiente y con mayor énfasis en los nevados, ya que esta acción acelera los procesos de desglaciación; éstos a su vez al encontrarse sobre superficies geológicas con altos contenidos de minerales sulfurosos, la presencia de agua y oxígeno; generan drenaje ácido de roca (DAR) con alto contenido de metales solubles que son conducidos a través de ríos a otros ecosistemas; afectando negativamente aquellas áreas intervenidas.

Según Chávez (2011) las aguas del río Negro, se caracterizan por presentar valores de 3.76 de pH y 1.850 mg/l de aluminio total en épocas de alta precipitación; mientras que en épocas secas el valor de pH es de 3.38 y del aluminio total es igual a 2.350 mg/l. Esto muestra que la población del sector viene utilizando aguas con presencia de altas concentraciones de metales y pH ácido. Además, afirma que, las aguas del río Negro captadas a través del canal Chonta son usadas para consumo humano, bebida de animales, riego de cultivos, pastos y huertas; las cuales acorde a los Estándares de Calidad Ambiental para Agua DS-004-2017-MINAM en cuanto a la categoría 01 y subcategoría A1, la concentración de aluminio y los valores de pH se encuentran superando los ECA para la categoría mencionada. Por lo tanto, en cuanto a estos parámetros existentes, la calidad de estas aguas no es apta para el consumo humano, necesidad insatisfecha que la población viene afrontando desde hace muchos años perjudicando su salud.

Con respecto a los efectos ambientales del aluminio; Glynn y Heinke (1999) afirman que las altas concentraciones de aluminio en las aguas acidificadas suelen ser el agente que mata los peces y quizá otras biotas sensibles, como los crustáceos del plancton. En los lagos alcalinos o casi neutros las concentraciones de aluminio son muy bajas. No obstante, a medida que el pH desciende, el aluminio antes insoluble, que está presente en concentraciones muy altas en las rocas, los suelos y los sedimentos de ríos y lagos, comienzan a disolverse. Una vez en solución, el aluminio a bajas concentraciones (de 0.1 a 1 mg/l) es excesivamente tóxico para diversas formas de vida acuática. Aunque la concentración de aluminio aumenta de forma exponencial debajo de un pH de 4.5 a 4.7. Por su parte; Harris (2007) afirma que el aluminio a pH menor que 5 se solubiliza y su concentración en las aguas de los lagos aumenta rápidamente. A una concentración de 130 mg/l el aluminio mata a los peces. En los humanos, altas concentraciones de aluminio causan demencia, ablandamiento de huesos y anemia. Se sospecha que el aluminio es una causa posible de la enfermedad de Alzheimer.



Figura 1. Captación de las aguas del río Negro a través del canal Mátara.

1.2. Formulación del problema

En vista que las aguas del río Negro son usados para el consumo humano, bebida de animales y riego de vegetales a través de canal Chonta (Chávez, 2011) y además tiene un pH ácido y elevadas concentraciones de aluminio total en comparación con el Estándar de Calidad Ambiental para agua del DS-004-2017-MINAM en cuanto a la Categoría 1 y subcategoría A1. Entonces se puede indicar que estas aguas generarán impactos negativos al ambiente, a la sociedad y la economía dentro del área de influencia directa e indirecta de la población. En consecuencia se plantea las siguientes interrogantes:

Problema general

¿Cómo precipitar las altas concentraciones del aluminio total y mejorar el pH de las aguas ácidas del río Negro captadas a través del canal Mátara en el sector Canrey Chico?

Problemas específicos

- a. ¿Las rocas calizas son eficientes en la precipitación del aluminio total y mejora del pH?

- b. ¿Qué diámetro de roca caliza es la más eficiente en la precipitación del aluminio total y mejora del pH?

1.3. Hipótesis

General

Los canales con lechos de roca caliza de dos diámetros, precipitan el aluminio total y mejoran el pH de las aguas del río Negro, captadas a través del canal Mátara en el sector Canrey Chico.

Específicas

- a. **Hipótesis 1:** El canal con lecho de roca caliza de menor diámetro ($\phi=1/2''$) tiene mayor eficiencia en la precipitación del aluminio total y por ende mejora el pH de las aguas acidas del río Negro del sector Canrey Chico.
- b. **Hipótesis 2:** La precipitación porcentual del aluminio total será mayor a 80% mediante el tratamiento con lechos de caliza.

1.4. Objetivos

General

Evaluar la eficiencia de canales con lechos de roca caliza de dos diámetros en la precipitación del aluminio total y mejora del pH de las aguas ácidas del río Negro, captadas a través del canal Mátara en el sector Canrey Chico, distrito y provincia de Recuay - Ancash, periodo setiembre - octubre 2019.

Específicos

- a. Instalar un experimento con dos canales de roca caliza de $\phi=1/2''$ y $\phi=1''$ de pendiente constante.

- b. Registrar tres mediciones de aluminio total y pH de las aguas ácidas a la entrada y salida del sistema de canales durante los dos meses del proceso experimental.
- c. Determinar el porcentaje de precipitación de aluminio total y mejora de pH de las aguas ácidas del río Negro captadas a través del canal Mátara en el sector Canrey Chico, al finalizar el proceso de experimentación.
- d. Determinar la eficiencia de los canales de roca caliza de $\varnothing=1/2"$ y $\varnothing=1"$, en la precipitación del aluminio total y mejora del pH de las aguas ácidas del río Negro captadas a través del canal Mátara en el sector Canrey Chico.

1.5. Definición de variables.

a. Variable dependiente (VD)

Precipitación del aluminio total y mejora del pH de las aguas ácidas.

b. Variable independiente (VI)

Diámetros de roca caliza utilizados en los lechos de los canales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Para reducir las concentraciones de los metales solubles de las aguas ácidas del proyecto minero en el Cantón de Portovelo, de la provincia del Oro en Ecuador. Loayza (2018) realizó el diseño y construcción de una columna con roca caliza para reducción de hierro y cobre en agua de drenaje ácido de mina; para lo cual planteó los siguientes objetivos específicos:

- Determinar los tiempos de permanencia y tamaño de partícula idónea para sistemas de reducción de hierro y cobre en el drenaje ácido de mina,
- Construir una columna de reducción a escala de laboratorio y
- Calcular el porcentaje de remoción de hierro y cobre del agua de drenaje ácido de mina al finalizar el proceso de experimentación.

Concluyó estableciendo que con el uso de roca caliza a escala de laboratorio se puede remover los metales como el hierro y el cobre del agua del drenaje ácido, en altas cantidades; además la columna de roca caliza fue construida de tal manera que los precipitados desciendan por gravedad

mediante agitación. Así mismo el autor precisa que luego del tratamiento con roca caliza, las concentraciones de hierro y cobre puesto en estudio, se encuentran por debajo del límite permisible establecido en la Norma Ambiental Nacional vigente en concordancia con el Texto Unificado de Legislación Ambiental, Libro VI, Anexo 1, tabla 12. Ecuador.

Villanueva y Sánchez (2013) realizaron un diseño de tratamiento pasivo en el departamento de Huancavelica; para lo cual se propusieron dos objetivos específicos:

- Evaluar cualitativa y cuantitativamente el tratamiento de las aguas ácidas mediante drenes de caliza y;
- Determinar la tasa de tratamiento del agua ácida tratada.

Concluyendo que la acidez protónica del agua ácida es corregida mediante Drenes Abiertos de Caliza (OLD), además el pH del agua ácida de la Unidad Minera Julcani puede aumentar debido a un diseño químico e hidráulico de un canal de caliza abierto (OLD). Así mismo concluyen estableciendo que el caudal óptimo que permite reaccionar las moléculas de carbonato de calcio con las aguas ácidas para elevar el pH hasta un valor cercano a neutro es de 0.0095 l/s.

Chávez (2011) en el estudio de caracterización para evaluar las oportunidades de remediación en la cuenca del río Negro-cc. Cordillera Blanca, propuso los siguientes objetivos específicos:

- Identificar la condición de los principales afluentes del río Negro en función de los análisis de laboratorio y la salida de reconocimiento,
- Determinar la viabilidad de las opciones de remediación para cada fuente de agua y;
- Analizar los resultados de los parámetros físicos y químicos de las dos épocas.

Entre sus conclusiones el autor establece que los ríos de Pumahuacanca y Urhuash afluentes del río Negro, tienen los más altos niveles de concentración de contaminantes; los cuales fueron evidenciados de acuerdo a los reportes de los monitoreos de la calidad del agua, donde el valor del pH es 3.38 y del aluminio total es 2.350 mg/l en época seca y en época húmeda el valor del pH es 3.76 y del aluminio total es 1.850 mg/l.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Potencial de hidrógeno (pH) del agua

Sorensen en Garrido *et al.* (2006) precisó que, el pH de una disolución viene dado por la siguiente relación:

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]} - \log[H^+]$$

de la misma forma el

$$pOH = \log \frac{1}{[OH^+]} - \log[OH^+]$$

y el $pH + pOH = 14$.

En una disolución neutra a 25°C la $[H^+] = [OH] = 1,0 \times 10^{-7} M$.

Es decir que cuando el pH = 7,0 la disolución es neutra, cuando el pH es menor que 7,0 la disolución es ácida y cuando es mayor es básica.

Por su parte Hilleboe (2000) afirma que el pH es una medida de la actividad de los iones H^+ presentes en el agua y por lo tanto una medida indirecta de los iones OH^- .

a. Acidez y alcalinidad del agua

Henry y Heinke (1999) afirman que la teoría de Brønsted-Lowry describe las interacciones ácido-base en términos de transferencia de protones entre especies químicas. Es decir, es cualquier reacción química donde se transfiere un proton de un ácido a una base. Se le

denominará ácido aquella especie química que puede donar o ceder un protón H^+ y base aquella especie que puede aceptar el protón cedido. Esta teoría se utiliza para reacciones ácido-base en cualquier disolvente.

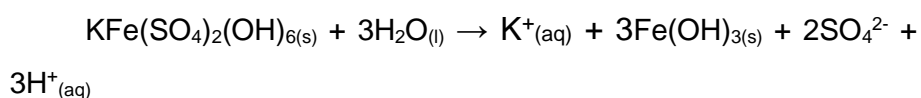
Además la acidez del agua es su capacidad para neutralizar bases y la alcalinidad es la capacidad para neutralizar ácidos, esto debido a que el agua tiene un carácter anfótero, es decir puede comportarse como ácido o base de acuerdo al medio donde se encuentre.

b. Iones implicados en la acidez del drenaje ácido de roca

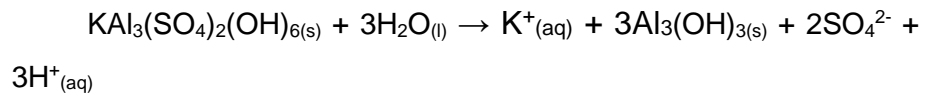
Aduvire (2006) indica que, la acidez de los drenajes ácidos de mina principalmente se deben a los protones de H^+ libres, más la acidez potencial ligada a la hidrólisis del Fe y Al principalmente; además indica que en la acidez a pH 3,7 está incluida la acidez aportada por la hidrólisis del Fe^{3+} y en la acidez a pH 5 está incluida la acidez aportada por la hidrólisis del Al^{3+} .

Por su parte Lottermoser (2010) indica que, la disolución de minerales secundarios como sulfatos de Fe, Al, y Mn, o hidrosulfatos como la jarosita, alunita, coquimbita, entre otros, producen la liberación de iones H^+ y por ende un decremento en el pH de la solución. De los cuales López (2016) mediante un ejemplo determina la generación de la acidez con la disolución de minerales secundarios como la jarosita y la alunita como sigue:

Jarosita

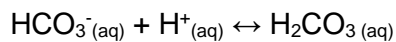


Alunita



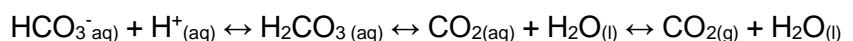
c. Influencia del carbonato de calcio (CaCO_3) en la mejora del pH

Lottermoser (2010) establece que el carbonato de calcio es el principal componente de la roca caliza, el cual contribuye consumiendo la acidez de las aguas con pH por debajo de 6.3, produciendo el ión bicarbonato (HCO_3^-) y en aquellas aguas con pH entre 6.3 y 10.3, produciendo el ácido carbónico (H_2CO_3), este último no contribuye significativamente en la mejora del pH del agua de drenaje ácido de mina; ya que como se sabe la mayor concentración de iones de H^+ se encuentran en soluciones con pH menores. Por lo tanto, los iones de bicarbonato proporcionan capacidad neutralizante al agua como se ilustra en la siguiente reacción:



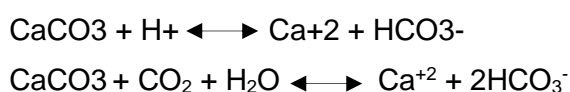
Donde el bicarbonato elimina el hidrógeno libre de la solución, bajando la acidez de la solución. Por lo tanto cuanto mayor es la concentración total de las especies bicarbonato, entonces tendrá mayor capacidad de amortiguación y alcalinidad el agua de drenaje ácido de mina.

Ademas el bicarbonato al entrar en contacto con el hidrógeno libre, forma el ácido carbónico y éste a su vez reacciona formando el dióxido de carbono disuelto mas agua y finalmente la formación de dióxido de carbono gaseoso y agua, tal como se muestra en la ecuación.



La formación del dióxido de carbono gaseoso, esta en función al consumo permanente de iones de hidrógeno por bicarbonato y con ello reduciendo la acidez de las aguas ácidas.

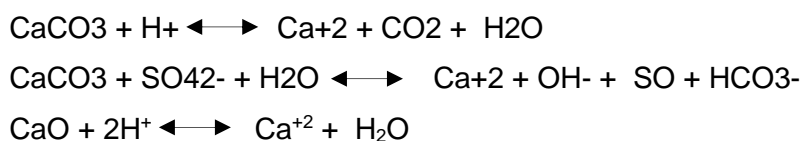
Además Bueno (2014) establece que el carbonato de calcio es un producto poco soluble, que se disuelve muy lentamente en el agua consumiendo iones hidrógeno y reaccionando con el dióxido de carbono, tal como se observa en las siguientes ecuaciones:



A su vez Tuiro (2010) establece que el carbonato de calcio con presencia de ácido sulfúrico y agua:

$\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$, produce yeso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ junto con los precipitados de metales y los sólidos en suspensión, formando un lodo y desprendimiento de CO_2 . La desventaja de utilizar sólo caliza es que no se disuelve a $\text{pH} > 6.5$ por lo tanto no puede llegar a neutralizar y precipitar los metales que tienen pH de precipitación más altos como el Zn, Pb, Mn, y As teniendo con esto un riesgo de no alcanzar, una buena neutralización de aguas ácidas.

Por su parte Aduvire (2006) afirma que el ratio de disolución de la caliza está en función del flujo y pH del agua, así como del contenido de calcio y tamaño de partícula de la caliza. En presencia de acidez la generación de alcalinidad se inicia a través de las siguientes reacciones:



Si el pH se incrementa a valores superiores a 6,5 el carbonato producirá H_2CO_3 antes que CO_2 , este último requiere una neutralización adicional para convertirse en HCO_3^- :



2.2.2. Aluminio en aguas

Castillo (2005) afirma que el aluminio es el metal más abundante en la corteza terrestre y el tercero entre todos los elementos (8.2%), estando en forma de aluminosilicatos (mineral que contiene óxido de aluminio (Al_2O_3) y sílice (SiO_2)), generalmente como componente de feldespatos y arcillas. La proporción relativa de aluminio en los minerales se incrementa con el proceso de meteorización de las rocas, formando finalmente óxidos de aluminio. Además precisa que la resistencia a la corrosión la adquiere por la formación de una capa de Al_2O_3 (alúmina), que es muy poco soluble en un rango amplio de pH (4,5-10) y protege de posteriores oxidaciones.

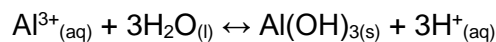
Así mismo Jiménez (2001) establece que el aluminio forma parte de minerales, rocas y arcillas. Además indica que su presencia en agua es frecuente ya sea como sal soluble, coloide o en compuestos insolubles.

Por su parte Lottermoser (2010) indica que la presencia de las altas concentraciones de aluminio y silicio en aguas ácidas, derivan de la meteorización de minerales de aluminosilicato como arcillas, o de la disolución de minerales secundarios como la alunita ($\text{K}_2\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$).

a. Movilidad del aluminio a diferentes pH

A un pH entre 5.7 y 6.2, el aluminio es menos soluble; pero a pH por encima y por debajo de este rango, el aluminio puede solubilizarse. Es por ello que el aluminio tiene un comportamiento similar al Hierro, ya que precipitan como hidróxidos, oxihidróxidos y oxihidroxisulfatos en aguas que han aumentado su pH de ácido a

condiciones casi neutras. En la siguiente reacción se visualiza la hidrólisis de aluminio trivalente similar al hierro férrico:



Formando como resultado un precipitado amorfo de color blanco denominado hidróxido de aluminio sólido ($\text{Al}(\text{OH})_{3(\text{s})}$) (Lottermoser, 2010).

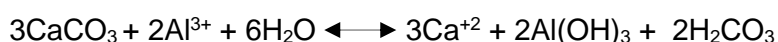
Por su parte Del Aguila (2015) experimentalmente comprueba que el aluminio (Al^{3+}) puede precipitar en forma de hidróxidos ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ↓ en medio neutro a valores de pH entre 7-8. Además menciona que el hidróxido de aluminio tiene diferentes comportamientos por su carácter anfótero. Es decir que en medio ácido se disuelve formando el ión (Al^{3+}) y que éste a su vez se hidrata formando el ión $[(\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6)]^{3+}$ a valores de $\text{pH} < 7$. Mientras que en medio básico el aluminio forma el ión aluminato (AlO_2^-) y que éste a su vez se encuentra hidratado formando los siguientes iones: $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ o $[\text{Al}(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})]^-$ y $[\text{Al}(\text{OH})_6]^{3-}$ a valores de pH entre 8 – 11. Asimismo, establece que se ha comprobado que el aluminio que se encuentra en medio básico formando el ión (AlO_2^-), puede precipitar en forma de hidróxido a un exceso de pH, a valores de $\text{pH} > 12$.

Además López, Aduvire, y Baretino (2002) afirman que el aluminio precipita en el agua a un pH de 5,5 pero se vuelve otra vez soluble a pH superior a 8,5 (Como se citó en Villanueva y Sánchez, 2013).

Mientras que Baretino, Loredo y Pendás (2005) indican que el pH en el que precipitan algunos metales como por ejemplo el aluminio es a pH de 5 o superior en forma de hidroxido de aluminio $\text{Al}(\text{OH})_3$ y en el caso del hierro ferroso se precipita a un pH de al menos 6 en forma de hidróxido férrico ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) (Como se citó en Sevillano, 2017).

b. Influencia del carbonato de calcio (CaCO₃) en la precipitación del aluminio

Para neutralizar aguas ácidas con presencia de metales, se realiza con la adición de alcalizantes como la caliza triturada (carbonato de calcio). En este caso el aluminio al entrar en contacto con el carbonato de calcio, precipita en el agua a un pH de 5,5 en forma de hidróxidos, tal como se muestra en la siguiente reacción:



Donde se forma el precipitado de hidróxido de aluminio mas iones de calcio y ácido carbónico. Volviéndose otra vez soluble a pH superior a 8,5 (Aduvire, 2006).

2.2.3. Rocas calizas y carbonato de calcio

a. Rocas calizas

Son compuestos no metálicos y se encuentra en la corteza terrestre en forma de rocas sedimentarias, compuestas principalmente por carbonato de calcio (CaCO₃), con impurezas de alúmina, sílice y magnesio (Hernández, Salinas, Blanco, Cerecedo, y Rodríguez, 2014).

Por su parte Gálvez (2003), establece que la caliza es una roca compuesta por varios minerales, pero principalmente por el mineral calcita que tiene como principal componente el carbonato de calcio.

Tabla 1: Clasificación de calizas según el contenido de CaCO₃.

Descripción	Porcentaje de Calcio (CaCO ₃)
De muy alta pureza	>98.5
De alta pureza	97.0 – 98.5
De media pureza	92.5 – 97.0
De baja Pureza	85.0 – 92.5
De impureza	<85.0

Fuente: Adaptado de León (2011).

b. Carbonato de calcio (CaCO₃)

Es un compuesto de la roca caliza que forma al menos el 50% de las rocas, en forma de calcita, además se disuelve con mucha facilidad en aguas que contienen dióxido de carbono (CO₂) gaseoso disuelto, formando el bicarbonato de calcio [Ca(HCO₃)₂], compuesto intermedio de alta solubilidad (Gonzales y Ticona, 2016). Por su parte Gálvez (2003), establece que la presión atmosférica aumenta la solubilidad de los carbonatos y la temperatura la disminuye.

Asimismo, Claramunt (2013) afirma que en un medio ligeramente ácido, las rocas calizas convierten al carbonato de calcio y carbonato de magnesio en carbonatos ácidos solubles de los mismos, por acción de las aguas ligeramente ácidas sobre los poros de la roca caliza. Posterior a ello al incrementar la temperatura de las rocas calizas, éstas se descomponen en óxidos metálicos. Así menciona que para tener mayor eficiencia en la carga adhesiva de los carbonatos de calcio, deben tener ciertas características en cuanto a su composición química y propiedades físicas.

➤ **Composición química**

Sepulcre (2000), establece que está determinada por la formación y naturaleza de la cantera de donde se ha extraído el mineral. Adicional a ello, para que tenga una mayor carga adhesiva el carbonato de calcio debe tener elevada pureza (>98%), bajo contenido en metales pesados para evitar que se catalicen procesos de envejecimiento, bajo contenido en sílice (cuarzo) y otros silicatos y contenido bajo de carbonato de magnesio (inferior a 1% en peso).

Por su parte Gonzales y Ticona (2016) indican que las rocas calizas están formadas por una serie de compuestos químicos, pero en mayor porcentaje de carbonato de calcio y carbonato de magnesio.

➤ **Propiedades físicas**

Según Sepulcre (2000), los más relevantes son la distribución granulométrica y la superficie específica. Como se describen a continuación:

✓ **Distribución granulométrica**

Está determinada por el método de molienda, clasificación y dureza de la roca. Además de ello está en función a la preparación y uso que se le dará al adhesivo aplicado (brillo, resistencia al impacto, adhesión, forma de aplicación, etc); ya que no existen dos tipos de carbonato de calcio con distribución granulométrica exactamente iguales ni tampoco con composición química idénticas.

✓ **Superficie específica**

Se refiere a la cantidad de partículas finas existentes en el carbonato de calcio, ya que para un mismo diámetro promedio, el carbonato de calcio que presente una mayor distribución granulométrica, tendrá mayor superficie específica.

Por su parte Skoog y West (1986), mencionan que la superficie específica de un sólido se define como la superficie exterior por unidad de peso; es decir al reducir el tamaño de las partículas, su superficie específica aumenta, llegando a ser enorme cuando se alcanzan las dimensiones de un coloide típico.

Además, López (2016) indica que, el potencial de neutralización de las rocas será mayor, cuanto menor sea el tamaño de la roca, ya que, de esta forma, la superficie de contacto con el drenaje ácido de mina aumenta. Además

menciona que cuanto menor sea el tamaño de las rocas, éstos están sujetos a ser arrastrados por el flujo y económicamente resulta un gasto mayor.

c. Solubilidad del carbonato de calcio (CaCO_3)

Lottermoser (2010) indica que en una reacción de neutralización en un sistema aislado, la disolución de la calcita es menor, al haber ausencia de CO_2 ; mientras que en un sistema abierto, al estar en contacto la solución con el dióxido de carbono disuelto, la calcita es disuelta con mayor rapidez.

Además, en Morin y Hutt (2001) (como se citó en Villanueva y Sánchez, 2013), declaran que la ratio de disolución de la caliza está en función del flujo y pH del agua, así como del contenido de Ca y tamaño (superficie específica) de partícula de la caliza.

2.2.4. Drenaje ácido de roca y generación de aguas ácidas

Espinoza (1997) indica que el término drenaje ácido de roca (DAR) tiene su origen en el proceso mediante el cual los minerales sulfurados se oxidan por intemperización formando ácido sulfúrico. Estos procesos pueden incrementar la solubilidad o disolución de los minerales y la movilidad de los metales.

Así mismo cabe mencionar que el DAR existe en el ambiente de forma natural sin actividad minera.

Por su parte Talaverano (2014) afirma que es el término que se utiliza para denominar el tipo de efluente que se produce como consecuencia de la oxidación natural de los minerales sulfurados contenidos en las rocas, cuando son expuestos a la acción del agua y del aire.

2.2.4.1. Etapas y mecanismos de desarrollo del drenaje ácido de roca

Talaverano (2014) indica que existen tres etapas bien marcadas para la generación del DAR, los cuales se detallan a continuación:

Etapas I

Los minerales sulfurados son oxidados químicamente por el oxígeno del aire. El producto de esta reacción es sulfato, hierro ferroso y acidez (ión H⁺). En el rango normal de pH de suelos y agua (pH 5-7) los metales liberados por el desgaste de minerales generalmente precipitan y están relativamente inmóviles, debido a que los minerales alcalinos como la calcita (CaCO₃), presentes en la matriz de la roca neutralizan la acidez y originan la oxidación y precipitación del hierro como óxido o hidróxido.

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

Etapas II

El pH del microambiente ha disminuido hasta 4,5; por lo que ocurren reacciones de oxidación tanto químicas como biológicas. Si la oxidación continúa hasta que se haya agotado todo el potencial de neutralización, se presentarán valores de pH por debajo de 3,5. Existen concentraciones elevadas de hierro ferroso y sulfato y pese a la acidez relativamente alta, las concentraciones de metales en la solución pueden ser bajas.

Etapa III

Las reacciones de oxidación catalizadas por bacterias aumentan. Se produce hierro ferroso, que se oxida biológicamente a hierro férrico, el cual se convierte en el oxidante dominante, reemplazando al oxígeno y el drenaje se vuelve aún más ácido producto de la oxidación de sulfuros metálicos (ZnS, PbS, etc), con mayores concentraciones de metales disueltos. La velocidad de oxidación es considerablemente más rápida que en la etapa I. Mediante estudios se ha podido observar que el aumento de las velocidades es de 10 a 1 millón de veces más.

Por su parte Aduvire (2006) indica que 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. Además, 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.

2.2.4.2. Sistemas disponibles para el tratamiento de las aguas ácidas

Aduvire (2006) indica que generalmente los procesos de tratamientos de drenajes ácidos se basan en la eliminación y el aislamiento de metales y aniones metálicos de las aguas. Algunos de ellos incluyen las técnicas de precipitación que suelen ser bastante efectivas para conseguir la calidad deseada de los efluentes. Por lo general los métodos de tratamiento de aguas ácidas se clasifican en dos grandes grupos:

Métodos activos: son aquellos que precisan de una operación continuada, como sucede en una planta química de tratamiento de aguas ácidas. Este método tiene elevados costos de operación y mantenimiento y sobre todo cuando se trata de grandes volúmenes.

Métodos pasivos: en este tipo de métodos la intervención del hombre es mínima, tal como sucede con los humedales, drenajes anóxicos calizos, sistemas de producción de alcalinidad y otros.

El objetivo principal de los métodos de tratamiento de las aguas ácidas es la supresión de la acidez, la precipitación de los metales pesados y la eliminación de sustancias contaminantes como sólidos en suspensión, arseniatos, antimoniatos y otros.

2.2.4.3. Canales de roca caliza

Ziemkiewicz, Skousen, Brant, Sterner, y Lovett (1997) establecieron que para diseñar los sistemas de canales abiertos con roca caliza se debe tener en cuenta ciertas condiciones de diseño, como por ejemplo, bajo caudal de ingreso del drenaje ácido y amplia área de aplicación, de esta forma se garantizará un mayor tiempo de residencia para alcanzar el pH requerido. Además indican que si se cuenta con caudales grandes y áreas transversales de canal relativamente pequeño, resultará ventajoso, ya que el flujo arrastrará parte de los sedimentos que se precipitan en forma de hidróxidos de hierro y aluminio, evitando de esa forma la saturación o recubrimiento de la roca caliza. Las rocas calizas disminuyen su solubilidad a 1/5 por recubrimiento de la superficie, disminuyendo su efectividad de neutralización hasta un 45% dependiendo del pH de origen. Por lo tanto, Santomartino y Webb (2007) recomiendan que la construcción de estos canales deben tener una pendiente mayor a 20%, para no formar sedimentos y evitar la saturación de la superficie de las rocas, por acción de la velocidad del flujo.

Villanueva y Sánchez (2013) indican que es un canal cuyo lecho está relleno de caliza por el que fluye el agua a tratar, cuyo objetivo es incrementar el pH y la alcalinidad para disminuir la acidez. El elevado contenido de oxígeno, produce la oxidación e hidrólisis del hierro (Fe) y aluminio (Al) disueltos, que precipitan como oxihidróxidos.

Por su parte López (2016), indica que el tiempo de contacto junto con la magnitud del caudal, las pendientes del terreno, la acidez y composición química inicial del agua ácida, son los factores cruciales para alcanzarse o no la neutralización de la solución. Mientras que Aduvire (2006) indica que el objetivo principal por el cual se usa las rocas calizas en canales, es para controlar el pH y mantenerlo neutro con el fin de controlar oxidaciones químicas y actividades bacterianas.

2.3. Definición de términos

- **Contaminación:** Presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o a su vez, que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos. (Ministerio del Ambiente, 2016)
- **Estándar de Calidad Ambiental (ECA):** es la medida que establece el nivel de contracción o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos o biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa significativo para la salud de las personas ni al ambiente (Ministerio del Ambiente, 2010).
- **Precipitación:** es el proceso mediante el cual los iones de los metales solubles y biodisponibles se precipitan del agua ácido en forma de hidróxidos, para lo cual se hace uso de alcalizantes como la roca caliza (Aduvire, 2006).
- **Carga adhesiva:** proceso químico mediante el cual el carbonato de calcio (CaCO_3) reacciona con iones libres de la solución acuosa, formando compuestos químicos de mayor estabilidad (Sepulcre, 2000).
- **Arrastre por flujo:** proceso mediante el cual las aguas ácidas que circulan por el canal de roca caliza, lavan la superficie específica saturada de las rocas calizas por acción de la pendiente del canal (Ziemkiewicz *et al.*, 1997).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

a. Según el enfoque:

Según el enfoque el estudio fue cuantitativo ya que la recolección de los datos fue fundamentada en la medición de variables de eficiencia de canales con dos diámetros de rocas calizas en la precipitación del aluminio total y mejora del pH, y los resultados fueron analizados mediante métodos estadísticos (diseño completamente randomizado con 3 tratamientos y 3 repeticiones) y posteriormente representados mediante números.

b. Según el nivel:

Explicativo porque la roca caliza influye en la precipitación del aluminio total y mejora el pH de las aguas ácidas estableciéndose una relación causa-efecto.

3.2. Diseño de investigación

Experimental porque se realizó la manipulación de variables (canales con lechos de roca caliza – precipitación del aluminio), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre la otra variable (precipitación del

aluminio – mejora del pH). Cabe indicar que en todo momento el investigador tuvo el control de las variables.

Asimismo, fue de corte longitudinal porque se realizaron mediciones en distintos periodos de tiempo (1era, 4ta y 8va semana).

3.3. Población y muestra

Población

Aguas del río Negro con altas concentraciones de aluminio total y valores de pH ácidos captados a través del canal Mátara en el sector Canrey Chico.

Muestra

Muestras recolectadas al ingreso y salida de ambos sistemas de canales. En este caso se empleó 0.5 litros de muestra de cada sistema de tratamiento y en tres periodos del experimento.

3.4. Ubicación

El experimento está ubicado en el margen derecho del canal Mátara, en la cuenca del río Negro, en la vertiente sur de la comunidad campesina Cordillera Blanca, en el sector Canrey Chico, en el distrito y provincia de Recuay, departamento de Ancash, a 3,655 m.s.n.m. Los cuales se visualizan a mayor detalle en el anexo A (mapa de ubicación); además las aguas empleadas en el trabajo, fueron captadas del río Negro a través del canal Mátara.

3.5. Procedimientos

3.1.1. Etapa preparatoria y acondicionamiento para la instalación del sistema

a) Cálculo del caudal de ingreso constante

En vista que el terreno ubicado tiene un área disponible de 14.00m de largo y 4.00m de ancho, los diseños se tuvieron que adecuar al terreno disponible con lo que se cuenta. Por ello se utilizó los parámetros indicados en la Tabla 19 del Anexo B (resultados del dimensionamiento del sistema de canales), determinando un caudal de $Q=0.10$ l/s (Tabla 20 del mismo anexo).

b) Cálculo del tiempo de contacto

Es el tiempo que demora en fluir el agua de drenaje ácido por el sistema de canales desde el ingreso (vertedero), hasta la salida (punto de toma de muestra), para lo cual se utilizó los datos de la Tabla 21 del Anexo B.

Finalmente reemplazando en la ecuación 7 se tiene que el tiempo de contacto entre la superficie específica y las aguas es igual a 1.89 minutos.

Se precisa que el tiempo de contacto para ambos canales es similar, ya que la granulometría de las rocas empleadas, no varían significativamente.

c) Cálculo de la cantidad de roca caliza empleada en los canales

La cantidad óptima está en función al volumen de agua que va circular por el sistema con un tirante de agua de 2.5 cm y una longitud de 7.50 m., ya que toda la masa de la roca caliza de ambos diámetros debe ir completamente sumergido para garantizar la eficiencia del tratamiento, para lo cual se hace uso de los datos de las Tablas 22, 24 y 26 del Anexo B, cuyos resultados de los cálculos se visualizan en las Tablas 23, 25 y 27 del mismo anexo respectivamente.

Por lo tanto, esto nos indica que la cantidad de roca caliza de $\phi=1/2''$ requerida para un $V_a=13.03$ litros, es igual a 32.79 kg y como son tres repeticiones, entonces se requiere de 98.37 kg.; mientras que para el canal con lecho de $\phi=1''$ se requiere de 88.21 kg.

Además cabe mencionar que las muestras fueron obtenidas de la cantera SARTRACON, ubicada en el distrito de Pariahuanca, provincia de Carhuaz y departamento de Ancash, debido a que dicha cantera es la más cercana al trabajo de investigación.

Las muestras obtenidas, de acuerdo al personal de la cantera, tienen las siguientes características.

Tabla 2: Características de la roca caliza de la cantera SARTRACON

Dimensiones	unidad	valor
% de CaCO_3	%	95.25
Densidad	Kg/m ³	2.52
Precio	S/. /Kg	0.50

d) Diseño del Sedimentador

Con la finalidad de retener las partículas de menor diámetro provenientes de la erosión del cauce del desvío de agua del canal Mátara hacia el sistema, se instaló un recipiente de PVC (tina de capacidad de $V=18l$) con dos compartimentos (02 Tuberías de PVC de 4" de diámetro de 0.60 m. de longitud) que sirven para conducir el agua, al sistema de vertederos. Asimismo, se colocó cribas de malla al ingreso de las tuberías de conducción hacia los vertederos, para retener los sólidos de mayor tamaño (hojas, maderas, plásticos).

Todo ello con la finalidad de garantizar el ingreso del agua al sistema, con las mismas características del río Negro.

e) Diseño del vertedero

El sistema dispone de un vertedero triangular para controlar el caudal de ingreso constante, motivo por el cual se instaló un vertedero triangular con material de policarbonato sobre un recipiente (Tina rectangular de capacidad de 22 L) con carga o lámina de agua de altura y un vertedero rectangular para descargar el caudal de excesos. Ello con la finalidad de controlar el ingreso de un caudal constante; para lo cual se utilizó los datos de la Tabla 28 del Anexo B.

Finalmente reemplazando los valores de los datos en la ecuación 13 se tiene un $h=2.2$ cm. Por lo tanto el recipiente está diseñado de tal manera que cuando el vertedero triangular alcanza una altura de carga de vertedero de $h = 2.2$ cm, éste, descargue el caudal de exceso por un vertedero rectangular diseñado en el mismo recipiente. Garantizando un caudal de ingreso constante de $Q=0.10$ l/s.

f) Porcentajes de precipitación y mejora

Se hizo la comparación de los resultados obtenidos de la muestra tomada del ingreso y salida del sistema. Para lo cual se empleó los datos de los reportes de laboratorio indicados en el Anexo D y reemplazando en la ecuación 14 y 15 del mismo anexo se obtuvo los valores de los tres tratamientos.

g) Procedimiento de instalación del sistema

- **Movimiento de tierra:** se realizó la adecuación del terreno, haciendo uso de herramientas manuales (pico, lampa, barreta y otros) se procedió a realizar la limpieza y desbroce del terreno; y su posterior trazo, excavación de zanja y perfilado de zanja donde se instaló las tuberías de PVC de 4"x7.5m.



Figura 2: Limpieza y desbroce del terreno



Figura 3: Trazo y excavación manual de zanja

- **Suministro, tamizado y cribado de roca caliza:** las muestras fueron tamizadas a los diámetros requeridos (a $\varnothing=1/2''$ y a $\varnothing=1''$ de diámetro respectivamente), para lo cual se hizo uso de herramientas manuales (comba). Luego se procedió a seleccionar o cribar, los cuales fueron seleccionados con sumo cuidado, ya que de ello depende el éxito de la eficiencia de cada uno de los sistemas de canales.



Figura 4: Suministro de caliza de la cantera SARTRACON



Figura 5: Tamizado y cribado de la caliza

- **Instalación del sistema de canales:** el sistema requiere de algunos componentes adicionales para mejorar su eficiencia, para lo cual se instaló un desarenador de $V=18l$ anclados con dos tuberías de ingreso de agua (02 tuberías de PVC de 4" de diámetro de 1.00 m de longitud) que sirven para conducir las aguas, al sistema de vertederos. Todo ello se realizó teniendo en cuenta el Anexo C (planos de diseño del sistema).



Figura 6: Instalación del sedimentador

Asimismo, se instaló un vertedero triangular con material de policarbonato sobre un recipiente con carga o lámina de agua de 2.2 cm de altura y un vertedero rectangular para descargar el caudal de excesos. De esta forma se controló el caudal de ingreso constante $Q=0.10$ l/s. Éstos a su vez fueron unidos con el desarenador mediante tubería de PVC de 4" de diámetro y de 1.00 m de longitud.



Figura 7: Colocación y sellado de los vertederos triangulares y rectangular sobre la tina de plástico



Figura 8: Instalación del desarenador y de los vertederos

Para el suministro e instalación del canal se hizo uso de un tubo con material de Policloruro de Vinilo (PVC) de 7.50m de longitud y 4" de diámetro, en el cual se añadió roca caliza de distintos diámetros hasta un tirante de agua de 2.5 cm por donde discurre un caudal de $Q=0.10$ l/s de agua. Estos canales, fueron instalados con un pendiente constante de 2%.



Figura 9: Instalación de canales con material de PVC de 4" de 7.5m y con pendientes constantes de 2%

Asimismo, cabe mencionar que se instalaron 02 sistemas de canales, y un canal testigo, los cuales fueron instalados con 03 repeticiones cada uno, en cumplimiento al diseño estadístico establecido.



Figura 10: Instalación del sistema de canales con 3 repeticiones de cada uno

Para garantizar el cuidado y la protección de amenazas externas (animales tales como: vacunos, ovinos, porcinos y entre otros), se instaló un cerco con alambre de púas, y para proteger de la precipitación, se instaló una cobertura con columnas de madera rolliza de 2" y policarbonato.



Figura 11: Instalación de cerco de protección con alambre de púas y su respectiva instalación de la cobertura.

- **Inspección en campo:** durante todo el proceso experimental se realizó las visitas de campo una vez por semana, con la finalidad de hacer la limpieza de la criba de malla del sedimentador y con ello garantizar el normal funcionamiento del sistema de canal con roca caliza.



Figura 12: Limpieza de las malezas en las cribas del desarenador

3.1.2. Muestreo y análisis de laboratorio.

a. Codificación de las muestras obtenidas de los canales

Las muestras fueron tomadas de los canales con los códigos establecidos en el siguiente cuadro. Asumiendo el mismo código del canal en los reportes.

Tabla 3: Codificación de los canales para la toma de muestra

CÓDIGOS	DESCRIPCIÓN
C-I	Muestra de drenaje ácido de roca, tomada del canal de ingreso (canal testigo) al sistema de canales con roca caliza.
C1-1/2"	Muestra de drenaje ácido de roca tratada, tomada de la salida del sistema de canal C1 con roca caliza de 1/2"
C2-1/2"	Muestra de drenaje ácido de roca tratada, tomada de la salida del sistema de canal C2 con roca caliza de 1/2"
C3-1/2"	Muestra de drenaje ácido de roca tratada, tomada de la salida del sistema de canal C3 con roca caliza de 1/2"
C1-1"	Muestra de drenaje ácido de roca tratada, tomada de la salida del sistema de canal C1 con roca caliza de 1"
C2-1"	Muestra de drenaje ácido de roca tratada, tomada de la salida del sistema de canal C2 con roca caliza de 1"
C3-1"	Muestra de drenaje ácido de roca tratada, tomada de la salida del sistema de canal C3 con roca caliza de 1"

Elaboración propia

b. Cronograma y/o periodo de ejecución

El periodo de ejecución del trabajo de investigación fue de 02 meses.

La toma de muestras se realizó al ingreso y salida del sistema y los análisis se realizaron en el Laboratorio de Calidad Ambiental de la UNASAM, según el cronograma indicado en la tabla 4.

Tabla 4: Cronograma para la toma de muestras.

Parámetro y lugar de muestreo	Sem 01	Sem 02	Sem 03	Sem 04	Sem 05	Sem 06	Sem 07	Sem 08
pH: antes de ingresar al sistema de canales	x			x				x
pH: a la salida del sistema de canales	x			x				x
Aluminio total: antes de ingresar al sistema de canales	x							
Aluminio total: después de ingresar al sistema de canales	x			x				x

Elaboración propia



Figura 13: Medición de pH en campo y toma de muestra, al ingreso del sistema de canales



Figura 14: Medición de pH en campo y toma de muestra, a la salida del sistema de canales

c. Interpretación de los resultados: Los resultados emitidos por el Laboratorio de Calidad Ambiental de la UNASAM, contemplados en el Anexo D (Reportes de laboratorio), fueron interpretados en función al ECA para agua del DS-004-2017-MINAM en cuanto a la categoría III y subcategoría D1 y D2, en los parámetros de estudio; con la finalidad de determinar, cuál de los canales, es el más eficiente en el periodo de ejecución de 02 meses.

3.1.3. Procesamiento de datos.

Se utilizó el diseño completamente randomizado con 3 tratamientos y 3 repeticiones.

➤ 3 Tratamientos:

t1: Canal testigo (sin roca caliza).

t2: Canal con lecho de roca caliza de $\varnothing=1/2"$.

t3: Canal con lecho de roca caliza de $\varnothing=1"$.

➤ 3 Repeticiones.- (**R1, R2 y R3**).

Se realizaron tres muestreos durante la acción correctiva o precipitación de aluminio total y mejora de pH: 1) En la primera semana, 2) En la cuarta semana y 3) En la octava semana.

Se han propuesto las siguientes hipótesis:

- Hipótesis estadística nula, cuando los efectos de los tratamientos (T) son todos iguales y se expresa como:

$$H_0: T = T_i$$

- Hipótesis alterna, cuando hay al menos un efecto de tratamiento que es diferente a los demás y se expresa como:

$$H_a: T \neq T_i$$

Para conocer el comportamiento estadístico de los tratamientos (t1, t2 y t3), en función a la precipitación del aluminio total y mejora del pH durante el proceso experimental, se utilizó el análisis de varianza con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ o al 95% y para calcular los valores se hizo uso del software InfoStat.

Además el diseño estadístico utilizado se expresa de la siguiente manera:

$$y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

y_{ij} = Observación de los tratamientos $i1, i2$ e $i3$ y de la repetición $j1, j2$ y $j3$.

μ = Media general.

T_i = Efecto del tratamiento $i1, i2$ e $i3$.

ε_{ij} = Error residual del tratamiento $i1, i2$ e $i3$ y de la repetición $j1, j2$ y $j3$.

Las fuentes de variación de este diseño son las siguientes:

Tabla 5: Cuadro general de análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F calculado
Tratamientos (t1, t2 y t3)	$(3 - 1)=2$	SC _t	CM _t	CM _t / CM _e
Error experimental (e)	$((3)(3 - 1)=6$	SC _e	CM _e	
Total (t)	$(3) (3) - 1=8$	SC _T		

Donde:

SC = Suma de cuadrados (de acuerdo a los reportes de laboratorio).

CM = Cuadrados medios (de acuerdo a los reportes de laboratorio).

t = Número de tratamientos.

R = Número de repeticiones del experimento.

Cuando hay significancia estadística en el ANVA, se utilizó la prueba de "Tukey" (T), para comprobar cuál de los canales de roca caliza de $\phi=1/2"$ o de $\phi=1"$ fue más eficiente, haciendo comparaciones entre los promedios de los tratamientos evaluados.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de las mediciones realizadas en la primera, cuarta y octava semana del experimento.

Los resultados se presentan en primer lugar de manera descriptiva y en segundo término el análisis de varianza, tanto para las concentraciones molares del aluminio como para los valores de pH.

4.1. Primera semana.

4.1.1. Precipitación de aluminio total

a) Presentación descriptiva del porcentaje de precipitación y comparación con los ECA

No hubo precipitación pluvial durante la toma de muestra.

Los valores de los análisis se muestran en la tabla 6.

Tabla 6: Resultados de análisis de laboratorio en la primera semana.

Parámetro	Unid	t1			t2			t3		
		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Aluminio total	mg/l	6.4	6.4	6.4	3.6	4.6	6.2	4.4	4.4	5.6
pH	Unid.pH	3.0	3.0	3.0	3.4	3.5	3.5	3.3	3.2	3.2

Ambos sistemas de canales, precipitan en iguales concentraciones, con un valor porcentual de 25% en promedio. La concentración inicial en el canal testigo fue de 6.4 mg/l y la concentración final después del tratamiento de las aguas con canales de lechos de $\varnothing=1/2''$ y de $\varnothing=1''$, fue de 4.8 mg/l. Tal como se visualiza en la figura.

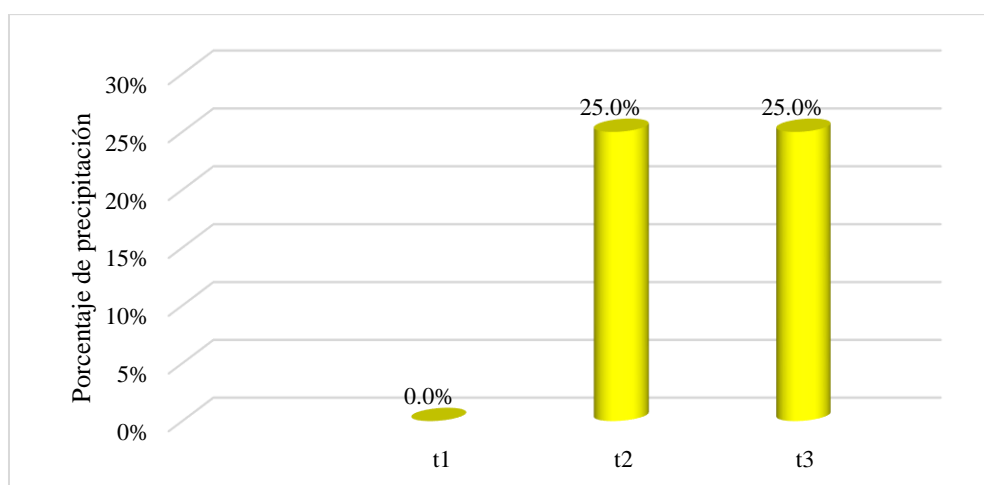


Figura 15. Porcentaje de precipitación de aluminio total en los 3 tratamientos

Haciendo la comparación del promedio de las concentraciones de aluminio total reducido, con los ECA para agua de la categoría N° 03 y subcategoría D1 y D2, se visualiza que ambos canales reducen en promedio a una concentración de 4.8 mg/l, el cual se encuentra por debajo del ECA mencionado. Tal como se visualiza en la figura 16.

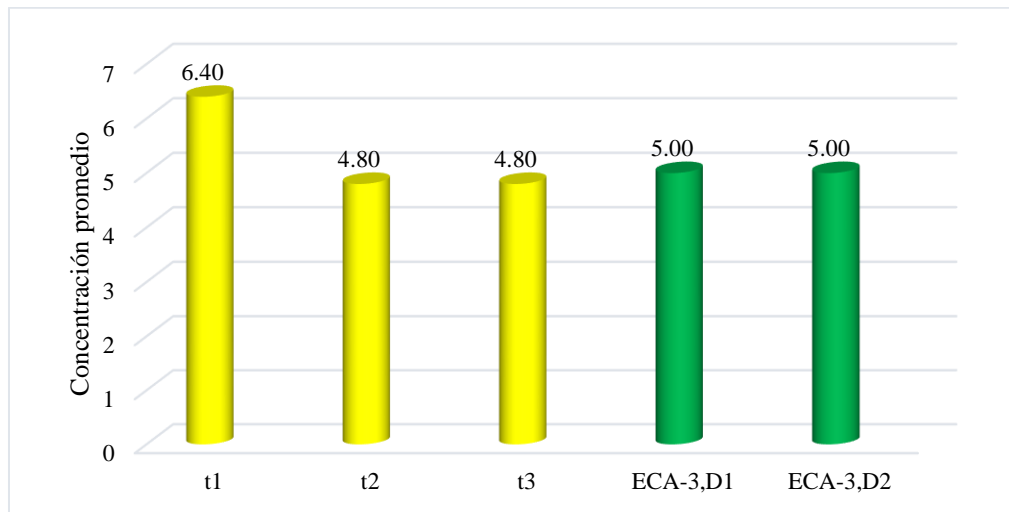


Figura 16. Concentración promedio de aluminio total vs ECA

b) Análisis de varianza

Se visualiza que el coeficiente de variación para este caso es 16.06%, lo que nos indica que los valores de la concentración del aluminio son muy dispersos en comparación a la media de los tratamientos.

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Concentración de Al (t)	9	0.54	0.38	16.06

Tabla 7: Análisis de varianza

F.V.	G.L	SC	MC	F	P-valor
Tratamiento	2	5.12	2.56	3.49	0.0987
Error	6	4.40	0.73		
Total	8	9.52			

Al ser p-valor mayor que alfa, entonces se acepta la hipótesis nula. Por tanto con alfa de 0.05, estadísticamente ambos sistemas no afectan significativamente en la precipitación de aluminio total respecto al testigo.

4.1.2. pH

a) Presentación descriptiva de la mejora de pH y comparación con los ECA

El pH de las aguas van mejorando relativamente, de 3.00 a 3.47 y de 3.00 a 3.23, con un valor porcentual de 15.6% y 7.8%, después del tratamiento con canales de lechos de $\varnothing=1/2''$ y de $\varnothing=1''$ respectivamente. Tal como se muestra en la figura 17.

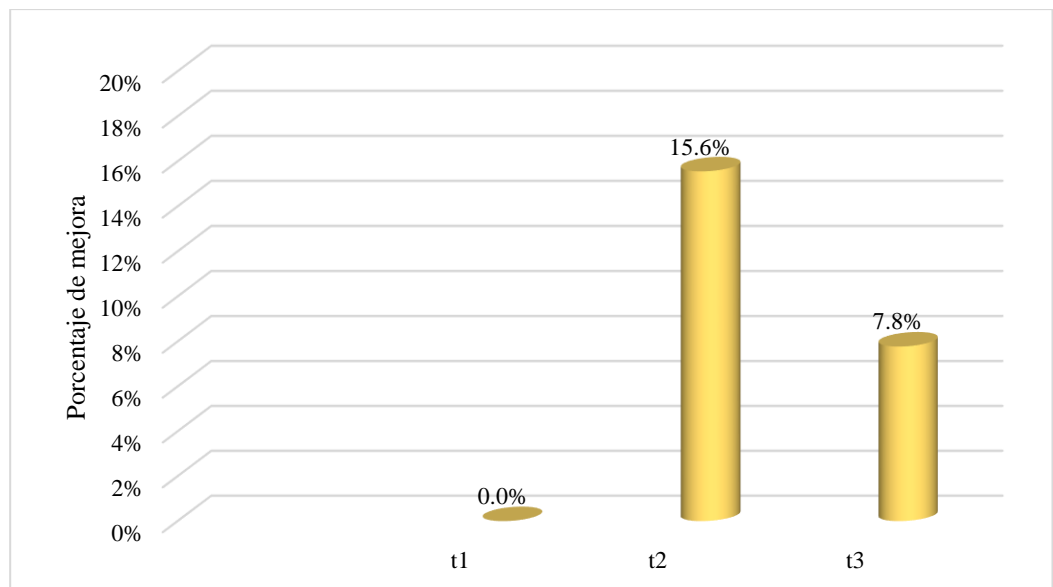


Figura 17. Porcentaje de mejora de pH en los 3 tratamientos.

Los valores de pH de estas aguas después del tratamiento con ambos sistemas de canales, no cumplen con los ECA para agua de categoría indicado anteriormente. Tal como se muestra en la figura 18.

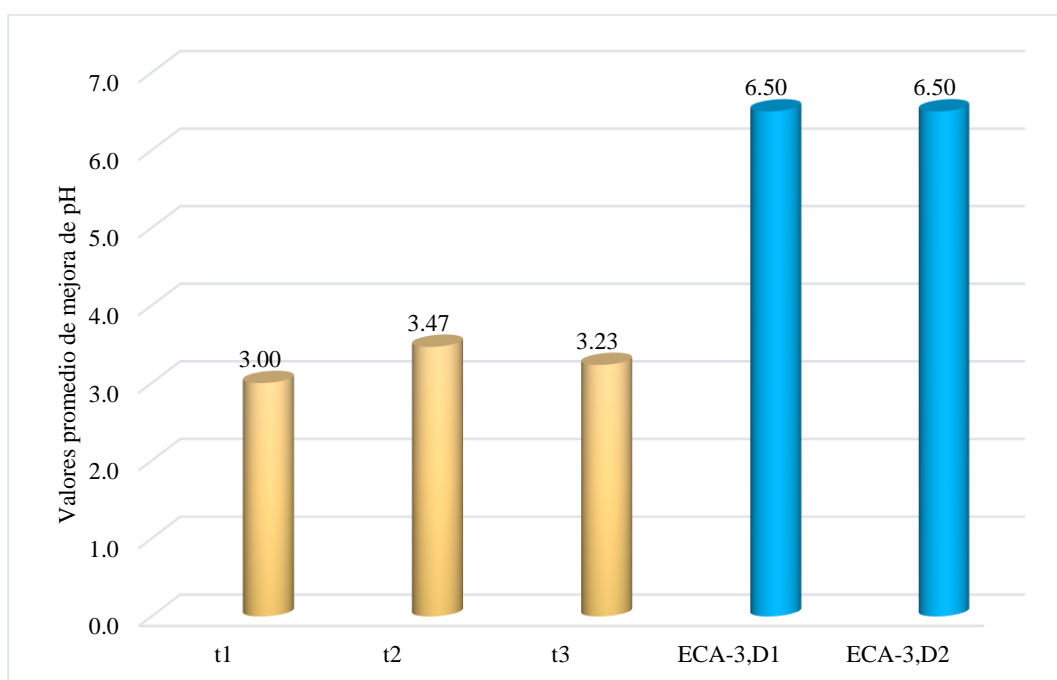


Figura 18. Valores promedio de pH de los tratamientos vs ECA.

b) Análisis de varianza

El coeficiente de variación de 1.46% indica que los valores de pH son muy concentrados en comparación a la media de los tratamientos.

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Valores de pH mejorado	9	0.96	0.95	1.46

Tabla 8: Análisis de varianza.

F.V.	G.L	SC	MC	F	P-valor
Tratamiento	2	0.33	0.16	73.50	0.0001
Error	6	0.01	0.002		
Total	8	0.34			

Tabla 9: Prueba de Tukey

Tratamientos	Medias	n	E.E
Canal con roca caliza de $\varnothing=1/2''$	3.47	3	0.03A
Canal con roca caliza de $\varnothing=1''$	3.23	3	0.03B
Canal testigo	3.00	3	0.03C

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

En la tabla 8 se muestra que el p-valor es menor que alfa, entonces se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto estadísticamente ambos sistemas de canales, afectan significativamente en la mejora de los valores de pH, y de acuerdo a la prueba de Tukey, el canal con lecho de $\varnothing=1/2''$ mejora el pH mucho más que el canal con lecho de $\varnothing=1''$.

4.2. Cuarta semana

4.1.3. Precipitación de aluminio total

a) Presentación descriptiva del porcentaje de precipitación y comparación con los ECA

No hubo precipitación pluvial durante la toma de muestra.

Los valores de los análisis se muestran en la tabla 10.

Tabla 10: Resultados de análisis de laboratorio.

Parámetro	Unid	t1			t2			t3		
		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Aluminio total	mg/l	4.2	4.2	4.2	3.9	3.7	4.3	3.0	4.0	4.3
pH	Unid.pH	3.2	3.2	3.2	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.3

La concentración en el canal testigo es de 4.2mg/l, el cual se reduce a 3.77mg/l después del tratamiento con canal de lecho de $\varnothing=1''$, precipitando un valor porcentual de 10.3%. Mientras que el canal con lecho de $\varnothing=1/2''$ reduce a 3.97 mg/l, precipitando un valor porcentual de 5.6%. Tal como se muestra en la figura 19.

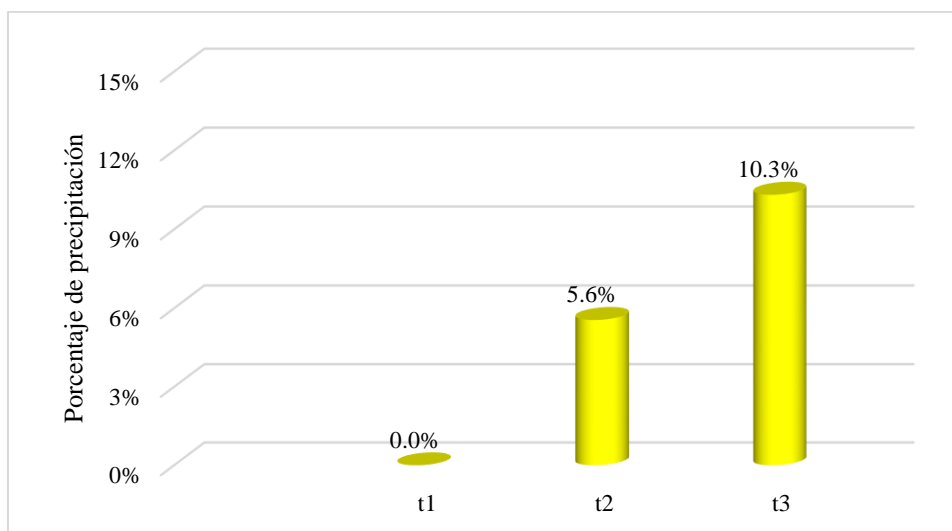


Figura 19. Porcentaje de precipitación de aluminio total en las 3 observaciones.

Aun cuando se logra reducir las concentraciones de 4.20 mg/l a 3.97 mg/l y de 4.20 mg/l a 3.77 mg/l; las concentraciones finales, siguen por debajo de la normativa ambiental vigente. Tal como se ilustra en la figura 20.

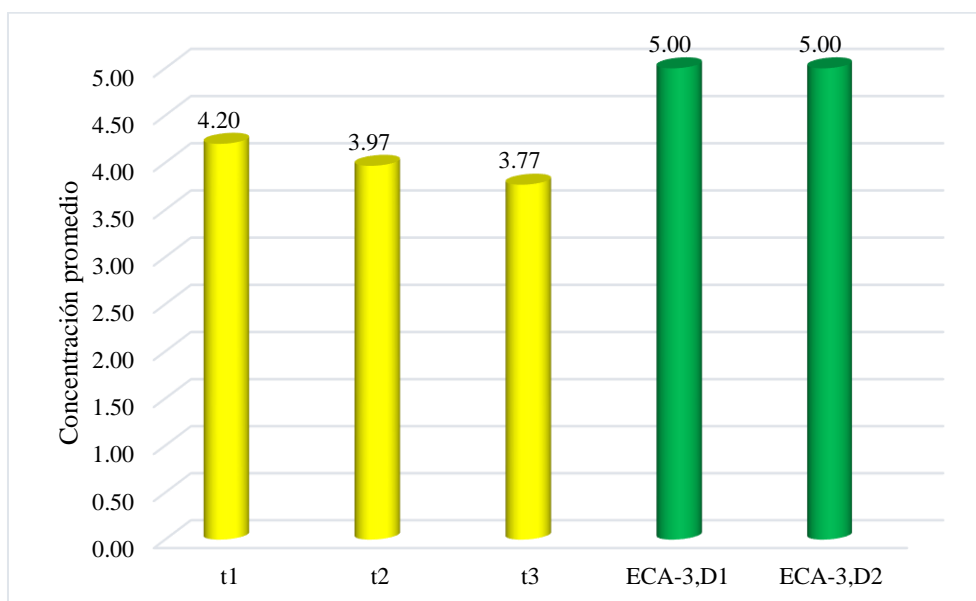


Figura 20. Concentración promedio de aluminio total vs ECA.

b) Análisis de varianza

El coeficiente de variación de 10.83% indica que los valores de la concentración de aluminio son muy dispersos en comparación a la media de los tratamientos.

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Concentración de Al (t)	9	0.20	0.00	10.83

Tabla 11: Análisis de varianza

F.V.	G.L	SC	MC	F	P-valor
Tratamiento	2	0.28	0.14	0.76	0.5077
Error	6	1.11	0.19		
Total	8	1.40			

Al ser p-valor mayor que alfa, entonces se acepta la hipótesis nula. Por tanto con alfa de 0.05, estadísticamente ambos sistemas no se diferencian significativamente en la precipitación de Aluminio total, ni con el testigo.

4.1.4. pH

a) Presentación descriptiva de la mejora de pH y comparación con los ECA

El pH de las aguas siguen mejorando relativamente después del tratamiento, de 3.20 a 3.47 y de 3.20 a 3.37, con un valor porcentual de 8.3% y 5.2%. Tal como se muestra en la figura 21.

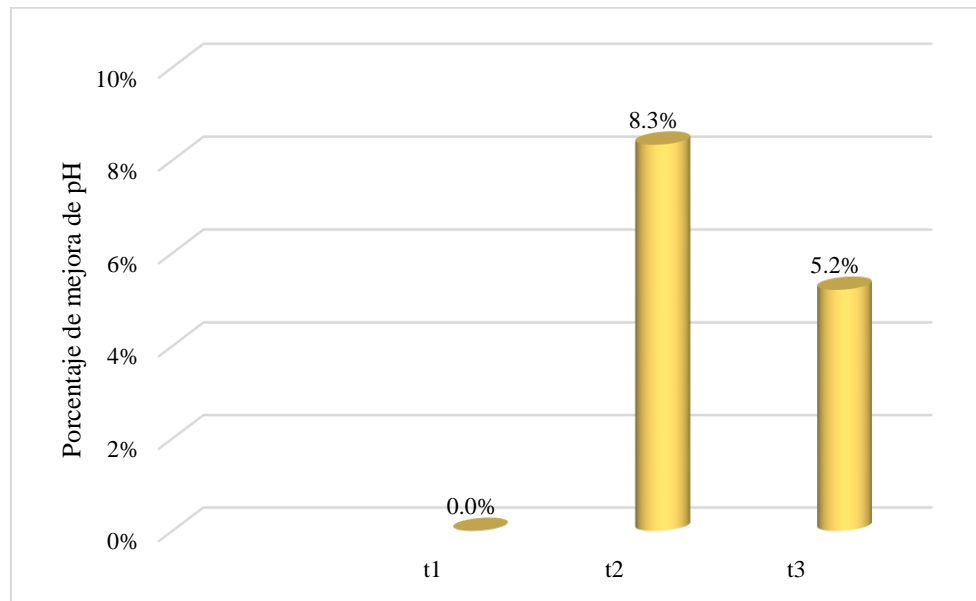


Figura 21. Porcentaje de mejora de pH en las 3 observaciones.

Los valores de pH de estas aguas en el canal testigo, como después del tratamiento con ambos sistemas de canales, tampoco cumplen con los ECA para la categoría anteriormente mencionada. Figura 22.

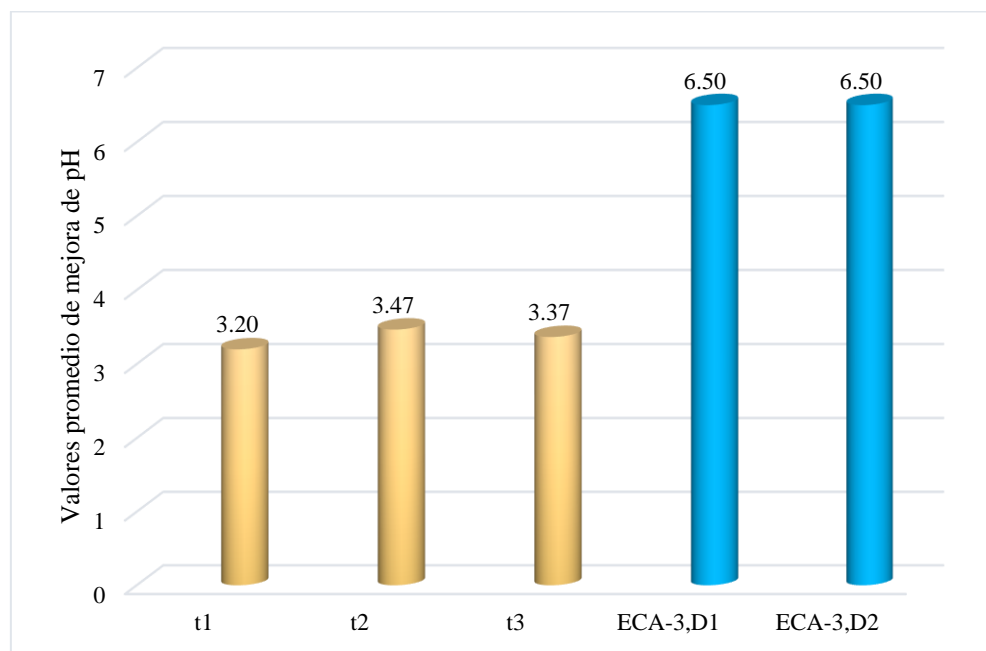


Figura 22. Valores promedio de pH de los tratamientos vs ECA.

b) Análisis de varianza

El coeficiente de variación para de 1.41%, indica que los valores de pH son muy concentrados en comparación a la media de los tratamientos.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
Valores de pH mejorado	9	0.89	0.85	1.41

Tabla 12: Análisis de varianza

<u>F.V.</u>	<u>G.L</u>	<u>SC</u>	<u>MC</u>	<u>F</u>	<u>P-valor</u>
Tratamiento	2	0.11	0.05	24.50	0.0013
Error	6	0.01	2.2E-03		
Total	8	0.12			

Tabla 13: Prueba de Tukey

<u>Tratamientos</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E</u>
Canal con caliza de $\phi=1/2$ "	3.47	3	0.03A
Canal con caliza de $\phi=1$ "	3.37	3	0.03A
Canal testigo	3.20	3	0.03B

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

En la tabla 12 se muestra que el p-valor es menor que alfa, entonces se rechaza la hipótesis nula. Por tanto existiendo diferencias significativas entre las medias de los tratamientos se realizó la prueba de Tukey, la que indica que no hay diferencias en el efecto del pH entre los tratamientos con ambos diámetros de roca caliza; pero ambos sistemas se muestran diferentes estadísticamente con el testigo.

4.3. Octava semana

4.1.5. Precipitación de aluminio total

a) Presentación descriptiva del porcentaje de precipitación y comparación con los ECA

Hubo precipitación pluvial durante la toma de muestra.

Los valores de los análisis se muestran en la tabla 14.

Tabla 14: Resultados de análisis de laboratorio en la octava semana.

Parámetro	Unid	t1			t2			t3		
		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Aluminio total	mg/l	3.0	3.0	3.0	4.2	3.3	3.5	2.1	3.1	3.4
pH	Unid.pH	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.3	3.3	3.4

La concentración del testigo es de 3.00 mg/l; mientras que se obtiene una concentración de 3.67mg/l después del tratamiento con canal de lecho de $\varnothing=1/2''$, determinándose un valor porcentual anómalo de -22.2%. El canal con lecho de $\varnothing=1''$ reduce a 2.87 mg/l, precipitándose 4.4%. En la Figura 23 se visualiza a mayor detalle el comportamiento de la precipitación del aluminio.

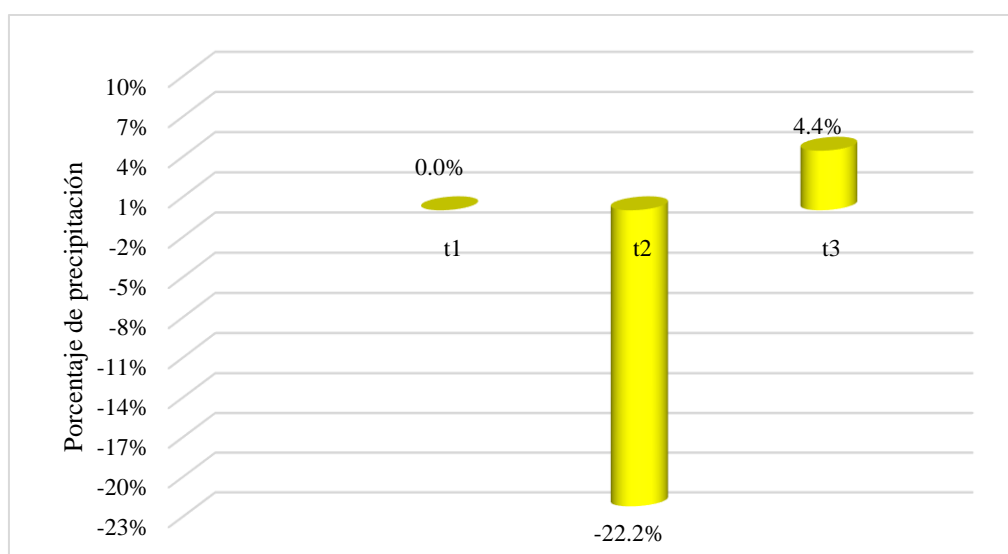


Figura 23. Porcentaje de precipitación de aluminio total en las 3 observaciones.

En esta etapa las concentraciones finales, siguen por debajo de los ECA para la categoría de comparación anteriormente indicado. Tal como se muestra en la figura 24.

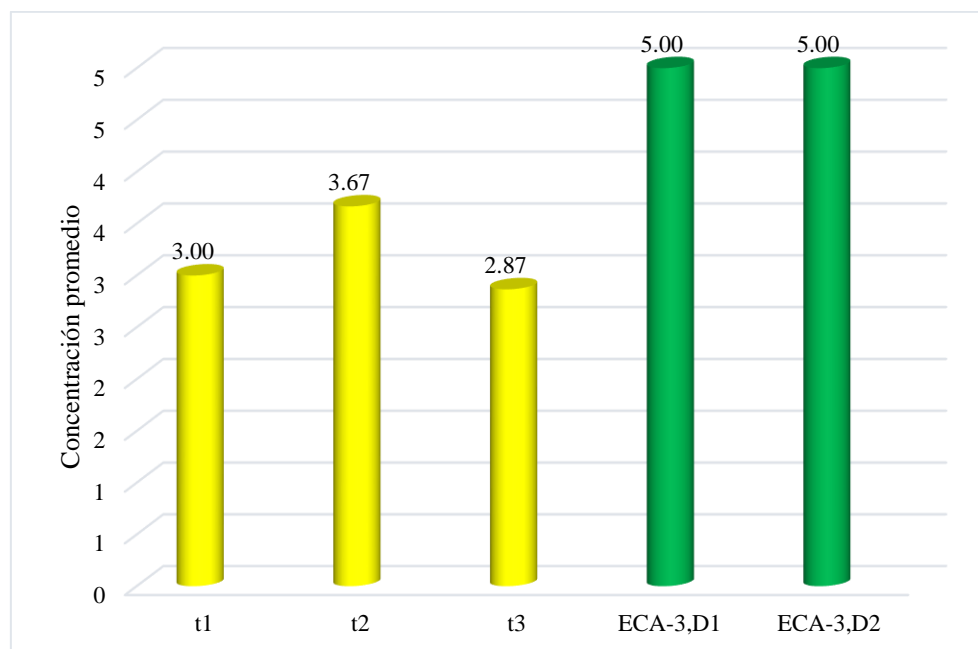


Figura 24. Concentración promedio de aluminio total vs ECA.

b) Análisis de varianza

El coeficiente de variación de 15.06%, indica que los valores de la concentración de aluminio son muy dispersos en comparación a la media de los tratamientos.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
Concentración de Al(t)	9	0.45	0.26	15.06

Tabla 15: Análisis de varianza

<u>F.V.</u>	<u>G.L</u>	<u>SC</u>	<u>MC</u>	<u>F</u>	<u>P-valor</u>
Tratamiento	2	1.10	0.55	2.41	0.1707
Error	6	1.37	0.23		
Total	8.	2.48			

Al ser el p-valor mayor que alfa, entonces se acepta la hipótesis nula. Por lo tanto no hay significancia estadística, lo que significa que la concentración del aluminio total tanto de los canales con diferentes diámetros de roca caliza y el testigo no tiene diferencias en cuanto a la precipitación del aluminio total.

4.1.6. pH

a) Presentación descriptiva de la mejora de pH y comparación con los ECA

En la tabla 14 se visualiza que el pH de las aguas permanecen constantes de 3.40 a 3.40 y de 3.40 a 3.33, con un valor porcentual de 0.0% y un porcentaje anómalo de -2.0%, después del tratamiento con sistemas de lechos de $\varnothing=1/2''$ y de $\varnothing=1''$ respectivamente. Tal como se muestra en la figura 25.

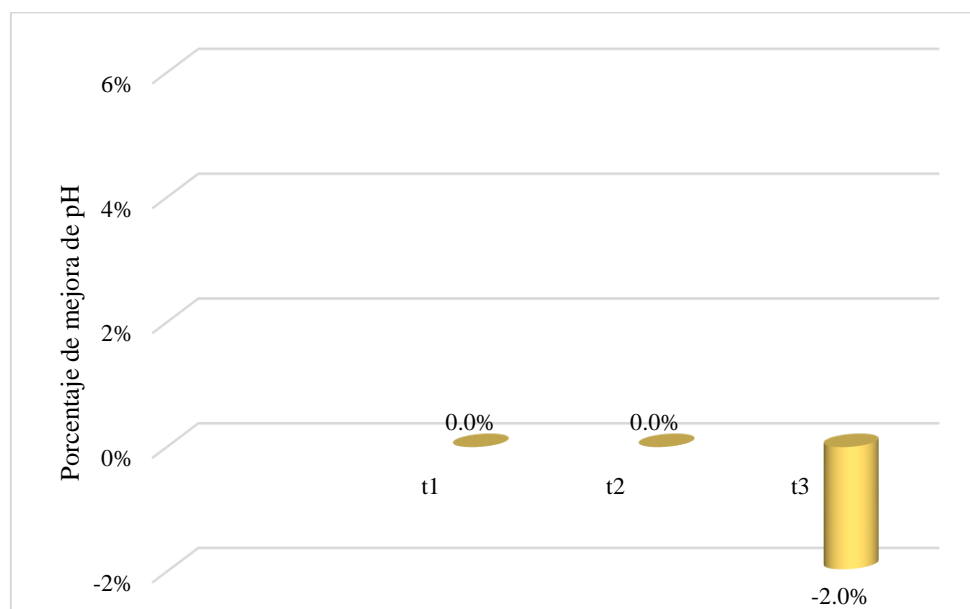


Figura 25. Porcentaje de mejora de pH en las 3 observaciones.

Los valores de pH del testigo y de ambos sistemas de tratamiento no cumplen con los ECA para la categoría anteriormente mencionada. Se visualiza a mayor de talle en la figura 26.

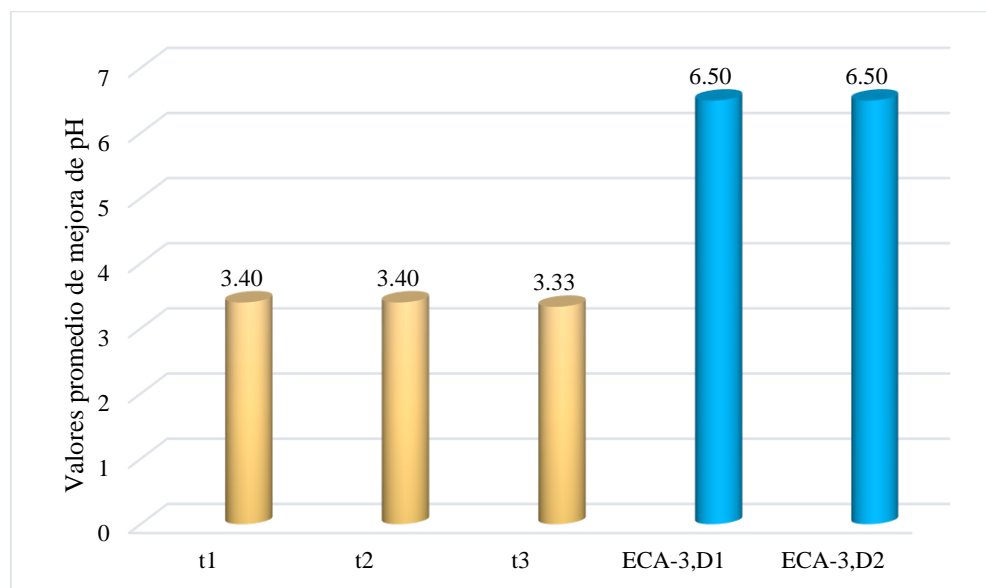


Figura 26. Valores promedio de pH de los tratamientos Vs ECA.

b) Análisis de varianza

El coeficiente de variación de 0.99%, indica que los valores de pH son muy concentrados en comparación a la media de los tratamientos.

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
Valores de pH mejorado	9	0.57	0.43	0.99

Tabla 16: Análisis de varianza

<u>F.V.</u>	<u>G.L</u>	<u>SC</u>	<u>MC</u>	<u>F</u>	<u>P-valor</u>
Tratamiento	2	0.01	4.4E-03	4.00	0.0787
Error	6	0.01	1.1E-03		
Total	8	0.02			

Al ser p-valor mayor que alfa, entonces se acepta la hipótesis nula. Por lo tanto con alfa de 0.05, estadísticamente ambos sistemas de canales, no afectan significativamente en la mejora de los valores de pH en comparación con el testigo.

4.4. Precipitación del aluminio total en las 8 semanas

Haciendo un resumen de la primera, cuarta y octava semana de tratamiento se ilustra la tabla 17, donde se visualiza los valores de la concentración molar del aluminio total de todo el periodo de ejecución del trabajo de investigación.

Tabla 17: Resultados de análisis de laboratorio de las 3 observaciones.

Periodo	Parámetro	Und	t1			t2			t3		
			R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
1era Semana	Aluminio total	mg/l	6.4	6.4	6.4	3.6	4.6	6.2	4.4	4.4	5.6
4ta Semana	Aluminio total	mg/l	4.2	4.2	4.2	3.9	3.7	4.3	3.0	4.0	4.3
8va Semana	Aluminio total	mg/l	3.0	3.0	3.0	4.2	3.3	3.5	2.1	3.1	3.4

Se determina que:

En la 1era semana el: $t_2=t_3=t_1$, en la 4ta el: $t_2=t_3=t_1$ y en la 8va el: $t_2=t_3=t_1$.

Los valores aritméticos de la 1era, 4ta y 8va semana de tratamiento (tabla 17), muestran cierta tendencia de variación en la precipitación, pero los valores estadísticos en todo el periodo indican que no hay eficiencia de ambos sistemas de caliza en la precipitación del aluminio total. Figura 27.

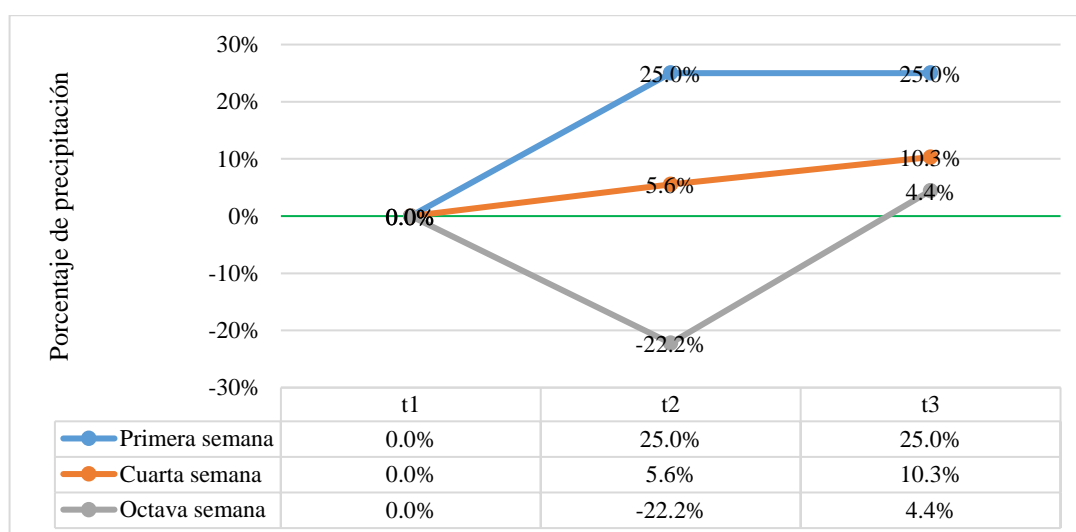


Figura 27. Tendencias de precipitación de las 3 observaciones en las 8 semanas.

4.5. Mejora de pH en las 8 semanas

En la tabla 18 se ilustra los valores aritméticos de los 03 tratamientos.

Tabla 18: Resultados de análisis de laboratorio de las 3 observaciones.

Periodo	Parámetro	Und	t1			t2			t3		
			R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
1era Semana	pH	Und.pH	3.0	3.0	3.0	3.4	3.5	3.5	3.3	3.2	3.2
4ta Semana	pH	Und.pH	3.2	3.2	3.2	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.3
8va Semana	pH	Und.pH	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.3	3.3	3.4

Se determina que:

En la 1era semana el: $t_2 > t_3 > t_1$, en la 4ta el: $t_2 = t_3 > t_1$ y en la 8va el: $t_2 = t_3 = t_1$.

Los valores estadísticos de la 1era semana de tratamiento indican que ambos sistemas con roca caliza tienen mayor eficiencia en la mejora del pH, con respecto al testigo. En la 4ta no existen diferencias entre los tratamientos con roca caliza, pero sí, con el testigo; mientras que en la 8va, ambos sistemas no son eficientes.

Figura 28.

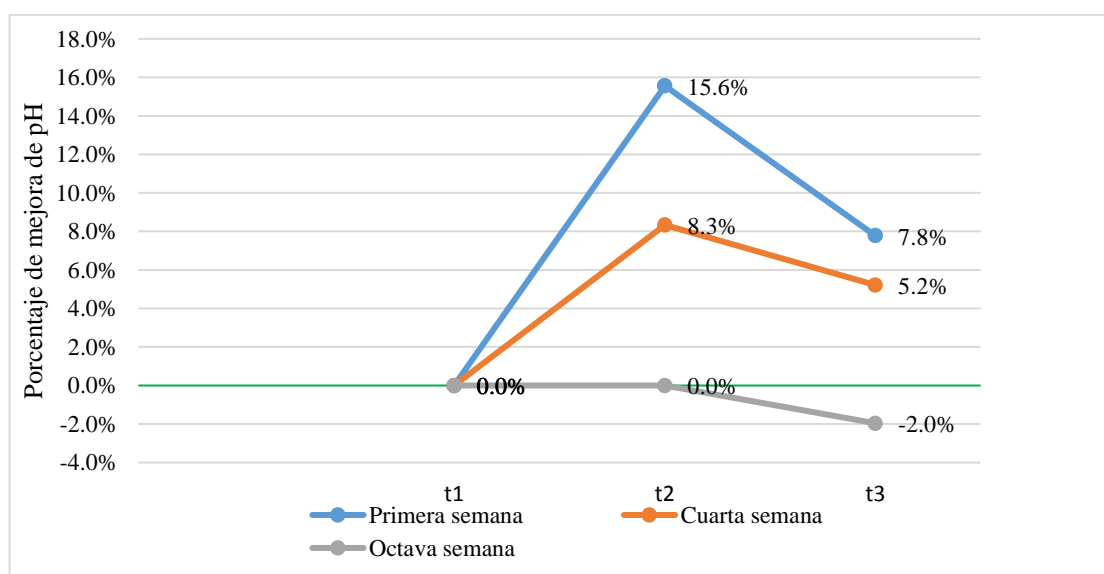


Figura 28. Porcentaje de pH en las 08 semanas de las 3 observaciones.

DISCUSIÓN

La estación del año en que se llevó a cabo el registro de las observaciones fue en los meses de setiembre a octubre, meses en la que se inicia la precipitación pluvial en las partes altas de la cuenca y que ocasionalmente llega hasta la parte baja como se tiene registrado en la última observación de datos. Este proceso natural incrementa el caudal del río Negro, el cual tiene influencia directa en la disminución de las concentraciones de aluminio y otros iones presentes y su correspondiente reducción de pH; tal como se muestra en los reportes de laboratorio del canal testigo en las tablas 17 y 18. Por tanto, la calidad de las aguas a tratar fue variando en cada época de registro de datos.

En todo el periodo de registro de datos, los resultados del ANVA en las tablas 7, 11 y 15 revelan que, empleando lechos de roca caliza en los canales, no muestran diferencias respecto a la precipitación del aluminio total. Esto puede estar relacionado a: que las superficies específicas utilizadas fueron muy pequeñas; las rocas empleadas tuvieron poca concentración de CaCO_3 ; el tiempo de contacto fue muy corto; o las pendientes utilizadas fueron ligeramente pronunciadas (Lottermoser, 2010).

Aunque aritméticamente se tiene una ligera precipitación en la 1era y 4ta semana con el tratamiento de ambos sistemas de canales (figuras 15 y 19), debido a que en esta etapa la superficie específica del sustrato de roca caliza tiene alta reactividad y al entrar en contacto con el aluminio soluble (mayor concentración en las primeras dos mediciones. Tabla 6 y 10), indican en mayores porcentajes precipitados de hidróxido de aluminio (Aduvire, 2006).

Mientras que en la 8va semana cuantitativamente se determina que, ambos sistemas disminuyeron considerablemente la precipitación del aluminio, donde el canal de lecho de $\varnothing=1/2"$ registra mayores concentraciones en comparación al canal testigo (figura 23), este resultado aparentemente anómalo puede estar relacionado a que en esta etapa la superficie específica de las calizas se saturaron; teniendo por tanto baja reactividad para continuar formando precipitados, sumado a que las aguas del río en esta semana tuvieron bajas concentraciones de aluminio (tabla 14) el equilibrio químico desplazará en los canales aluminio a su salida. Lo que puede haber sido complementada por la pendiente ligeramente pronunciada (2%) para dicho caudal. La

velocidad del flujo, arrastra parte de los sedimentos (precipitados en forma de hidróxidos de aluminio) (Ziemkiewicz, Skousen, Brant, Sterner, y Lovett, 1997).

Los resultados de ANVA de los pH en los 3 registros de datos (tabla 8, 12 y 16) indican que:

- En la primera semana, estadísticamente los tres tratamientos son distintos y el canal de lecho de $\varnothing=1/2"$ mejora el pH con mayor eficiencia que el canal de lecho de $\varnothing=1"$. Esto se debe a que en esta etapa, los sustratos de las calizas tienen alta reactividad para neutralizar los iones de hidrógeno presentes en la solución; ya que los valores de pH del agua a tratar son altos; en estas condiciones el sistema de caliza con mayor superficie específica, logra bajar con mayor eficiencia la acidez, al neutralizar iones de hidrógeno en la solución por acción de los bicarbonatos (Lottermoser, 2010).
- En la cuarta semana, estadísticamente los sistemas con caliza de diferentes superficies específicas no son distintos en la mejora del pH, pero si se diferencian del testigo. Esto posiblemente esté relacionado a que en esta etapa la superficie específica de las calizas se van saturando ligeramente y con ello disminuye su reactividad, al mismo tiempo que los valores de pH de las aguas del río fueron reduciéndose ligeramente en comparación con la primera semana (tabla 18) pero siguen siendo ácidos, y en un medio de esta naturaleza no sólo se tiene la presencia de iones libres de H^+ en solución, sino también los iones de H^+ libres aportados por la hidrólisis del Fe^{3+} (Aduvire, 2006).
- En la octava semana; no hubieron diferencias estadísticas ni entre los tratamientos con roca, ni con el testigo. Esto se debe a que en esta etapa la superficie específica de las calizas han sido saturadas, perdiendo de esta forma su reactividad para neutralizar iones de hidrógeno libre en la solución; además los valores de pH de las aguas del río a tratar han subido ligeramente (por incremento del caudal debido a la precipitación pluvial en las partes altas de la cuenca. Tabla 18).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La investigación realizada, determinó que ambos sistemas de canales con lechos de caliza, no fueron eficientes en la precipitación del aluminio total en el periodo de las 8 semanas de registro; mientras que en la primera y cuarta semana, ambos tratamientos mostraron ligera eficiencia en la mejora del pH, siendo el canal de lecho de $\varnothing=1/2"$ ligeramente mayor en la primera semana y en la octava no fueron eficientes; pese a ello, los valores de pH en las dos primeras semanas, superaron los ECAs para agua de la categoría N° 03 y subcategoría D1 y D2.

Al realizar las tres mediciones de aluminio total y pH se determinó que la calidad del agua para cada fecha de registro de datos, fue variando en función a la estación del año (setiembre - octubre); ya que la concentración del aluminio total fue reduciéndose y los valores de pH fue superando por las condiciones de cambio de estación.

El hecho de que en los ANVA para la precipitación de aluminio no existiera diferencias estadísticas, pero si para el ANVA de pH; permite concluir que en esos pH de agua trabajada, era el hierro el que actuaba en el control del pH; si se hubiera subido a $\text{pH} > 5.5$ el aluminio se hubiera precipitado (Aduvire, 2006).

Para la precipitación del aluminio total y su posterior mejora del pH se descarta la hipótesis planteada, ya que ambos sistemas de canales tal como fueron

diseñados no fueron efectivos en la precipitación de aluminio total y su posterior mejora de pH a valores requeridos por la norma.

Ambos sistemas de canales no fueron eficientes en la precipitan del aluminio total posiblemente porque las superficies específicas no fueron las adecuadas, uso de caliza con poca concentración de carbonato de calcio, tiempo de contacto agua – caliza muy corto o pendientes ligeramente pronunciadas.

Se logró instalar el experimento con sistema de canal de PVC con lechos de caliza de $\varnothing=1/2"$ y $\varnothing=1"$ de longitud de 7.5 m, con pendiente constante de 2% por donde ingresó un caudal constante de 0.1 l/s., teniendo un tiempo de contacto agua - caliza de 1.89 minutos para precipitar el aluminio total y mejorar su respectivo pH de las aguas del rio Negro.

5.2. Recomendaciones

Para una evaluación integral del problema, las evaluaciones deben efectuarse en estación lluviosa y estación seca.

Emplear calizas que tienen un porcentaje mayor a 98% de carbonato de calcio.

Incrementar el tiempo de contacto agua- caliza, para mejorar la eficiencia del sistema; ya que en el presente trabajo fue muy corto. Esto se podría lograr incrementando la longitud del canal y minimizando la pendiente.

Evaluar la eficiencia de los canales en la precipitación y mejora de pH, con calizas de menor granulometría y por lo menos con cuatro diferentes.

Lavar la superficie específica de las rocas calizas, en vez de sustituirlas; ya que las rocas empleadas perdieron su eficiencia a sólo 8 semanas de haber sido instalado y de esta forma se reduciría los costos de operación y mantenimiento.

Analizar otros factores que controlan la variación del pH: Como puede ser hierro y manganeso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aduvire, O. (2006). *Drenaje Acido de Mina - Generación y Tratamiento*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Barettino, D., Loredo, J., y Pendás, F. (2005). *Acidificación de suelos y aguas: problemas y soluciones*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Bueno, K. (2014). *Evaluación del proceso de estabilización del PH de agua tratada del río Cauca*. Universidad del Valle, Santiago de Cali. Recuperado de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/7650/1/7720-0446364.pdf>
- Castillo, R. (2005). *Biotecnología ambiental*. Madrid: TÉBAR, S.I.
- Chávez, D. (2011). *Caracterización para evaluar las oportunidades de remediación en la cuenca del Rio Negro-CC Cordillera Blanca*. Huaraz, Perú: Instituto de Montaña.
- Claramunt, R. (2013). *Principales Compuestos Químicos*. Madrid: Universidad Nacional de Educacion a Distancia Madrid . Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=K45iAgAAQBAJ&pg=PT237&dq=carbonato+de+calcio+de+las+calizas&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiBzs_E1fHIAhWMnFkKHVrCDMsQ6AEIYZAI#v=onepage&q=carbonato%20de%20calcio%20de%20las%20calizas&f=true
- Del Aguila, N. (2015). *Gestión de efluentes, tratamiento de aguas ácidas y precipitación de aluminio y manganeso en la planta de tratamiento de la empresa minera Yanacocha*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2742>
- Espinoza, M. (1997). *Diseño de una planta de tratamiento para el drenaje acido de una mina en el estado de Mexico (tesis de pregrado)*. Mexico: Universidad Autonoma de Nueva Leon.

- Gálvez, H. (2003). *Evaluación del comportamiento de la piedra caliza con diferente contenido de carbonato de magnesio (MgCO₃) a través del proceso de calcinación a 8500c y 640 mm Hg en la obtención de cal viva mediante la determinación de la densidad aparente (ASTM 188-95)*. Ecuador: Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3992/1/Hugo%20Alejandro%20G%C3%A1lvez%20Barrera.pdf>
- Garrido, A., Teijon, J., Blanco, D., Villaverde, C., Mendoza, C., y Ramirez, R. (2006). *Fundamentos de bioquímica Estructural*. Madrid: Tébar, S.L. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=avt8LFmp8q4C&pg=PA31&dq=H+segun+sorensen&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi8_8HWyvXjAhULpFkKHbv7B34Q6AEIKDAA#v=onepage&q=pH%20segun%20sorensen&f=false
- Gonzales, S., y Ticona, K. (2016). *Evaluación de la influencia de la granulometría de piedra caliza, concentración de carbonato de calcio, tiempo de residencia y temperatura de calcinación para mejorar el rendimiento en la obtención de óxido de calcio (Cal Viva)*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa . Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2403>
- Harris, D. (2007). *Análisis químico cuantitativo*. Barcelona España: Reverté, SA.
- Henry, G., y Heinke, G. (1999). *Ingeniería Ambiental*. México: Pearson. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=ToQmAKnPpzIC&pg=PA158&dq=reacci%C3%B3n+%C3%A1cido-base&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiT6dzUk6fmAhUCy1kKHc_9DjAQ6AEIKDAA#v=onepage&q=reacci%C3%B3n%20%C3%A1cido-base&f=false
- Hernández, J., Salinas, E., Blanco, A., Cerecedo, E., y Rodríguez, V. (2014). *Carbonato de Calcio en Mexico Características Geológicas, Minerológicas y aplicaciones*. México: OmniaScience. Recuperado de

<https://books.google.com.pe/books?id=zuAIBgAAQBAJ&pg=PA24&dq=carbonato+de+calcio&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwjy68PP0vHIAhUGvVvKHajRCwEQ6AEIKDAA#v=onepage&q=carbonato%20de%20calcio&f=false>

Hilleboe, H. (2000). *Manual de tratamiento de aguas*. Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York: Edit. Limusa S.A.

Jiménez, B. (2001). *La Contaminación ambiental en Mexico: Causas, efectos y tecnología apropiada*. México: Limusa. Recuperado de <https://books.google.com>.

[pe/books?id=8MVxlyJGokIC&pg=PA49&dq=el+aluminio+en+el+agua&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiyws3Qx_TIAhULvIkKHZnPC74Q6AEIMDAB#v=onepage&q=el%20aluminio%20en%20el%20agua&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=8MVxlyJGokIC&pg=PA49&dq=el+aluminio+en+el+agua&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiyws3Qx_TIAhULvIkKHZnPC74Q6AEIMDAB#v=onepage&q=el%20aluminio%20en%20el%20agua&f=false)

Loayza, L. (2018). *Diseño y construcción de una columna con piedra caliza para reducción de hierro y cobre en agua de drenaje ácido de mina*. Universidad de las Américas, Quito. Recuperado de <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/9168>

López, A. (2016). *Pruebas de Tratamiento de Drenaje Ácido en un Sistema Continuo de Celdas con Rocas Filita y Caliza*. Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/12265/Tesis.pdf?sequence=1>

López, E., Aduviere, O., y Baretino, D. (2002). *Tratamiento de pasivos de drenajes ácidos de mina: estado actual y perspectivas de futuro*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.

Lottermoser, B. (2010). *Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts*. London: Springer Heidelberg Dordrecht. Recuperado de http://kamceramics.com/wp-content/uploads/2017/02/Bernd_G._Lottermoser_Mine_Wastes_CharacterizatiBookZZ.org_.pdf

Ministerio del Ambiente. (2010). *Compendio de la legislación ambiental Peruana, Volumen V, Calidad Ambiental*. Lima: Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental del Ministerio del Ambiente. Recuperado de http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/10/compendio_05_-_calidad_ambiental_2.pdf

Ministerio del Ambiente. (2016). *Aprende a prevenir los efectos del mercurio, Módulo 1: Salud y Ambiente*. Lima: Dirección General de Educación, Cultura y Ciudadanía Ambiental. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/educacion/wp-content/uploads/sites/20/2017/02/Publicaciones-1.-Texto-de-consulta-M%C3%B3dulo-1-1.pdf>

Santomartino, S., y Webb, J. (2007). Estimating the longevity of limestone drains in treating acid mine drainage containing high concentrations of iron. *Applied Geochemistry*, 22(11), 2344 -2361. Recuperado de <https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/estimating-the-longevity-of-limestone-drains-in-treating-acid-mine-4Uve7EFh0X?key=elsevier>

Sepulcre, J. (2000). *Adición de Carbonatos de Calcio Naturales Micronizados y Ultramicronizados a Adhesivos Termofusibles en base EVA*. Alicante: Universidad de Alicante. Recuperado de <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/4049/1/Sepulcre-Guilabert-Jose.pdf>.

Sevillano, R. (2017). *Eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas*. Universidad César Vallejo, Lima. Recuperado de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/6897>

Skoog, D., y West, D. (1986). *Introducción a la Química Analítica*. Madrid: Reverte.

Sotelo, G. (1994). *Hidráulica General, Fundamentos*. México: Limusa. Recuperado de

https://www.academia.edu/38544755/Hidr%C3%A1ulica_General_Vol_1._Fundamentos_-_Gilberto_Sotelo_%C3%81vila

Talaverano, L. (2014). *Optimización del desempeño del pH en la precipitación de metales para incrementar la eficiencia del tratamiento de aguas ácidas con producción más limpia en la planta de procesos AWTP Pampa Larga*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Recuperado de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/4430/1/talaverano_cl.pdf

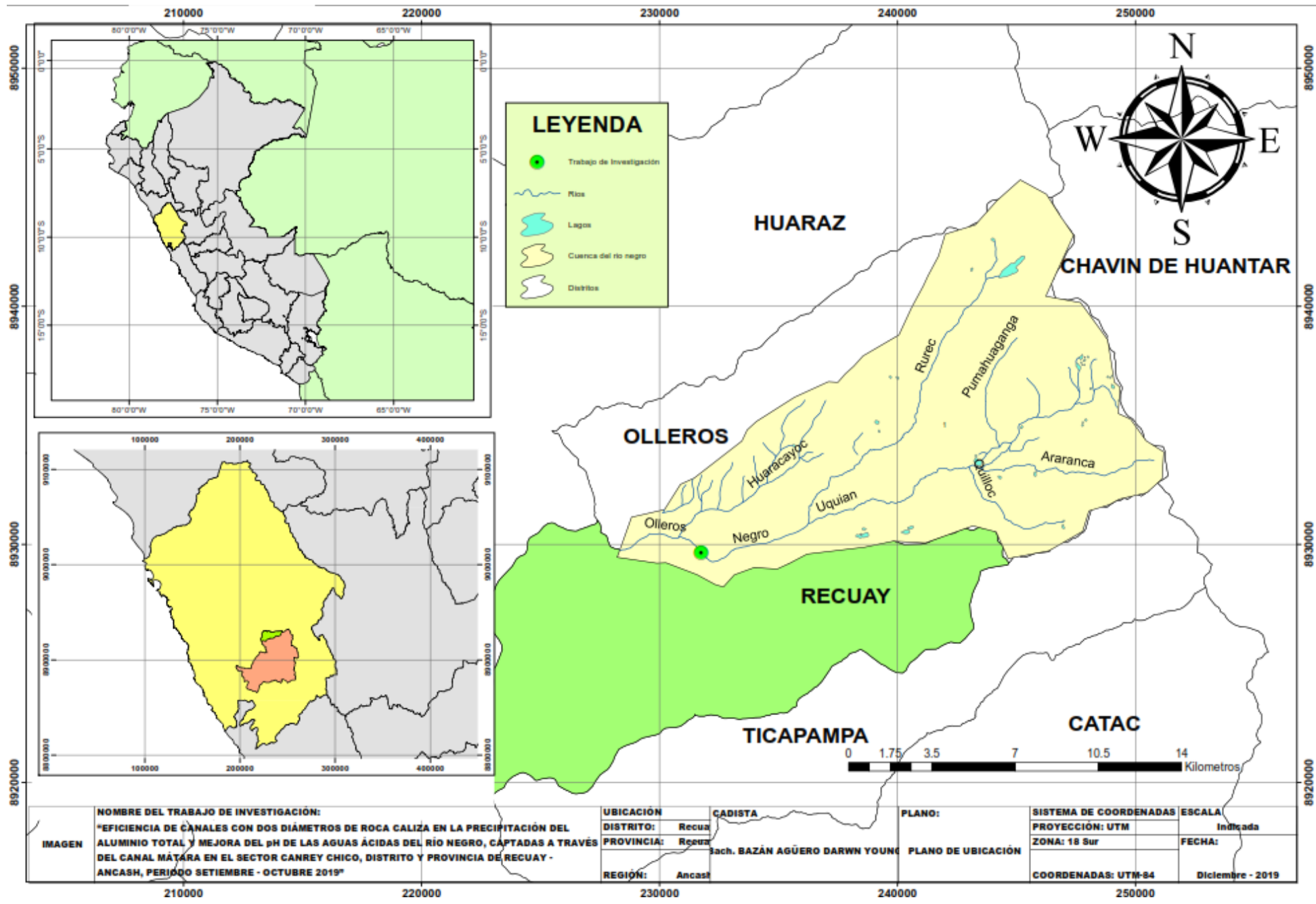
Tuiro, S. M. (2010). *Evaluación y propuesta de mitigación de efluentes de aguas ácidas de cantera de Caolín*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1617/1/tuiro_sm.pdf

Villanueva, R., Sánchez, F. (2013). *Diseño de tratamiento pasivo después del plan de cierre de mina (tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

Ziemkiewicz, P., Skousen, J., Brant, D., Sterner, P., Lovett, R. (1997). *Acid Mine Drainage Treatment with Aromred Limestone in Open Limestone Channels*. Journal of Environmental Quality. Recuperado de <https://wvmdtaskforce.files.wordpress.com/2015/12/96-ziemkiewicz.pdf>

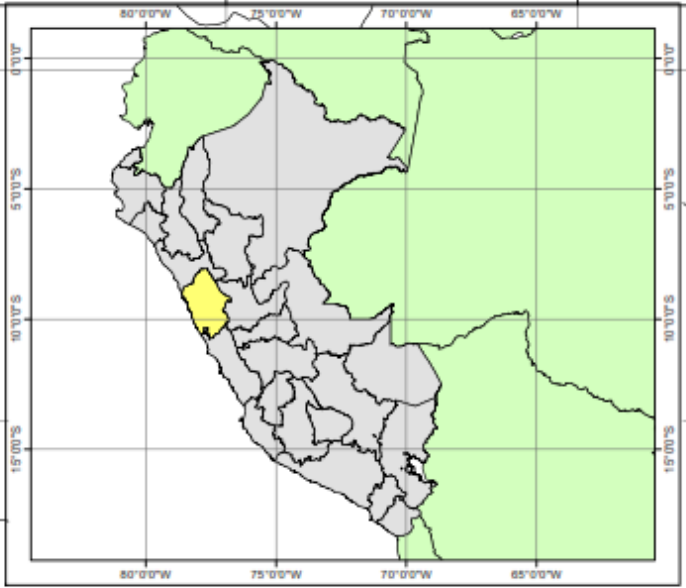
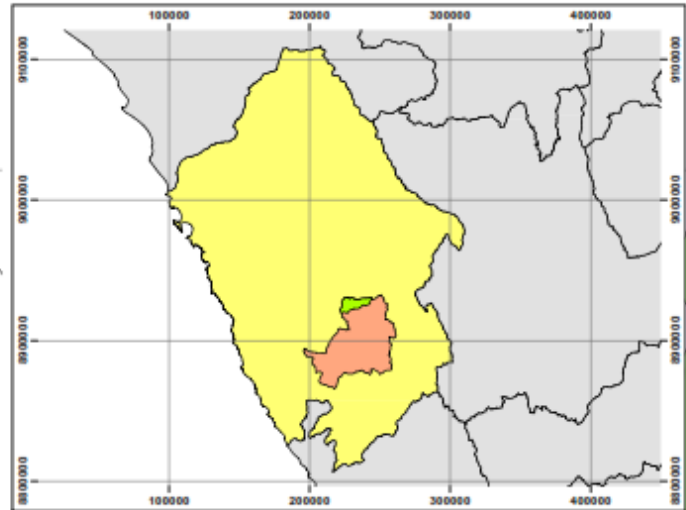
ANEXOS

ANEXO 1. Mapa de ubicación del trabajo de investigación



LEYENDA

- Trabajo de Investigación
- Rios
- Lagos
- Cuenca del rio negro
- Distritos



IMAGEN

NOMBRE DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:
 "EFICIENCIA DE CÁNALES CON DOS DIÁMETROS DE ROCA CALIZA EN LA PRECIPITACIÓN DEL ALUMINIO TOTAL Y MEJORA DEL pH DE LAS AGUAS ÁCIDAS DEL RÍO NEGRO, CÁPTADAS A TRAVÉS DEL CANAL MÁTARA EN EL SECTOR CANREY CHICO, DISTRITO Y PROVINCIA DE RECUAY - ANCASH, PERÍODO SETIEMBRE - OCTUBRE 2019"

UBICACIÓN

DISTRITO:	Recuay
PROVINCIA:	Recuay
REGIÓN:	Ancash

CADISTA
 Sach. BAZÁN AGÜERO DARWN YOUNG

PLANO:
 PLANO DE UBICACIÓN

SISTEMA DE COORDENADAS	ESCALA
PROYECCIÓN: UTM	Indicada
ZONA: 18 Sur	FECHA:
COORDENADAS: UTM-84	Diciembre - 2019

ANEXO 2. Resultados del dimensionamiento del sistema de canales

Diseño del sistema

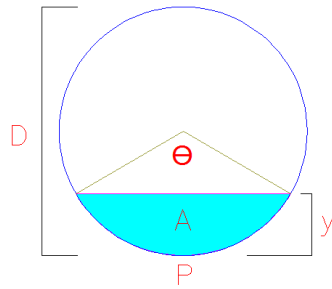
Se emplearon los indicados en el cuadro 19.

Tabla 19: Parámetros de diseño del sistema de canales

Parámetros	Símbolo	Unidad	Valores
Longitud del canal	L	m	7.5
Diámetro del canal	D	m	0.1
Pendiente constante de los canales	S	m/m	0.002
Tirante de agua	y	m	0.025
Rugosidad "n" de manning	n		0.04
Área disponible de terreno	At	m ²	56

a) Caudal de ingreso constante

Para ello se grafica la sección del canal con los siguientes datos:



Donde:

D = Diámetro del canal

P = Perímetro mojado

A = Área mojada

y = Tirante de agua

θ = Ángulo de la sección del canal

Entonces en primer lugar se calcula el ángulo " θ " de la sección del canal

$$\theta = 2 \arccos \left(1 - \frac{y}{D} \right) \text{ rad}$$

Ecuación 1

Una vez obtenido el valor del ángulo de la sección del canal, se calcula el valor del área mojada.

$$A = \left(\frac{\theta - \text{sen}\theta}{8}\right) D^2 \quad \text{Ecuación 2}$$

Luego se calcula el perímetro mojado.

$$P = \left(\frac{D\theta}{2}\right) \quad \text{Ecuación 3}$$

Con los valores de área mojada y perímetro mojado, se calcula el radio hidráulico.

$$Rh = \left(\frac{A}{P}\right) \quad \text{Ecuación 4}$$

Entonces con la fórmula de Manning se calcula la velocidad.

$$V = \frac{1}{n} Rh^{\frac{2}{3}} \sqrt{S} \quad \text{Ecuación 5}$$

Finalmente con la siguiente expresión se calcula el valor del caudal en l/s.

$$Q = AV1000 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde

Q = Caudal de ingreso constante (l/s)

A = Área mojada (m²)

V = Velocidad (m/s)

Se efectuó, reemplazando los valores en la ecuación 1, 2, 3, 4, 5 y finalmente en la ecuación 6 con las siguientes variables

$$Q = AV1000 \quad \text{Ecuación 6.}$$

Tabla 20: Resultados de los cálculos del caudal de ingreso constante

Resultados obtenidos	Símbolo	Unidad	Valores
Angulo	" θ "	Rad	2.094
Área mojada	A	m ²	0.002
Perímetro mojado	P	m	0.105
Radio hidráulico	Rh	m	0.015
Velocidad	V	m/s	0.066
Caudal	Q	l/s	0.10

Reemplazando en las ecuaciones mencionadas se obtiene un caudal de ingreso constante de 0.10 l/s.

b) Tiempo de contacto

Para este caso se procedió a calcular con la siguiente formula.

Sabemos que la longitud del canal es igual a $L_c = V_a T_c$; del cual despejando se tiene que.

$$T_c = \frac{L_c}{V_a} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

T_c = Tiempo de contacto (min)

L_t = Longitud del canal (m).

V_a = Velocidad del agua que circula por el canal con Rugosidad "n" de Manning (m/s).

Tabla 21: Datos para calcular el tiempo de contacto

Datos	Símbolo	Unidad	Valores
Longitud del canal	L	m	7.5
Velocidad del agua que circula por el canal con Rugosidad “n” de Manning	Va	m/s	0.066

Finalmente reemplazando en la ecuación 7

Se tiene que el tiempo de contacto entre la superficie específica de las rocas calizas y las aguas es igual a 1.89 minutos.

c) Cantidad de caliza empleada en los canales

Primero se calcula el área de la sección del canal, con un tirante de $y=2.5$ cm, con la siguiente formula:

$$A_{Sec.Canal.} = A_{Sec.Cir.} - A_{Tri.} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$A_{Sec.Canal.} = \frac{\pi r^2 \theta}{360} - \frac{b \sqrt{a^2 - \frac{a^2}{4}}}{2} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

$A_{Sec.Canal.}$ = Área de la sección del canal (m²)

r = Radio del canal (m)

Pi = Valor de pi (π)

θ = Ángulo de la sección del canal

a = Hipotenusa del triángulo rectángulo

b = Base del triángulo

h = Altura del triángulo

Luego se calcula el volumen de agua que circula por el canal

$$Va = (A_{Sec.Canal.})(L)(1000) \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

Va = Volumen de agua que circula por el canal (litros)

$A_{Sec.Canal}$ = Área de la sección del canal (m²)

L = Longitud del canal (m)

En función al resultado obtenido se realiza los cálculos para obtener la cantidad óptima requerida, ya que el volumen del lecho de ambos diámetros requeridos, serán las mismas que el volumen de agua que circula por el canal, garantizando de esa forma que los lechos se encuentren sumergidos totalmente.

$$Va = (V_{rc1/2''}) = (V_{rc1''}) \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

Va = Volumen de agua que circula por el canal (litros)

$V_{rc1/2''}$ = Volumen de caliza de $\varnothing=1/2''$ (litros)

$V_{rc1''}$ = Volumen de caliza de $\varnothing=1''$ (litros)

Entonces, empleando un recipiente graduado cada 0.5 litro de capacidad de 2 litros, se calcula la cantidad en kg de caliza. Para lo cual se llena con agua el recipiente graduado hasta una capacidad de $V_i=1.00$ litros y sobre ella se añade caliza de $\varnothing=1/2''$ hasta obtener un $V_f=1.50$ litros. Finalmente se pesa la cantidad que desplazó el agua hasta su volumen final. Asimismo, para la roca caliza de $\varnothing=1''$ se realiza los mismos procedimientos.

Tabla 22: Datos para calcular la cantidad de caliza empleado.

Datos	Símbolo	Unidad	Valores
Radio del canal	r	m	0.05
Angulo de la sección del canal	θ	Rad.	120
Pi	π		3.141592
Base del triangulo	b	m	0.05
Altura del triangulo	h	m	0.025
Hipotenusa del triángulo rectángulo	a	m	0.0433
Longitud del canal	L	m	7.5

Finalmente reemplazando en la ecuación 10, los valores obtenidos en la ecuación 9 se tiene el valor del volumen de agua de 13.01 litros que circula por el canal.

Tabla 23: Volumen de agua que circula por el canal

Resultados obtenidos	Símbolo	Unidad	Valores
Área de sección circular	Asec.Cir.	m ²	0.00262
Área del triangulo	Atri.	m ²	0.00088
Área de sección del canal	Asec.Canal.	m ²	0.00173
Volumen de agua que circula por el canal	Va	l	13.01

Además se establece que el volumen de agua que circula por el canal es igual al volumen de calizas empleadas ya que de esa forma, serán sumergidos totalmente. El cual se calculó con la ecuación 11.

Finalmente para obtener la cantidad de roca caliza requerida para los canales, se emplearon los siguientes datos:

Para canal con lecho de $\varnothing=1/2''$

Tabla 24: Datos para calcular la cantidad de caliza de $\varnothing=1/2''$.

Datos	Símbolo	Und	Valores
Volumen inicial del recipiente con agua	Vi	l	1
Volumen final del recipiente con agua	Vf	l	1.5
Volumen desplazado del recipiente con agua	Vd	l	0.5
Masa de caliza que desplaza el agua hasta Vf	Mrcd	kg	1.26
Volumen de agua que circula por el canal	Va	l	13.01

Reemplazando los datos en la ecuación 11 se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 25: Cantidad de caliza de $\phi=1/2$ empleada

Resultados	Símbolo	Und	Valores
Masa de caliza para canal de 7,50 ml de longitud	Mrc-1/2"	kg	32.79
Masa de caliza total para las 3 repeticiones	Mrc-t	kg	98.36

Para canal con lecho de $\phi=1''$ **Tabla 26:** Datos para calcular la cantidad de caliza de $\phi=1''$.

Datos	Símbolo	Und	Valores
Volumen inicial del recipiente con agua	Vi	l	1
Volumen final del recipiente con agua	Vf	l	1.5
Volumen desplazado del recipiente con agua	Vd	l	0.5
Masa de caliza que desplaza el agua hasta Vf	Mrcd	kg	1.13
Volumen de agua que circula por el canal	Va	l	13.01

Reemplazando los datos en la ecuación 11 se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 27: Cantidad de caliza de $\phi=1''$ empleada

Resultados	Símbolo	Und	Valores
Masa de caliza para canal de 7,50 ml de longitud	Mrc-1"	kg	29.40
Masa de caliza total para las 3 repeticiones	Mrc-t	kg	88.21

d) Diseño del vertedero

Para calcular las dimensiones del vertedero triangular se tomó como referencia a Sotelo (1994) , en donde establece que:

$$Qv = Cd \cdot \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan \frac{\phi}{2} \cdot h^{\frac{5}{2}}$$

Ecuación 12

Donde

Qv = Caudal de vertedero (m³/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

φ = Abertura del vertedero (grados)

h = Carga del vertedero (m)

Cd = Coeficiente de descarga del vertedero = 0.62 el más frecuente y depende de la forma de la construcción.

Luego de la ecuación 12 se despeja la carga del vertedero “h”

$$h = \sqrt[5]{\left(\frac{Qv}{Cd \cdot \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan\frac{\varphi}{2}}\right)^2} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

h = Carga del vertedero (m)

Cabe precisar que el diseño del vertedero triangular y rectangular, se ciñe a las dimensiones del recipiente, ya que para el presente trabajo de investigación sólo se requiere controlar un caudal de ingreso constante, al sistema de canales con roca caliza, a través del cálculo de la carga del vertedero (h).

Tabla 28: Datos para calcular la carga del vertedero.

Datos	Símbolo	Unidad	Valores
Caudal de vertedero	Qv	m ³ /s	0.00010
Aceleración de la gravedad	g	m/s ²	9.8
Coeficiente de descarga del vertedero	Cd		0.62
Abertura del vertedero	φ	°	90

Finalmente reemplazando los valores en la ecuación 13 se tiene que la carga del vertedero es igual **$h = 2.2\text{cm}$** .

e) Cálculo de los porcentajes de precipitación y mejora

Se hace uso de la siguiente formula:

$$\%PAL_t = \frac{[Al_t]i - [Al_t]f}{[Al_t]i} * 100 \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

$\%PAL_t$ = Porcentaje de precipitación de aluminio total (%)

$[Al_t]i$ = Concentración inicial de aluminio total (mg/l)

$[Al_t]f$ = Concentración final de aluminio total (mg/l)

Así como la siguiente formula:

$$\%MpH = \frac{pH_f - pH_i}{pH_f} * 100 \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

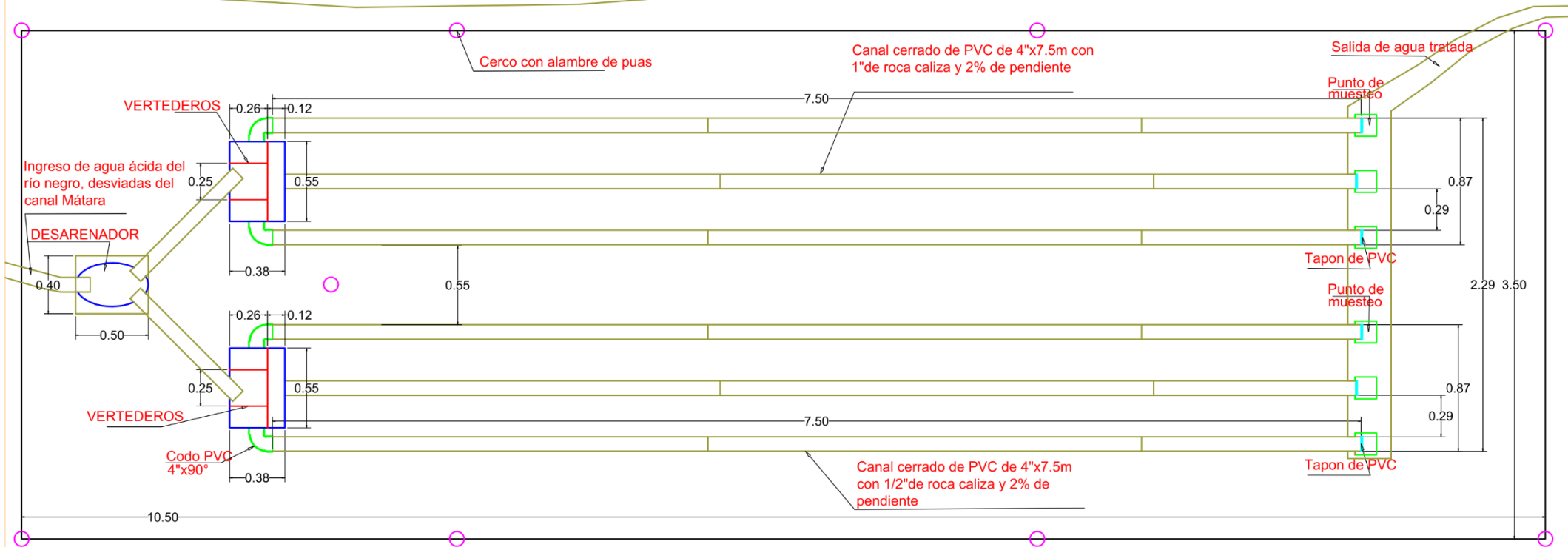
$\%MpH$ = Porcentaje de mejora de pH (%)

pH_f = Resultado final de pH (Und. de pH)

pH_i = Resultado inicial de pH (Und. de pH)

ANEXO 3. Planos de diseño del sistema

AGUAS DEL RÍO NEGRO, CAPTADAS A TRAVÉS DEL CANAL MÁTARA



**UNIVERSIDAD
NACIONAL
'SANTIAGO
ANTUNEZ DE
MAYOLO'**



"EFICIENCIA DE CANALES CON DOS DIÁMETROS DE ROCA CALIZA EN LA PRECIPITACIÓN DE ALUMINIO TOTAL Y MEJORA DEL pH DE LAS AGUAS ÁCIDAS DEL RÍO NEGRO, CAPTADAS A TRAVÉS DEL CANAL MÁTARA EN EL SECTOR CANREY CHICO, DISTRITO Y PROVINCIA DE RECUAY - ANCASH, PERIODO SETIEMBRE - OCTUBRE 2019"

PLANO:
PLANTA DEL SISTEMA DE CANALES CON CALIZA

UBICACION:
CC.PP DISTRITO Y PROVINCIA DEPARTAM.
CANREY CHICO RECUAY ANCASH

FORMULADOR:
Bach. Bazan Aguero Darwin Y.

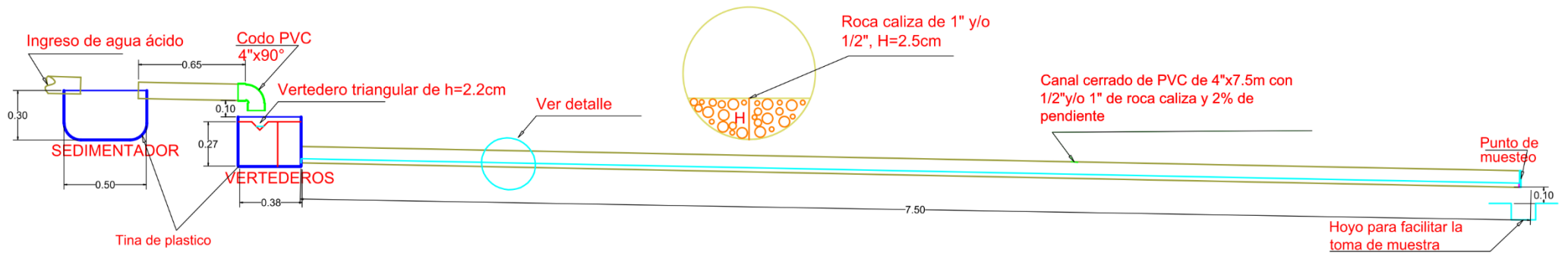
ESCALA:
INDICADA

FECHA:
SETIEMBRE 2020

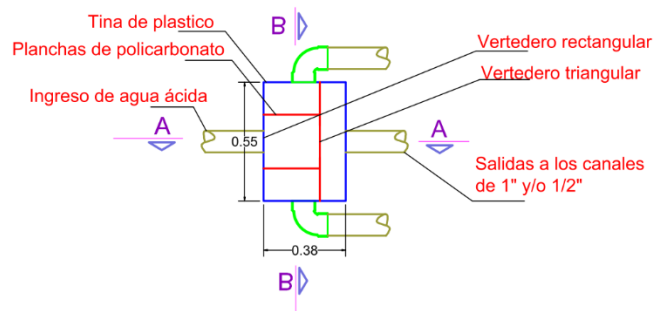
REV. / APROB. :

LAMINA Nº:
LP-01

PERFIL DEL SISTEMA DE CANALES CON ROCA CALIZA



PLANTA DE VERTEDERO



UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO"



"EFICIENCIA DE CANALES CON DOS DIÁMETROS DE ROCA CALIZA EN LA PRECIPITACIÓN DE ALUMINIO TOTAL Y MEJORA DEL pH DE LAS AGUAS ÁCIDAS DEL RIO NEGRO, CAPTADAS A TRAVÉS DEL CANAL MÁTARA EN EL SECTOR CANREY CHICO, DISTRITO Y PROVINCIA DE RECUAY - ANCASH, PERIODO SETIEMBRE - OCTUBRE 2019"

PLANO:
PERFIL DEL SISTEMA DE CANALES Y PLANTA DEL VERTEDERO

UBICACION:
CC.PP DISTRITO Y PROVINCIA DEPARTAM.
CANREY CHICO RECUAY ANCASH

FORMULADOR:
Bach. Bazan Aguero Darwin Y.

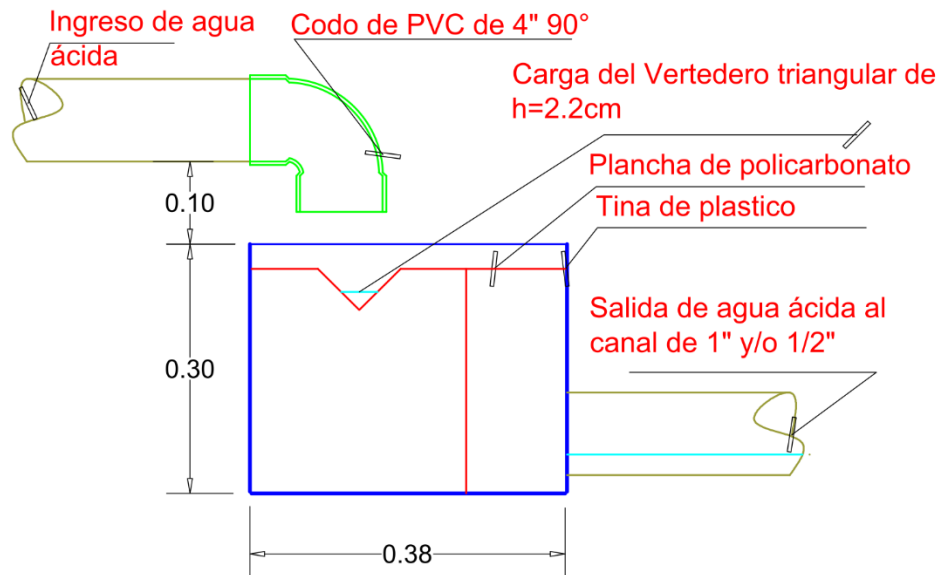
ESCALA:
INDICADA

FECHA:
SETIEMBRE 2020

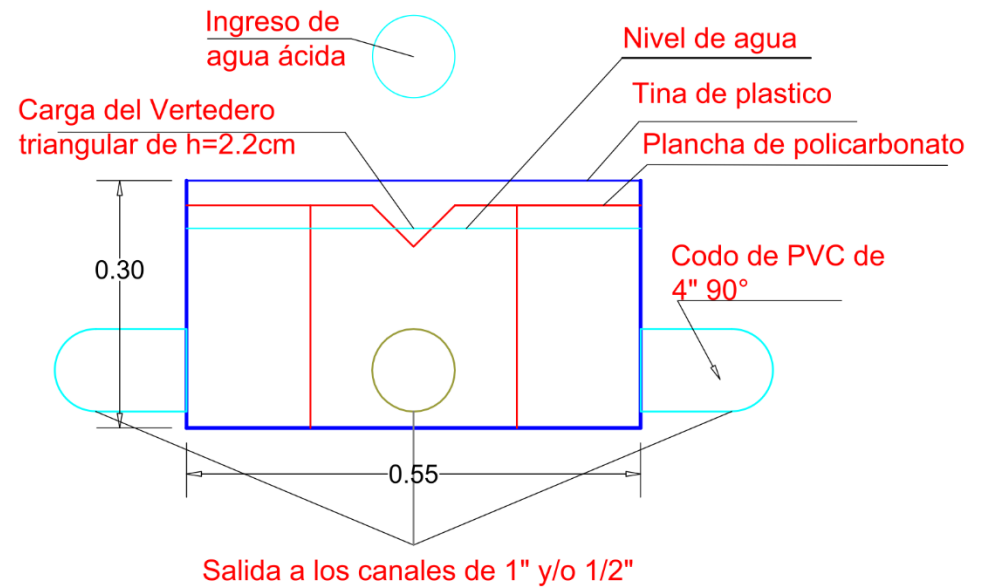
REV. / APROB.:

LAMINA N°:
PV-02

CORTE A-A VERTEDERO



CORTE B-B VERTEDERO



**UNIVERSIDAD
NACIONAL
'SANTIAGO
ANTUNEZ DE
MAYOLO'**



"EFICIENCIA DE CANALES CON DOS DIÁMETROS DE ROCA CALIZA EN LA PRECIPITACIÓN DE ALUMINIO TOTAL Y MEJORA DEL pH DE LAS AGUAS ÁCIDAS DEL RIO NEGRO, CAPTADAS A TRAVÉS DEL CANAL MÁTARA EN EL SECTOR CANREY CHICO, DISTRITO Y PROVINCIA DE RECUAY - ANCASH, PERIODO SETIEMBRE - OCTUBRE 2019"

PLANO:

PERFIL DEL SISTEMA DE VERTEDEROS

UBICACION:

CC.PP DISTRITO Y PROVINCIA DEPARTAM.
CANREY CHICO RECUAY ANCASH

LAMINA N°:

PV-03

FORMULADOR:

Bach. Bazan Aguero Darwin Y.

ESCALA:

INDICADA

FECHA:

SETIEMBRE 2020

REV. / APROB.:

ANEXO 4. Reportes de laboratorio

INFORME DE ENSAYO AG190360

CLIENTE
Razón Social : DARWIN BAZAN AGÜERO
Dirección : Av. Wilcahuain N°2318 - Independencia - Huaraz
Atención : Darwin Bazan Agüero

MUESTRA
Producto declarado : Agua Drenaje Ácido de Roca
Matriz : Aguas Naturales - Agua Superficial
Procedencia : I: Río Negro - Canal Matara, Canrey Chico, Distrito y Provincia de Recuay - Ancash
 : 1/2" - C1: Río Negro - Canal Matara, Canrey Chico, Distrito y Provincia de Recuay - Ancash
 : 1/2" - C2: Río Negro - Canal Matara, Canrey Chico, Distrito y Provincia de Recuay - Ancash
 : 1/2" - C3: Río Negro - Canal Matara, Canrey Chico, Distrito y Provincia de Recuay - Ancash
 : 1" - C1: Río Negro - Canal Matara, Canrey Chico, Distrito y Provincia de Recuay - Ancash
 : 1" - C2: Río Negro - Canal Matara, Canrey Chico, Distrito y Provincia de Recuay - Ancash
 : 1" - C3: Río Negro - Canal Matara, Canrey Chico, Distrito y Provincia de Recuay - Ancash

MUESTREO
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190224
Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
Referencia: : No indica

LABORATORIO
Fecha de recepción : 21/Agosto/2019
Fecha de análisis : 21 de Agosto al 28 de Agosto/2019
Cotización N° : CO190690

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA							
					Código del cliente	I	1/2" - C1	1/2" - C2	1/2" - C3	1" - C1	1" - C2	1" - C3
					Fecha de muestreo ¹	21/08/2019	21/08/2019	21/08/2019	21/08/2019	21/08/2019	21/08/2019	21/08/2019
					Hora de muestreo ¹	10:41	10:44	10:40	10:50	10:52	10:54	10:56
					Código del Laboratorio	AG190411	AG190412	AG190413	AG190414	AG190415	AG190416	AG190417
MT	METALES TOTALES											
MT01	Aluminio total	mg/l Al	Cromoazurol S	0.020	6.400	3.600	4.800	6.200	4.400	4.400	5.600	

¹ Datos proporcionados por el cliente

Legenda: APHA: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017

RESULTADOS DE CAMPO PROPORCIONADOS POR EL Tsr. DARWIN BAZAN AGÜERO										
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	I	1/2" - C1	1/2" - C2	1/2" - C3	1" - C1	1" - C2	1" - C3		
Ph	Unid. pH	3.0	3.4	3.5	3.5	3.3	3.2	3.2		

Huaraz, 28 de Julio de 2019



Mario Leyva Collas
MSc. Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



INFORME DE ENSAYO AG190418

CLIENTE Razón Social : DARWIN BAZAN AGÜERO
 Dirección : Av. Wilcahuain N°2318 - Independencia - Huaraz
 Atención : Darwin Bazan Agüero

MUESTRA Producto declarado : Agua de Drenaje Ácida de Roca
 Matriz : Aguas Naturales - Agua Superficial
 Procedencia : I: Río Negro - Canal Matara, C.P. Canrey Chico, Recuay - Ancash
 : C1 - 1/2": Río Negro - Canal Matara, C.P. Canrey Chico, Recuay - Ancash
 : C2 - 1/2": Río Negro - Canal Matara, C.P. Canrey Chico, Recuay - Ancash
 : C3 - 1/2": Río Negro - Canal Matara, C.P. Canrey Chico, Recuay - Ancash
 : C1 - 1": Río Negro - Canal Matara, C.P. Canrey Chico, Recuay - Ancash
 : C2 - 1": Río Negro - Canal Matara, C.P. Canrey Chico, Recuay - Ancash
 : C3 - 1": Río Negro - Canal Matara, C.P. Canrey Chico, Recuay - Ancash
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190250

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 18/Septiembre/2019
 Fecha de análisis : 18 de Septiembre al 25 de Septiembre/2019
 Cotización N° : CO190764

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA							
					Código del cliente	I	C1 - 1/2"	C2 - 1/2"	C3 - 1/2"	C1 - 1"	C2 - 1"	C3 - 1"
					Fecha de muestreo ¹	18/09/2019	18/09/2019	18/09/2019	18/09/2019	18/09/2018	18/09/2019	18/09/2019
					Hora de muestreo ¹	12:30	12:31	12:34	12:37	12:39	12:41	12:42
				Código del Laboratorio	AG190474	AG190475	AG190476	AG190477	AG190478	AG190479	AG190480	
METALES TOTALES												
MT	Aluminio total	mg/l Al	Cromoazul S	0.020	4.200	3.900	3.700	4.300	3.000	4.000	4.300	

¹ Datos proporcionados por el cliente
 Leyenda: APHA: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017

RESULTADOS DE CAMPO PROPORCIONADOS POR EL TSr. DARWIN BAZAN AGÜERO									
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	I	C1 - 1/2"	C2 - 1/2"	C3 - 1/2"	C1 - 1"	C2 - 1"	C3 - 1"	
Ph	Unid. pH	3.2	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.3	

Huaraz, 25 de Septiembre de 2019



Mario Collas
 MSc. Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimentes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



INFORME DE ENSAYO AG190473

CLIENTE
Razón Social : DARWIN BAZAN AGÜERO
Dirección : Av. Wilcahuain N°2310 - Independencia - Huaraz
Atención : Darwin Bazan Agüero

MUESTRA
Producto declarado : Agua de Drenaje Ácida de Roca Tratada
Matriz : Aguas Naturales - Agua Superficial
Procedencia : I: Río Negro - Canal Matara, C.P. Canrey Chico, Recuay - Ancash
: C1 - 1/2": Río Negro - Canal Matara, C.P. Canrey Chico, Recuay - Ancash
: C2 - 1/2": Río Negro - Canal Matara, C.P. Canrey Chico, Recuay - Ancash
: C3 - 1/2": Río Negro - Canal Matara, C.P. Canrey Chico, Recuay - Ancash
: C1 - 1": Río Negro - Canal Matara, C.P. Canrey Chico, Recuay - Ancash
: C2 - 1": Río Negro - Canal Matara, C.P. Canrey Chico, Recuay - Ancash
: C3 - 1": Río Negro - Canal Matara, C.P. Canrey Chico, Recuay - Ancash

Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190286 - CC190287

MUESTREO
Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
Referencia: : No indica

LABORATORIO
Fecha de recepción : 21/Octubre/2019
Fecha de análisis : 21 de Octubre al 28 de Octubre/2019
Cotización N° : CO190868


CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA							
					Código del cliente	I	C1 - 1/2"	C2 - 1/2"	C3 - 1/2"	C1 - 1"	C2 - 1"	C3 - 1"
					Fecha de muestreo ¹	21/10/2019	21/10/2019	21/10/2019	21/10/2019	21/10/2019	21/10/2019	21/10/2019
					Hora de muestreo ¹	16:06	16:08	16:09	16:10	16:11	16:12	16:13
					Código del Laboratorio	AG190549	AG190550	AG190551	AG190552	AG190553	AG190554	AG190555
MT	METALES TOTALES											
MT01	Aluminio total	mg/l Al	Cromoazurol S	0.020	3.000	4.200	3.300	3.500	2.100	3.100	3.400	

¹ Datos proporcionados por el cliente
 Leyenda: APHA: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017

RESULTADOS DE CAMPO PROPORCIONADOS POR EL Tsr. DARWIN BAZAN AGÜERO									
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	I	C1 - 1/2"	C2 - 1/2"	C3 - 1/2"	C1 - 1"	C2 - 1"	C3 - 1"	
Ph	Unid. pH	3.4	3.4	3.4	3.4	3.3	3.3	3.4	

Huaraz, 28 de Octubre de 2019




MSc. Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.