



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“EVALUACIÓN DEL DRENAJE ANÓXICO CALIZO,
COMO TÉCNICA COMPLEMENTARIA AL CIERRE
DE LA BOCAMINA BQH5 DE COLQUIRRUMI.”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Jiménez Bermejo, Pedro Jesús.
Bach. Llanos Rimarachín, José Fernando.

Asesor:

Msc. Sánchez Espinoza, Deicy Noemi.

Cajamarca - Perú

2019

DEDICATORIA

Dedico mi tesis de grado a mi querida mamita Sara Jiménez Quinde †, por haber orientado mi vida dentro valores espirituales y religiosos inquebrantables que han ayudado a la formación de mi carácter y a definirme como una persona de calidad social positiva.

A mi madre Rosa Bermejo Santos, por haberme dado el regalo invaluable de la vida y ser mi motivo de superación. A mis Hermanos Jorge y Lennin por inspirar mi progreso.

A mis padres afectivos Dimas Santos Jiménez y Bremilda Santos Jiménez por encaminar mi vida y permitirme se parte de sus hogares. A mí querida tía Yudit Herrera Santos, por su cariño y confianza. A mi tía política Marisol Peltroche Delgado, por contribuir en mi formación de carácter y valores.

A mis queridos primos Hadmy Santos Oblitas, por motivarme y levantar mi ánimo en cada momento; Gretel Santos Peltroche, Thalia Santos Peltroche, Haroldo Santos Peltroche, Jeanmarco Correa Pérez por compartir alegría y darme enseñanzas de vida.

A mis fieles amigos de y para toda la vida Jonathan Peña Contreras, Elí Zurita Ramírez y Esther Ramírez López; por el aprecio y apoyo emocional durante mis estudios de pregrado.

Con orgullo y gratitud Jiménez Bermejo, Pedro Jesús.

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado a mi madre Marta Rimarachín, a quién no me alcanzaría la existencia para agradecer todo el apoyo incondicional hacia mi persona es por eso que siempre la llamo como mi ángel de la guarda en esta vida, y además admiro por su gran corazón.

A mi padre Avelino llanos, símbolo de sencillez y esfuerzo para salir adelante y cumplir mis objetivos trazados, a quién al culminar la presente sustentación podré faltarle el respeto llamándolo “Colega”.

A mi padrino y hermano Kenny, quién siempre admiré desde muy niño tanto en su vida profesional como deportiva.

A mi hermano Jhonatan, la persona que siempre me dio la mano para salir adelante y ha sabido aconsejarme y guiarme para cada día ser mejor persona.

A mi hijo Stefano, mi mayor motivo para seguir siendo perseverante, que desde su nacimiento me hizo vivir experiencias inimaginables pero muy felices a su lado, a quién no tengo palabras ni manera de como expresarle el gran amor que le tengo.

A Mercedes mi compañera de vida, a quién le debo la dicha de ser Padre y agradezco por saber criar y educar a nuestro hijo que es el fruto de nuestro gran amor que nos tenemos.

A mis sobrinos Evan y Annel, a quienes les tengo un gran aprecio por ser la alegría de la familia

A mis abuelos Demetrio y Francisca †. Quienes sé que desde el cielo se encuentran muy felices por este nuevo paso en mi aún largo camino por recorrer, de quienes nunca me olvidaré y siempre guardo un hermoso recuerdo de mi niñez y juventud vivida con ellos.

Y finalmente a todos mis amigos, quienes también confían en mi como si fueran unos familiares más y de quienes he aprendido bastante de la mejor universidad la de la Vida.

Llanos Rimarachín, José Fernando.

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de investigación no hubiera podido ser realizado sin la guía y experiencia de nuestra asesora Msc Sánchez Espinoza Deicy Noemi, quién se enfoca en cuidar los saberes del mundo y permite a otros expandir sus conocimientos, nos ayuda a vivir del sueño de superarnos, cumplir nuestras metas y de siempre perseguir una mejora constante para ser mejores seres humanos, a quién estamos infinitamente agradecidos por la ayuda en lograr una nueva meta en nuestra vida, nuestra titulación.

Al Ingeniero responsable de compañía minera Colquirrumi José Ricra Carhuaz, por permitirnos el ingreso a sus instalaciones y poder desarrollar el presente trabajo de investigación.

Al Ingeniero Gary Chircca Ayesta, por el gentil gesto de facilitar los permisos para el uso del laboratorio químico de compañía minera Coimolache.

A la Microbióloga Luisa Corredor Arias, a la Ingeniera Química Caroline Ferreira Salles, al Ingeniero Franklin Rodríguez Reyes, al Ingeniero Avelino Llanos, al Ingeniero Jhonatan Llanos, por su buen espíritu colaborador y el apoyo bibliográfico para reforzar y facilitar el desarrollo de nuestra investigación.

A la señorita Brisaida Nuñez, encargada del monitoreo de aguas, por tener amabilidad de ser nuestra guía en zona de trabajo.

A calera Bambamarca, por brindarnos los materiales utilizados en la presente investigación.

***Jiménez Bermejo, Pedro Jesús.
Llanos Rimarachín, José Fernando.***

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO.....	4
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad Problemática.....	12
1.2. Formulación Del Problema.	27
1.3. Objetivos.	27
1.3.1. Objetivo General.	27
1.3.2. Objetivos Específicos.....	27
1.4. Hipótesis.	28
1.4.1. Hipótesis General.....	28
1.4.2. Hipótesis Específicas.	28
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	29
2.1. Tipo De Investigación.....	29
2.2. Población Y Muestra.....	29
2.2.1. Población y muestra.	29
2.3. Materiales, Instrumentos y Métodos.	29
2.3.1. Materiales.....	29
2.3.2. Instrumentos.....	30
2.3.3. Métodos.....	31
2.4. Procedimiento.	32
2.4.1. Recolección De Muestras.....	32
2.4.2. Consideración De La Pendiente.	35
2.4.3. Calculo del área y cama de caliza.	35
2.5. Diseño Experimental.	40
2.6. Pruebas Experimentales.	41
2.6.1. Drenaje Pequeño Con Calizas (V).	41
2.6.2. Drenaje Grande Con Calizas (W)	43
2.6.3. Drenaje Pequeño Con Conchas De Mar (X)	45
2.6.4. Drenaje Pequeño Con Barreras De Contacto (Y)	47
2.6.5. Drenaje Grande Con Barreras De Contacto (Z).....	49
2.7. Análisis estadístico:	51

CAPÍTULO III. RESULTADOS.	52
3.1. Caracterización del Agua de BQH5	52
3.2. Caracterización del agua en los diferentes tratamientos.	53
3.2.1. Resultado para el pH.	53
3.2.2. Resultados para El Aluminio (Al).....	54
3.2.3. Resultados para el Arsénico (As).	55
3.2.4. Resultados para el Cadmio (Cd).....	56
3.2.5. Resultados para el Cobre (Cu).	57
3.2.6. Resultados para el Hierro (Fe).	58
3.2.7. Resultados para el Zinc (Zn).	59
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	64
4.1 Discusión De Resultados.	64
4.1.1. Caracterización del agua de la BQH5.	64
4.1.2. Caracterización del agua en los diferentes tratamientos.	65
4.1.2.3. Arsénico (As).	67
4.1.2.4. Cadmio (Cd).....	68
4.1.2.5. Cobre (Cu).....	69
4.1.2.6. Resultados para el Hierro (Fe).	70
4.1.2.7. Resultados para el Zinc (Zn).	71
4.2 Conclusiones	74
REFERENCIAS	75
ANEXOS	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de aguas residuales.	18
Tabla 2 Clasificación de Drenajes de Mina.	19
Tabla 3 Límites Máximos Permisibles (LMP)	25
Tabla 4 Medición del Caudal en campo, Método Aforo Volumétrico.	31
Tabla 5 Área en función al Caudal según USBM	36
Tabla 6 Parámetros de diseño según Pearson y McDonnell.	37
Tabla 7 Diseño experimental de Tratamientos.	40
Tabla 8 Tratamiento Experimental (V)	41
Tabla 9 Tratamiento Experimental (W).....	43
Tabla 10 Tratamiento Experimental (X)	45
Tabla 11 Tratamiento Experimental (Y).	47
Tabla 12 Barreras de contacto drenaje pequeño	47
Tabla 13 Tratamiento experimental (Z).....	49
Tabla 14 Barreras contacto para drenaje pequeño.....	49
Tabla 15 LMPs VS ICP	52
Tabla 16 Relación entre caudal y área para diseño.	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Plano Área San Agustín - Hualgayoc.....	13
Figura 2 Esquema de un Drenaje Anóxico Calizo (ADL).....	22
Figura 3 Escala valorativa de Potencial de Hidrogeno.....	26
Figura 4 Bocamina 05 de Quebrada Honda (Compañía Minera Colquirrumi).....	32
Figura 5 Recolección de agua ácida para análisis ICP.....	33
Figura 6 Preservación de la muestra con ácido nítrico.....	33
Figura 7 Muestras para pruebas experimentales.....	34
Figura 8 Ácido nítrico para preservar la muestra.....	34
Figura 9 Dimensiones de la maqueta para drenaje pequeño.....	38
Figura 10 Maqueta - Drenaje Pequeño.....	38
Figura 11 Dimensiones maqueta para drenaje grande.....	39
Figura 12 Maqueta - Drenaje Grande.....	39
Figura 13 Cama de roca caliza triturada - Drenaje pequeño.....	41
Figura 14 Tratamiento V - Drenaje Pequeño.....	42
Figura 15 Funcionamiento del Tratamiento V.....	42
Figura 16 Cama de roca caliza triturada - Tratamiento W.....	43
Figura 17 Tratamiento W - Drenaje Grande.....	44
Figura 18 Funcionamiento del Tratamiento W.....	44
Figura 19 Cama de conchas de mar - Drenaje Pequeño.....	45
Figura 20 Tratamiento X -Drenaje pequeño.....	46
Figura 21 Funcionamiento Tratamiento X.....	46
Figura 22 Barreras de Contacto - Tratamiento (Y).....	48
Figura 23 Funcionamiento del Tratamiento (Y).....	48
Figura 24 Tratamiento Z con barreras de contacto.....	50
Figura 25 Funcionamiento del Tratamiento Z.....	50
Figura 27 Resultados de pH.....	53
Figura 28 Resultados de Al.....	54
Figura 29 Resultados de As.....	55
Figura 30 Resultados de Cd.....	56
Figura 31 Resultados Cu.....	57
Figura 32 Resultados Fe.....	58
Figura 33 Resultados de Zn.....	59

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Generación de acidez N°01	20
Ecuación 2 Generación de acidez N°02	20
Ecuación 3 Cálculo de masa de Caliza	21

RESUMEN

Esta investigación se realizó en la Unidad Minera Colquirrumi en la Bocamina 5 de Quebrada Honda ubicada en las coordenadas UTM por el Norte 9 251 883 y por el Este 765 800 del distrito de Hualgayoc, región Cajamarca. Esta bocamina tuvo 3 cierres de mina (3 tapones), sin embargo, a la fecha por el tipo de roca fracturada continua con una filtración de 45 L/Min que no cumple con los LMP exigidos por la legislación peruana.

El objetivo de este trabajo es evaluar si con la aplicación de los drenajes anóxicos calizos como técnica complementaria, es posible neutralizar el pH y precipitar los metales presentes en las aguas ácidas de las filtraciones de la bocamina 05 de Quebrada Honda de Compañía Minera Colquirrumi (CMC) de manera que cumplan con los LMP, para lo cual se diseñan 2 sistemas anóxicos calizos a los cuales se les agregó barreras de contacto (Conchas de Mar, Materia orgánica, y Aserrín). Se tuvieron un total de 6 tratamientos con 6 réplicas por cada uno. Los mejores resultados se obtuvieron con el tratamiento Z Drenaje grande con barras de dimensiones 1.60 cm de largo, 40 cm de ancho y 15 cm de alto, con una cama de calizas y barreras de 10 cm. El mismo que logró reducir el Al en un 97%, As en un 98%, Cd en 99%, Cu en 99%, Fe 99.5 % y Zn en 98% y aumentar el pH hasta 11.62.

Con ello se propuso un sistema anóxico calizo a ser implementado en Compañía Minería Colquirrumi el cual tendría un área de 60 m² y un costo de implementación de S/. 27, 461.5 nuevos soles. La implementación y funcionamiento de este sistema en campo representaría una solución socialmente aceptable y económicamente viable para CMC.

Palabras clave: Drenaje Anóxico Calizo, pH, concentración metálica, cierre de minas.

SUMMARY

This research was carried out at the Colquirrumi Mining Company at the underground mine Quebrada Honda (Tunnel 05), located at coordinates N 9 251 883 and E 765 800 in of the district of Hualgayoc, Cajamarca region. This mine site had 3 mine closures (3 plugs), however because the type of fractured rock, it still have acid drain mine with a flow of 45 L / Min. The water does not comply with the required by Peruvian legislation.

The objective of this work is to evaluate the application of limestone anoxic drainages as a complementary technique of the mine closure. We look that the limestone drain neutralize the pH and precipitate the metals present in the acid waters filtrations. Two anoxic limestone drain systems were designed (Each one with contact barriers made with organic matter and sawdust). There were a total of 6 treatments with 6 replicas. The best results were obtained with the Z treatment (Large drainage) wich was able to reduce Al in 97%, As in 98%, Cd in 99%, Cu in 99%, Fe 99.5% , Zn in 98% and increase the pH to 11.62.

With this, a limestone drain system was proposed to be implemented in the Colquirrumi Mining Company. This new system would have an area of 60 m² and the implementation would cost 27, 461.5 Peruvian currency. The implementation and operation of this system in the field would represent a social and economic option to solve the problem of the Colquirrumi Mining Company.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática.

El Perú es un país con una historia minera extensa, inicia desde la Cultura Chavín a quién se le atribuye el desarrollo de la metalurgia más antigua del país, pasando por los reconocidos orfebres de la Cultura Chimú, la grandeza inca donde se trabajó el oro y la plata, luego vendrían la fundación de ciudades de origen minero como Huancavelica, Cerro de Pasco o Hualgayoc, y finalmente una época industrializada con grandes empresas internacionales explotando mineral peruano como Yanacocha en Cajamarca, Antamina en Ancash, y muchas otras en todo el país (De la Cruz 2010).

A pesar de la gran y extensa historia minera en el Perú, lamentablemente la legislación ambiental en el país hasta hace pocos años atrás, era pobre y no muy exigente, producto de ello es que según la última actualización del Ministerio de Energía y Minas en el Perú existen 8854 (PAMs) de los cuales en Cajamarca se ubican 1183 y en la provincia de Hualgayoc 1067 PAMs (RM 535-2016-MEM/DM), convirtiendo a Hualgayoc en el distrito con el mayor número de PAMs a nivel nacional.

Los PAMs del distrito de Hualgayoc, vienen impactando ambientalmente las aguas del río Tingo y el Río Llaucano, de este modo, convirtiendo a la cuenca del Llaucano en la segunda más afectada a nivel nacional (Inchaustegui, 2018). Es importante mencionar que los pasivos más relevantes y que representan peligrosas fuentes de contaminación en esta zona son, Cleopatra y los Negros 53, Tahona 55, Colquirrumi 394, San Nicolás 10, y Sinchao 17, entre varios otros (Echave, 2019).

Compañía Minera Colquirrumi, asumió el cierre de 444 (Solo 111 generados por CMC) PAMs ubicados en Hualgayoc. Las actividades de cierre las inició en el año 1990 y culminaron su proceso de cierre en el 2017.

El caso del cierre de minas de Quebrada Honda es un caso especial, este sector tenía 20 bocaminas, 1 Chimenea, 15 depósitos de desmonte y 1 tajo. Esta investigación, hace énfasis en el cierre de la Bocamina N° 5 (BQH5), en la cual se realizaron 3 tapones, 1 con drenaje y 2 herméticos. A pesar de los esfuerzos en el cierre de esta labor, a la actualidad aún se cuenta con filtraciones que no cumplen con los límites máximos permisibles (LMP) por lo que podrían impactar a las aguas de la quebrada Honda, la cual desemboca en el Río Hualgayoc.

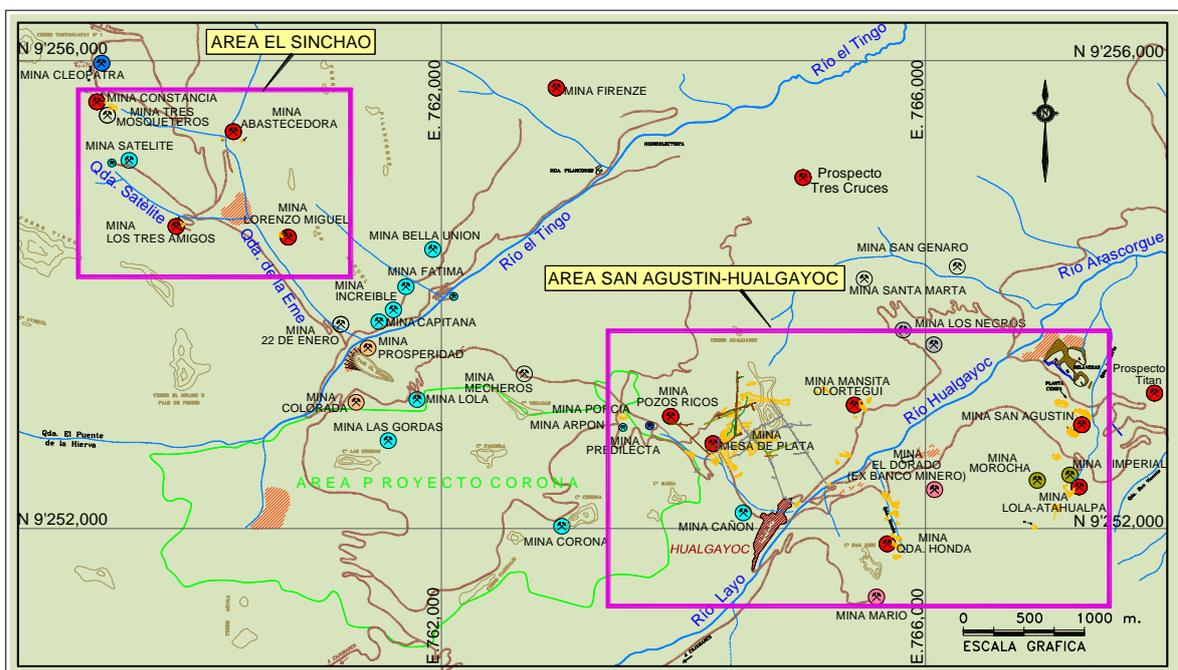


Figura 1 Plano Área San Agustín - Hualgayoc.

Fuente: Compañía Minera Colquirrumi.

Según lo expuesto, esta investigación propone la implementación de un drenaje anóxico calizo para neutralizar el pH y precipitar los metales presentes en éstas aguas ácidas de la bocamina 5, como parte complementaria al uso de estos tapones herméticos. De esta manera se espera que el cierre de minas pueda cumplir con lo solicitado en lo que implica calidad de aguas según el D.S 010-2010 MINAM.

Existen diversas investigaciones que respaldan teóricamente este trabajo las cuales mencionaremos muy brevemente.

Estudios realizados en la Universidad Autónoma de México, demostraron que un sistema pasivo con la utilización de roca filítica y roca caliza, aporta resultados positivos a la remoción de metales y aumenta el pH de las aguas ácidas de la mina Tizapa (España). Los investigadores aplicaron un sistema drenaje ácido a escala, mediante pruebas realizadas en una celda de acrílico a nivel laboratorio con piedra caliza. Las pruebas experimentales realizadas consistieron en un total de 4 pruebas, dos de ellas realizadas con un solo lote de DAM con la finalidad de observar el incremento de pH de acuerdo al tiempo de residencia y las otras dos utilizando 4 y 5 lotes de DAM, para observar la eficiencia de la roca una vez que los precipitados de hierro van recubriendo su superficie. Para estas pruebas fueron utilizados roca: Filita y Caliza, obtenidas en la mina para las pruebas 1 y 2; y roca Caliza proporcionada por Cemex (constructora que da servicio de zarpeo a la mina) para las pruebas 3 y 4. El aumento de pH logrado va desde un pH inicial de 2.93 hasta un pH final después de tratamiento de 6.12 (Ponderado), por otra parte es importante mencionar que el Aluminio (Al) y el Hierro (Fe) fueron los metales que se removieron en mayor proporción, prácticamente removidos casi al 100%, en el caso del Zn se observan en los primeros tres derrames reducciones discretas en la concentración (3.28%, 6.62% y 8.88%, de remoción), para dar un salto importante al disminuir la concentración en el derrame 4 en un 24.45%, de manera similar, la poca remoción del Cd en los derrames 1, 2 y 3, supera el 50 % . Contrariamente, no hubo una disminución en la concentración de Mn. (López, 2016)

Otro estudio revela que se realizó una planta piloto de tratamiento pasivo, localizada en el complejo minero abandonado del Monte Romero al Sur Oeste de la Península Ibérica. Dicho sistema consiste en una red de pozos donde el DAM va pasando sucesivamente por cada uno de ellos. El primer paso del sistema es un pretratamiento natural (NFOL, Natural Fe-oxidizing Lagoon) construido cerca del pozo por donde emerge el DAM, la salida del NFOL está conectada mediante una tubería con el primer pozo DAS-calizo, posteriormente

el DAM fluye a un segundo tanque DAS-calizo (T2) con las mismas características que el primero y nuevamente a otras dos piscinas decantadoras (D3 y D4). Finalmente, el drenaje fluye a través de un tanque reactivo magnésico. En el pozo y la entrada 1, ocurre una importante retención de Fe (aproximadamente 165 mg/L) debido al pretratamiento natural en el NFOL. Esta alta eliminación de Fe puede atribuirse a diferentes procesos de oxidación. En el interior de la entrada 1, debido a la disolución de la caliza, tiene lugar un incremento en el pH (de 2.4 a 6), en la alcalinidad (de 0 a 190 mg/L como CaCO₃ equivalentes) y en la concentración de Ca (de 221 a 608 mg/L). La totalidad de Cu y Pb son completamente eliminados en el interior de este tanque/pozo debido a procesos de adsorción y/o co-precipitación con los precipitados de Fe y Al. En los siguientes pozos/piscinas decantadoras, prácticamente todo el Fe restante es oxidado y precipitado debido al consumo de alcalinidad. (Macías, et al; 2003)

En Bolivia, la operación minera subterránea de Porco, ubicada en el departamento de Potosí, en la parte Noreste de la Provincia de Antonio Quijarro, se generan aguas acidas de mina que son permanente evacuadas con un flujo de 30 litros/segundo y un pH de 2.4. Entre los principales metales disueltos en estas aguas se encuentran en unidades de miligramos por litro: 9164 de Zn; 2160 de Fe; 36 de Cd; 10.9 de Cu y 0.42 de Pb; además de 12300 de sulfato. El objetivo de la investigación se enfoca en estudiar técnicamente el tratamiento de las aguas acidas de la Mina Porco, mediante un proceso de Desulfatación - Neutralización en Drenes Anóxicos Calizos -Precipitación aerada con cal. Los resultados obtenidos en la desulfatación demuestran que es posible lograr disminuir la concentración de sulfato de 12260.37 mg/l a 1078.49 mg/l, a un pH de 3.0 con la adición de caliza molida; mientras que, en el tratamiento del efluente descargado en un dren anóxico calizo, se determinó que, para un tiempo de residencia de 15 horas, la alcalinidad alcanzada fue de 160 mg/l y el pH de descarga fue de 6.5. (Zamora y Mata, 2017)

Por otro lado en la Facultad De Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Centro del Perú, se realizó una investigación de experimental para tratar las aguas ácidas producidas por mineras aledañas al Rio Mantaro en Junín. Como objetivo se propusieron elevar el pH de las aguas ácidas (disminuir la acidez), neutralizando y disminuir el contenido de fierro, manganeso. Teniendo como resultado agua para riego. También se puede ver que en este tipo de tratamiento de aguas ácidas son las llamadas tratamiento pasivo. Quiere decir que se realiza todo el proceso de una forma natural, sin costo alguno en lo que son uso de reactivos químicos. Como es el caso de este trabajo se hizo uso de travertino, éste con contenido de carbonato de calcio en similitud a la piedra caliza y totora tal como encontramos en la naturaleza de esa región (Junín), éste trabajo se hizo a nivel de laboratorio instalado en los laboratorios de la facultad implementando el diseño en forma de columna de relleno y un estanque de humedal con lo cual se logró llevar el pH de 2,8 a 7,4, obteniendo así un agua casi neutra. Con diferentes tamaños de relleno de travertino 0,25, 0,5, 0,75 pulgadas de lo cual se pudo observar los resultados favorables en neutralización y reducción en Fe y Mn para un tamaño óptimo 0,75 pulgadas también se redujo la concentración de metales (Fe y Mn) en todo el sistema de tratamiento (Columna de alcalinización y Humedal). Para los diámetros de travertino 0,75, 0,5 y 0,25 pulgadas, el fierro se redujo de 79,768 a 0,193 , 79,768 a 0,027 y 79,768 a 0,331 ppm para las distintos diámetros de travertino respectivamente, mientras tanto el manganeso se redujo de 17,733 a 0,205 , 17,733 a 0,882 y 17,733 a 0,451 ppm para las distintos diámetros de travertino respectivamente. **(De la Cruz y Pérez, 2015).**

En la universidad nacional de ingeniería (UNI), se realizó una tesis para neutralizar el drenaje ácido de mina (DAR) filtrado de la Unidad Minera Julcani (Herminia), para ello implementaron el sistema de tratamiento pasivo “Drenes de caliza”; en el cual se determinó la tasa de tratamiento de aguas ácidas por medio de trabajos experimentales de campo y laboratorio. Así mismo también definen las siguientes variables: caudal de diseño (Q), perímetro mojado (PM), radio hidráulico (R), tirante (y), caudal por Manning (Q’), potencial de hidrógeno (pH), tiempo de contacto (Tc), volumen de agua tratada (Vt), pendiente (S), velocidad para finalmente determinar la tasa de Tasa de Tratamiento de (Ta) en litros/m² /s, los que sirven para realizar el diseño del canal experimental (A escala). Los tesisistas investigadores habiendo experimentado con el sistema de drenaje con caliza, concluyen que el drenaje calizo aumenta el pH de las aguas ácidas gracias al porcentaje de CaCO₃ (69.42%), este aumento de un pH inicial 2.47 llega a un rango de valores entre [6.87 – 7.49]. En este estudio realizado se trabajó con pendientes experimentales en laboratorio, las cuales han sido comprobadas una a una con un rango de [30°-10°], concluyendo que la pendiente más efectiva para el drenaje es de 10°. (Villanueva, 2013).

Los drenajes ácidos de mina son aquellos que tienen pH menores a 4, contienen una gran cantidad de sólidos en suspensión y un alto contenido en sulfatos y metales disueltos (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb, etc.); por tanto, son nocivos para la actividad biológica, contaminan los cauces, y pueden llegar a dañar la estructura y la cimentación de construcciones (López et al. 2002). La generación del drenaje ácido de mina (DAM) es un problema común en los yacimientos polimetálicos peruanos que requiere de especial atención en áreas donde existe mineralización sulfurosa no protegida. El principal problema de la calidad del agua por la actividad minera es generalmente debido a los efectos del drenaje ácido de mina no controlado (Nina 2008). Este problema puede persistir durante décadas de incluso cientos de años. Una vez finalizado el ciclo productivo, el (DAM) debe tratarse para neutralizarlo,

eliminar los metales de la solución y poder reutilizar el agua o enviarla nuevamente al ambiente natural, para ello se debe aplicar el tratamiento más adecuado cuando se ha formado el (DAM). Independientemente de la fuente que da origen a los drenajes de mina, éstos se pueden subdividir en dos grandes grupos:

- Drenajes alcalinos o aguas residuales con bajo potencial de solubilización.
- Drenajes ácidos o aguas residuales con alto potencial de solubilización.

En 1968 White hace una clasificación de las aguas residuales de mina en función al pH y los agrupa en 6 categorías:

Tabla 1 Clasificación de aguas residuales.

CLASE	pH
Altamente ácidas	1,5 a 4,5
Blandas ácidas	3,5 a 5,5
Blandas ligeramente ácidas	5 a 7
Duras, neutras y alcalinas	7 a 8,5
Blandas, alcalinas	7,5 a 11
Muy salinas	6 a 9

Fuente: White (1968) Clasificación de aguas residuales.

Teniendo en cuenta el pH del drenaje y los contenidos de metales o especies minerales presentes en el mismo, este puede agruparse en cuatro tipos:

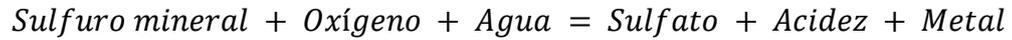
Tabla 2 Clasificación de Drenajes de Mina.

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

Fuente: Morin & Hutt (2001), Clasificación de drenajes de mina.

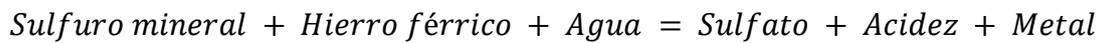
El drenaje ácido de mina (AMD) es la consecuencia de la oxidación de algunos sulfuros minerales (pirita, pirrotita, marcasita, etc.) en contacto con el oxígeno del aire y agua tal como se demuestra en la siguiente ecuación:

Ecuación 1 Generación de acidez N°01



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

Ecuación 2 Generación de acidez N°02



Una alternativa al tratamiento convencional de los drenajes ácidos tanto si las instalaciones se encuentran en operación o en abandono, lo constituyen los métodos de tratamiento pasivo, debido a su bajo costo, fácil operación, mantenimiento, y gran eficiencia en el tratamiento de aguas ácidas. Los métodos de tratamiento pasivo van desde drenajes anóxicos de caliza, canales abiertos de caliza, humedales construidos, hasta barreras reactivas permeables, en donde el objetivo principal es la supresión de la acidez, la precipitación de los metales pesados y la eliminación de sustancias contaminantes como los sólidos en suspensión, antimoniatos, arseniatos y otros. (Aduvire, 2006).

Drenaje Anóxico Calizo.

Este sistema consiste en una zanja rellena con gravas de caliza u otro material calcáreo sellada a techo por una capa de tierra arcillosa y una geo membrana impermeable para mantener unas condiciones anóxicas. Con lo que se consigue incrementar la presión parcial del CO_2 para maximizar la disolución de la caliza y eliminar el oxígeno disuelto. El agua ácida de mina se hace circular por el interior de la zanja provocando la disolución de la caliza, lo que genera alcalinidad y eleva el pH del agua. La alcalinidad adquirida en el ALD debe ser suficiente para contrarrestar la acidificación asociada a la hidrólisis en esta etapa del tratamiento. Los sistemas ALD son apropiados para tratar drenajes ácidos de mina con escaso oxígeno disuelto ($DO < 2 \text{ mg/l}$) y contenidos de $Fe_3 + y Al_3 +$ inferiores a 1 mg/l (Hedin, 1997; Skousen et al., 1994).

Ecuación 3 Cálculo de masa de Caliza

$$M = \frac{Q * Pb * Td}{Vv} + \frac{Q * C * T}{a}$$

DONDE:

M = Masa de la caliza (TN)

T = tiempo de vida (días)

Q = caudal o flujo $\frac{m^3}{\text{día}}$

a = Contenido de caliza %

Pb = Densidad de la caliza $\frac{TN}{m^3}$

C = Alcalinidad del flujo $\frac{TN}{m^3}$

Td = Tiempo de retención (días)

Vv = Espacios vacíos

Los drenes de caliza anóxicos (ALD) son un componente más de un sistema de tratamiento pasivo. Cuando el ALD opera idealmente, su único efecto sobre la química del agua de mina es elevar el pH a valores próximos al neutro y elevar las concentraciones de calcio y alcalinidad. El hierro y manganeso disueltos permanecerían inafectados durante su circulación a través del sistema (**Aduvirre, 2016**). Los requisitos para el uso exitoso son:

- Condiciones anóxicas: $O_2 < 1 \text{ mg/L}$
- Fe: Fe^{2+} (Fe^{3+} puede precipitar en la celda)
- Rango de acidez: $< 500 \text{ mg/L}$ como $CaCO_3$
- El pH: > 2 y un flujo promedio: $< 20 \text{ L/s}$

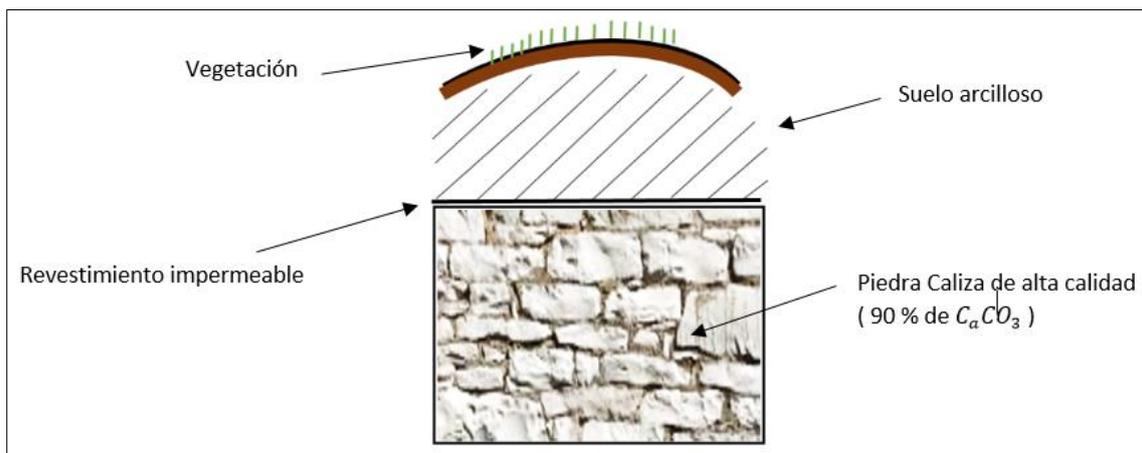


Figura 2 Esquema de un Drenaje Anóxico Calizo (ADL).
Fuente: Sección anóxica de piedra caliza (Villaseñor, 2002).

Canales Abiertos De Caliza.

Es un canal cuyo lecho esta 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 Fe y a los disueltos, que precipitan como oxihidróxidos. Su diseño está en función del tiempo de retención y caudal a tratar. Canales con contenido de agregados de caliza gruesa (a través de los cuales percola el agua).

Humedales Construidos.

El propósito de los humedales construidos para tratamiento es permitir que ocurra la reacción química y biológica natural en el sistema de tratamiento, y no en el cuerpo de recepción de agua. Las plantas y los microorganismos desempeñan un papel importante. Las plantas proporcionan un área superficial para microbios y para transportar el oxígeno produciendo una zona de oxidación donde adicionalmente existen poblaciones microbianas. Este complejo de vegetación y microbios tiene una alta eficiencia en modificar nutrientes, metales y otros compuestos.

Esta tecnología se está volviendo atractiva para tratamiento de drenaje de mina puesto que él ofrece mayores ventajas sobre el sistema de tratamiento convencional (como método de tratamiento químico). El uso de químicos y energía están virtualmente eliminados. Sin embargo, después del tratamiento, el agua puede requerir un tratamiento químico adicional, de tal modo que se ahorra dinero. Debido a sus características cómodas, los humedales construidos están siendo utilizados en muchos países alrededor del mundo mejorando la calidad del agua del drenaje ácido de mina. **(Gamonal, 2014)**

Barreras Reactivas Permeables (PRB).

Pared o pantalla enterrada que contiene material reactivo para tratar la pluma de agua subterránea como: Medio orgánico con SRB, Hierro cero valente (FeO) (o Cementación). Su objetivo es reducir la cantidad de sólidos disueltos (sulfatos y metales principalmente) e incrementar el pH. Su construcción consiste en hacer una zanja transversal al flujo, la cual se rellena con diversos tipos de materiales reactivos. Así, los procesos depuradores en el interior de la barrera son la reducción bacteriana de los sulfatos, la retención de los metales precipitando como sulfuros, y el incremento del pH principalmente por disolución de la caliza. (Aduviere, 2006).

Límite Máximo Permisible (LMP). Los LMP, representan la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente líquido de actividades minero – metalúrgicas, y que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el sistema de gestión ambiental, los LMP deben ser evaluados en cualquier momento y tener un promedio anual.

Límite En Cualquier Momento. Valor del parámetro que no debe ser excedido en ningún momento. Para la aplicación de sanciones por incumplimiento del límite en cualquier momento, éste deberá ser verificado por el fiscalizador o la Autoridad Competente mediante un monitoreo realizado de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes.

Límite Promedio Anual. Valor del parámetro que no debe ser excedido por el promedio aritmético de todos los resultados de los monitoreos realizados durante los

últimos doce meses previos a la fecha de referencia, de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes y el Programa de Monitoreo.

Tabla 3 Límites Máximos Permisibles (LMP)

PARÁMETRO	UNIDAD	LÍMITE EN CUALQUIER MOMENTO	LÍMITE PARA EL PROMEDIO ANUAL
pH	mg/L	6 a 9	6 a 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Arsénico Total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio Total	mg/L	0,05	0,05
Cobre total	mg/L	0,5	0,5
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1,6
Zinc Total	mg/L	1,5	1,2

Fuente: MINAM, 2010.

Potencial De Hidrógeno (pH).

El potencial de hidrógeno, pH, es el término que nos indica la concentración de iones hidrógeno en una disolución. El término se define como el logaritmo de la concentración de iones hidrógeno, H^+ , cambiado de signo: $pH = -\log [H^+]$; donde $[H^+]$ es la concentración de iones hidrógeno en moles por litro. Debido a que los iones H^+ se asocian con las moléculas de agua para formar iones hidronio, H_3O^+ , el pH también se expresa a menudo en términos de concentración de iones hidronio. El pH es representado en una escala que va del 0 al 14, siendo 0 extremadamente ácido, 7 neutro, y 14 extremadamente básico.

	EFFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE	PH	EJEMPLOS
ÁCIDO 		pH = 0	Ácido de baterías.
		pH = 1	Ácido sulfurico.
		pH = 2	Jugo de limón, vinagre.
		pH = 3	Jugo de naranja, bebida gaseosa.
	Mueren todos los peces (4.2).	pH = 4	Lluvia ácida (4.2-4.4). Lago ácido (4.5).
	Mueren los huevos de rana, renacuajos, cangrejos de río y efímeras (5.5).	pH = 5	Bananas (5-5.3). Lluvia limpia (5.6).
	Comienzan a morir las truchas arcoris.	pH = 6	Lago saludable (6.5). Leche (6.5-6.8).
NEUTRO 		pH = 7	Agua pura.
		pH = 8	Agua de mar, huevos.
		pH = 9	Bicarbonato de soda.
		pH = 10	Leche magnesia.
		pH = 11	Amoníaco.
		pH = 12	Agua jabonosa.
		pH = 13	Blanqueador.
BÁSICO		pH = 14	Limpiador líquido para desagües.

Figura 3 Escala valorativa de Potencial de Hidrogeno

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)

1.2. Formulación Del Problema.

¿Con la aplicación de los drenajes anóxicos calizos, es posible neutralizar el pH y precipitar lo metales presentes en las aguas ácidas de las filtraciones en la bocamina 05 de Quebrada Honda (Compañía Minera Colquirrumi) en la provincia de Hualgayoc – Cajamarca?

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo General.

- Evaluar si con la aplicación de los drenajes anóxicos calizos como técnica complementaria, es posible neutralizar el pH y precipitar lo metales presentes en las aguas ácidas de las filtraciones de la bocamina 05 de Quebrada Honda de Compañía Minera Colquirrumi de manera que cumplan con los LMP.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Caracterizar el agua de la bocamina 05 de Quebrada Honda para diseñar el sistema drenaje anóxico calizo.
- Determinar qué sistema anóxico calizo, es el más adecuado para mejorar el agua ácida de la bocamina 05 de Quebrada Honda de manera que cumpla con los LMP.
- Diseñar un sistema Anóxico Calizo para usarlo en campo, como cierre complementario en la Bocamina 05 de Quebrada Honda.

1.4. Hipótesis.

1.4.1. Hipótesis General.

El uso de Drenajes Anóxicos, como sistema complementario a los tapones, aumentará el pH y precipitará los principales metales presentes en las aguas ácidas de la bocamina 05 de Quebrada Honda de Compañía Minera Colquirrumi en la Provincia de Hualgayoc – Cajamarca, logrando cumplir con los LMP.

1.4.2. Hipótesis Específicas.

- La caracterización del agua de la bocamina 05 de Quebrada Honda en Minera Colquirrumi nos permitirá diseñar el área del sistema anóxico.
- El uso del sistema anóxico calizo combinado con barreras, mejorara el pH y la calidad de agua de la bocamina 05 de Quebrada Honda de manera que cumpla con los LMP.
- Las pruebas realizadas en laboratorio, permitirán diseñar un sistema Anóxico Calizo para usarlo en campo, como cierre complementario en la Bocamina 05 de Quebrada Honda.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo De Investigación.

La investigación es de tipo experimental aplicada. En la investigación se aplican drenajes anóxicos combinados en los cuales se realizarán pruebas experimentales y análisis de laboratorio para los datos de concentraciones de metales y pH del agua antes y después de la aplicación del drenaje.

2.2. Población Y Muestra.

2.2.1. Población y muestra.

La población son todas las aguas ácidas de la BQH5 y la muestra es 722 litros de aguas ácidas de la bocamina 05 de Quebrada Honda (Compañía Minera Colquirrumi) en la provincia de Hualgayoc-Cajamarca.

2.3. Materiales, Instrumentos y Métodos.

2.3.1. Materiales.

- **Piedra Caliza (Fragmentada).**

El total de masa de roca caliza triturada que se usó para las pruebas experimentales es de 38.700 Kg con 69% CaCO_3 . Esta roca caliza fue proporcionada por la empresa Calera Bambamarca.

- **Materia Orgánica.**

Se utilizaron 6.240 Kg de topsoil, el cual contenía 15% de materia orgánica. En cada tratamiento se puso 3.120 Kg.

- **Aserrín**

Se utilizaron 2.400 Kg de aserrín, del cual se utilizó 1.200 Kg en cada tratamiento.

- **Conchas de Mar**

Se utilizó 14.300 Kg de conchas de mar. Se utilizó (2,450 Kg) por barrera por cada tratamiento.

2.3.2. Instrumentos

- Peachímetro de bolsillo Hanna.
- Balanza (Kg).
- Cronometro.
- Film Elástico.
- Vidrio Doble.
- Galoneras.
- Baldes.
- Jarra de 1 litro
- Frascos de 60 ml.
- Guantes Quirúrgicos.
- Plástico Doble.
- Cartón Doble (Micro corrugado).
- Tijeras.
- Regla de 20 y70 cm.
- Lapiceros.
- Libreta de apuntes.
- Software Excel.
- Software Minitab 17.
- Diagrama de Gantt.

2.3.3. Métodos.

A. Cálculo de Caudal (Q)

Para el cálculo de cauda, se utilizó el método de aforo volumétrico. Se utilizó una jarra de plástico de 1.250 Litros y un cronometro digital (App Móvil). El proceso consiste en contabilizar el tiempo en que se llena la jarra, seguidamente para disminuir el margen de error se realizan pruebas repetitivas en total 5 ; de las que se saca el valor promedio y como media representativa se toma el dato específico de caudal.

Tabla 4 Medición del Caudal en campo, Método Aforo Volumétrico.

Prueba	Volumen (Litros)	Tiempo (Segundos)
1	1.250	1.64
2	1.250	1.70
3	1.250	1.67
4	1.250	1.69
5	1.250	1.65
Promedio	1.250	1.67

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

B. Análisis de metales a través de ICP.

El análisis por ICP (Inductively Coupled Plasma) se realizó en el Laboratorio Químico de CIA. Minera Coimolache S.A. Se enviaron un total de 36 muestras de agua acida preservada con ácido nítrico, en frascos de 1000 ml con sus respectivas etiquetas de acuerdo al tratamiento efectuado.

2.4. Procedimiento.

2.4.1. Recolección De Muestras.

Las muestras de aguas ácidas han sido recolectadas de las filtraciones de la bocamina 05 de Quebrada Honda (Compañía Minera Colquirrumi) en la provincia de Hualgayoc-Cajamarca la cual está ubicada en las coordenadas UTM N 9: 251 883 y E: 765 800.



Figura 4 Bocamina 05 de Quebrada Honda (Compañía Minera Colquirrumi).

Fuente: Elaboración propia.

- **Muestras Para Caracterización inicial del agua:** Para los análisis en laboratorio se tomaron muestras en 2 botellas de plástico blancas de 1 litro, la primera botella para al análisis de pH y la segunda botella para concentración de metales con 20 gotas de ácido nítrico para poder preservar la muestra.



Figura 5 Recolección de agua ácida para análisis ICP

Fuente: Elaboración propia.



Figura 6 Preservación de la muestra con ácido nítrico

Fuente: Elaboración propia.

- **Muestra Para Pruebas Experimentales:** Para las pruebas experimentales se ha recolectado 2 Galoneras de 40 litros y 2 Baldes de 20 litros (de plástico), al cual se le ha agregado 80 gotas de ácido nítrico por cada litro de agua ácida para preservar la muestra.



Figura 7 Muestras para pruebas experimentales.

Fuente: Elaboración propia



Figura 8 Ácido nítrico para preservar la muestra.

Fuente: Elaboración propia.

2.4.2. Consideración De La Pendiente.

Para las pruebas experimentales de la tesis “Aplicación de un Drenaje Anóxico Calizo, como técnica complementaria al uso de tapón hermético en el cierre de la bocamina 05 Quebrada Honda de Compañía Minera Colquirrumi” se toma la pendiente más efectiva (10%) en base a las investigaciones realizadas por Villanueva en el año 2013.

2.4.3. Calculo del área y cama de caliza.

A. Método 01, Cálculo De Área Según USBM

La oficina de minas del departamento del interior de los Estados Unidos (USBM, 1994), determina el área mínima de un tratamiento pasivo utilizando la carga metálica del Hierro y la eliminación del mismo. Las ecuaciones formuladas por el USBM son:

$$\text{Área mínima de un humedal (m}^2\text{)} = \frac{\text{Carga metálica de Fe (g * día)}}{20 \text{ g m}^{-2} * d} \dots E1$$

$$\text{Carga metálica Fe (gr/Día)} = 1,44 * Cm * Q \dots E2$$

Aplicando la ecuación 2 para determinar la carga metálica de hierro en nuestros datos, se tiene:

$$\text{Carga metálica Fe (gr/día)} = 1,44 * 876.004 * 45$$

$$\text{Carga metálica Fe (gr/Día)} = 56\,765.06 \text{ g Fe * día}$$

Con la carga metálica aplicada en la ecuación 1, obtenemos el área mínima de campo:

$$\text{Área mínima de un humedal (m}^2\text{)} = \frac{\text{Carga metálica de Fe (g * día)}}{20 \text{ g m}^{-2} * \text{día}}$$

$$S (m^2) = \frac{56\,765.06 \text{ Fe } (g * \text{ día})}{20 \text{ g } m^{-2} * \text{ día}} = 2\,838.25m^2$$

El área anterior, es un área total para los datos específicamente de campo; sin embargo, para términos de esta investigación, se realizaron proporciones para tener una escala de laboratorio. Para ello se utilizaron las siguientes dimensiones:

Tabla 5 Área en función al Caudal según USBM

Caudal (L/min)	Área (M2)
45	2838
1	63.07
0.5	31.53
0.1	6.31
0.01	0.63

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

A escala de laboratorio se tendría que pasar 0.01 L/min de agua en un área de 0.63m²; sin embargo, los intentos de utilizar este caudal fracasaron por ser mínimo. Las pruebas de laboratorio, se utilizaron con un caudal de 0.48 L/min, que era el caudal más manejable con los recipientes utilizados (Balde con grifo).

B. Método 02 en función al caudal, profundidad y sección. (Pearson y McDonnell, 1974)

Se utilizó un segundo método, para calcular la cama de caliza y obteniendo un área mucho menor que el sistema anterior, esto con la intención de poder realizar los mismos tratamientos en ambos sistemas y poder comparar su desempeño. Para ello, se emplearon los parámetros de diseño de **Pearson y McDonnell (1974)**. En este método se toma en cuenta el factor de multiplicidad partiendo de los datos establecidos por los autores en la (Tabla 06). Según los cuales, para un flujo de 100

GPM (Galones por minuto) se establece una longitud de 67 pies por un ancho de 10 pies y una profundidad de caliza de 3 pies (Estándar).

Tabla 6 Parámetros de diseño según Pearson y McDonnell.

CONDICIONES FLOW	TIEMPO DE CONTACTO	
	longitud del canal (ft)	
Gpm	1 hr	3 hr
100	67	201
200	134	401
300	201	602
400	267	802
500	334	1003
600	401	1203
80	33.5	100.5
60	16.75	50.25
40	8.375	25.125
20	4.1875	12.5625
10	2.09375	6.28125

Fuente: Pearson y McDonnell, 1974.

Según nuestro caudal de campo (45L/min equivalentes a 11.8 Gpm), éste se encuentra en el rango de 10-20 Gpm, por lo cual se trabajó con el valor promedio (15) para lo cual resulta una cama de caliza de 0.108 m, un ancho de 0.342m y una longitud de 0.95 m. Cabe señalar que con la intención de comparar los dos sistemas, se utilizó el mismo caudal del método anterior (0.48L/min).

2.4.4. Diseño de maquetas

Para elaboración de maqueta a nivel de laboratorio, se toman las consideraciones y cálculos detallados en el punto 2.5.3. El material usado es vidrio doble para asegurar la resistencia a la masa del material calcáreo y del agua ácida durante el tratamiento.

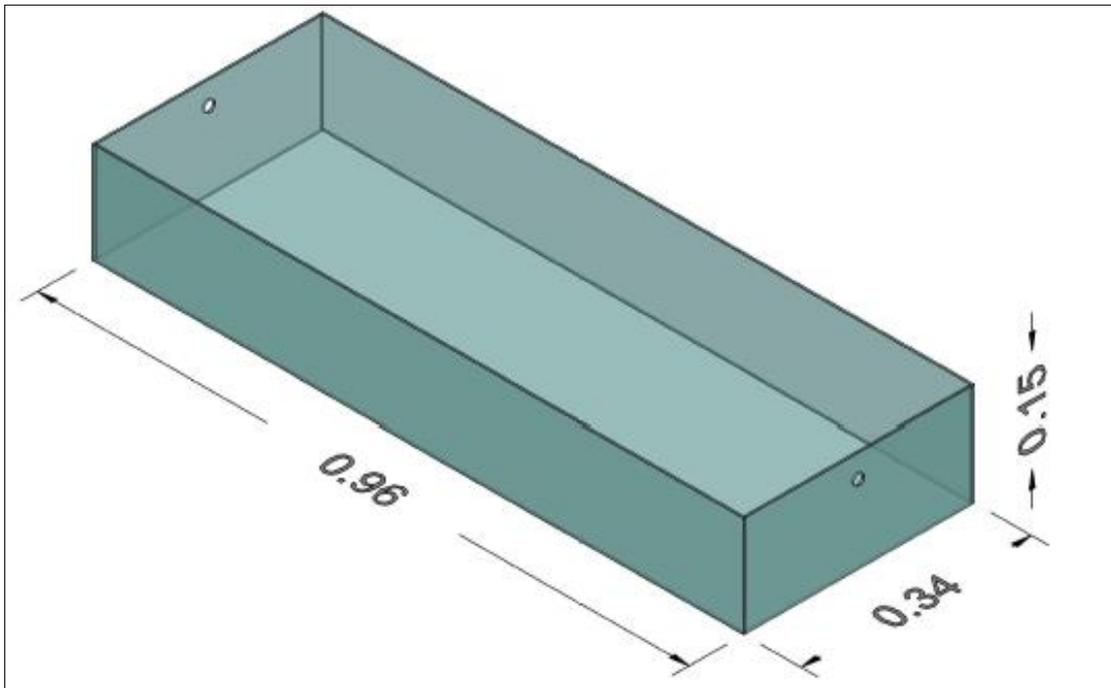


Figura 9 Dimensiones de la maqueta para drenaje pequeño

Fuente: AutoCAD 2017

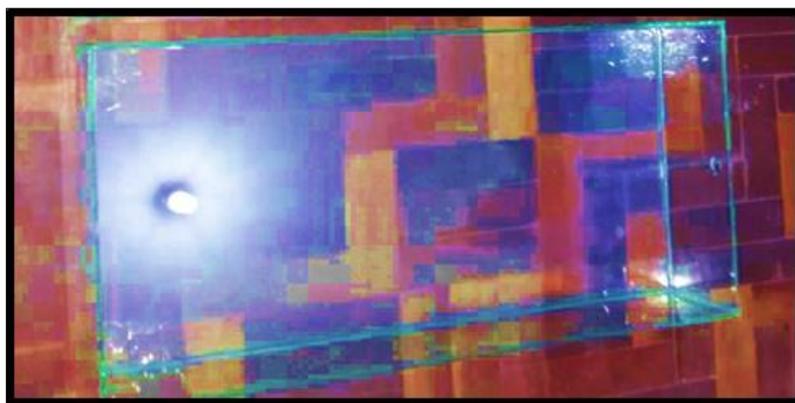


Figura 10 Maqueta - Drenaje Pequeño.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

- Maqueta experimental N°02

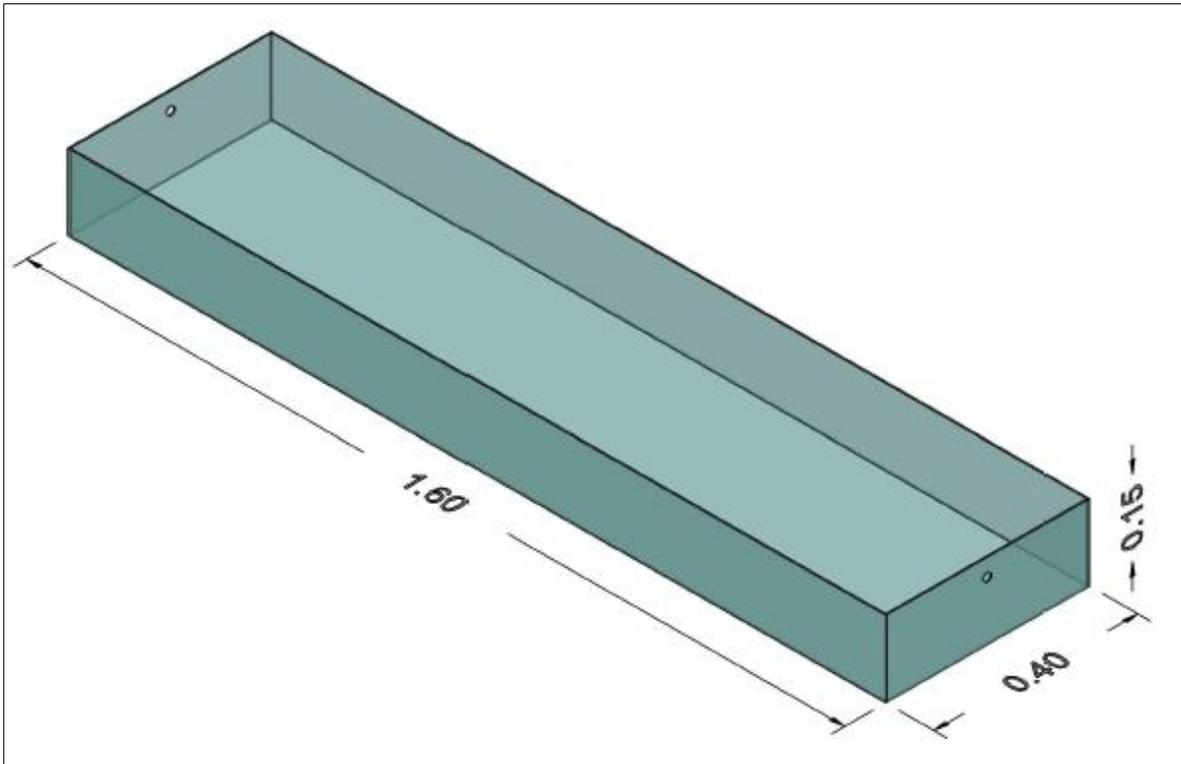


Figura 11 Dimensiones maqueta para drenaje grande

Fuente: AutoCAD 2017

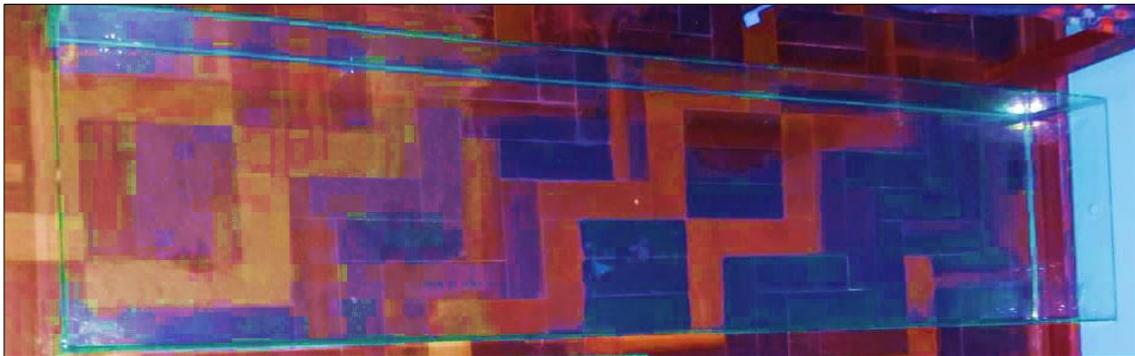


Figura 12 Maqueta - Drenaje Grande.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.5. Diseño Experimental.

En el diseño experimental se consideraron las 2 maquetas referidas en el punto (2.4.4), sin embargo, para mejorar los tratamientos a cada maqueta se le agregaron barreras constituidas por (Conchas de mar triturada, materia orgánica y aserrín). Esto con el fin de aumentar el tiempo de retención y mejor precipitación de los metales. De este modo se tuvieron los siguientes tratamientos:

Tabla 7 Diseño experimental de Tratamientos.

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN
ST	Agua sin tratar.
V	Drenaje Pequeño con caliza.
W	Drenaje Grande con caliza.
X	Drenaje Pequeño, con conchas de mar.
Y	Drenaje Pequeño con barreras.
Z	Drenaje Grande con barreras.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.6. Pruebas Experimentales.

2.6.1. Drenaje Pequeño Con Calizas (V).

En esta prueba experimental se utiliza el drenaje pequeño de área 0.32 m^2 con roca caliza triturada a una altura de cama de 10 cm. El cual consiste en hacer pasar agua ácida a través del sistema Drenaje Anóxico Calizo el mismo que trabaja con las condiciones siguientes:

Tabla 8 Tratamiento Experimental (V)

Parámetros	Valor	Unidades
Dato Inicial pH	3,01	pH
Caudal	0,48	L/min
Área	0,32	m^2
Agua Ácida	19	Litros
Tiempo de Contacto	39,58	Minutos
Altura de Caliza	10	Cm
Masa de Caliza	16,300	Kg
Dato Final pH	4,36	pH

Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 13 Cama de roca caliza triturada - Drenaje pequeño.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para hacer que sea un Drenaje Anóxico se le quita el contacto con oxígeno, esto con un recubrimiento de Fil elástico. Se utilizó 19 litros de agua ácida en éste tratamiento con un tiempo de contacto de 39,58 minutos. Al final se recolectaron 6 muestras de agua para el análisis en laboratorio (Se muestran en resumen más adelante).



Figura 14 Tratamiento V - Drenaje Pequeño.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

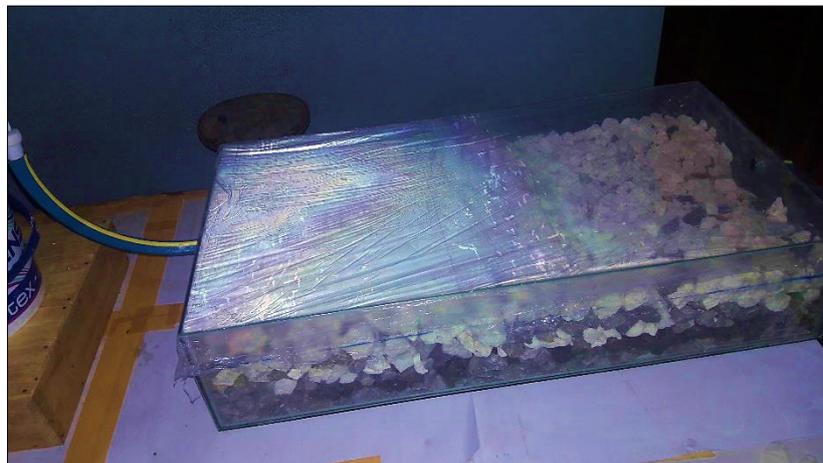


Figura 15 Funcionamiento del Tratamiento V

Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.6.2. Drenaje Grande Con Calizas (W)

En esta prueba experimental se utiliza el drenaje grande de área 0.63 m^2 con roca caliza triturada a una altura de cama de 10 cm. El cual consiste en hacer pasar agua ácida a través del sistema Drenaje Anóxico Calizo el mismo que trabaja con las condiciones siguientes:

Tabla 9 Tratamiento Experimental (W)

Parámetros	Valor	Unidades
Dato Inicial pH	3,01	pH
Caudal	0,48	L/min
Área	0,60	m^2
Agua Ácida	31	Litros
Tiempo de Contacto	64,58	Minutos
Altura de Caliza	10	cm
Masa de Caliza	38,700	Kg
Dato Final pH	7,29	pH

Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 16 Cama de roca caliza triturada - Tratamiento W

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para hacer que sea un Drenaje Anóxico se le quita el contacto con oxígeno, esto con un recubrimiento de cinta de embalaje. Se utilizó 31 litros de agua ácida en éste tratamiento con un tiempo de contacto de 64,58 minutos.

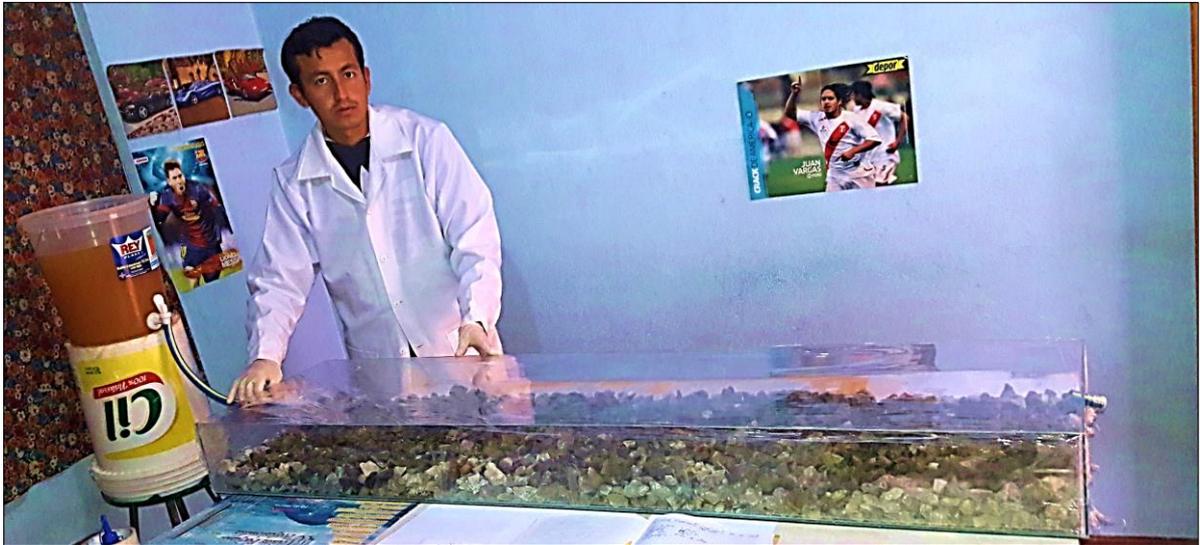


Figura 17 Tratamiento W - Drenaje Grande.

Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 18 Funcionamiento del Tratamiento W

Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.6.3. Drenaje Pequeño Con Conchas De Mar (X)

Esta prueba experimental se hizo con el fin de verificar la validez que tienen las conchas de mar al realizar el tratamiento de las aguas ácidas, lo que nos servirá para determinar si es útil a emplear como una barrera de contacto o no. La condición de ésta prueba experimental se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 10 Tratamiento Experimental (X)

Parámetros	Valor	Unidades
Dato Inicial pH	3,01	pH
Caudal	0,48	L/min
Área	0,32	m ²
Agua Ácida	18,200	Litros
Tiempo de Contacto	37,70	Minutos
Altura de conchas de mar	10	cm
Masa de conchas de mar	14,300	Kg
Dato Final pH	4,10	pH

Fuente: Elaboración propia, 2019



Figura 19 Cama de conchas de mar - Drenaje Pequeño.

Fuente: Elaboración propia, 2019

Para mayor reacción de las conchas de mar, se trituran y de la misma manera como es un drenaje Anóxico se le quita el oxígeno con un recubrimiento con cinta de embalaje. Se utilizó 18,2 litros de agua ácida que pasaron por el drenaje en un tiempo de 37,70 minutos.



Figura 20 Tratamiento X -Drenaje pequeño.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

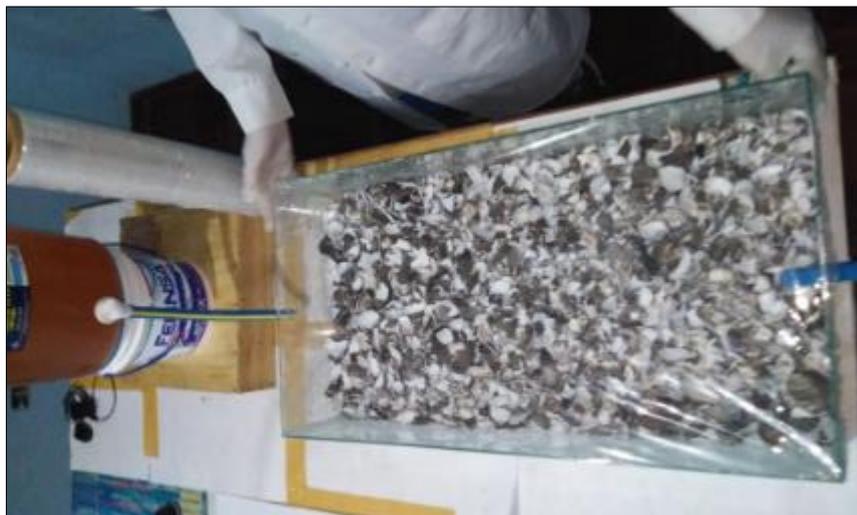


Figura 21 Funcionamiento Tratamiento X.

Fuente: Elaboración propia, 2019

2.6.4. Drenaje Pequeño Con Barreras De Contacto (Y)

En esta prueba experimental se considera utilizar las barreras reactivas; las cuales son

3. La primera barrera de contacto es de conchas de mar ya que se comprobó que, si son de utilidad para neutralizar pH, la segunda barrera es de materia orgánica y la tercera es de tanino en específico aserrín.

Tabla 11 Tratamiento Experimental (Y).

Parámetros	Valor	Unidades
Dato Inicial pH	3,01	pH
Caudal	0,48	L/min
Área	0,32	m ²
Agua Ácida	22,5	Litros
Tiempo de Contacto	61	Minutos
Altura de calizas	10	cm
Masa de calizas	9.53	Kg
Dato Final pH	8,49	pH

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 12 Barreras de contacto drenaje pequeño

	BARRERAS		
	Barrera 1 Concas de mar	Barrera 2 Materia Orgánica	Barrera 3 Tanino Aserrín
Altura de Cama	11.5 cm	11.5 cm	11.5 cm
Masa de Material	2,450 Kg	3,120 Kg	1,200 Kg

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El drenaje está basado en calizas, por eso se denomina drenaje Anóxico calizo, entonces en los espacios entre barrera y barrera se rellena con calizas y se procede a tratar el agua a través de este sistema.

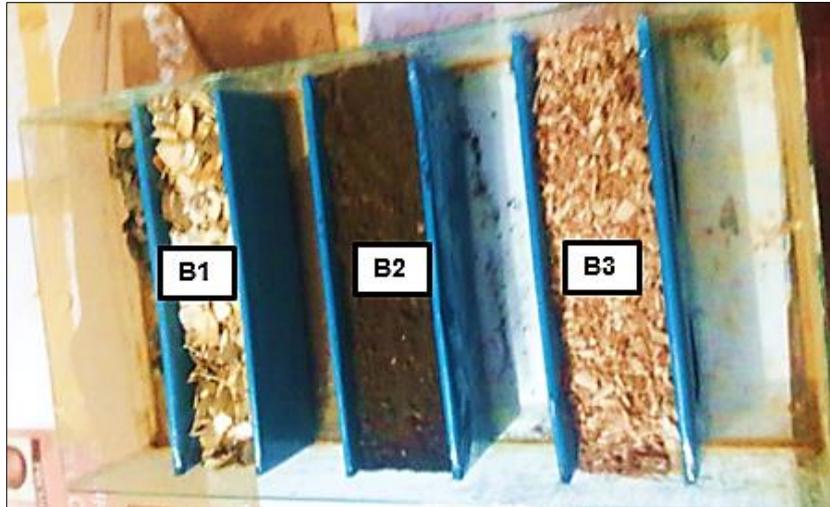


Figura 22 Barreras de Contacto - Tratamiento (Y).

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Las barreras aumentan el tiempo de retención del agua dentro del sistema, por lo que el contacto es mucho mayor. En éste drenaje pequeño con barreras la cantidad de agua ácida utilizada es de 22,50 litros, que tardaron en pasar 67,87 minutos.



Figura 23 Funcionamiento del Tratamiento (Y)

Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.6.5. Drenaje Grande Con Barreras De Contacto (Z)

De manera análoga se realiza la prueba experimental en el drenaje grande con las condiciones similares a la anterior, en la primera barrera de contacto es de conchas de mar ya que se comprobó que, si son de utilidad para subir el pH, la segunda barrera es de materia orgánica y la tercera es de tanino en específico aserrín.

Tabla 13 Tratamiento experimental (Z).

Parámetros	Valor	Unidades
Dato Inicial pH	3,01	pH
Caudal	0,48	L/min
Área	0,60	m ²
Agua Ácida	43	Litros
Tiempo de Contacto	143,58	Minutos
Altura de calizas	10	cm
Masa de calizas	31,930	Kg
Dato Final pH	11,62	pH

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 14 Barreras contacto para drenaje pequeño.

BARRERAS			
	Barrera 1	Barrera 2	Barrera 3
	Concas de mar	Materia Orgánica	Tanino Aserrín
Altura de Cama	11.5 cm	11.5 cm	11.5 cm
Masa de Material	2,450 Kg	3,120 Kg	1,200 Kg

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Los espacios entre barrera y barrera se rellenan con calizas y se procede a tratar el agua a través de este sistema.

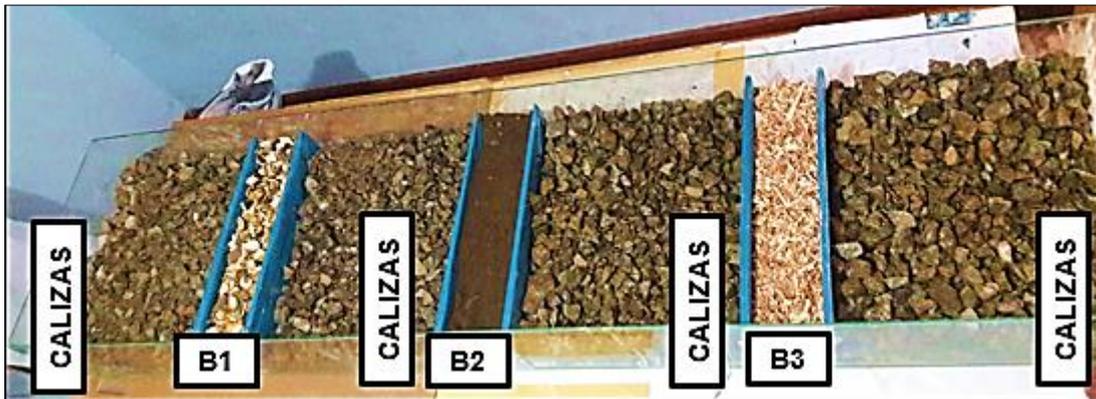


Figura 24 Tratamiento Z con barreras de contacto.

Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 25 Funcionamiento del Tratamiento Z

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Las barreras aumentan el tiempo de retención del agua dentro del sistema, por lo que el contacto es mucho mayor. En éste drenaje grande con barreras la cantidad de agua ácida utilizada es de 43 litros, que tardaron en pasar 143,58 minutos.

2.7. Análisis estadístico:

Para el análisis estadístico Todos los datos fueron analizados usando el software Minitab versión 17. Se utilizó ANOVA (Anova One Way) y los resultados fueron reportados para un valor $P < 0.05$. Las medias fueron comparadas usando el test de significancia LSD Fisher ($P < 0.05$),

CAPÍTULO III. RESULTADOS.

3.1. Caracterización del Agua de BQH5

El agua de la bocamina 05 de quebrada honda, tiene un caudal de 45 L/min, presenta un color rojo anaranjado, un pH de 3.01, una conductividad eléctrica de 1500 $\mu\text{S/m}$ y Oxígeno disuelto 4.5. Estos resultados indican gran presencia de oxidación debido a las condiciones aerobias que presenta la BQH5, los sulfuros al hacer contacto con el agua y el oxígeno han generado elevado contenido de acidez, otra de las posibles respuestas a oxidación es la presencia de agentes bacterianos como son las bacterias *Thiobacillus ferrooxidans*, las mismas que mediante un proceso de bio-transformación logran oxidar el sulfuro a sulfito y el sulfito a sulfato que se evidencia en color de verde translucido a amarillo turbio (Pérez, 2006)

Además, el análisis de metales muestra que ningún metal presente en esta muestra agua cumple con los LMP, siendo el más abundante el Fe con 876 ppm, seguido por el zinc con 74 ppm y el aluminio con 1.0 ppm.

Tabla 15 LMPs VS ICP

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP	VS	ICP
pH	Ppm	7	VS	3.01
Aluminio	Ppm	-	VS	141.03
Arsénico	Ppm	0.1	VS	6.54
Cadmio	Ppm	0.05	VS	0.38
Cobre	Ppm	0.2	VS	13.04
Hierro	Ppm	2	VS	876
Zinc	Ppm	1.5	VS	74.33

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Según lo observado en la tabla 15, ninguno de los valores cumple con los LMP (En cualquier momento), así mismo, según los datos que nos brindó la empresa, tampoco cumple con los

LMP de promedio anual. Es por ello que estas aguas, a pesar de haber tenido un tratamiento previo (3 tapones) aún requieren de un tratamiento, adicional.

3.2. Caracterización del agua en los diferentes tratamientos.

3.2.1. Resultado para el pH.

El tratamiento donde más se incrementó el pH fue el **Z** (Drenaje grande con barreras) donde el cuál se incrementó hasta en un 286% respecto al pH inicial. Seguidamente tenemos los tratamientos **Y** (Drenaje pequeño con barreras) que incrementó a un pH de 8.486 y **W** (Drenaje grande con roca caliza triturada) que incrementó el pH inicial a 7.297. Estos datos se encuentran dentro del rango [6.5 – 9] que es un pH neutro. Por otra parte, los tratamientos **V** (Drenaje pequeño con roca caliza triturada) logró un pH de 4.37 y el tratamiento **X** (Drenaje pequeño con conchas de mar) lograron los resultados más bajos con un incremento de 3.01.

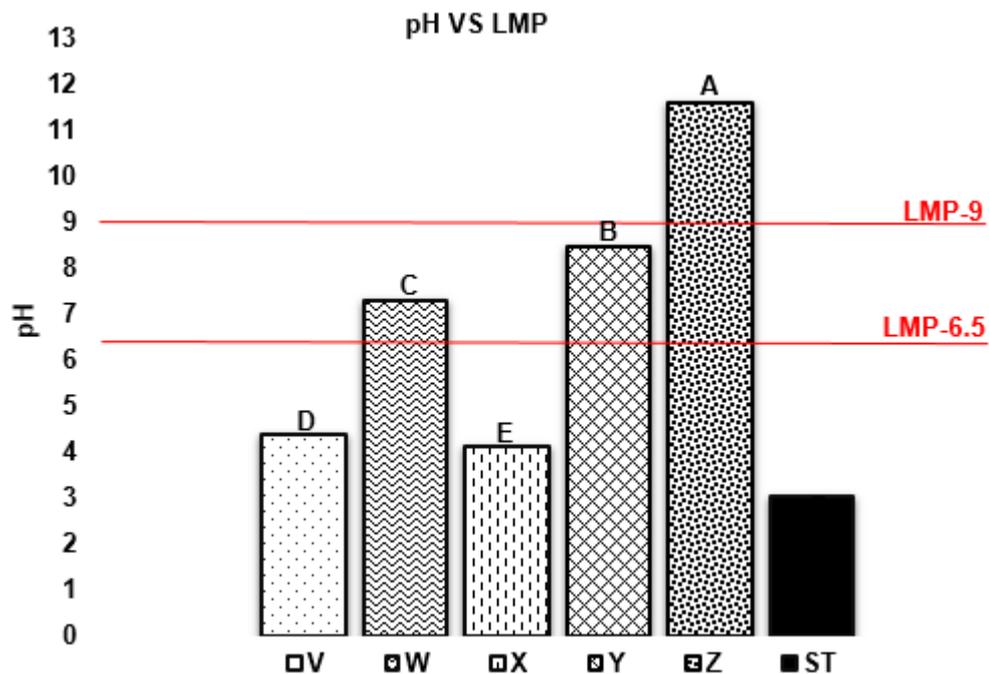


Figura 26 Resultados de pH

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la figura 27 se puede observar que las medias de los tratamientos V, W, X, Y, Z y ST son significativamente diferentes ($P=0.00$). Cabe señalar que los Tratamientos Z y Y, exceden lo establecido por los LMP. Las pruebas experimentales para pH parten de un dato inicial de 3.01 pH sin tratamiento.

3.2.2. Resultados para El Aluminio (Al).

El mejor resultado fue obtenido con el tratamiento **W: 1.542 ppm** (Drenaje grande con roca caliza triturada) el cual disminuyo hasta 97% de la cantidad inicial, seguido por el tratamiento **Z: 3.033 ppm** (Drenaje grande con barreras).

Por otra parte, los tratamientos **X: 50.125 ppm** (Drenaje con conchas de mar), **V: 45.6592 ppm** (Drenaje pequeño con roca caliza triturada), **Y: 14.38 ppm** (Drenaje Pequeño con barreras) han logrado reducir de gran manera el Al inicial, sin embargo aun así no cumple con el ECA de agua (No se compara con LMP ya que no existe aluminio dentro del DS010-2010-MINAM.)

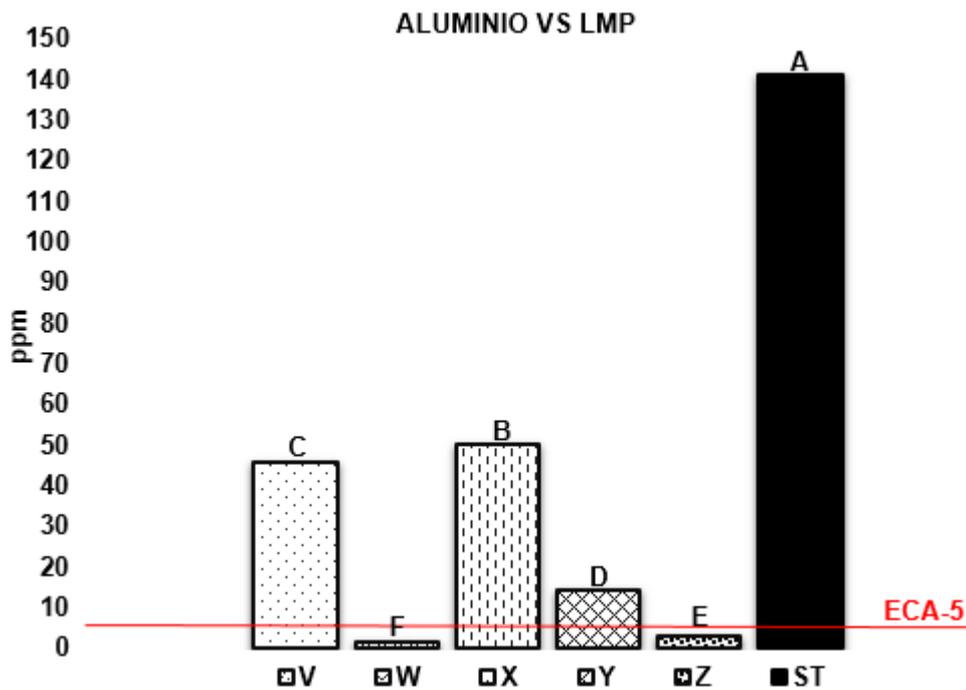


Figura 27 Resultados de Al

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Se puede observar que las medias de los datos no comparten letras por lo cual son significativamente diferentes ($P=0.00$). Las pruebas experimentales para el Aluminio parten de un dato inicial de 141.034 ppm correspondiente al agua sin tratamiento.

3.2.3. Resultados para el Arsénico (As).

El mejor resultado fue obtenido con el tratamiento con el **Z: 0.018 ppm** (Drenaje grande con barreras), el cual es el único que logra cumplir con LMP.

Los tratamientos de **X: 0.1868 ppm** (Drenaje con conchas de mar), **Y: 0.2132 ppm** (Drenaje pequeño con barreras), **W: 0.2002 ppm** (Drenaje grande con roca caliza triturada) y **V: 3.178 ppm** (Drenaje pequeño con roca caliza triturada) aunque lograron reducir en gran cantidad la concentración de arsénico en el agua sin embargo aún así, no cumplen con lo establecido en los LMP.

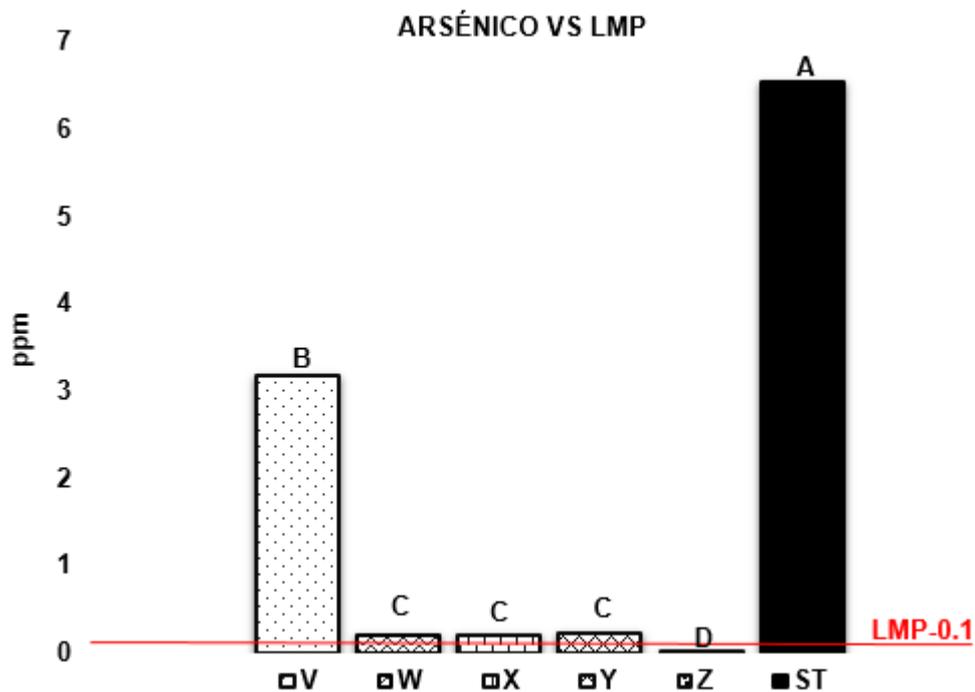


Figura 28 Resultados de As

Fuente: Elaboración propia, 2019

Del gráfico, se puede observar que el único tratamiento que cumple con los LMP es el **Z** el cual es estadísticamente diferente a todos los demás tratamientos. Le siguen los tratamientos **W**, **X** y **Y** los cuales no son significativamente diferentes. Las pruebas experimentales para el Arsénico parten de un dato inicial de **6.537 ppm** correspondientes al agua sin tratamiento.

3.2.4. Resultados para el Cadmio (Cd).

El mejor resultado fue obtenido con el tratamiento con el **Z: 0.002 ppm** en el cual se disminuyó hasta el 99% del contenido inicial, siendo el único tratamiento que cumplió con los LMP.

Por otra parte, los tratamientos **W: 0.08737** (Drenaje grande con roca caliza triturada), **Y: 0.1089 ppm** (Drenaje pequeño con barreras), **V: 0.18845 ppm** (Drenaje pequeño con roca caliza triturada), **X: 0.281216 ppm** (Drenaje con conchas de mar) y **W: 1.542 ppm** (Drenaje grande con barreras), No logran cumplir con los LMP.

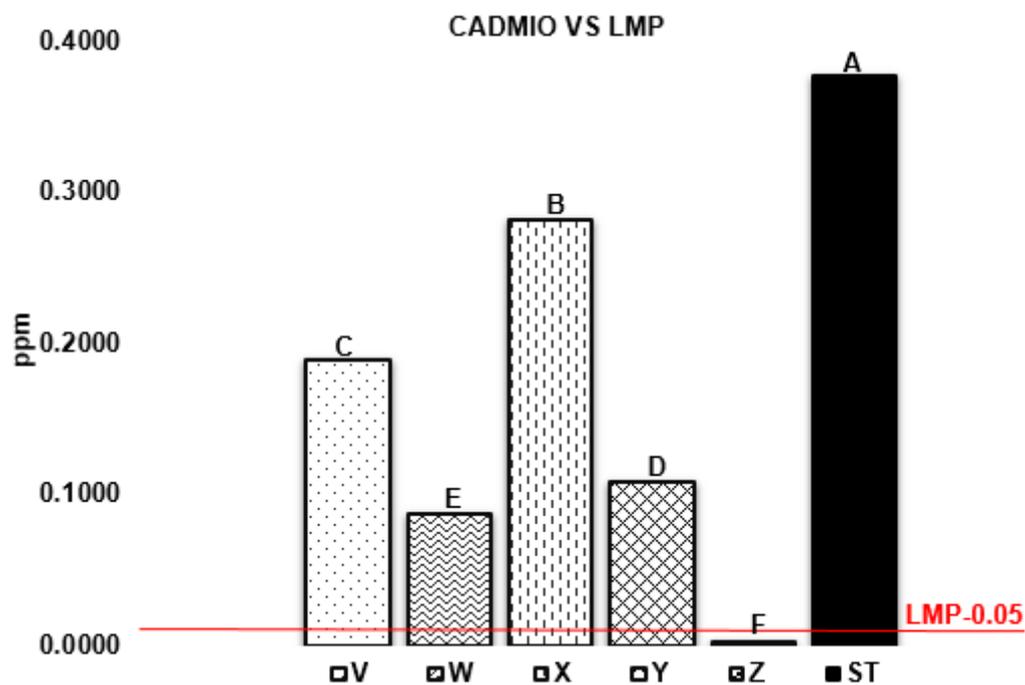


Figura 29 Resultados de Cd

Fuente: Elaboración propia, 2019

Se puede observar que las medias de los datos no comparten letras por lo cual todos son significativamente diferentes. Las pruebas experimentales para el Cadmio parten de un dato inicial de 0.377 ppm correspondiente al agua sin tratamiento.

3.2.5. Resultados para el Cobre (Cu).

El mejor resultado fue obtenido con el tratamiento con el **Z: 0.05643 ppm** en el cual se disminuyó hasta en un 99% la cantidad de cobre inicial (Drenaje grande con barreras), seguido por el tratamiento **Y: 0.1736 ppm** (Drenaje pequeño con barreras) y **W: 0.13968 ppm** (Drenaje grande con roca caliza triturada).

Por otra parte, los tratamientos **V: 4.2468 ppm** (Drenaje pequeño con roca caliza triturada) y **X: 6.626 ppm** (Drenaje pequeño con conchas de mar) no logran cumplir con LMP ni ECA.

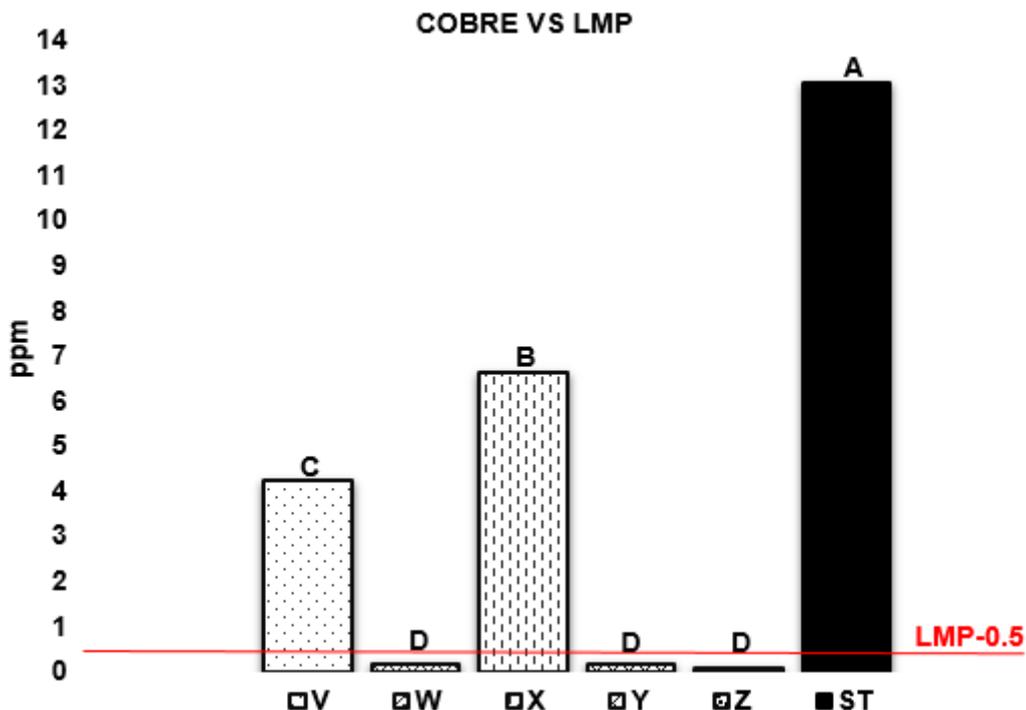


Figura 30 Resultados Cu

Fuente: Elaboración propia, 2019

Se puede observar que las medias de **W**, **Y** y **Z** comparten la letra D entonces no son significativamente diferentes, en cuanto a los datos **V** y **X** no comparten letra por lo tanto son significativamente diferentes. Las pruebas experimentales para el Cobre parten de un dato inicial de 13.042 ppm correspondientes al agua sin tratamiento (**ST**)

3.2.6. Resultados para el Hierro (Fe).

El mejor resultado fue obtenido con el tratamiento con el **Z: 4.256 ppm** (Drenaje grande con barreras), siendo éste el único que está por debajo de la concentración aceptada en ECA del Hierro.

Los tratamientos **Y: 61.28 ppm** (Drenaje pequeño con barreras), **X: 344.235 ppm** (Drenaje con conchas de mar), **W: 36.9 ppm** (Drenaje grande con roca caliza triturada) y **V: 482.81 ppm** (Drenaje pequeño con roca caliza triturada) no cumplen y están distantes de el ECA establecido.

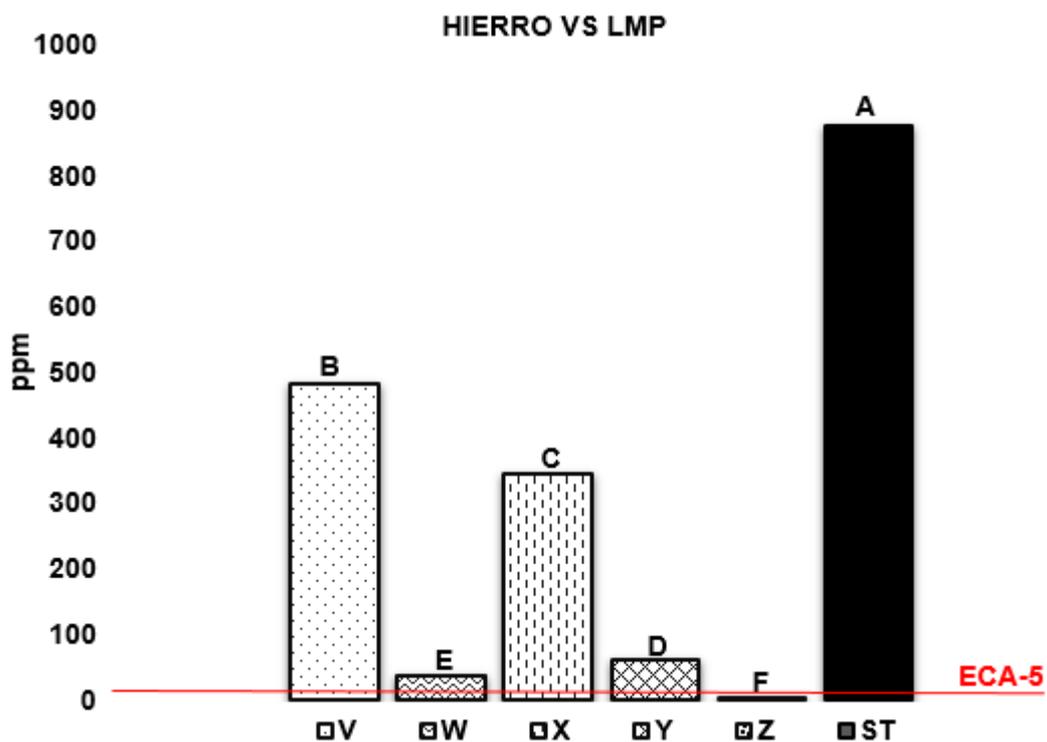


Figura 31 Resultados Fe

Fuente: Elaboración propia, 2019

Se puede observar que las medias de **V**, **W**, **X**, **Y** y **Z** no comparten letra por lo que son significativamente diferentes. Las pruebas experimentales para el Hierro parten de un dato inicial de 876.036 ppm correspondientes al agua sin tratamiento (**ST**).

3.2.7. Resultados para el Zinc (Zn).

El mejor resultado fue obtenido con el tratamiento con el **Z: 1.1522 ppm** (Drenaje grande con barreras), siendo éste el único que está por debajo de la concentración aceptada en LMP del Zinc, este tratamiento disminuyó el zinc hasta en un 98.4%.

Los tratamientos **Y: 33.31 ppm** (Drenaje pequeño con barreras), **X: 30.5054 ppm** (Drenaje con conchas de mar), **W: 20.479 ppm** (Drenaje grande con roca caliza triturada) y **V: 19.844 ppm** (Drenaje pequeño con roca caliza triturada) no cumplen y están distantes de el LMP establecido.

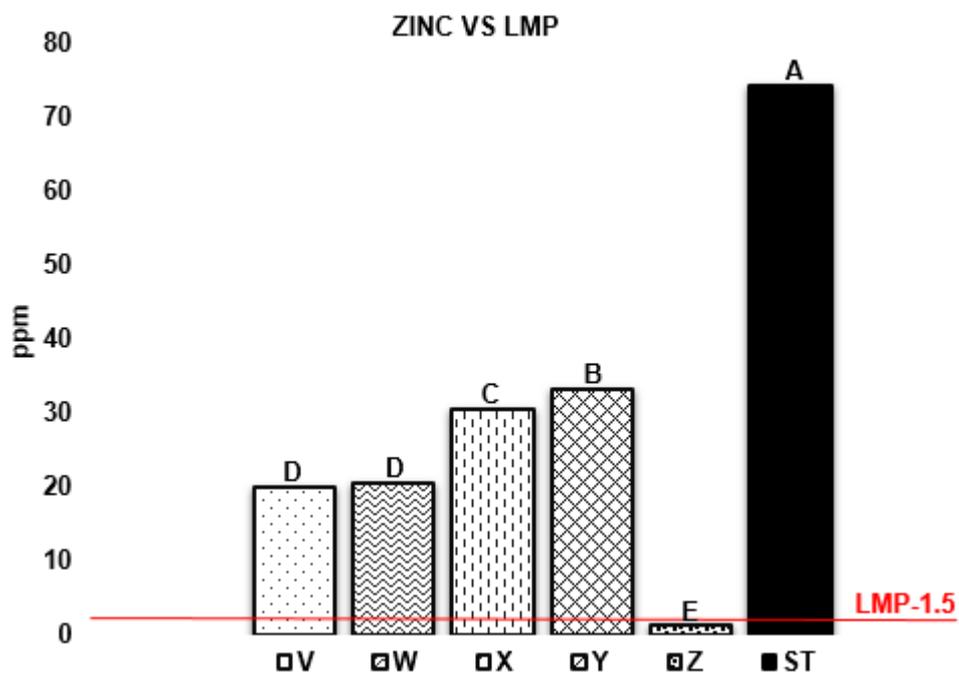


Figura 32 Resultados de Zn

Fuente: Elaboración propia, 2019

Se puede observar que las medias de **W** y **V** comparten la letra **D**, entonces se no son significativamente diferentes. En cuanto a las medias de **X**, **Y** y **Z**, no comparte letra entonces son significativamente diferentes. Las pruebas experimentales para el Zinc parten de un dato inicial de **74.33 ppm** sin tratamiento (**ST**).

3.3. Resultados para el dimesionamiento a escala real.

3.3.1. Cálculo del área (45 L/min)

De los tratamientos evaluados, el mejor es el **Z** ya que logra cumplir con los LMP establecidos. El tratamiento (**Z**) Drenaje grande con barreras de contacto consta de tres barreras reactivas (Conchas de mar, materia orgánica y aserrín) que permiten un mayor tiempo de contacto de las aguas ácidas con las barreras.

Teóricamente utilizando la fórmula del **USBM**, para el caudal de campo (45 L/min) se debería tener un área de 2838 (Ecuación E1, E2 y E3).

$$\text{Área mínima de un humedal (m}^2\text{)} = \frac{\text{Carga metálica de Fe (g * día)}}{20 \text{ g m}^{-2} * d} \dots E1$$

$$\text{Carga metálica Fe (gr/Día)} = 1,44 * Cm * Q \dots E2$$

Aplicando la ecuación 2 para determinar la carga metálica de hierro en nuestros datos, se tiene:

$$\text{Carga metálica Fe (gr/día)} = 1,44 * 876.004 * 45$$

$$\text{Carga metálica Fe (gr/Día)} = 56\ 765.06 \text{ g Fe * día}$$

Con la carga metálica aplicada en la ecuación 1, obtenemos el área mínima de campo:

$$\text{Área mínima de un humedal (m}^2\text{)} = \frac{\text{Carga metálica de Fe (g * día)}}{20 \text{ g m}^{-2} * \text{día}}$$

$$S \text{ (m}^2\text{)} = \frac{56\,765.06 \text{ Fe (g * día)}}{20 \text{ g m}^{-2} * \text{día}} = 2\,838.25 \text{ m}^2$$

Según nuestros resultados a escala de laboratorio, el tratamiento **Z** nos da resultados positivos en la remoción de metales con un caudal experimental de 0.48 L/ min el mismo que se evaluó dentro de un área de 0.63 m². Con lo expuesto anteriormente podríamos aplicar que para un caudal como el de campo (45 L/ min) no necesariamente se requiere el área de 2838 m², sino que en base a nuestro tratamiento **Z**, solo se necesitaría de **60 m²** para tratar el agua de la bocamina 5 de quebrada Honda.

Cabe señalar que un elemento importante para que pueda trabajar el sistema, es el tiempo de retención del agua sobre el sistema, por ello en nuestro diseño final se tendrá:

Tabla 16 Relación entre caudal y área para diseño.

Caudal (L/min)	Área (M2)
45	2838
1	63.07
0.5	31.53
0.1	6.31
0.01	0.63

Fuente: Elaboración propia, 2019

Como se visualiza en la tabla 16 para un caudal de 0.01 se requiere un área de 0.63 m², lo cual nos resultaría en un tiempo de contacto de 23.33 horas. Para las pruebas experimentales con la misma área se utilizó un caudal 0.48 L/min que tienen un tiempo de contacto de 143.48 minutos equivalentes a 2.39 horas, logrando así

optimizar el área funcional. De lo que concluimos que sí con el caudal experimental de 0.48 L/min hemos obtenido resultados positivos, para el caudal la nueva área resulta mucho más pequeña a la antes mencionada (2838 m²). El cálculo se interpola con regla de 3 simple:

$$0.48 \text{ L/min} \rightarrow 0.63 \text{ m}^2 \dots E3$$

$$45 \text{ L/min} \rightarrow X \text{ m}^2 \dots E4$$

De las ecuaciones E3 y E4 entonces la nueva área resulta en **59 m²**, entonces un diseño final se establece en base a ésta nueva área.

3.3.2. Presupuesto del Sistema Anóxico Calizo propuesto en campo.

Teniendo en cuenta las condiciones de campo, se realizó los presupuesto con el apoyo del ingeniero civil Jhonatan Llanos Rimarachin (CIP 216700) . La bocamina cuenta con una distancia desde el interior de la BQH5 hasta su entrada principal de 23 metros de largo por 1.20 metros de ancho. Con el ancho mencionado para un largo de 100 metros de largo los presupuestos resultan:

Presupuesto				
Presupuesto	"CREACION DEL CANAL PARA TRATAMIENTO DE AGUAS ACIDAS, TESIS"			
Cliente	LLANOS RIAMRACHIN, JOSE - JIMENEZ BERMEJO, PEDRO		Costo al	09/05/2019
Lugar	CAJAMARCA - CAJAMARCA - CAJAMARCA			
Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
OBRAS PROVISIONALES				3,500.00
CANAL REVESTIDO DE CONCRETO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS				51,423.04
CAPTACION DE LA FUENTE DE AGUA				4,615.55
TRABAJOS PRELIMINARES				39.10
MOVIMIENTO DE TIERRAS				595.00
OBRAS DE CONCRETO SIMPLE				306.30
OBRAS DE CONCRETO ARMADO				2,281.60
REVOQUES Y ENLUCIDOS				526.34
MATERIAL GRANULAR PARA FILTRO				132.65
TUBERIAS, VALVULAS Y ACCESORIOS				278.72
VARIOS				455.84
CANAL REVESTIDO				45,633.10
TRABAJOS PRELIMINARES				687.40
MOVIMIENTO DE TIERRAS				12,739.16
OBRAS DE CONCRETO SIMPLE				19,903.44
REVOQUES Y ENLUCIDOS				8,508.80
MATERIAL GRANULAR PARA FILTRO				3,108.96
FILTRO DE PIEDRA CALIZA (E=0.30M)	m3	36.00	86.36	3,108.96
VARIOS				685.34
CAJA DE VALVULA DE CONTROL DE SALIDA DE				1,174.39
Costo Directo				54,923.04
SON : CINCUENTICUATRO MIL NOVECIENTOS VEINTITRES Y 04/100 NUEVOS SOLES				

Figura 34 Presupuesto para Drenaje en campo.

Fuente: Elaboración propia, 2019

De la Figura 34 concluimos que resulta un total de 54 923.04 Nuevos soles para 120 m², por lo que para 60 m², el presupuesto sería de 27 461.5 Nuevos soles. Los detalles se muestran en los ANEXOS: 16,17 y 18.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión De Resultados.

4.1.1. Caracterización del agua de la BQH5.

Las condiciones del agua de filtración en la bocamina 05 son indicadores altamente representativos de un drenaje ácido, ya que presenta una zona parcialmente inundada con coloraciones amarillentas que indican la oxidación de sulfuros además de un espacio amplio de entrada de oxígeno. Los sulfuros expuestos a la meteorización llegan a formar drenajes ácidos, para que esto tenga lugar son necesarias condiciones aerobias, es decir la existencia de agua, oxígeno y simultáneamente la acción catalizadora de bacterias. (Aduviere, 2006). Para realizar una clasificación del agua hacemos referencia al 3.01 pH que es el potencial de hidrógeno presente en las aguas de dicha Bocamina, entonces se clasifican como aguas altamente ácidas ya que están dentro del rango [1,5-4,5] (White, 1968). Éstas aguas necesitan de un tratamiento debido al contenido metálico que presentan, que son dañinos a flora y fauna, los drenajes ácidos de mina, considerados en un rango de pH de 2 a 4, contienen una gran cantidad de sólidos en suspensión y un alto contenido en sulfatos y metales disueltos (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb, etc.); por tanto, son nocivos para la actividad biológica, contaminan los cauces, y pueden llegar a dañar la estructura y la cimentación de construcciones (López et al. 2002). Por otra parte, reafirmamos que la concentración metálica de las aguas ácidas es elevada, en cuanto a Hierro tenemos 876.036 ppm, 1.961 ppm de Al, 1.917 ppm de As, 0.277 ppm Cd, 0.442 de Cu y 74,330 ppm de Zn; éstos valores se encuentran sobrepasando los Límites Máximos Permisibles, entonces con todo lo mencionado se concluye que las aguas de filtración en estas condiciones no pueden ser descargadas al medio ambiente.

4.1.2. Caracterización del agua en los diferentes tratamientos.

4.1.2.1. Potencial de Hidrógeno (pH)

Los sistemas de drenajes anóxico calizos proporcionan CaCO_3 que es un agente que provee de alcalinidad al agua, lo que nos permite aumentar la concentración de Potencial de Hidrógeno (pH) (Aguirre, 2018).

Las pruebas experimentales parten de un pH inicial de 3.01 y los resultados en cada tratamiento varían según: El sistema particular diseñado, el tiempo de retención y el área disponible para el contacto con las aguas ácidas. Es así que los tratamientos que logran cumplir con el pH son: **Y** y **W** (Drenaje pequeño con barreras y Drenaje grande con calizas respectivamente).

Los tratamientos **V** y **X** (Drenaje pequeño con caliza y drenaje pequeño con conchas) no logran incrementar su pH hasta lo exigido por los LMP, esto podría ser explicado debido al poco tiempo de retención y contacto que tuvo el agua al pasar por estos sistemas.

Finalmente el tratamiento que más incrementó el pH fue el **Z** (Drenaje grande con Barreras de contacto), donde este aumentó hasta en un 286%. Cabe mencionar que si bien este pH sobrepasa los LMP, este puede tener un efecto positivo en la precipitación de metales que no precipitan a pH neutros tal como es el caso del aluminio y el Mn (Del Águila, 2015). Por otro lado se explica el elevado pH debido al mayor tiempo de retención y contacto con la piedra caliza y con las barreras de conchas de mar así como el aserrín.

4.1.2.2. Aluminio (Al)

El aluminio es el elemento metálico más abundante en la tierra, pero nunca se encuentra en forma libre en la naturaleza, se halla ampliamente distribuido en las plantas y en casi todas las rocas, sobre todo en las ígneas, que contienen aluminio en forma de minerales de alúmino silicato (Lenntech, 2019).

Los sistemas que disminuyeron la concentración metálica de Al, al punto de cumplir con el ECA III de agua, se presentó en el tratamiento **W** (Drenaje grande con roca caliza triturada) logrando reducir en 99% la concentración de Al, seguido por el tratamiento **Z** donde disminuyó en un 97% del aluminio inicial, éstos tratamientos son los únicos que cumplen con el ECA establecido por el MINAM (2010). Esto podría ser explicado debido a que los dos tratamientos tienen la misma área y por ende el tiempo de retención es mayor. Autores como Del Águila (2015) en su investigación "Gestión de efluentes, tratamiento de aguas ácidas y precipitación de aluminio y manganeso en la planta de tratamiento de la Empresa Minera de Yanacocha" demostró que en medio básico el aluminio puede precipitar forma el ion aluminato (AlO_2^-) y que este a su vez a valores de pH entre 8 – 11. Sin embargo, otros autores señalan que el Al es estable en pH de 7 u 8, sin embargo a medida que sigue incrementando, este puede volver a ser inestable (Lii, *et al*; 1999).

Por otra parte también tenemos reducción de concentración metálica en los tratamientos Drenaje con conchas de mar **X**: 50.125 ppm que reduce un 64.459%, Drenaje pequeño con roca caliza triturada **V**: 45.6592 ppm que reduce 67.625 % y Drenaje Pequeño con barreras **Y**: 14.38 que reduce 89.803 %; sin embargo aun así no logran cumplir con el ECA de agua (No se compara con LMP ya que no existe dentro del DS ° 014-2010-MINAM. Adicionalmente podríamos decir que la

efectividad para reducir el Aluminio radica en el área y tiempo de contacto de las aguas ácidas dentro de los sistemas.

4.1.2.3. Arsénico (As).

Al arsénico se le encuentra natural como mineral de cobalto, aunque por lo general está en la superficie de las rocas combinado con azufre o metales como Mn, Fe, Co, Ni, Ag o Sn. El principal mineral del arsénico es el FeAsS (arsenopirita, pilo); otros arseniuros metálicos son los minerales FeAs₂ (löllingita), NiAs (nicolita), CoAsS (cobalto brillante), NiAsS (gersdorfitita) y CoAs₂(esmalta). Los arseniatos y tioarseniato naturales son comunes y la mayor parte de los minerales de sulfuro contienen arsénico. La As₄S₄ (realgarita) y As₄S₆ (oropimente) son los minerales más importantes que contienen azufre. El óxido, arsenalito, As₄O₆, se encuentra como producto de la alteración debida a los agentes atmosféricos. (Lenntech, 2019). El único sistema que disminuyó la concentración metálica de As fue el Z (Drenaje grande con barreras) donde se logró reducir hasta en 98 % el arsénico inicial. Aunque hay diferencias entre autores acerca de la precipitación del arsénico a pH neutros (Maccor, 2001), muchas otras investigaciones (Cabrera *et al*, 2013) señalan que el ablandamiento con cal es efectivo para remover arsenito o arsenato y que esta eficiencia está en función al pH siendo que a un pH de 10.5 se puede remover hasta el 90% de As. En nuestro caso se podría explicar una mayor remoción de arsénico, no solo por el incremento del pH sino por el efecto de las barreras de materia orgánica y de aserrín que podrían haber retenido metales debido a sus propiedades de absorción y adsorción, además de su mayor superficie, por ejemplo (Muñoz, *et al*; 2016) de muestra que el uso de aserrín logró una remoción de arsénico a pH entre 6.5 a 7 hasta en un 98.50% la cantidad de arsénico en el agua. Los otros tratamientos si

bien es cierto tuvieron barreras, probablemente el nivel de pH y otros factores como el tiempo de retención no ayudó a que se puede cumplir con los LMP.

4.1.2.4. Cadmio (Cd).

El mineral de cadmio que más abunda en la naturaleza, es posible encontrarlo en la Greenockita (sulfuro de cadmio) (Muros, 2011). En nuestra investigación el único tratamiento que logró disminuir el cadmio a niveles de que cumpla con los LMP fue el Tratamiento Z. Esto debido al pH y probablemente por la materia orgánica y el aserrín, presente en una de las barreras. Estudios como el realizado por (Silva, *et al*; 2010; Sanchez, 2015) demuestra que a mayor cantidad de materia orgánica se obtuvieron menores cantidades de cadmio, por lo que la combinación de estas barreras habría ayudado de gran manera a la disminución del cadmio.

Podemos señalar que los otros tratamientos también demostraron reducción de la concentración metálica del cadmio, sin embargo, a pesar de que disminuyeron en cantidades importantes, aun así no cumplieron con los LMP. Por parte de los tratamientos Drenaje grande con roca caliza triturada **W**: 0.08737 que logra reducir el 76.825%, Drenaje pequeño con barreras **Y**: 0.1089 ppm que logra reducir el 71.111%, Drenaje pequeño con roca caliza triturada **V**: 0.18845 ppm que logra reducir el 50.013%, Drenaje con conchas de mar **X**: 0.281216 ppm que logra reducir 25.407%. La mayoría de estos tratamientos ha podido reducir la cantidad de cadmio, debido al incremento de pH. Así por ejemplo (Lara et al; 2016) comprueba que a pH de 6-8 y con ayuda de coco, se pudo observar una remoción de 91,32 y 87,80% respectivamente para Pb y Cd después de transcurridos 4,5 h en un sistema continuo de tratamiento de aguas residuales.

4.1.2.5. Cobre (Cu).

La mayor parte del cobre del mundo se obtiene de los sulfuros minerales como la calcocita, covelita, calcopirita, bornita y enargita. Los minerales oxidados son la cuprita, tenorita, malaquita, azurita, crisocola y brocantita. (Hurtado, 2014).

Para el Cu resultaron 3 tratamientos validos los cuales fueron: **Z** (Drenaje grande con barreras) **Y** (Drenaje pequeño con barreras) y **W** (Drenaje grande con caliza triturada). Estos tres tratamientos también han representado los valores más altos de pH (11.6, 8.4 y 7.2 respectivamente) esto demuestra una vez más que a mayor pH existe mayor precipitación de cobre. Son muchos los estudios que han demostrado lo expuesto anteriormente, por ejemplo: Escudero *et al* (2010) demostró en su investigación titulada “Precipitación De Especies De Plomo, Cobre Y Níquel En Efluentes Contaminados” que el cobre precipita como hidróxido cúprico $\text{Cu}(\text{OH})_2$ a pH's desde 8.5 hasta 9.5 y óxido cúprico CuO a partir de pH 8 hasta 13. Así mismo, señala que en el rango de pH de 3.0 a 5.5 no precipitan especies de cobre, haciéndose esencial incrementar el pH a niveles mayores a 5.5. Otras investigaciones como ((Lii, *et al*; 1999; Kooner, 1993; Nordstrom ,1998) demuestran que a un incremento de pH se puede precipitar y coprecipitar el Cu hasta en un 75%.

En los otros tratamientos, se puede observar que si bien hubo disminución de cobre, estos no cumplieron con lo LMP, esto debido al menor pH que obtuvieron y a la falta de barreras (Materia orgánica y aserrín) que pudieron coayudar a la precipitación del cobre. Estos tratamientos fueron **V** (Drenaje pequeño con roca caliza triturada) con 4.2 ppm y **X** (Drenaje pequeño con conchas de mar) 6.626 ppm.

4.1.2.6. Resultados para el Hierro (Fe).

El Hierro es un metal maleable, tenaz, de color gris plateado y magnético. Los dos minerales principales son la hematita, Fe_2O_3 , y la limonita, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Las pirritas, FeS_2 , y la cromita, $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$, se explotan como minerales de azufre y de cromo, respectivamente. (Chacón y Aguilar, 2016)

Para el Hierro se realiza la comparativa en función al ECA, entonces el mejor resultado fue obtenido con el tratamiento Z (Drenaje grande con barreras) con 4.256 ppm, siendo éste el único que está por debajo de la concentración aceptada en ECA del Hierro (% ppm) el mismo que logra reducir en 99.514 % de su concentración inicial. Cabe señalar que el LMP del hierro se evalúa como hierro disuelto, debido a las limitaciones del filtro para analizarlo como metal disuelto, se hace la comparación con el ECA III de agua. Investigaciones como la realizada por Gómez et al, 2004, demuestran un porcentaje de reducción de cobre entre un 80 y 90% al ser tratado con lechada de cal. Así mismo, “La conversión del hierro ferroso a férrico sucede rápidamente por aeración a un pH entre 7.0 a 7.5. La espontánea formación del hidróxido férrico resulta en su precipitación. La tasa de oxidación del hierro ferroso a férrico depende del valor de pH, la intensidad del sistema bicarbonatado (alcalinidad) y de la concentración de materia orgánica disuelta” (Valencia 2001).

Si bien son cierto todos los sistemas con excepción del control, disminuyeron la presencia de hierro, debido a la gran cantidad de Fe presente originalmente en el agua (876ppm) ha sido uno de los metales más difíciles para ser removidos. En conversación personal con Rodríguez (2018) señala que una de las zonas más difíciles de hacer el cierre fue la zona de quebrada honda debido a la cantidad de hierro y a la presencia de la roca fracturada.

4.1.2.7. Resultados para el Zinc (Zn).

El zinc es un metal transición, de color blanco azulado que arde en el aire con llama verde azulada. El aire seco no le ataca pero en presencia de humedad se forma una capa superficial de óxido o carbonato básico que aísla al metal y lo protege de la corrosión, los minerales donde se puede encontrar zinc son la Adamita, Colcofanita y en mayor abundancia la blenda (Quelcahuanca y Junior, 2015).

En el caso del zinc, el mejor resultado fue obtenido con el tratamiento con el Drenaje grande con barreras **Z**: 1.1522 ppm que reduce en 98.450%, siendo éste el único que está por debajo de la concentración aceptada en LMP del Zinc. EL uso de biomasa (Materia orgánica) resulta favorable para la remoción de Zn, un estudio realizado por (Gutiérrez *et al*, 2013), indica que el mejor porcentaje de remoción de Zn (II) al 99.5% se obtuvo con un experimento conteniendo Biomasa, el mismo que trabaja con un pH=5, y un tiempo de contacto=4h lo que resultó en una capacidad de remoción fue de 9.95 mg de Zn (Gutiérrez *et al*, 2013). Con lo expuesto antes entonces concluimos que la efectividad del tratamiento **Z** estaría relacionada directamente con la barrera 2 y 3, de materia orgánica y aserrín, ya que los 2 materiales son considerados como agentes para la formación de Biomasa.

En cuanto a los tratamientos restantes, cabe mencionar que sí, logran reducir el Zn de manera considerable pero no cumplen con los LMP, así que en resumen el tratamiento adecuado para éste metal es el **Z**.

4.1.3. Diseño del sistema anóxico calizo a usar en campo

4.1.3.1. área para tratar el caudal de campo (45 L/min)

Teniendo en cuenta el tratamiento **Z** (Drenaje grande con barreras), se realizó un nuevo cálculo de área para campo según los cálculos establecidos en el punto (3.3.1) la nueva área establece que se necesitan **59.5 m²** por lo que como ya hemos observado a mayor área mejor tratamiento, por ello se plantea hacer un Sistem Anóxico Calizo de **60 m²**.

Cabe señalar que la bocamina 05 de Quebrada Honda, cuenta con un área de 23 m de largo X 1.20 de ancho desde el último tapón hermético hasta el ingreso de la bocamina, es por ello que esta investigación, busca aprovechar este espacio para poder iniciar la construcción del sistema justo donde termina el tapón. De este modo dentro de la bocamina se construiría un canal de **27.6 m²** y el restante 32.4 m² fuera de la bocamina. Es importante señalar que fuera del área de la bocamina se podría construir un canal incluso mucho más largo asegurando un mayor rendimiento del sistema.

Se espera que éstos resultados de dimensionamiento puedan servir a otros autores a realizar más pruebas experimentales que puedan demostrar la efectividad de nuestro diseño, sin embargo es muy importante tomar en cuenta la carga metálica no solo del hierro sino también del manganeso que es el metal que necesita más pH para precipitar.

Muchos autores han diseñado sistemas tanto óxicos como anóxicos calizos para el tratamiento de efluentes mineros (Lii, *et al*; 1999; Cravota III, 1996; Trahan, 1996; Villanueva, 2013; Licapa, 2014.), todas estas investigaciones fueron revisadas para establecer los dimensionamientos de nuestro sistema, sin embargo en ninguna de ellas se pudo determinar cuál fue el criterio para las dimensiones. En la búsqueda de

información, nos cruzamos con la investigación de Pearson y McDonnell (1974) que nos proporciona parámetros para el largo de canal y ancho de canal, además de ofrecernos un estándar para la profundidad de cama de caliza; sin embargo este no tomaba en cuenta la carga metálica de los elementos a tratar, por ello también utilizamos el establecido por el Departamento de Minería de Los Estados Unidos (USBM, 1994) que se basa en la carga metálica de Fe a tratar por día. Finalmente, podemos decir que este último método fue el que más nos ayudó en nuestro sistema, sin embargo ha sido esencial la colocación de las diferentes barreras implementadas en nuestra prueba de laboratorio.

En nuestro sistema propuesto a implementar la BQH5 costaría 27, 461.5 nuevos soles, haciendo de este sistema una alternativa económica y con gran potencial a ser implementada.

4.2 Conclusiones

- ✓ El agua ácida de la bocamina 05 de Quebrada honda cuenta con un pH 3.01, y una concentración metálica de Al: 141.03 ppm, As: 6.54 ppm, Cd: 0.38 ppm, Cu: 13.04 ppm, Fe: 876.036 ppm y Zn: 74.33 ppm además de un caudal de 45 L/Min lo cual representa una cantidad de agua considerable que es descargada al medio ambiente sin cumplir con los LMP. Con estas características se hace urgente y necesario implementar medidas para mejorar la calidad de agua.

- ✓ Al realizar las pruebas experimentales a nivel de laboratorio se determinó el tratamiento **Z** (Drenaje grande con barreras) es el más adecuado para tratar las aguas de la BQH5 ya que logra cumplir con LMP establecidos para descargas de efluentes mineros, con éste tratamiento se reduce el Al en un 97%, As en un 98%, Cd en 99%, Cu en 99%, Fe 99.5 % y Zn en 98%.

- ✓ El diseño propuesto para tratar el agua ácida de la BQH5 tiene un área de 60 m² y un costo de 27,461.5 nuevos soles. Este diseño podría representar una alternativa económicamente viable y aceptable para la Compañía Minera Colquirrumi.

REFERENCIAS.

Aduvire, O. (2006). Drenaje ácido de mina generación y tratamiento. *Instituto Geológico y Minero de España Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente*.

Blas, R., Peter, R., & Carranza Urbina, J. W. (2015). Estudio técnico para el tratamiento de aguas ácidas en los drenajes de la industria minera.

Cabrera, M. A., Pinos, D., & Pulla, M. F. (2013). Arsénico en el agua.

Cardona Gutiérrez, A. F., Cabañas Vargas, D. D., & Zepeda Pedreguera, A. (2013). Evaluación del poder bioadsorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). *Ingeniería*, 17(1).

Córdova De la Cruz, R. C., & Rojas Pérez, J. (2015). Alcalinización con Travertino y desmineralización de aguas ácidas de minas en simulador de humedal a nivel de laboratorio.

Martel Valverde, G. A. (2014). Análisis de los factores que influyen en el conflicto socio-ambiental del proyecto minero metalúrgica Tantahuatay.

Del Águila Guadalupe, N. (2015). Gestión de efluentes, tratamiento de aguas ácidas y precipitación de aluminio y manganeso en la planta de tratamiento de la Empresa Minera de Yanacocha.

Díaz Gálvez, S. (2014). Eficiencia de las estructuras construidas para mejorar la calidad del agua en el cierre de actividades en la mina Banco Minero y Tahona-Hualgayoc-Cajamarca.

GÓMEZ-ÁLVAREZ, A., VILLALBA-ATONDO, A., ACOSTA-RUÍZ, G., CASTAÑEDA-OLIVARES, M., & Kamp, D. (2004). Metales pesados en el agua superficial del Río San Pedro durante 1997 y 1999. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 20(1), 5-12.

Kooner, Z.S., 1993. Comparative study of adsorption behavior of copper, lead, and zinc onto goethite in aqueous systems. *Environ. Geol.* 21, 342±350.

Nina Chambe, M. (2008). Evaluación de los métodos químicos y biogénico para el tratamiento de drenaje ácido de mina a escala de laboratorio. Caso: Mina Cerro de Pasco.

Nordstrom, D.K., Alpers, C.N., 1998. Geochemistry of acid mine waters. In: Plumlee, G.S., Logsdon, M.J. (Eds.), *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits±Part A. Processes, methods, and health issues*, Vol. 6. *Reviews in Econ. Geol.*

Quelcahuanca, H., & Junior, A. (2015). Estudio de las propiedades mecánicas de un compuesto de matriz metálica rico en 80% de cobre, aleado con zinc y estearato de zinc para evaluar la dureza y el desgaste vía la pulvimetalurgia.

Serafín Muñoz, A. H., Medina García, M. G., Vido García, F. A., Noriega Luna, B., Zamorategui Molina, A., Li, Y., & Rodríguez Castrejón, U. E. (2016). Uso potencial de pellets para el tratamiento de aguas contaminadas con arsénico en comunidades de Xichú, Gto., México. *Acta Universitaria*, 26(2).

Silva, R. L., & Gutiérrez, H. B. (2010). Remediación de un suelo de la cuenca alta del río Bogotá contaminado con los metales pesados cadmio y cromo. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 13(2), 61-70.

Skousen, J. (1997). Overview of passive systems for treating acid mine drainage. *Green Lands*, 27(4), 34-43.

Valencia Espinoza, C. E. (2011). *Química del hierro y manganeso en el agua, métodos de remoción* (Bachelor's thesis).

Ziemkiewicz, P. F., Skousen, J. G., & Simmons, J. (2003). Long-term performance of passive acid mine drainage treatment systems. *Mine Water and the Environment*, 22(3), 118-129.

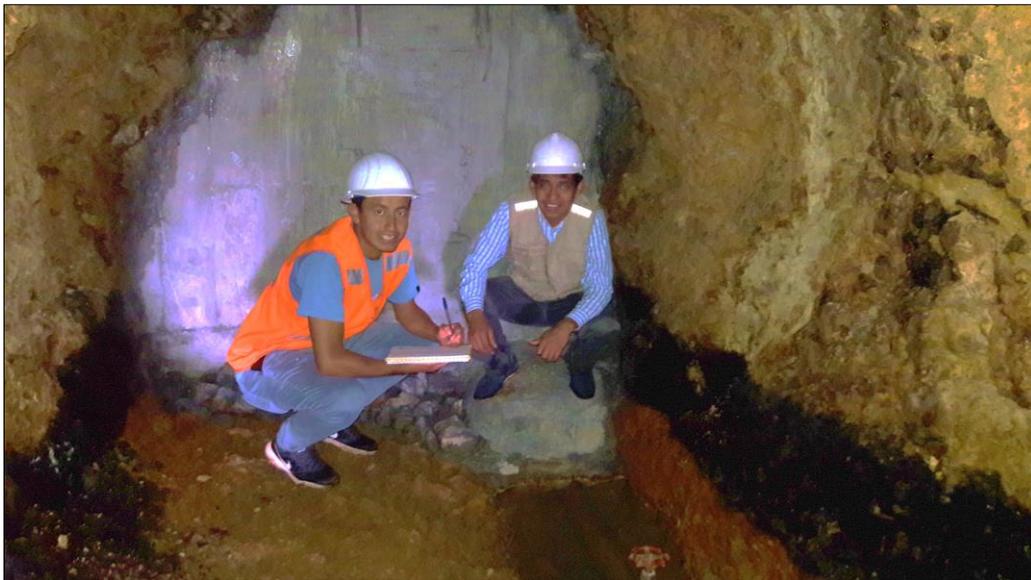
ANEXO N° 01: Fotografías del área de trabajo

Fotografía N° 01: Bocamina 05, Quebrada Honda Compañía Minera Colquirrumi.



Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía N° 02 : Interior Mina, Bc 05.



Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO N° 02: Fotografías del muestreo de campo

Fotografía N° 03: Muestra para análisis ICP.



Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía N° 04: Preservante para muestra.



Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO N° 03: Fotografías de los materiales usados en la investigación

Fotografía N° 05: Roca caliza triturada.



Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía N° 06: Conchas de mar.



Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO N° 04: Fotografías de los materiales usados en la investigación

Fotografía N° 09: Materia Orgánica.



Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía N° 10: Taninos (Aserrín).



Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO N° 05: Reporte de Laboratorio Agua sin Tratamiento.

REPORTE DE ENSAYO

FP-TAN-LA-31.01-01 V-02

Laboratorio Químico Coimolache,

Despacho Laboratorio: LCRC1901501

Cliente : Medio Ambiente

Nro. Muestras : 36

Referencia Cliente: MA

Producto descrito como: Muestras Líquidas de aguas

Descripción del estado: En frascos

Condición de la muestra: Líquida

Comentario Adicional :



CIA MINERA COIMOLACHE S.A.

U.P. TANTAHUATAY

Fecha de Recepción: 27-05-2019

Fecha de Reporte: 30-05-19

Método:	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT
Analito:	Al	As	Cd	Cu	Fe	Zn
Unidad:	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Min.Detección:	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Max.Detección:						

Nro.	AGUAN SIN TRATAMIENTO	pH	Al	As	Cd	Cu	Fe	Zn
1	S.T	2,97	141,034	6,537	0,377	13,042	876,036	74,330
2	S.T	2,98	140,071	7,009	0,380	12,416	876,04	74,458
3	S.T	3,01	141,018	7,033	0,382	13,437	876,05	77,317
4	S.T	3,06	142,059	6,139	0,369	13,456	876,03	72,227
5	S.T	3,05	141,023	6,041	0,375	13,467	876,02	74,253
6	S.T	3,01	141,001	6,465	0,380	12,435	876,04	73,396
	PROMEDIOS	3,01	141,034	6,537	0,377	13,042	876,036	74,330

Leyenda:



Resultados Promedio de Agua Sin Tratamiento.

Fuente: Laboratorio Químico Coimolache.

ANEXO N° 06: Data General - Análisis de Laboratorio (ICP).

TRATAMIENTO	N°	COD	pH	Al	As	Cd	Cu	Fe	Zn
AGUA SIN TRATAMIENTO.	1	ST	2,48	141,03	6,54	0,377	13,04	876,04	74,33
	2	ST	2,64	140,07	7,01	0,380	12,42	876,04	74,46
	3	ST	2,18	141,02	7,03	0,382	13,44	876,05	77,32
	4	ST	2,37	142,06	6,14	0,369	13,46	876,03	72,23
	5	ST	2,72	141,02	6,04	0,375	13,47	876,02	74,25
	6	ST	2,49	141,00	6,47	0,380	12,43	876,04	73,40
DRENAJE PEQUEÑO CON ROCA CALIZA TRITURADA.	1	V	4,37	45,66	3,18	0,188	4,25	482,81	19,84
	2	V	4,10	45,66	3,22	0,191	4,25	482,82	19,85
	3	V	4,23	45,58	3,14	0,181	4,25	482,80	19,90
	4	V	4,55	45,66	3,22	0,191	4,25	482,82	19,85
	5	V	4,67	45,73	3,09	0,188	4,24	482,80	19,75
	6	V	4,30	45,66	3,23	0,193	4,25	482,82	19,87
DRENAJE GRANDE CON ROCA CALIZA TRITURADA.	1	W	7,29	1,54	0,20	0,087	0,14	36,90	20,48
	2	W	7,45	1,76	0,23	0,092	0,16	41,88	22,89
	3	W	7,52	1,90	0,22	0,087	0,16	41,34	21,89
	4	W	7,14	1,26	0,17	0,080	0,12	31,64	18,18
	5	W	7,19	1,46	0,19	0,090	0,13	36,27	20,37
	6	W	7,16	1,34	0,19	0,087	0,14	33,35	19,07
DRENAJE PEQUEÑO CON CONCHAS DE MAR.	1	X	4,10	50,13	0,19	0,281	6,63	344,23	30,51
	2	X	4,05	50,13	0,19	0,281	6,63	344,23	30,50
	3	X	4,10	50,12	0,19	0,280	6,61	344,24	30,50
	4	X	4,12	50,13	0,19	0,281	6,62	344,22	30,51
	5	X	4,07	50,13	0,18	0,282	6,64	344,25	30,51
	6	X	4,18	50,13	0,19	0,283	6,63	344,23	30,51
DRENAJE PEQUEÑO CON BARRERAS.	1	Y	8,49	14,38	0,33	0,109	0,17	61,28	33,31
	2	Y	8,30	12,53	0,28	0,089	0,16	50,88	27,88
	3	Y	8,17	12,87	0,34	0,103	0,18	58,79	32,23
	4	Y	8,76	18,60	0,42	0,116	0,22	70,66	36,20
	5	Y	8,53	14,67	0,32	0,115	0,16	64,42	36,19
	6	Y	8,67	13,23	0,30	0,121	0,16	61,64	34,03
DRENAJE GRANDE CON BARRERAS	1	Z	11,62	3,03	0,02	0,003	0,06	4,26	1,15
	2	Z	11,74	4,10	0,03	0,004	0,06	5,75	1,32
	3	Z	11,65	2,52	0,01	0,002	0,05	3,61	1,07
	4	Z	11,59	3,42	0,02	0,003	0,06	4,66	1,22
	5	Z	11,56	3,11	0,02	0,002	0,06	4,27	1,22
	6	Z	11,56	2,02	0,01	0,002	0,05	3,00	0,93

Fuente: Elaboración propia, 2019.

ANEXO N° 07: Reporte de Laboratorio – Tratamiento (V).

REPORTE DE ENSAYO																																																																																								
				FP-TAN-LA-31.01-01	V-02																																																																																			
Laboratorio Químico Coimolache,																																																																																								
Despacho Laboratorio:	LCRC1901501				CIA MINERA COIMOLACHE S.A. U.P. TANTAHUATAY			Fecha de Recepción: 27-05-2019																																																																																
Cliente :	Medio Ambiente							Fecha de Reporte: 30-05-19																																																																																
Nro. Muestras :	36																																																																																							
Referencia Cliente:	MA																																																																																							
Producto descrito como:	Muestras Líquidas de aguas																																																																																							
Descripción del estado:	En frascos																																																																																							
Condición de la muestra:	Líquida																																																																																							
Comentario Adicional :																																																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Método</th> <th>ICPAMT</th> <th>ICPAMT</th> <th>ICPAMT</th> <th>ICPAMT</th> <th>ICPAMT</th> <th>ICPAMT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Analito</td> <td style="text-align: center;">Al</td> <td style="text-align: center;">As</td> <td style="text-align: center;">Cd</td> <td style="text-align: center;">Cu</td> <td style="text-align: center;">Fe</td> <td style="text-align: center;">Zn</td> </tr> <tr> <td>Unidad</td> <td style="text-align: center;">ppm</td> </tr> <tr> <td>Min.Detección</td> <td style="text-align: center;">0,002</td> </tr> <tr> <td>Max.Detección</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								Método	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	Analito	Al	As	Cd	Cu	Fe	Zn	Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	Min.Detección	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	Max.Detección																																																				
Método	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT																																																																																		
Analito	Al	As	Cd	Cu	Fe	Zn																																																																																		
Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm																																																																																		
Min.Detección	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002																																																																																		
Max.Detección																																																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Nro.</th> <th>DRENAJE PEQUEÑO CON ROCA CALIZA TRITURADA</th> <th>pH</th> <th>Al</th> <th>As</th> <th>Cd</th> <th>Cu</th> <th>Fe</th> <th>Zn</th> </tr> </thead> <tbody> <tr style="background-color: yellow;"> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">3,01</td> <td style="text-align: center;">141,034</td> <td style="text-align: center;">6,465</td> <td style="text-align: center;">0,377</td> <td style="text-align: center;">13,042</td> <td style="text-align: center;">876,036</td> <td style="text-align: center;">74,330</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td style="text-align: center;">V</td> <td style="text-align: center;">4,370</td> <td style="text-align: center;">45,659</td> <td style="text-align: center;">3,178</td> <td style="text-align: center;">0,188</td> <td style="text-align: center;">4,247</td> <td style="text-align: center;">482,810</td> <td style="text-align: center;">19,844</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td style="text-align: center;">V</td> <td style="text-align: center;">4,10</td> <td style="text-align: center;">45,662</td> <td style="text-align: center;">3,215</td> <td style="text-align: center;">0,191</td> <td style="text-align: center;">4,247</td> <td style="text-align: center;">482,817</td> <td style="text-align: center;">19,850</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td style="text-align: center;">V</td> <td style="text-align: center;">4,23</td> <td style="text-align: center;">45,580</td> <td style="text-align: center;">3,140</td> <td style="text-align: center;">0,181</td> <td style="text-align: center;">4,250</td> <td style="text-align: center;">482,800</td> <td style="text-align: center;">19,900</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td style="text-align: center;">V</td> <td style="text-align: center;">4,55</td> <td style="text-align: center;">45,662</td> <td style="text-align: center;">3,215</td> <td style="text-align: center;">0,191</td> <td style="text-align: center;">4,247</td> <td style="text-align: center;">482,817</td> <td style="text-align: center;">19,850</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td style="text-align: center;">V</td> <td style="text-align: center;">4,67</td> <td style="text-align: center;">45,730</td> <td style="text-align: center;">3,090</td> <td style="text-align: center;">0,188</td> <td style="text-align: center;">4,240</td> <td style="text-align: center;">482,800</td> <td style="text-align: center;">19,750</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td style="text-align: center;">V</td> <td style="text-align: center;">4,30</td> <td style="text-align: center;">45,662</td> <td style="text-align: center;">3,230</td> <td style="text-align: center;">0,193</td> <td style="text-align: center;">4,250</td> <td style="text-align: center;">482,817</td> <td style="text-align: center;">19,870</td> </tr> <tr style="background-color: #90EE90;"> <td colspan="2" style="text-align: center;">PROMEDIOS</td> <td style="text-align: center;">4,370</td> <td style="text-align: center;">45,659</td> <td style="text-align: center;">3,178</td> <td style="text-align: center;">0,188</td> <td style="text-align: center;">4,247</td> <td style="text-align: center;">482,810</td> <td style="text-align: center;">19,844</td> </tr> </tbody> </table>								Nro.	DRENAJE PEQUEÑO CON ROCA CALIZA TRITURADA	pH	Al	As	Cd	Cu	Fe	Zn			3,01	141,034	6,465	0,377	13,042	876,036	74,330	1	V	4,370	45,659	3,178	0,188	4,247	482,810	19,844	2	V	4,10	45,662	3,215	0,191	4,247	482,817	19,850	3	V	4,23	45,580	3,140	0,181	4,250	482,800	19,900	4	V	4,55	45,662	3,215	0,191	4,247	482,817	19,850	5	V	4,67	45,730	3,090	0,188	4,240	482,800	19,750	6	V	4,30	45,662	3,230	0,193	4,250	482,817	19,870	PROMEDIOS		4,370	45,659	3,178	0,188	4,247	482,810	19,844
Nro.	DRENAJE PEQUEÑO CON ROCA CALIZA TRITURADA	pH	Al	As	Cd	Cu	Fe	Zn																																																																																
		3,01	141,034	6,465	0,377	13,042	876,036	74,330																																																																																
1	V	4,370	45,659	3,178	0,188	4,247	482,810	19,844																																																																																
2	V	4,10	45,662	3,215	0,191	4,247	482,817	19,850																																																																																
3	V	4,23	45,580	3,140	0,181	4,250	482,800	19,900																																																																																
4	V	4,55	45,662	3,215	0,191	4,247	482,817	19,850																																																																																
5	V	4,67	45,730	3,090	0,188	4,240	482,800	19,750																																																																																
6	V	4,30	45,662	3,230	0,193	4,250	482,817	19,870																																																																																
PROMEDIOS		4,370	45,659	3,178	0,188	4,247	482,810	19,844																																																																																
<p>Leyenda:</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 20px; background-color: yellow;"></td> <td>Resultados Promedio de Agua Sin Tratamiento</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; background-color: #90EE90;"></td> <td>Resultados Promedio del Tratamiento (V)</td> </tr> </table>									Resultados Promedio de Agua Sin Tratamiento		Resultados Promedio del Tratamiento (V)																																																																													
	Resultados Promedio de Agua Sin Tratamiento																																																																																							
	Resultados Promedio del Tratamiento (V)																																																																																							

Fuente: Laboratorio Químico Coimolache.

ANEXO N° 08: Reporte de Laboratorio – Tratamiento (W).

REPORTE DE ENSAYO

FP-TAN-LA-31.01-01 V-02

Laboratorio Químico Coimolache,

Despacho Laboratorio: LCRC1901501

Cliente : Medio Ambiente

No. Muestras : 36

Referencia Cliente: MA

Producto descrito como: Muestras Líquidas de aguas

Descripción del estado: En frascos

Condición de la muestra: Líquida

Comentario Adicional :



CIA MINERA COIMOLACHE S.A.

U.P. TANTAHUATAY

Fecha de Recepción: 27-05-2019

Fecha de Reporte: 30-05-19

Método	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT
Analito	Al	As	Cd	Cu	Fe	Zn
Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Min.Detección	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Max.Detección						

Nro.	DRENAJE GRANDE CON ROCA CALIZA TRITURADA	PH	Al	As	Cd	Cu	Fe	Zn
		3,01	141,034	6,465	0,377	13,042	876,036	74,330
1	W	7,292	1,542	0,200	0,087	0,140	36,895	20,479
2	W	7,45	1,763	0,230	0,092	0,156	41,880	22,888
3	W	7,52	1,895	0,224	0,087	0,156	41,340	21,893
4	W	7,14	1,260	0,166	0,080	0,118	31,641	18,178
5	W	7,19	1,457	0,195	0,090	0,130	36,265	20,365
6	W	7,16	1,336	0,186	0,087	0,139	33,351	19,070
	PROMEDIOS	7,29	1,54	0,20	0,09	0,14	36,90	20,48

Leyenda:

Resultados Promedio de Agua Sin Tratamiento.

Resultados Promedio del Tratamiento (W).

Fuente: Laboratorio Químico Coimolache.

ANEXO N° 09: Reporte de Laboratorio – Tratamiento (X).

REPORTE DE ENSAYO

FP-TAN-LA-31.01-01 V-02

Laboratorio Químico Coimolache,

Despacho Laboratorio: LCRC1901501

Cliente : Medio Ambiente

Nro. Muestras : 36

Referencia Cliente: MA

Producto descrito como: Muestras Líquidas de aguas

Descripción del estado: En frascos

Condición de la muestra: Líquida

Comentario Adicional :



CIA MINERA COIMOLACHE S.A.
U.P. TANTAHUATAY

Fecha de Recepción: 27-05-2019.

Fecha de Reporte: 30-05-19.

Método	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT
Analito	Al	As	Cd	Cu	Fe	Zn
Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Min.Detección	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Max.Detección						

Nro.	DRENAJE PEQUEÑO CON CONCHAS DE MAR	pH	Al	As	Cd	Cu	Fe	Zn
		3,01	141,034	6,465	0,377	13,042	876,036	74,330
1	X	4,104	50,125	0,187	0,281	6,626	344,235	30,505
2	X	4,05	50,125	0,187	0,281	6,630	344,232	30,500
3	X	4,10	50,120	0,188	0,280	6,610	344,240	30,500
4	X	4,12	50,125	0,189	0,281	6,620	344,220	30,509
5	X	4,07	50,130	0,184	0,282	6,640	344,250	30,509
6	X	4,18	50,125	0,186	0,283	6,630	344,232	30,509
	PROMEDIOS	4,10	50,13	0,19	0,28	6,63	344,23	30,51

Leyenda:

Resultados Promedio de Agua Sin Tratamiento.

Resultados Promedio del Tratamiento (X)

Fuente: Laboratorio Químico Coimolache.

ANEXO N° 10: Reporte de Laboratorio – Tratamiento (Y).

REPORTE DE ENSAYO

FP-TAN-LA-31.01-01 V-02

Laboratorio Químico Coimolache,

Despacho Laboratorio: LCRC1901501

Cliente : Medio Ambiente

Nro. Muestras : 36

Referencia Cliente: MA

Producto descrito como: Muestras Líquidas de aguas

Descripción del estado: En frascos

Condición de la muestra: Líquida

Comentario Adicional :



CIA MINERA COIMOLACHE S.A.
U.P. TANTAHUATAY

Fecha de Recepción: 27-05-2019.

Fecha de Reporte: 30-05-19.

Método	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT
Analito	Al	As	Cd	Cu	Fe	Zn
Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Min.Detección	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Max.Detección						

Nro.	DRENAJE PEQUEÑO CON BARRERAS	pH	Al	As	Cd	Cu	Fe	Zn
		3,01	141,034	6,465	0,377	13,042	876,036	74,330
1	Y	8,486	14,381	0,332	0,109	0,174	61,278	33,306
2	Y	8,30	12,534	0,279	0,089	0,160	50,878	27,884
3	Y	8,17	12,873	0,340	0,103	0,177	58,789	32,227
4	Y	8,76	18,597	0,420	0,116	0,217	70,657	36,198
5	Y	8,53	14,668	0,322	0,115	0,155	64,423	36,190
6	Y	8,67	13,231	0,298	0,121	0,159	61,642	34,029
	PROMEDIOS	8,49	14,38	0,33	0,11	0,17	61,28	33,31

Leyenda:

Resultados Promedio de Agua Sin Tratamiento.

Resultados Promedio del Tratamiento (Y)

Fuente: Laboratorio Químico Coimolache.

ANEXO N° 11: Reporte de Laboratorio – Tratamiento (Z).

REPORTE DE ENSAYO																																										
				FP-TAN-LA-31.01-01	V-02																																					
Laboratorio Químico Coimolache,																																										
Despacho Laboratorio:	LCRC1901501			 CIA MINERA COIMOLACHE S.A. U.P. TANTAHUATAY	Fecha de Recepción: 27-05-2019.																																					
Cliente :	Medio Ambiente				Fecha de Reporte: 30-05-19.																																					
Nro. Muestras :	36																																									
Referencia Cliente:	MA																																									
Producto descrito como: Muestras Líquidas de aguas																																										
Descripción del estado: En frascos																																										
Condición de la muestra: Líquida																																										
Comentario Adicional :																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Método</th> <th>ICPAMT</th> <th>ICPAMT</th> <th>ICPAMT</th> <th>ICPAMT</th> <th>ICPAMT</th> <th>ICPAMT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Analito</td> <td>Al</td> <td>As</td> <td>Cd</td> <td>Cu</td> <td>Fe</td> <td>Zn</td> </tr> <tr> <td>Unidad</td> <td>ppm</td> <td>ppm</td> <td>ppm</td> <td>ppm</td> <td>ppm</td> <td>ppm</td> </tr> <tr> <td>Min.Detección</td> <td>0,002</td> <td>0,002</td> <td>0,002</td> <td>0,002</td> <td>0,002</td> <td>0,002</td> </tr> <tr> <td>Max.Detección</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								Método	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	Analito	Al	As	Cd	Cu	Fe	Zn	Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	Min.Detección	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	Max.Detección						
Método	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT	ICPAMT																																				
Analito	Al	As	Cd	Cu	Fe	Zn																																				
Unidad	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm																																				
Min.Detección	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002																																				
Max.Detección																																										
Nro.	DRENAJE GRANDE CON BARRERAS	pH	Al	As	Cd	Cu	Fe	Zn																																		
		3,01	141,034	6,465	0,377	13,042	876,036	74,330																																		
1	Z	11,620	3,033	0,018	0,003	0,056	4,256	1,152																																		
2	Z	11,74	4,097	0,034	0,004	0,061	5,752	1,321																																		
3	Z	11,65	2,521	0,014	0,002	0,051	3,605	1,073																																		
4	Z	11,59	3,420	0,015	0,003	0,057	4,655	1,215																																		
5	Z	11,56	3,105	0,015	0,002	0,062	4,266	1,223																																		
6	Z	11,56	2,020	0,009	0,002	0,050	3,003	0,929																																		
PROMEDIOS		11,62	3,03	0,02	0,003	0,06	4,26	1,15																																		
Leyenda:																																										
			<i>Resultados Promedio de Agua Sin Tratamiento.</i>																																							
			<i>Resultados Promedio del Tratamiento (Z).</i>																																							

Fuente: Laboratorio Químico Coimolache.

ANEXO N° 12: Análisis De Varianza – Minitab 2017.

Análisis de Varianza - PH					
Fuente	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor p
COD	5	342,924	685,848	2534,17	0,000
Error	30	0,812	0,0271		
Total	35	343,736			

Fuente: Minitab 2017.

Análisis de Varianza - Arsénico (As)					
Fuente	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor p
COD	5	264.501	52.9001	1311.59	0.000
Error	30	1.210	0.0403		
Total	35	265.711			

Fuente: Minitab 2017.

Análisis de Varianza - Aluminio (Al)					
Fuente	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor p
COD	5	82817.8	16563.6	16711.84	0.000
Error	30	29.7	1.0		
Total	35	82847.5			

Fuente: Minitab 2017.

Análisis de Varianza - Cadmio (Cd)					
Fuente	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor p
COD	5	0.564843	0.112969	3593.87	0.000
Error	30	0.000943	0.000031		
Total	35	0.565786			

Fuente: Minitab 2017.

ANEXO N° 13: Análisis De Varianza – Minitab 2017.

Análisis de Varianza - Cobre (Cu)					
Fuente	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor p
COD	5	802.800	160.560	3786.43	0.000
Error	30	1.272	0.042		
Total	35	804.072			

Fuente: Minitab 2017.

Análisis de Varianza - Zinc (Zn)					
Fuente	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor p
COD	5	18013.9	3602.78	1399.91	0.000
Error	30	77.2	2.57		
Total	35	18091.1			

Fuente: Minitab 2017.

Análisis de Varianza - Hierro(Fe)					
Fuente	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor p
COD	5	2485192	697038	69263.71	0.000
Error	30	302	10		
Total	35	3485494			

Fuente: Minitab 2017.

ANEXO N° 14: Análisis Anova de Fisher – Minitab.

ANOVA - PH			
COD	Nº	MEDIA	AGRUPACIÓN
Z	6	11.6200	A
Y	6	8.4860	B
W	6	7.2920	C
V	6	4.3700	D
X	6	4.1040	E
ST	6	3.0100	F

Fuente: Minitab 2017.

ANOVA - Arsénico (As)			
COD	Nº	MEDIA	AGRUPACIÓN
ST	6	6.537	A
V	6	3.1780	B
Y	6	0.2132	C
W	6	0.20020	C
X	6	0.186800	C
Z	6	-1.7956	D

Fuente: Minitab 2017.

ANOVA - Aluminio (Al)			
COD	Nº	MEDIA	AGRUPACIÓN
ST	6	141.034	A
X	6	50.1250	B
V	6	45.6592	C
Y	6	14.381	D
Z	6	3.033	E
W	6	1.542	F

Fuente: Minitab 2017.

ANOVA - Cadmio (Cd)			
COD	Nº	MEDIA	AGRUPACIÓN
ST	6	0.37720	A
X	6	0.281216	B
V	6	0.18845	C
Y	6	0.10891	D
W	6	0.08737	E
Z	6	0.002517	F

Fuente: Minitab 2017.

ANEXO N° 15: Análisis Anova de Fisher – Minitab.

ANOVA - Cobre (Cu)			
COD	Nº	MEDIA	AGRUPACIÓN
ST	6	13.042	A
X	6	6.62600	B
V	6	4.24680	C
Y	6	0.17356	D
W	6	0.13968	D
Z	6	0.05643	D

Fuente: Minitab 2017.

ANOVA - Zinc (Zn)			
COD	Nº	MEDIA	AGRUPACIÓN
u	6	74.330	A
y	6	33.31	B
x	6	30.5054	C
w	6	20.479	D
v	6	19.8440	D
z	6	1.1522	E

Fuente: Minitab 2017.

ANOVA - Hierro (Fe)			
COD	Nº	MEDIA	AGRUPACIÓN
ST	6	876.036	A
V	6	482.810	B
X	6	344.235	C
Y	6	61.28	D
W	6	36.90	E
Z	6	4.256	F

Fuente: Minitab 2017.

ANEXO N°16: Ficha Técnica.

Calera Bambamarca S.A.C

FICHA TECNICA DE CALERA BAMBAMARCA.

1. IDENTIFICACION DEL PRODUCTO.

Producto: Calera Bambamarca.

Materia prima: Piedra de Caliza

Acreditación: Avalada por Certificación Internacional de Calidad Ecológica ECOCERT.

2. CONCEPTO.

Calizas Bambamarca es el material más utilizado para encalar el suelo, el cual se obtiene a partir de la roca caliza correspondiente a la formación Cajamarca, se muele y luego se cieme en mallas de diferente tamaño. Las rocas no son puras y pueden contener impurezas como arcillas, hierro, arena y granos de limo que reducen el contenido de carbonato.

3. CARACTERÍSTICAS GENERALES.

Formula: CaCO_3 .

Humedad: <1% como máximo.

Reacción: Alcalina.

Densidad: 2,72.

Color: Marrón grisáceo.

4. ESPECIFICACIONES TECNICAS.

Elementos Mayores		
Elemento	Formula	%
Calcio	Ca	37
Magnesio	Mg	0,20
Oxido de calcio	CaO	53
Oxido de magnesio	MgO	0,33
Carbonato de Calcio	CaO3	89

5. ALMACENAMIENTO.

Calera Bambamarca es un material no higroscópico, estable durante el almacenamiento prolongado, pero es importante observar un buen manejo del producto en almacén, preferentemente bajo condiciones adecuadas, es decir en lugares secos, frescos, ventilados y libres de cualquier agente contaminante.

Fuente: Calera Bambamarca SAC. 2019.

ANEXO N°17: Presupuestos.

Presupuesto

Presupuesto 0701054 "CREACION DEL CANAL PARA REDUCCION DE AGUAS ACIDAS, TESIS"
 Subpresupuesto 001 "CREACION DEL CANAL PARA REDUCCION DE AGUAS ACIDAS, TESIS"
 Cliente LLANOS RIAMRACHIN, JOSE F Costo al 09/05/2019
 Lugar CAJAMARCA - CAJAMARCA - CAJAMARCA

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PROVISIONALES				3,500.00
01.01	ALMACEN Y CASETA DE GUARDIANA	mes	2.00	500.00	1,000.00
01.02	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE MAQUINARIA Y EQUIPO	GLB	1.00	2,500.00	2,500.00
02	CANAL REVESTIDO DE CONCRETO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS				51,423.04
02.01	CAPTACION DE LA FUENTE DE AGUA				4,615.55
02.01.01	TRABAJOS PRELIMINARES				39.10
02.01.01.01	LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL	m2	10.00	1.75	17.50
02.01.01.02	TRAZO Y REPLANTEO PRELIMINAR	m2	10.00	2.16	21.60
02.01.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				595.00
02.01.02.01	EXCAVACION MANUAL EN TERRENO NORMAL	m3	7.80	31.20	243.36
02.01.02.02	REFINE, NIVELACION Y COMPACTACION EN MATERIAL SUELTO	m2	16.40	7.58	124.31
02.01.02.03	RELLENO Y COMPACTACION CON MATERIAL PROPIO	m3	0.70	16.65	11.66
02.01.02.04	ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE HASTA D.PROM= 30M	m3	15.80	13.65	215.67
02.01.03	OBRAS DE CONCRETO SIMPLE				306.30
02.01.03.01	CONCRETO SOLADO E=0.10M, C,H,1:12	m2	2.30	36.22	83.31
02.01.03.02	CONCRETO FC = 140 KG/CM2	m3	0.90	247.77	222.99
02.01.04	OBRAS DE CONCRETO ARMADO				2,281.60
02.01.04.01	CONCRETO FC=175 KG/CM2	m3	2.50	313.42	783.55
02.01.04.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	24.00	49.37	1,194.88
02.01.04.03	ACERO Fy=4200 KG/CM2	kg	71.50	4.38	313.17
02.01.05	REVOQUES Y ENLUCIDOS				526.34
02.01.05.01	TARRAJEO CON IMPERMEABILIZANTE INTERIOR CMORTERO 1:4, E=1.5CM	m2	9.80	26.59	260.58
02.01.05.02	TARRAJEO EN EXTERIOR CMORTERO 1:4, E=1.50CM	m2	10.50	25.31	265.76
02.01.06	MATERIAL GRANULAR PARA FILTRO				132.85
02.01.06.01	FILTRO I	m3	0.40	86.36	34.54
02.01.06.02	FILTRO II	m3	0.60	77.60	46.56
02.01.06.03	FILTRO III	m3	0.60	85.92	51.55
02.01.07	TUBERIAS, VALVULAS Y ACCESORIOS				278.72
02.01.07.01	SUMINISTRO E INSTALACION DE ACCESORIOS - CAPTACION	GLB	1.00	278.72	278.72
02.01.08	VARIOS				455.84
02.01.08.01	SUMINISTRO Y COLOCACION DE TAPAS SANITARIAS METALICAS	und	1.00	344.33	344.33
02.01.08.02	PINTURA ESMALTE EN EXTERIORES	m2	10.50	10.62	111.51
02.02	CANAL REVESTIDO				45,833.10
02.02.01	TRABAJOS PRELIMINARES				687.40
02.02.01.01	LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL	m2	220.00	1.75	385.00
02.02.01.02	TRAZO Y REPLANTEO PRELIMINAR	m2	140.00	2.16	302.40
02.02.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				12,739.16
02.02.02.01	EXCAVACION MANUAL EN TERRENO NORMAL	m3	168.00	31.20	5,241.60
02.02.02.02	REFINE, NIVELACION Y COMPACTACION EN MATERIAL SUELTO	m2	140.00	7.58	1,061.20
02.02.02.03	RELLENO CON MATERIAL DE PRESTAMO AFIRMADO (E=0.10M)	m2	140.00	24.68	3,455.20
02.02.02.04	ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE HASTA D.PROM= 30M	m3	218.40	13.65	2,981.16
02.02.03	OBRAS DE CONCRETO SIMPLE				19,903.44
02.02.03.01	CONCRETO FC=175 KG/CM2	m3	32.00	313.42	10,029.44
02.02.03.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	200.00	49.37	9,874.00
02.02.04	REVOQUES Y ENLUCIDOS				8,508.80
02.02.04.01	TARRAJEO CON IMPERMEABILIZANTE INTERIOR CMORTERO 1:4, E=1.5CM	m2	320.00	26.59	8,508.80
02.02.05	MATERIAL GRANULAR PARA FILTRO				3,108.96
02.02.05.01	FILTRO DE PIEDRA CALIZA (E=0.30M)	m3	36.00	86.36	3,108.96
02.02.06	VARIOS				685.34
02.02.06.01	JUNTAS ASFALTICA EN VEREDA	m	105.60	6.49	685.34
02.03	CAJA DE VALVULA DE CONTROL DE SALIDA DE AGUA				1,174.39

Fecha : 12/06/2019 6:06:35p. m.



JHONATAN MILTON LLANOS RIAMRACHIN
Ingeniero Civil
Reg.CIP. N° 216700

Fuente: Ing. Jhonatan Llanos, 2019.

ANEXO N°18: Presupuestos.

Presupuesto

Presupuesto 0701054 "CREACION DEL CANAL PARA REDUCCION DE AGUAS ACIDAS, TESIS"
 Subpresupuesto 001 "CREACION DEL CANAL PARA REDUCCION DE AGUAS ACIDAS, TESIS"
 Cliente LLANOS RIAMRACHIN, JOSE F Costo al 09/05/2019
 Lugar CAJAMARCA - CAJAMARCA - CAJAMARCA

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
02.03.01	TRABAJOS PRELIMINARES				3.91
02.03.01.01	LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL	m2	1.00	1.75	1.75
02.03.01.02	TRAZO Y REPLANTEO PRELIMINAR	m2	1.00	2.16	2.16
02.03.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				55.99
02.03.02.01	EXCAVACION MANUAL EN TERRENO NORMAL	m3	1.01	31.20	31.51
02.03.02.02	REFINE, NIVELACION Y COMPACTACION EN MATERIAL SUELTO	m2	1.00	7.58	7.58
02.03.02.03	RELLENO Y COMPACTACION CON MATERIAL PROPIO	m3	0.22	16.65	3.66
02.03.02.04	ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE HASTA D.PROM= 30M	m3	0.97	13.65	13.24
02.03.03	OBRAS DE CONCRETO SIMPLE				36.22
02.03.03.01	CONCRETO SOLADO E=0.10M, C:H,1:12	m2	1.00	36.22	36.22
02.03.04	OBRAS DE CONCRETO ARMADO				413.23
02.03.04.01	CONCRETO FC=175 KG/CM2	m3	0.32	315.48	100.95
02.03.04.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN MUROS	m2	4.48	49.37	221.18
02.03.04.03	ACERO FY = 4200 KG/CM2	kg	20.80	4.38	91.10
02.03.05	REVOQUES Y ENLUCIDOS				132.51
02.03.05.01	TARRAJEO EN EXTERIOR C/MORTERO 1:4 e=1.5CM	m2	2.84	25.31	71.88
02.03.05.02	TARRAJEO CON IMPERMEABILIZANTE INTERIOR C/MORTERO 1:4, E=1.5CM	m2	2.28	26.59	60.63
02.03.06	VALVULAS Y ACCESORIOS				278.72
02.03.06.01	SUMINISTRO Y COLOCACION DE VALVULAS Y ACCESORIOS Ø 2"	und	1.00	278.72	278.72
02.03.07	VARIOS				223.65
02.03.07.01	SUMINISTRO Y COLOCACION DE TAPA SANITARIA METALICA DE 1/8" DE 0.60MX0.60M	und	1.00	221.83	221.83
02.03.07.02	GRAVA PARA SUMIDERSOS DIAM. 1/2"	m3	0.01	182.05	1.82
02.03.08	PINTURA				30.16
02.03.08.01	PINTURA ESMALTE	m2	2.84	10.62	30.16
Costo Directo					54,923.04

SON : CINCUENTICUATRO MIL NOVECIENTOS VEINTITRES Y 04/100 NUEVOS SOLES



JHONATAN MILTON LLANOS RIAMRACHIN
 Ingeniero Civil
 Reg.C.I.P. N° 216700

Fuente: Ing. Jhonatan Llanos, 2019.

ANEXO N°19: Presupuestos.

Precios y cantidades de recursos requeridos por tipo

Obra	0701054	"CREACION DEL CANAL PARA REDUCCION DE AGUAS ACIDAS, TESIS"				
Subpresupuesto	001	"CREACION DEL CANAL PARA REDUCCION DE AGUAS ACIDAS, TESIS"				
Fecha	01/05/2019					
Lugar	060101	CAJAMARCA - CAJAMARCA - CAJAMARCA				
Código	Recurso		Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
MANO DE OBRA						
0147010003	OFICIAL		hh	105.5550	15.82	1,669.88
0147010002	OPERARIO		hh	409.6313	17.55	7,189.03
0147010004	PEON		hh	1,280.7712	13.25	16,970.22
0147000032	TOPOGRAFO		hh	4.0317	24.70	99.58
						25,928.71
MATERIALES						
0202970046	ACERO CORRUGADO FY=4200 KG/CM2 GRADO 60		kg	96.9129	3.10	300.43
0272900074	ADAPTADOR UPR PVC SAP C-10 2"		und	4.0000	2.65	10.60
0205010036	AFIRMADO PREPARADO		m3	22.4000	52.00	1,164.80
0239050000	AGUA		m3	2.7303	1.00	2.73
0253030002	AGUARRAZ		gln	0.6670	35.00	23.35
0202000007	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO # 16		kg	5.5380	3.80	21.04
0202000008	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO # 8		kg	45.6960	4.10	187.35
0239100100	ALQUILER CASA PARA ALMACEN		mes	2.0000	500.00	1,000.00
0204000000	ARENA FINA		m3	5.6688	55.00	311.78
0288010016	ARENA GRUESA		m3	21.3594	53.00	1,132.05
0213000006	ASFALTO RC-250		gln	14.0448	13.50	189.60
0221000000	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5KG)		BOL	325.5162	23.50	7,649.63
0229040005	CINTA TEFLON		pza	4.0000	1.00	4.00
0202010005	CLAVOS PARA MADERA C/C 3"		kg	34.2720	4.30	147.37
0272530034	CODO PVC SAP 2" X 90°		pza	4.0000	2.96	11.84
0243510013	ESTACAS MADERA 2"X2"X1'		pza	3.0200	0.64	1.93
0205360019	GRAVA 3 A 4 CM		m3	0.4200	60.00	25.20
0205400002	GRAVA DE 1"A3"		m3	0.0136	50.00	0.68
0205000034	GRAVA PARA FILTRO DE 1 A 2 cm		m3	0.6300	60.00	37.80
0205000033	GRAVA PARA FILTRO DE 3 A 2 cm		m3	0.6300	60.00	37.80
0238000004	HORMIGON		m3	0.4257	60.00	25.54
0230110015	IMPERMEABILIZANTE		gln	8.3020	50.00	415.10
0288010069	IMPRIMANTE LATEX		gln	0.6670	22.50	15.01
0239020034	LIJA DE FIERRO # 8		und	0.6670	1.00	0.67
0245010001	MADERA TORNILLO INC.CORTE PIENCOFRADO		p2	964.1856	8.43	8,128.08
0232970002	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION		GLB	1.0000	2,500.00	2,500.00
0265450061	NIPLA DE PVC DE 2" X 3"		pza	4.0000	3.50	14.00
0230460037	PEGAMENTO PARA PVC		gln	0.0344	85.00	2.92
0205000049	PIEDRA CALIZA CHANCADA		m3	37.8000	60.00	2,268.00
0205000003	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"		m3	21.6628	53.00	1,148.13
0254110090	PINTURA ESMALTE		gln	0.4002	35.00	14.01
0243570052	PISÓN MANUAL		pza	297.8600	2.12	631.46
0265080032	REDUCCION DE PVC DE 4" x 2"		und	2.0000	13.60	27.20
0239990069	TAPA SANITARIA 1/8" X0.40X0.40M		und	1.0000	122.50	122.50
0239990063	TAPA SANITARIA 1/8" X0.60X0.60M		und	2.0000	135.59	271.18
0272040011	TAPON MACHO SP PVC SAP P/AGUA DE 2"		und	2.0000	5.00	10.00
0272010045	TUBERIA PVC NTP 399.002 DIAM.2"X5M C-10		m	7.0000	12.20	85.40
0272030011	UNION SP PVC SAP P/AGUA DE 2"		und	4.0000	2.30	9.20
0272030037	UNION UNIVERSAL PVC SAP DE 2"		und	4.0000	40.00	160.00
0278000077	VALVULA BOLA PVC ROSCADA DE 2"		und	2.0000	24.90	49.80
0288010105	YESO (BOLSA DE 20 KG)		BOL	3.7758	6.69	25.26
						28,183.44
EQUIPOS						
0388010025	CIZALLA MANUAL		hm	2.9536	0.85	2.51
0337540017	MIRA TOPOGRAFICA Y JALONES		hm	4.0317	4.67	18.83
0349880002	NIVEL TOPOGRAFICO		hm	2.0083	6.25	12.55
0330550011	TEODOLITO		hm	0.2416	7.50	1.81
						35.70
				Total	S/.	54,147.85


 JHONATAN MILTON LLANOS RIMARACHIN
 Ingeniero Civil
 Reg. CIP. N° 216700

Fuente: Ing. Jhonatan Llanos, 2019.