



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL**

**“Efecto de la dosificación de cal en la remoción de hierro y cobre del
efluente de la empresa minera San Simón- La Libertad”**

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

AUTOR:

BARRETO BALTAZAR HUMBERTO LELIS

ASESOR:

MORENO EUSTAQUIO WALTER

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

CALIDAD Y GESTIÓN DE RECURSOS NATURALES

TRUJILLO- PERÚ

2016

PAGINA DEL JURADO

Ing. Medardo Alberto Quezada
PRESIDENTE

Ing. Misael Ydilbrando Villacorta
SECRETARIO

Ing. Walter Moreno Eustaquio
VOCAL

DEDICATORIA

La presente tesis se la dedico a mi familia, por su apoyo incondicional, a mi madre Domitila, a mis abuelos Nicolás y Paulina, a mis tíos Antony, Ever y Ayde. Por apoyarme en todo momento, por sus consejos constructivos y apoyo moral y porque me han dado todo lo que soy como persona inculcándome buenos valores y principios.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a Dios por protegerme y guiarme por un buen camino, por permitir que esta tesis se haga realidad.

Un agradecimiento muy especial a mi asesor el Ing. Walter Moreno Eustaquio, gran docente y excelente profesional. Por su orientación y apoyo en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, BARRETO BALTAZAR HUMBERTO LELIS estudiante de la escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la Universidad Cesar Vallejo sede/ filial TRUJILLO.; declaro:

Que el trabajo académico titulado:

“Efecto de la dosificación de cal en la remoción de hierro y cobre del efluente de la empresa minera San Simón- La Libertad”

Para la obtención del título profesional de INGENIERO AMBIENTAL es de mi autoría.

Por lo tanto, declaro lo siguiente:

-He mencionado todas las fuentes empleadas en el presente trabajo de investigación, identificando correctamente toda cita textual o de parafrasis proveniente de otras fuentes, de acuerdo con lo establecido por las normas de elaboración de trabajos académicos.

-No he utilizado ninguna otra fuente distinta de aquellas expresamente señaladas en este trabajo.

-Este trabajo de investigación no ha sido previamente presentado completa ni parcialmente para la obtención de otro grado académico o título profesional.

-Soy consciente de que mi trabajo puede ser revisado electrónicamente en búsqueda de plagios.

-De encontrar uso de material intelectual ajeno sin el debido reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el procedimiento disciplinario.

Trujillo, 21 de noviembre del 2016

Humberto Lelis Barreto Baltazar

DNI: 71513549

PRESENTACIÓN

La presente tesis titulada “Efecto de la dosificación de cal en la remoción de hierro y cobre del efluente de la empresa minera San Simón- La Libertad”. Tiene como objetivo general evaluar el efecto de la dosificación de cal en la remoción de hierro y cobre del efluente de la empresa minera San Simón. Dado que estos metales pesados contaminan el recurso hídrico de la zona de influencia directa e indirecta a la mina y sobre todo perjudican a los ecosistemas y al medio ambiente en general. Para dicho estudio se logró muestrear del efluente de la empresa minera San Simón, ubicada en el caserío Tres Ríos, provincia de Santiago de Chuco, departamento La Libertad.

La presente investigación es experimental, dado que la obtención de datos se realizó mediante la manipulación de las variables identificadas, por otro lado, se basa en una Línea de investigación “Calidad y gestión de recursos naturales”.

EL AUTOR

ÍNDICE

PAGINA DEL JURADO	2
DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO	4
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD.....	5
PRESENTACIÓN.....	6
ÍNDICE	7
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Realidad problemática	11
1.2. Trabajos Previos.....	13
1.3. Teorías relacionadas al tema.....	16
1.4. Formulación del Problema.....	23
1.5. Justificación del Estudio.....	23
1.6. Hipótesis.....	24
1.7. Objetivos	24
II. MÉTODO.....	25
2.1. Diseño de investigación	25
2.2. Variables, Operacionalización.....	26
2.3. Población y muestra	28
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	28
2.5. Métodos de análisis de datos.....	29
2.6. Aspectos éticos.....	29
III. RESULTADOS	30
IV. DISCUSIÓN	35
V. CONCLUSIONES.....	38
VI. RECOMENDACIONES	39
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
APÉNDICE	44
ANEXOS	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1.-Matriz de toma de datos factorial.....	26
Tabla N° 2.-Operacionalización de Variables	27
Tabla N° 3.-Equipos, materiales y reactivos usados en el experimento.	28
Tabla N° 4.-Validación y confiabilidad del instrumento.....	29
Tabla N° 5.-Concentración de hierro y pH en agua residual de mina sin tratamiento.	30
Tabla N° 6.-Concentración de cobre y pH en agua residual minera sin tratamiento.	30
Tabla N° 7.-Concentraciones de hierro y pH en el agua residual tratada con diferentes concentraciones de cal y en diferentes tiempos	31
Tabla N° 8.-Concentraciones de cobre y pH en el agua residual de mina tratada con diferentes concentraciones de cal y en diferentes tiempos.	32
Tabla N° 9.-Eficiencia de remoción para el parámetro hierro en diferentes tiempos y concentraciones de cal.	33
Tabla N° 10.-Eficiencia de remoción para el parámetro cobre en diferentes tiempos y concentraciones de cal.	33
Tabla N° 11.-Análisis de Varianza, para el tiempo de agitación y la cantidad de cal en la remoción de hierro y cobre.	50
Tabla N° 12.-Estadísticos descriptivos de las medias de las variables dependientes e independientes.....	51
Tabla N° 13.-Prueba de Post Hot para remoción de hierro	52
Tabla N° 14.-Prueba de Post Hot para la remoción de Cobre	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1.-Tiempo de agitación vs porcentaje de remoción de hierro	34
Figura N° 2.-Tiempo de agitación vs porcentaje de remoción de cobre.	34

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se realiza la dosificación con cal para remover concentraciones de hierro y cobre del efluente de la empresa minera San Simón, ubicada en el caserío Tres Ríos, provincia Santiago de Chuco – La Libertad. El efluente se caracteriza por tener un pH ácido de un valor promedio de 3.51 y una concentración promedio de hierro y cobre de 61.935 y 19.415 ppm respectivamente. Las tres muestras tomadas del efluente minero fueron de 9 litros cada una, el tratamiento experimental se realizó a diferentes tiempos (30, 60 y 90 minutos) y a diferentes concentraciones de óxido de calcio (40, 80, y 120 g/L). Se empleó el espectrofotómetro de absorción atómica a la llama para determinar las concentraciones de hierro y cobre antes y después del tratamiento, además se usó el ph-metro para medir el pH de las muestras. Según los resultados obtenidos, la cantidad de cal adecuada debe ser 80 gramos por litro de efluente en un tiempo de agitación de 90 minutos de tratamiento, porque se logra una buena remoción y se cumple con la normativa ambiental vigente de acuerdo al decreto supremo N° 010-2010-MINAM.

Finalmente, en los resultados obtenidos se evidenciaron la influencia del tiempo de agitación y del pH en la remoción de los metales pesados antes mencionados. Dado que, a medida que el pH y el tiempo de agitación se incrementa, disminuye la concentración de hierro y cobre.

Palabras claves: Remoción, drenaje ácido de mina, hierro, cobre y lechada de cal.

ABSTRACT

In the present research work was made the metering with lime to remove concentrations of iron and copper in the effluent of the company Mining San Simon, located in the village of Three Rivers, in the province of Santiago of Chuco – La Libertad. The effluent is characterized by an acid pH of an average value of 3.51 and an average concentration of iron and copper of 61.935 and 19.415 ppm respectively. The three samples taken from the mining effluent were 9 liters each, the experimental treatment was carried out at different times (30, 60 and 90 minutes) and at different concentrations of calcium oxide (40, 80, and 120 g/L). It was used the atomic absorption spectrophotometer to the flame to determine the concentrations of iron and copper before and after the treatment, in addition used the ph meter for measuring pH of ours. According to the results obtained, the amount of adequate lime must be 80 grams per liter of effluent into a stirring time of 90 minutes of treatment, because it achieves a good mine and complies with the environmental regulations in force according to Supreme Decree No. 010-2010-MINAM.

Finally, in the results obtained showed the influence of time of agitation and pH in the removal of heavy metals before mentioned. Given that as the pH and the stirring time increases, decreases the concentration of iron and copper.

Key words: Remove, Acid mine drainage, iron, copper and Cal grout.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Según NARBONA, (2003). Afirma "...en la actualidad el 50% de la población de los países en desarrollo está expuesta al peligro que representan las fuentes de agua contaminadas".

Por su parte OLÍAS, (2010). Afirma que los principales vertidos que contaminan el curso principal del río Odiel proceden de los lixiviados del Distrito Minero de Riotinto, la red fluvial del río Odiel se encuentra degradada por lixiviados ácidos generados en múltiples focos mineros repartidos a lo largo y ancho de su cuenca. Esta contaminación afecta por igual a las tres sub-cuencas que la componen (Oraque, Meca y Odiel) de manera que de 1149 km de cursos fluviales 427 km están contaminados (el 37% del total).

Según CALLA, (2010). Llegó a la conclusión que respecto a las fuentes de contaminación de los cursos de agua superficial, se ha obtenido que tanto la actividad minera como la existencia de pasivos ambientales mineros en la zona, son los dos factores principales que generan la alteración de la calidad del agua del río Rímac producto de la descarga de vertimientos mineros, drenajes ácidos de mina; así como la generación de lixiviados originados por la presencia de relaves y bocaminas dejadas por la antigua minería las que actualmente no vienen siendo manejadas por el Estado. Por su parte SUZAN, (2008). Afirmó que el DAM es la única preocupación ambiental más importante de la minería. Es un problema común en todos los países donde comenzó la minería antes de la promulgación de la legislación ambiental.

Por ello es que la contaminación por metales pesados del recurso hídrico en nuestro país es principalmente por la actividad minera. Esta actividad que realiza el hombre en nuestro territorio trae consigo efectos negativos significativos para el ambiente, dado que en la actualidad se está

contaminado un recurso valioso como es el agua con drenajes ácidos de mina no controlados.

El drenaje ácido de mina, si no se realiza ningún tratamiento previo antes de ser vertido a un cuerpo receptor, es muy probable que se contamine el agua superficial y subterránea, debido a la migración de los lixiviados tóxicos. Por ende, perjudica severamente la vida acuática de los ríos y la ecología de su entorno. Trayendo consigo efectos negativos como pérdida de cultivos, muerte de especies acuáticas, enfermedades y problemas sociales.

Es por eso que se puede apreciar los distintos casos de contaminación de cauces de ríos en nuestro país por mencionar algunos de ellos la contaminación del río Huallaga por fuentes de contaminación actuales y potenciales de las minas Pilar, Atacocha, San Miguel y Milpo que aportan sus drenajes ácidos de mina (DAM) a dicho río, aunque ya cuentan con un Programa de Adecuación Medio Ambiental (PAMA), sin embargo, esto no quiere decir que ya no contaminen el río Huallaga (NINA, 2008).

La región “La Libertad”, no es ajeno a las actividades mineras por lo que se deduce que nuestros ríos son alterados en cuanto a su calidad con esta actividad. Por mencionar algunas empresas formales dedicadas a la extracción de minerales en nuestra región son: En la provincia de Huamachuco (La Arena, El Toro), Santiago de Chuco (Barrick, San Simón, Comarsa y Quiruvilca) y Patáz (Poderosa, Horizonte y Marza). Cabe mencionar que en la región “La Libertad” se encuentran mineros informales como también los artesanales por lo que generan en sus actividades aguas ácidas y muchas veces son vertidos a cuerpos receptores sin ningún tratamiento.

En la localidad de Tres Ríos se encuentra la empresa minera San Simón que también no es ajena a la generación de aguas ácidas producto sus actividades diarias. Y su principal problema es el tratamiento de sus aguas residuales.

Actualmente el tratamiento que se realiza no es el adecuado para el cumplimiento de la normatividad vigente. En tal sentido el presente proyecto de investigación evaluó el efecto de la dosificación de cal en la remoción de hierro y cobre de la empresa minera antes mencionada.

1.2. Trabajos Previos

Según, DÍAZ (2013), En su tesis titulada “Tratamiento biológico como alternativa para disminuir el impacto ambiental ocasionado por el drenaje ácido, generado por la actividad minera en el Municipio de Marmato- Caldas”, tuvo como uno de sus objetivos, establecer alternativas de tratamiento biológico y químico como son los sistemas reductores de sulfato y productores de alcalinidad que permitan mitigar el impacto ambiental ocasionado por el drenaje ácido de la Mina Cascabel. En la que afirma que un tratamiento reductor y productor de alcalinidad es una buena alternativa para reducir el nivel de contaminación de las aguas residuales, ya que se logra el aumento de pH y la reducción en la concentración de metales como: aluminio, cobre y hierro.

Por su parte, VERDUGO (2013), en su tesis titulada “Remoción de iones sulfato y metales pesados desde soluciones acuosas que simulan aguas de mina usando mezcla de cal, silicatos nano-estructurados y policloruro de aluminio en una celda de flotación de aire disuelto”, teniendo como uno de sus objetivos “estudiar el efecto sobre la remoción de los iones sulfatos, de la presencia de los iones metálicos Cu (II) y Zn (II) en las soluciones acuosas a tratar”. En la que hizo mención en una de sus conclusiones, que la preparación de silicatos de calcio nano-

estructurados en base a soluciones de silicato de sodio y una fuente de ion Ca^{2+} es sencilla y muy eficiente, ya que poseen una gran área superficial, muy aptas para adsorber metales pesados y otras especies iónicas presentes en variados tipos de soluciones acuosas residuales industriales y de la minería.

De la misma manera mencionan CUCHIMAQUE, Carolina, Vargas, Yolanda y Ríos, Carlos (2013). En dicho trabajo de investigación titulado “Remoción de Fe y Mn en aguas naturales por adsorción-oxidación sobre clinoptilolita”. Se empleó como medio adsorbente a zeolita natural (clinoptilolita), por lo que concluyen que la remoción de dichos metales aumenta cuando se disminuye el caudal y cuando se aumenta la altura de la capa de zeolita. Además, menciona que los parámetros fisicoquímicos como el color y turbiedad reflejan la calidad de la remoción principalmente de Fe.

Así mismo, CARRERA [et.al] (2012). En la revista titulada “Sistemas Ambientales”. Mencionan en una de sus conclusiones que la alternativa viable para la remoción y reducción total de la concentración del hierro de la muestra residual obtenida de la compañía minera Autlán Unidad Molango es el tratamiento físico-químico empleando como coagulante $\text{Ca}(\text{OH})_2$, con una dosis de 110g/L. así mismo afirma que mostró una eficiencia mayor (91.36%) aún pH de 8.3.

Según BOCARDO Esteban y FERREIRA Rocha (2006). En la revista titulada “Precipitación de hierro (III) utilizando óxido de magnesio en lecho fluidizado”. Llegó a la siguiente conclusión, que el hierro ha sido eliminado con eficacia de una solución acuosa sintética ácida (pH=1), por precipitación con óxido de magnesio, en un reactor de lecho fluidizado, utilizando como agente precipitante magnesia cáustica de elevada pureza. Se han estudiado dos diferentes concentraciones de hierro en la solución (100 a 200 ppm) y dos diferentes caudales de alimentación, 0,023 y 0,046 L/min. Se lograron alcanzar porcentajes de

eliminación de hierro superiores a 99 %, en relación a los valores de pH observados, variando entre 6 y 9.

De la misma manera se cuenta con antecedentes a nivel nacional en la que podemos destacar a los siguientes autores:

Según, INGA (2011). En su tesis titulada “Tratamiento de efluentes por el método de pantanos artificiales (wetland)”. Que tuvo como uno de sus objetivos, Seleccionar un sistema de tratamiento pasivo de las filtraciones de aguas ácidas generadas en la parte baja de las filtraciones del Botadero Norte de Tentadora (dique Desaguadero), en la Quebrada Desaguadero, cuyas aguas escurren hacia el río Ucumal. Logró determinar que las características mineralógicas de las rocas, juegan un papel determinante en la calidad y las características químicas. Las aguas que discurren de los botaderos con material de desmonte permiten tener aguas ácidas con distinto grado de contaminación por metales pesados.

Así mismo, CALLA (2010). En su tesis titulada “Calidad del agua en la cuenca del Río Rímac - Sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras”. Llegó a la conclusión que respecto a las fuentes de contaminación de los cursos de agua superficial, se ha obtenido que tanto la actividad minera como la existencia de pasivos ambientales mineros en la zona son los dos factores principales que generan la alteración de la calidad del agua del río Rímac producto de la descarga de vertimientos mineros, drenajes ácidos de mina; así como la generación de lixiviados originados por la presencia de relaves y bocaminas dejadas por la antigua minería las que actualmente no vienen siendo manejadas por el Estado.

Por su parte, ROMERO [Et.al] (2010). En la revista titulada “Tratamiento de efluentes de la industria minera con dolomita”, concluyen que la cinética de adsorción de cobre con dolomita en el sistema muestra que

existe reducción de la concentración de cobre. Puesto que la concentración inicial de cobre, cuyo valor es de 0.561 g/lit, disminuye cuando el sistema es sometido durante 10 minutos de agitación, cuya concentración de cobre tendrá un valor de 0.031 g/lit. En ese sentido, el valor del porcentaje de reducción de cobre es de 94,47%.

Finalmente, POLO (2011). En su informe titulado “La Contaminación Ambiental”. Menciona que a nivel local la contaminación ambiental se da por las diferentes causas que existen, una de ellas es la minería. Además, Huamachuco es una ciudad grande, posee ríos que a simple vista, parecen tener agua pura y limpia; pero se sabe que la minería informal y formal específicamente en el cerro “El Toro” es uno de los más grandes y principales causantes de toda la contaminación de Huamachuco y sus alrededores; se sabe que para procesar el mineral (oro) se necesita sustancias tóxicas como el cianuro, nitrato de plata, entre otros. Siendo el cianuro un reactivo tóxico que puede causar la muerte al instante; siendo muy peligroso para la vida del ser humano y el ambiente; pues, este proceso lo elaboran con agua de ríos los cuales quedan contaminados.

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Marco teórico

GRANADA Grisales, Natalia y ESCOBAR López, Daniel. (2012). Refiere que los metales como el hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn) y manganeso (Mn), son metales esenciales, ya que desempeñan un papel importante en la biología de los sistemas. Así mismo, los metales esenciales también pueden producir efectos tóxicos cuando la ingesta de estos es excesivamente elevada. La presencia en los recursos hídricos de metales pesados y sustancias orgánicas complejas, entre otras, han sido responsables de innumerables situaciones de impacto sobre el ecosistema acuático y la salud pública en general.

1.3.1.1. El origen de drenaje ácido de minas

Según, Terence S. McCarthy (2011). Define que la pirita se oxida en un proceso de dos etapas, primero la producción de ácido sulfúrico y sulfato ferroso y el segundo hidróxido férrico rojo anaranjado y más ácido sulfúrico. Sin embargo, durante la minería y la extracción de minerales, la masa de roca se fragmenta ampliamente, lo que aumenta drásticamente el área de superficie y por lo tanto la tasa de producción es ácido. Esto se debe a que las rocas quedan descubiertas y expuestas al aire y al contacto directo con el agua, produciendo como consecuencia el drenaje ácido de mina.

1.3.1.2. Descripción general de los metales pesados

El agua de los lagos, ríos y mares contienen pequeñas concentraciones naturales de metales pesados que son necesarios para el desarrollo de los organismos vivos y no resultan perjudiciales para el ecosistema. El problema surge cuando un aumento de la concentración natural de estos elementos, los convierte en sustancias tóxicas para los organismos y su acumulación en la cadena trófica puede volverlos también tóxicos para el hombre.

Por su parte, JIMENEZ (2012). Menciona que los metales pesados tienen tres vías principales de entrada en el medio acuático: Vía atmosférica, se produce debido a la sedimentación de partículas emitidas a la atmosfera por procesos naturales o antropogénicas. Vía terrestre, producto de filtraciones de vertidos o de la escorrentía superficial de terrenos contaminados (minas, lixiviación de residuos sólidos, entre otros) y otras causas naturales. Vía directa, debido a vertidos directos de aguas residuales industriales y urbanas a los cauces fluviales.

Así mismo, PÉREZ (2011), afirma que, los metales pesados son aquellos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua, entre los más conocidos se encuentran el Arsénico, Cadmio,

Cobalto, Cromo, Cobre, hierro, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc. La peligrosidad de los metales pesados se debe a que estos no pueden ser biodegradados ni degradados químicamente, una vez emitidos pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que el consumo de animales o plantas contaminadas puede causar síntomas de intoxicación. En general, lo que hace tóxicos a los metales pesados, no es su característica esencial, sino su concentración y la forma química en la que pueden encontrarse. Por otra parte, entre los factores que afectan la acumulación y disponibilidad de los metales pesados está el pH, este es un factor esencial debido a que la mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido, si el pH es alcalino puede bajar la toxicidad del metal por precipitación como carbonatos e hidróxidos. Para PLAZA (2012). Concluye que el pH influye considerablemente en la especiación de los metales pesados.

Los tratamientos químicos modifican la estructura química de los contaminantes con el fin de poder removerlos más fácilmente del agua residual. El tratamiento químico es relativamente fácil, pero genera lodos o sedimentos que deben ser manejados posteriormente.

Los tratamientos químicos más comúnmente usados son: precipitación, coagulación-floculación, oxidación química, desinfección, adsorción.

a) Precipitación: Es un proceso que consiste en la adición de reactivos con el propósito de que reaccionen con compuestos solubles específicos para formar compuestos en forma sólida que precipiten. En la remoción de contaminantes, son de importancia particular, la formación de carbonatos, fosfatos, sulfuros, hidróxidos y óxidos. La precipitación se produce de acuerdo con leyes químicas de la combinación de los reactivos y sus productos de solubilidad.

b) Coagulación-floculación: La coagulación es el proceso en el cual se añaden compuestos químicos a un agua residual para reducir las fuerzas de tensión que apartan a los sólidos suspendidos entre sí. Es el tratamiento esencial para la eliminación de sólidos suspendidos. En la coagulación, la desestabilización involucra la compresión de la doble capa eléctrica, la atracción electrostática, la formación de puentes interpartícula y el arrastre de flóculos.

La coagulación–floculación se realiza en dos etapas; en la primera las fuerzas interpartícula responsables de la estabilidad de los coloides son reducidas o anuladas por la adición de reactivos apropiados; en la segunda las colisiones entre partículas favorecen la formación de flóculos de mayor tamaño, estos son eliminados del agua por medios físicos como la sedimentación, flotación o filtración.

Sin embargo, algunos floculantes tienen desventajas como el alumbre (Sulfato de Aluminio) que incrementa los sulfatos en el agua y forma flóculos más difíciles de sedimentar y el hierro que aumenta la concentración de cloruros en el agua y causa problemas en pH ácido.

c) Oxidación química: La oxidación química en el tratamiento de agua es un método de modificación selectiva de sustancias orgánicas tóxicas.

El propósito de la oxidación en el tratamiento de aguas es convertir especies químicas no deseables en especies que no sean peligrosas o que no deterioren la calidad del agua. El nivel de oxidación deseado es determinante desde el punto de vista económico tanto por los reactivos oxidantes como por el diseño de unidades con el tamaño adecuado para alcanzar el tiempo de reacción necesario.

1.3.1.3. Tratamiento de las aguas ácidas

El tratamiento del drenaje ácido de mina (DAM) puede ser por métodos físicos, químicos y/o métodos biológicos, el modo y aplicación de procesos de tratamiento puede ser por neutralización - precipitación, siendo este método el más usado en la industria minera de tratamiento de DAM.

1.3.1.4. Sistemas de tratamiento activo

Este proceso comprende la neutralización del efluente ácido proveniente de las operaciones de minería y beneficio a través de la adición de álcalis tales como cal, piedra caliza, soda cáustica y carbonato de sodio, coagulantes inorgánicos y floculantes orgánicos, obteniéndose un agua tratada que cumple con los estándares de la legislación nacional y lodos de composición química muy estables.

La Neutralización/Precipitación con cal es el método más común y de mayor aceptación, la acidez es neutralizada; los metales y el SO_4^- son precipitados. La Cal se transforma de CaO o Ca(OH)_2 en CaSO_4 .

1.3.1.5. Etapas Comunes de los Sistemas activos (tratamiento con Cal)

a) Control de pH

-pH 8 sólo para Fe. Típicamente 9.0-9.5 para soluciones de varios metales pesados (Fe, Zn, Cu, Pb...).

b) Mezcla/retención

-Permite la disolución de la cal y la precipitación de los metales.

c) Aireación

Permite la oxigenación para acelerar la oxidación y pueda formar los hidróxidos con los diferentes metales presentes en la solución.

d) Sedimentación/Decantación

En esta etapa la separación del líquido y sólido se realiza mediante grandes equipos llamados espesadores, lo cual permite que los sólidos

decanten con la ayuda de un floculante que se adiciona en las cantidades requeridas para cada calidad de agua tratada.

e) Filtración

Siendo la última etapa, aquí el agua tratada deberá estar dentro de la calidad requerida; manteniendo los estándares establecidos para la clase III (riego y bebida de animales), según lo estipulan las normas y legislación vigente, INGA (2011). 17-21p.

f) Medidas de tratamiento activo

Las tecnologías de tratamiento activo son métodos industriales que incluyen, entre otros, los procesos de aireación, neutralización y precipitación de metales, sedimentación, procesos de membrana e intercambio iónico, eliminación biológica de sulfato, etc. A continuación se describen brevemente los procesos que están siendo más utilizados en la actualidad para el tratamiento de aguas ácidas de mina.

g) Neutralización

Consiste en la adición de una sustancia alcalina para la neutralización de la acidez del agua, así como de la acidez generada por la hidrólisis y precipitación de los metales disueltos con el ascenso del pH (sobretudo Fe^{3+} y Al^{3+}). Para BUSTAMANTE, Miguel y ANTICONA, Amado (2013), concluye que el pH, es un parámetro muy importante en el proceso de neutralización y coagulación (p 91).

Los compuestos que usualmente se utilizan para la neutralización del drenaje ácido de mina son los siguientes:

h) Hidróxido cálcico ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) o cal hidratada

Suele añadirse como una dispersión controlada de polvo en el agua (lodo de alta densidad) o como una lechada de cal. La neutralización con hidróxido cálcico en forma de lodo de alta densidad es el proceso más comúnmente utilizado por las empresas mineras para el tratamiento activo de los drenajes ácidos, dada su alta eficiencia y bajo volumen de residuos generados.

1.3.1.6. Fases minerales de hierro

Según OLÍAS (2010). A $\text{pH} < 2$ el Fe (III) solo precipita en forma de sulfatos al alcanzar la sobresaturación por intensos procesos de evaporación, pero cuando aumenta el pH precipitan otras fases minerales de hierro.

1.3.2. Marco Conceptual

Precipitación química: Consiste en la retención de metales pesados haciéndolos insolubles con la adición de lechada de cal, hidróxido sódico y otros compuestos que suben el pH.

Dosificación: La dosificación o aplicación de las sustancias químicas se efectúa mediante los dosificadores o dispositivos capaces de liberar cantidades prefijadas de productos químicos en una unidad que se debe liberar dentro de límites que caracterizan su capacidad.

Dosificador de cal: Es el proceso mediante el cual se va a producir la lechada de cal. En donde el agua se introduce en el dosificador que consta de un tanque donde se deposita la cal a ser disuelta. Seguidamente, se realiza una agitación del agua que contiene óxido de calcio. Además, se gradúa la dosificación mediante el ajuste del caudal de agua que se introduce en el dosificador, determinándose la concentración de cal presente a intervalos conveniente.

Preparación de la lechada de cal: Para los grandes sistemas de tratamiento se usa la cal viva, la cual debe hidratarse (apagarse) antes de su introducción al proceso como lechada de cal. De esta forma, la cal hidratada o apagada se disuelve incrementando el pH mediante el aporte de iones hidroxilos.

Cal: La cal es un óxido de calcio que se obtiene de la calcinación de rocas calizas, su proceso de elaboración consiste, explicado de forma general,

en hacer maleable un material que en su forma natural no lo es. Se inicia con la extracción de rocas calizas en las canteras, para posteriormente quemarlas, dando como resultado la cal viva. Ésta se mezcla con agua para obtener la cal apagada o hidratada y de esta forma darle el uso para el que esté destinada, (VLADIMIRA, 2009)

Las siguientes ecuaciones muestran las reacciones involucradas en el proceso de apagado y disolución de la cal.



Cobre: El cobre es un metal de color rojizo que se encuentra de manera natural, en las rocas, el agua, los sedimentos y muy poco en el aire, este presenta una densidad de 8.96g/cm³ con un punto de fusión de 1038°C y un punto de ebullición a los 2595 °C. (Lenntech, 2009). Citado por (Mendoza, 2010). Además, puede entrar al medio ambiente por medio de la liberación de las minas de Cu y de muchos otros metales, así como las fábricas que manufacturan o usan Cu metálico, o compuestos de cobre. También, puede encontrarse en el medio desde agua residual doméstica y combustibles fósiles. (ATSDR, 2004). Citado por (Mendoza, 2010).

VISCOSIDAD DE LA LECHADA: La viscosidad de la lechada de cal puede tener un gran cambio de un tipo de cal a otro. Así como también, las condiciones del proceso influyen considerablemente. Finalmente, la viscosidad de la lechada de cal tiene relación con las condiciones del proceso y por ende puede llegar a afectar el tiempo de sedimentación.

1.4. **Formulación del Problema**

¿Cuál es el efecto de la dosificación con cal en el efluente de la empresa minera San Simón para la remoción de hierro y cobre?

1.5. **Justificación del Estudio**

El presente trabajo se justifica porque se buscó probar a escala de laboratorio el efecto de la dosificación de cal en la remoción de hierro y

cobre del efluente de la empresa minera San Simón, dado que la cal como agente de neutralización aumenta el pH en un agua residual minera y además, como agente de precipitación ayuda a remover los metales pesados antes mencionados. Ya que en la actualidad el tratamiento que se le está dando no es el adecuado para que se cumpla con la legislación peruana en materia ambiental.

Este trabajo logró con la aplicación de la dosificación con óxido de calcio verificar y evaluar cuál es la influencia del pH y del tiempo de agitación en la neutralización y remoción de los metales pesados en el tratamiento del efluente de la empresa minera San Simón.

Los resultados del presente trabajo de investigación permiten para mejorar el tratamiento de estas aguas residuales.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

“La dosificación con cal en el efluente de la empresa minera San Simón tendrá un efecto positivo en la remoción de hierro y cobre”

1.7. Objetivos

1.7.1 General

Evaluar el efecto de la dosificación de cal en la remoción de hierro y cobre del efluente de la empresa minera San Simón.

1.7.2 Específicos

1. Determinar el pH y las concentraciones de hierro y cobre en el agua residual minera sin tratamiento.
2. Determinar el pH y las concentraciones de hierro y cobre en el agua residual tratada con diferentes concentraciones de cal.
3. Evaluar la influencia del tiempo de tratamiento, con la concentración de cal y pH que obtendrán mejor resultado de remoción de los metales.
4. Evaluar la influencia del pH en la neutralización y remoción de los metales.

II. MÉTODO

2.1. Diseño de investigación

El diseño que se usó en el presente proyecto de investigación fue un diseño experimental bifactorial, porque el modo de obtención de datos se realizó mediante manipulación de dos factores (sub variables independientes), obteniendo una combinación de los factores para formar los diferentes tratamientos, tal como se muestra a continuación.

Factor A: $a_1 a_2 a_3$

Factor B: $b_1 b_2 b_3$

Donde:

A: Representa la dosificación con Cal (g/L).

B: Representa los diferentes tiempos.

a, b = Representa los niveles de estudio.

Por lo tanto, al combinar ambos factores (A y B), se tiene:

$3 \times 3 = 9$ tratamientos que fue evaluados.

Estos tratamientos tuvieron 3 repeticiones, entonces el tamaño de muestra (N) que se analizó, se logró mediante la siguiente fórmula:

$$N = (A \times B) \times R$$

Donde:

N: Muestra.

A: Dosificación con Cal (g/L)

B: Tiempo (min)

R: 3 repeticiones

Por lo tanto, aplicando la formula se tiene:

$$N = (3 \times 3) \times 3 = 27 \text{ muestras}$$

Matriz de diseño de muestras

El diseño de muestra, fue un diseño bifactorial, con un total de 27 ensayos. Para ello se desarrolló la siguiente matriz de toma de datos:

Tabla N° 1.-Matriz de toma de datos factorial

Numero de réplicas: 3	Dosificación con Cal (g/L)			
	40	80	120	
Tiempo (min)	30	<i>AB_{a1b1}</i>	<i>AB_{a2b1}</i>	<i>AB_{a3b1}</i>
		<i>AB_{a1b1}</i>	<i>AB_{a2b1}</i>	<i>AB_{a3b1}</i>
		<i>AB_{a1b1}</i>	<i>AB_{a2b1}</i>	<i>AB_{a3b1}</i>
	60	<i>AB_{a1b2}</i>	<i>AB_{a2b2}</i>	<i>AB_{a3b2}</i>
		<i>AB_{a1b2}</i>	<i>AB_{a2b2}</i>	<i>AB_{a3b2}</i>
		<i>AB_{a1b2}</i>	<i>AB_{a2b2}</i>	<i>AB_{a3b2}</i>
	90	<i>AB_{a1b3}</i>	<i>AB_{a2b3}</i>	<i>AB_{a3b3}</i>
		<i>AB_{a1b3}</i>	<i>AB_{a2b3}</i>	<i>AB_{a3b3}</i>
		<i>AB_{a1b3}</i>	<i>AB_{a2b3}</i>	<i>AB_{a3b3}</i>

Fuente: Elaboración propia

Principales consideraciones y condiciones de tratamiento:

- Velocidad de agitación constante: 300rpm.
- Temperatura ambiente.
- Tamizado de la cal en malla para tener una granulometría uniforme.
- Tiempo de reposo: 30min.

2.2. Variables, Operacionalización

Variables

a) Variables Independientes:

Dosificación con cal:

-Concentración de óxido de calcio (cal)

-Tiempo de Agitación

b) Variable Dependiente:

Remoción de hierro y cobre

Tabla N° 2.-Operacionalización de Variables

Variables	Definición conceptual	Sub variables	Definición operacional	Indicadores	Escala de Medición
Dosificación con cal	Es el proceso mediante el cual se va a producir la lechada de cal. En donde el agua se introduce en el dosificador que consta de un tanque donde se deposita la cal a ser disuelta. Seguidamente, se realiza una agitación del agua que contiene óxido de calcio. “Los dosificadores gravimétricos pueden manejar partículas con mayor variación de tamaño de partículas” (LAZO, 2010)	Concentración de CaO	Cantidad en gramos de óxido de calcio utilizada para subir el pH del agua residual de mina.	[CaO]: 40 gramos, 80 gramos y 120 gramos. Registrado en balanza analítica.	Cuantitativa de razón
		Tiempo agitación	Se utilizó dispositivo agitador en diferentes tiempos.	Tiempo en el que se realizó la agitación: 30', 60' y 90'. Utilizando cronometro.	
Remoción de hierro y cobre	La remoción se entiende como la capacidad del sistema para eliminar parte de la concentración de contaminantes que se encuentra en el agua residual. (ROMERO, 2009)		Remoción de hierro y cobre del agua residual en mg/L.	Concentración de hierro y cobre inicial en mg/L. $\%R = \frac{[i]-[f]}{[i]} \times 100$ Donde: []i: inicial []f: final Concentración de hierro y cobre final en mg/L.	Cuantitativa de razón

2.3. Población y muestra

Población: La población es el agua residual del efluente de la empresa minera San Simón.

Muestra: La muestra total que se analizó fue 27 litros de agua residual 1L. Con la que se trabajó a nivel de laboratorio.

Unidad de análisis: Alícuota de 10 mL de la muestra.

Criterio de selección

Criterios de inclusión:

- Muestras de agua residual de mina con dosificación con cal 40, 80 y 120 gramos en tiempos 30, 60 y 90 minutos.
- Se dejó reposar por un promedio de 30 minutos para luego tomar la lectura y/o analizar dicha muestra.

Criterios de exclusión:

- Muestras con menor remoción de metales pesados.
- Muestras que presentaron presencia de materia orgánica y/o sólidos suspendidos.

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

Los datos que se obtuvieron de los 27 experimentos se trabajaron a nivel de laboratorio los equipos, materiales y reactivos necesarios para dicho proyecto se mencionan en la tabla N°3. Los datos que se obtuvieron fueron analizados de manera estadística usando el programa Microsoft Excel y SPSS, donde se ingresó la base de datos de los resultados obtenidos, para luego realizar tablas y figuras, luego proceder a analizar el comportamiento de cada variable. Esto permitió determinar si existe o no efecto de las variables a estudiar sobre la remoción del hierro y cobre.

Tabla N° 3.-Equipos, materiales y reactivos usados en el experimento.

EQUIPOS	MATERIALES	REACTIVOS
Espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer Analyst 300)	Hojas con formatos para el llenado de datos, libreta.	Ácido clorhídrico (HCl)
pH-metro	Pipetas graduadas	Ácido nítrico (HNO3)

Agitador magnético (SCIOLOGEX_modelo:MS7-H550-Pro)	Pizeta etiquetas identificación.	500ml, de	Solución de Fe y Cu (estándar)
Estufa	Vasos de 1000ml		Solución buffer
Cooler	Vasos de 50ml		Cal (CaO)
Cronómetro	Fiola de 100ml		Preservante
	Fiola de 50ml		Agua destilada
	Guantes quirúrgicos		
	Libreta de campo		

Fuente: Elaboración propia

2.5. Métodos de análisis de datos

Para determinar las concentraciones de los metales pesados se realizó mediante el método espectrofotométrico. El equipo que se usó es el espectrofotómetro de absorción atómica a la llama (ver procedimiento en APÉNDICE A y B). Y para determinar el pH se usó el pH metro. A continuación se muestra la tabla N°4 de la validación y confiabilidad de los instrumentos utilizados.

Tabla N° 4.-Validación y confiabilidad del instrumento

EQUIPO	MÉTODO/ VALIDACIÓN
Espectrofotómetro de absorción atómica a la llama	SMEWW APHA AWWA WEF, Part 3030F/3111B, 22nd Edition, 2012, Nitric Acid/Hydrochloric Acid Digestion/Direct Air/Acetylene Flame Method.
Ph Metro	Norma Metrológica Peruana 009.08.1999.
Agitador magnético	SCIOLOGEX_modelo:MS7-H550-Pro
Balanza Analítica	Norma Metrológica Peruana 003.12.2009.

Fuente: Elaboración propia

2.6. Aspectos éticos

En el presente proyecto de investigación se garantiza con resultados y datos confiables tomados de acuerdo a los instrumentos utilizados para dicha investigación. Así mismo, la información que se presenta en dicho estudio es auténtica y veraz, los autores que aportan a este estudio son debidamente citados teniendo en cuenta la Norma ISO 690.

III. RESULTADOS

Se logró determinar el pH y las concentraciones de hierro y cobre en el agua residual de mina usando como equipos principales el pH-metro y espectrofotómetro de absorción atómica a la llama.

Logrando obtener los resultados del análisis en las siguientes tablas que a continuación se detallan.

Tabla N° 5.-Concentración de hierro y pH en agua residual de mina sin tratamiento.

AGUA RESIDUAL SIN TRATAMIENTO					
Ion metálico	[ppm] Inicial	Promedio [ppm]	pH	Promedio	LMP (D.S. 010-2010-MINAM)
Fe	62.018	61.935	3.38	3.51	Fe pH
	61.992		3.55		2ppm 6-9
	61.795		3.60		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 5, se muestran los resultados producto de los análisis realizados en el agua residual de mina sin tratamiento para el parámetro hierro, en la que se logró obtener como concentración y pH promedio para hierro 61.935 ppm y 3.51 respectivamente. Sobrepasando los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero- metalúrgicas (D.S N° 010-2010-MINAM).

Tabla N° 6.-Concentración de cobre y pH en agua residual minera sin tratamiento.

AGUA RESIDUAL SIN TRATAMIENTO					
Ion metálico	[ppm] Inicial	Promedio [ppm]	pH	Promedio	LMP (D.S. 010-2010-MINAM)
Cu	19.528	19.415	3.38	3.51	Cu pH
	19.469		3.55		0.5ppm 6-9
	19.247		3.60		

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N° 6, se muestran los resultados producto de los análisis realizados en el agua residual de mina sin tratamiento para el parámetro cobre, por lo que se logró obtener como concentración y pH promedio para cobre 19.415 ppm y 3.51 respectivamente. Dichos resultados sobrepasan los LMP para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas (D.S. N° 10-2010-MINAM).

A continuación en las siguientes tablas se muestran los resultados de las concentraciones de hierro en el agua residual tratada con diferentes concentraciones de cal y en tiempos diferentes.

Tabla N° 7.-Concentraciones de hierro y pH en el agua residual tratada con diferentes concentraciones de cal y en diferentes tiempos

	Número de réplicas: 3	Dosificación con Cal (g/L)					
		40	pH	80	pH	120	pH
Tiempo (min)	30	34.638	5.93	18.234	7.78	3.698	12.01
		33.938	6.12	18.421	7.83	3.759	11.96
		34.541	6.07	18.339	7.81	3.764	11.83
	Promedio	34.372	6.04	18.331	7.81	3.740	11.93
	60	20.337	6.83	3.056	8.07	1.523	12.62
		20.243	6.92	3.101	8.21	1.575	12.34
		20.412	6.68	3.048	8.13	1.488	12.63
	Promedio	20.331	6.81	3.068	8.14	1.529	12.53
	90	17.023	7.61	0.932	8.97	0.017	12.85
		17.027	7.59	0.951	8.99	0.027	12.89
		17.041	7.35	0.897	8.95	0.011	12.87
	Promedio	17.030	7.52	0.927	8.97	0.018	12.87

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°7 de doble entrada, se logra observar la interacción del tiempo de agitación con los diferentes niveles de dosificación con cal. Como también, los valores de pH en cada nivel de estudio. Además se visualiza los promedios del pH y de las concentraciones de hierro trabajados en diferentes tiempos y cantidades de cal. Así mismo, se logra apreciar que en un tiempo de agitación de 90 minutos con una cantidad de 80 gramos de cal, se logra obtener una concentración promedio final de 0.927 ppm y un pH promedio 8.97, logrando cumplir con la normativa ambiental vigente.

Tabla N° 8.-Concentraciones de cobre y pH en el agua residual de mina tratada con diferentes concentraciones de cal y en diferentes tiempos.

	Número de réplicas: 3	Dosificación con Cal (g/L)					
		40	pH	80	pH	120	pH
Tiempo (min)	30	6.213	5.93	3.012	7.78	0.436	12.01
		6.189	6.12	3.103	7.83	0.576	11.96
		6.127	6.07	3.114	7.81	0.601	11.83
	Promedio	6.176	6.04	3.076	7.81	0.538	11.93
	60	6.034	6.83	1.529	8.07	0.378	12.62
		6.021	6.92	1.557	8.21	0.497	12.34
		6.053	6.68	1.498	8.13	0.472	12.63
	Promedio	6.036	6.81	1.528	8.14	0.449	12.53
	90	5.211	7.61	0.399	8.97	0.004	12.85
		5.235	7.59	0.340	8.99	0.006	12.89
		5.307	7.35	0.412	8.95	0.002	12.87
	Promedio	5.251	7.52	0.384	8.97	0.004	12.87

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°8 de doble entrada, se observan la interacción de los diferentes tiempos de agitación con los diferentes niveles de dosificación con cal. Como también, los valores de pH en cada nivel de estudio. Además se visualiza los promedios del pH y de las concentraciones de cobre trabajados en diferentes tiempos y cantidades de cal. Así mismo, se logra apreciar que en un tiempo de agitación de 90 minutos con una cantidad de 80 gramos de cal, se logra obtener una concentración promedio final de 0.384 ppm y un pH promedio 8.97, logrando cumplir con los límites máximos permisibles para este tipo de efluentes mineros.

Eficiencia de remoción de hierro y cobre

La eficiencia de remoción de hierro y cobre se ha calculado mediante la fórmula que a continuación se muestra:

$$\%Remoción = \frac{[]i - []f}{[]i} \times 100$$

Donde:

[]i= Concentración inicial

[]f= Concentración final

Luego, usando la fórmula se procedió a realizar los cálculos que se muestran en el Apéndice C y D respectivamente y en las tablas N° 9 y 10.

Tabla N° 9.-Eficiencia de remoción para el parámetro hierro en diferentes tiempos y concentraciones de cal.

	Número de repeticiones: 3	%de remoción		
		40g/L	80g/L	120g/L
Tiempo (min)	30	44.148	70.599	94.037
		45.254	70.285	93.936
		44.104	70.323	93.909
	Promedio	44.502	70.402	93.961
	60	67.208	95.072	97.544
		67.346	94.998	97.459
		66.968	95.068	97.592
	Promedio	67.174	95.046	97.532
	90	72.552	98.497	99.973
		72.534	98.466	99.956
		72.423	98.548	99.982
	Promedio	72.503	98.504	99.970

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°9, Se visualiza el cálculo de la eficiencia de remoción para el parámetro hierro. Logrando una eficiencia máxima promedio de remoción de **99.970%** en un tiempo de 90 minutos con una concentración de 120 g de cal/L.

Tabla N° 10.-Eficiencia de remoción para el parámetro cobre en diferentes tiempos y concentraciones de cal.

	Número de repeticiones: 3	%de remoción		
		40g/L	80g/L	120g/L
Tiempo (min)	30	68.184	84.576	97.767
		68.211	84.062	97.041
		68.166	83.821	96.877
	Promedio	68.187	84.153	97.229
	60	69.101	92.170	98.064
		69.074	92.003	97.447
		68.551	92.217	97.548
	Promedio	68.909	92.130	97.686
	90	73.315	97.957	99.980
		73.111	98.254	99.969
		72.427	97.859	99.990
	Promedio	72.951	98.023	99.979

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°10, Se visualiza el cálculo de la eficiencia de remoción para el parámetro cobre. Donde se puede observar que la eficiencia máxima promedio de remoción que se obtuvo fue de **99.979%** en un tiempo de

90 minutos con una concentración de 120 g de cal/ L. A continuación se muestra la figura N°1 la mejor cantidad de cal 80g, en tres tiempos diferentes (30, 60 y 90 minutos).

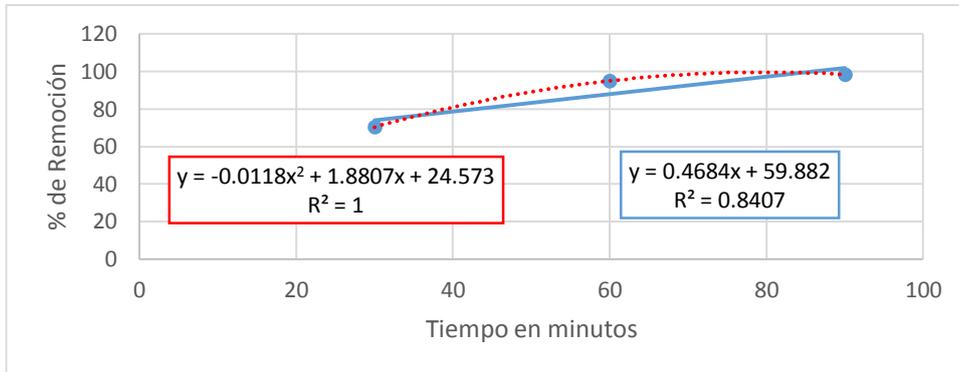


Figura N° 1.-Tiempo de agitación vs porcentaje de remoción de hierro

Fuente: Elaboración propia

En la figura N°1, se muestra la relación entre el porcentaje de remoción de hierro y el tiempo de tratamiento (30, 60, 90 min) de la mejor cantidad de cal añadido, por la que dichos resultados se ajustan a una línea de tendencia polinómica de segundo orden.

En la figura N°2, se visualiza el porcentaje de remoción de cobre en función del tiempo de agitación (30, 60 y 90 min) con una dosificación constante de cal (80g). Además se observa un ajuste polinómico de segundo orden.

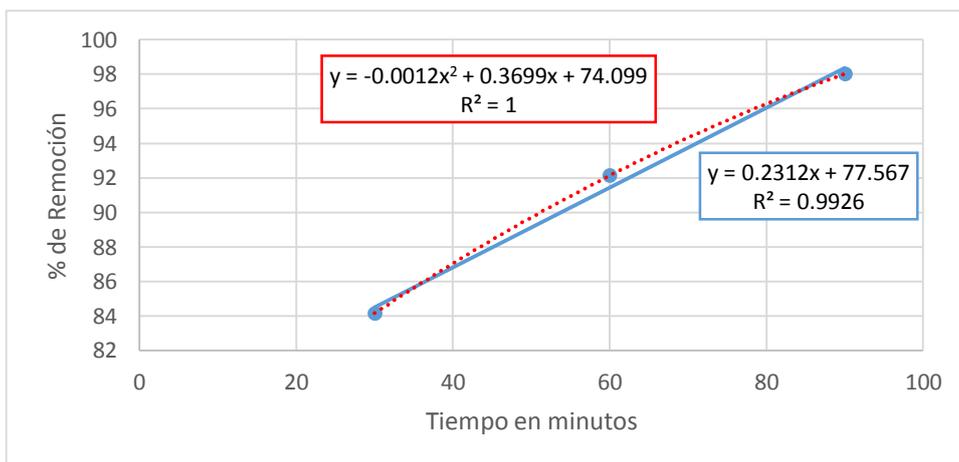


Figura N° 2.-Tiempo de agitación vs porcentaje de remoción de cobre.

Fuente: Elaboración propia

IV. DISCUSIÓN

En la presente investigación se realizó la dosificación de cal al agua ácida de mina. Por lo que, en primer lugar se realizó un análisis antes de empezar con el tratamiento, la misma que se presenta en la tabla N° 5, en la que se logró determinar una concentración promedio de 61.935 ppm y un pH promedio 3.51 para el parámetro hierro, y para el parámetro cobre se puede observar en la tabla N°6, una concentración promedio de 19.415 ppm, resultados que sobrepasan los Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero- metalúrgicas (Decreto supremo N° 010-2010- MINAM). De la misma manera, BUSTAMANTE, Miguel y ANTICONA, Amado (2013), encontró concentraciones de hierro (985.4 ppm) y cobre (70.12 ppm) resultados que no cumplen con la normativa ambiental.

En la tabla N°7 y 8 respectivamente, se presentan las concentraciones de hierro y cobre, como también pH en el agua residual tratada con diferentes concentraciones de cal y en diferentes tiempos de agitación. Por lo que, se observó que a medida que se añade la cal en un agua ácida de mina en un tiempo de agitación determinado aumenta el pH, y por ende reduce la concentración de metales (hierro y cobre), porque la cal es un productor de alcalinidad y las concentraciones de metales está en función de la cantidad de cal añadido al tratamiento. Llegando a una misma conclusión con (DÍAZ, 2013), donde menciona que un tratamiento reductor y productor de alcalinidad es una buena alternativa para reducir el nivel de contaminación de las aguas residuales mineras, ya que se logra el aumento de pH y la reducción en la concentración de metales como: aluminio, cobre y hierro. Por otro lado, se puede apreciar que el pH es un parámetro muy importante en el proceso de neutralización llegando a una concordancia con BUSTAMANTE, Miguel y ANTICONA, Amado (2013).

Por otro lado, se puede apreciar en la tabla N° 7, que se logró cumplir con el parámetro hierro y pH de acuerdo a la normativa ambiental vigente, teniendo como resultado promedio final de 0.927 ppm y un pH promedio de 8.97. Con un tratamiento de 80 gramos de cal en un litro de agua ácida en un tiempo de agitación de 90 minutos, se logró obtener resultados que no sobrepasan los LMP vigente en donde contempla que para el parámetro hierro la concentración no debe sobre pasar de 2 ppm y el pH de estar entre el rango de 6-9.

En la tabla N° 8, se logra apreciar que en un tiempo de agitación de 90 minutos con una cantidad de 80 gramos de cal, se logra obtener una concentración promedio de cobre final de 0.384 ppm y un pH promedio 8.97, logrando cumplir con los LMP para este tipo de efluentes mineros.

En la tabla N°9, se visualiza los resultados de la eficiencia de remoción para el parámetro hierro en diferentes tiempos y concentraciones de cal, por lo que, la máxima eficiencia de remoción promedio que se obtuvo fue de 99.97% en un tiempo de 90 minutos y 120 g cal/L. Una eficiencia muy similar a la que obtuvieron BOCARDO y FERREIRA (2006), usando como agente precipitante óxido de magnesio, en un reactor de lecho fluidizado en la que lograron una eficiencia de remoción del 99% de hierro.

De la misma manera CARRERA A., Nichte Xchebelyax y DOMÍNGUEZ, Lucía (2012). Lograron obtener una eficiencia de remoción de hierro mayor a 91.36% usando como coagulante hidróxido de calcio, en una dosis de 110 g/l.

Por otro lado, en la tabla N°10, se logra visualizar el resultado de la eficiencia de remoción para el parámetro cobre en diferentes tiempos y concentraciones de cal. En la que se puede mencionar que en el parámetro cobre se logró obtener una remoción promedio máxima de 99.979 % en un tiempo de 90 minutos y una cantidad de 120 gramos de

cal, resultado de eficiencia de remoción mucho mayor a comparación de lo que logró obtener, Romero [et. al] (2010). Donde, utilizó como adsorbente a la dolomita para remover cobre un 94.47%. Puesto que la concentración inicial de cobre fue de 0.561 g/L, disminuye cuando el sistema es sometido durante 10 minutos de agitación, cuya concentración final de cobre obtuvo un valor de 0.031 g/L.

Con el tratamiento que se le ha dado se ha logrado una buena remoción de cobre y sobre todo cumpliendo con los Límites máximos permisibles establecido en la normativa ambiental. Sin embargo, para el parámetro pH el valor máximo promedio fue de 12.87 sobre pasando los LMP (D.S. 010-2010-minam). Ver tabla N°8. Sin embargo, la mejor eficiencia de remoción de cobre fue 98.023%, en un tiempo de 90 minutos y a 80 gramos de cal /L logrando cumplir con la normativa ambiental vigente. Teniendo como resultado final una concentración promedio de 0.384 ppm de cobre con un pH promedio de 8.97 (normativa 6-9).

Por otro lado en las figura N°1 y 2, se muestra la relación entre el porcentaje de remoción (hierro y cobre) y el tiempo de tratamiento (30, 60, 90 min) de la mejor cantidad de cal añadido (80 gramos en un litro de agua ácida), por lo que dichos resultados se adaptan a una línea de tendencia polinómica de segundo orden.

En el apéndice E, se presenta la parte estadística. Por lo que según la tabla N°11, donde se visualiza el análisis de varianza (ANOVA), permitió rechazar la hipótesis nula. Las hipótesis planteadas fueron: H0: El efecto de la dosificación de cal en la remoción de hierro y cobre del efluente de la empresa minera San Simón es igual.

H1: El efecto de la dosificación de cal en la remoción de hierro y cobre del efluente de la empresa minera San Simón es diferente.

Por otro lado, según los cálculos realizados mediante el Software SPSS, se logró determinar la varianza, los datos descriptivos, y la prueba de Post Hot.

V. CONCLUSIONES

- Se determinó el pH y las concentraciones de hierro y cobre en el agua residual minera de San Simón sin tratamiento, teniendo como resultado la concentración promedio inicial para hierro de 61.935 ppm y para cobre 19.415 ppm, además un pH promedio de 3.51 de tres muestreos tomados en el mismo punto del efluente.
- Se determinó el pH y las concentraciones de hierro y cobre en el agua residual tratada con concentraciones de cal a 40, 80 y 120 g/L. Luego de haber realizado los tres tratamientos en los tiempos de 30, 60 y 90 minutos. A una concentración de 120 g/L de cal y a un tiempo de 90 minutos las concentraciones promedio mínimas de hierro y cobre en el agua residual tratada fueron de 0.018 ppm y 0.004 ppm respectivamente (Tabla N°7 y 8). Y el pH promedio máximo que se logró fue de 12.87.
- Dado que, a más cantidad de cal añadido y tiempo de agitación, mayor es la eficiencia de remoción de hierro y cobre, como lo evidencian los resultados (Tabla N°9 y 10). Por lo que se puede concluir que el tiempo de agitación influye considerablemente en la eficiencia de remoción de los metales pesados. De tal manera que a 90 minutos y 120 g/L de cal se obtuvo una remoción promedio de 99.97 % y 99.98 % para el hierro y cobre respectivamente. Sin embargo, el pH obtenido es de 12.87. que sobrepasa los LMP. Por lo que la cantidad y tiempo suficiente para cumplir la normativa ambiental se describe en la primera recomendación.
- Se evaluó la influencia del pH en la neutralización y remoción de los metales pesados, en la que se concluye que la eficiencia de remoción de los metales pesados está estrictamente relacionado con el pH, ya que a medida que el pH es más ácido la concentración de hierro y cobre es mayor en la solución y viceversa.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda usar una cantidad de 80 gramos/L en un tiempo de 90 minutos para un tratamiento de dicha agua ácida. Dado que se logra tener una concentración para hierro de 0.927 ppm y 98.504 % de remoción y para cobre 0.384 ppm y 98.036% de remoción, con un pH 8.97 cumpliendo con la normativa ambiental de acuerdo al decreto supremo N° 010-2010-MINAM.

Se recomienda para futuras investigaciones realizar estudios sobre el tiempo de sedimentación de las partículas en suspensión al momento de realizado el tratamiento de la dosificación de cal de un efluente residual minero.

Se recomienda, realizar estudios de dosificación a un efluente de las mismas características usando diferentes tipos de coagulantes para luego hacer una comparación y determinar el mejor coagulante para el tratamiento de este tipo de agua residual.

Se recomienda evaluar el efecto de otras variables como por ejemplo los factores climáticos (la temperatura, humedad, precipitación, etc). Así mismo, tomar en cuenta diferentes tiempos de agitación.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUSTAMANTE Neciosup, Miguel A. y ANTICONA Ponce, Amado P. Tratamiento y control de drenaje ácido de una mina aurífera. Tesis (título profesional de ingeniero químico). Trujillo: UNT, facultad de ingeniería química, 2013. 91 p.

CALLA Llontop, Helen Jesús. Calidad del agua en la cuenca del Río Rímac - Sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras. Tesis (Magíster en Ciencias Ambientales con Mención en Desarrollo Sostenible en Minería y Recursos Energéticos). Lima: UNMSM, facultad de ingeniería geológica, minera, metalúrgica y geográfica, 2010. 253 p.

CARRERA A. , Nichte Xchebelyax y DOMÍNGUEZ, Lucía. Remoción de metales pesados por métodos fisicoquímicos presentes en agua proveniente de una industria minera. Sistemas Ambientales [en línea]. México: 2012, vol. 5, no. 1. [Fecha de consulta: 19 abril 2016]. Disponible en:

http://servicios.encb.ipn.mx/revistaisa/Vol.%205%20No.%201/Metales_PESADOS_MINA_Nichte.pdf

CUCHIMAQUE, Carolina, Vargas, Yolanda y Ríos, Carlos. Remoción de Fe y Mn en aguas naturales por adsorción-oxidación sobre clinoptilolita. [En línea]. Colombia: 2013-[Fecha de consulta: 20 de abril 2016]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n66/n66a03.pdf>

DÍAZ Álvarez, Johanna. Tratamiento biológico como alternativa para disminuir el impacto ambiental ocasionado por el drenaje ácido, generado por la actividad Minera en el Municipio de Marmato- Caldas. Tesis (Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente). Manizales: Universidad De Manizales, Maestría En Desarrollo Sostenible Y Medio Ambiente, 2013. 81 P.

GRANADA Grisales, Natalia y ESCOBAR López, Daniel. Análisis y cuantificación de metales pesados (pb, cd, ni y hg) en agua, sedimentos y bioacumulación en la especie rhandia wagne (barbudo) del río cauca en el municipio de la Virginia. Tesis (químico industrial). Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, Escuela de Tecnología Química Pereira, 2012. 4,9 p.

INGA Blancas, Elfri. "Tratamiento de efluentes por el método de pantanos artificiales (wetland)". Tesis (Maestro En Ciencias Con Mención: Minería Y Medio Ambiente). Lima-Perú: Universidad Nacional De Ingeniería, Facultad De Ingeniería Geológica, Minera Y Metalúrgica, 2011. 230p.

JIMENEZ Verdesoto, David. Cuantificación de metales pesados (Cadmio, Cromo, Niquel Y Plomo) en agua superficial, sedimentos y organismos (Crassostrea Columbiensis) Ostion de Mangle en el puente portete del Estero Salado. Tesis (Biólogo). Guayaquil-Ecuador: Universidad De Guayaquil, Escuela De Biología, 2012. 6 P.

LAZO Camposano, Roberto. Operaciones y procesos de Tratamiento de agua cruda para la obtención de agua potable. Lima- Perú: Universidad Nacional del Callao, 2010. 15p.

MENDOZA Díaz, Fernando. Determinación de metales pesados, Cd, Cr, Cu y Pb en farfantepenaeus aztecus (ives, 1891) colectados en la Laguna de Tampamachoco. Tesis (Maestro en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros). Tuxpan-Mexico: Universidad veracruzana, facultad de ciencias biológicas y agropecuarias, 2010. 11-12 P.

NARBONA Ruiz, Cristina. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo: Agua para todos, agua para la Vida. Primera publicación. [Paris]: UNESCO, 2003. 151p.

ISBN: 92-3-103881-8

NINA Chambe, Meyla. Evaluación de los métodos químicos y biogénico para el tratamiento de drenaje ácido de mina a escala de laboratorio. Tesis (Magíster en Ciencias Ambientales). Lima: UNMSM, Facultad de ingeniería geológica, minera, metalúrgica y geográfica, 2008. 5 p.

OLÍAS Álvarez, Manuel [et.al]. La Contaminación Minera De Los Ríos Tinto Y Odiel. Universidad de Huelva. Facultad de Ciencias Experimentales. España, 2010. 90, 127-130, 151, 153p.

Precipitación de hierro (III) utilizando óxido de magnesio en lecho fluidizado. Madrid, Revista de metalurgia: 42 (4): 270-278, Julio-Agosto 2006. ISSN: 0034-8570.

PÉREZ Díaz, José Pedro. Metales pesados y calidad agronómica del agua residual de la planta de tratamiento de la Uaaan. Tesis (Ingeniero Agrícola Y Ambiental). Saltillo, Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2011. 15-16p.

PLAZA Cazón, Josefina. Remoción de metales pesados empleando algas marinas. Tesis (Doctor en ingeniería química). Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de La Plata, 2012. 137p.

POLO SANDOVAL, Hailan Mayra. La Contaminación Ambiental. [Huamachuco]: Ing. Agroindustrial- Promoción: XI, 2011. 1p.

Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP). El Desarrollo Mundial del Agua de las Naciones Unidas. [París]: Unesco, 2009. 137 p.

Revista internacional de contaminación ambiental [En línea]. México: 2009- [Fecha de consulta: 16 de junio 2016]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000300004

Revista minera chilena [En línea]. Chile: 2008-[Fecha de consulta: 09 de mayo de 2016]. Disponible en: <http://www.mch.cl/reportajes/generando-ahorros-en-agua-y-energia/>

ROMERO, Alfonso, Flores, Silvana y Arévalo, Walter. Tratamiento de efluentes de la industria minera con dolomita. Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial. 13(1): 85-90. 2010. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 89p. ISSN: 1560-9146 (Impreso) / ISSN: 1810-9993 (Electrónico)

SOTO REGALADO, EDUARDO. [et.al]. Remoción de metales pesados en aguas residuales mediante agentes químicos. Abril-junio 2004. Vol VII. No.23. [fecha de consulta: 19 de abril 2016].

SUZAN Oelofse. "Emerging Issues Paper: Mine Water Pollution". EN: Mine Water Pollution - Acid Mine Decant, Effluent And Treatment: A Consideration Of Key Emerging Issues That May Impact The State Of The Environment. March 2008. 6p. ISBN NO: 978-0-9814178-5-1.

Terence S. McCarthy. The impact of acid mine drainage in South Africa. Art.Nº 712. 2011. 6p.

VERDUGO Gallegos, Luis Alberto. Remoción de iones sulfato y metales pesados desde soluciones acuosas que simulan aguas de mina usando mezcla de cal, silicatos nano-estructurados y policloruro de aluminio en una celda DAF". Tesis (químico). Santiago-Chile: Universidad De Chile, Facultad De Ciencias Químicas Y Farmacéuticas, 2013. 53p.

VLADIMIRA Palma, Linares. Historia de la producción de cal en el norte de la cuenca de México. Informe de investigación ciencias sociales. Vol.16. Nº3. Centro Universitario Tenancingo Universidad Autónoma del Estado de México. México, enero de 2009. 229p.

APÉNDICE

APÉNDICE A.- Pasos para el análisis con el espectrofotómetro de absorción atómica.

Para determinar la concentración de hierro y cobre presente en la muestra se realizó el siguiente procedimiento:

1. Se extrajo con una pipeta 10ml de 1000ml de muestra en un vaso de 50ml.
2. Se agregó 5ml de ácido nítrico, con el fin de que el ácido digiera la muestra.
3. Se ubicó en la estufa, por un promedio de media hora.
4. Se retiró de la estufa y se dejó enfriar.
5. Luego, se le agregó ácido clorhídrico 7.5 ml.
6. se pasó la muestra a una fiola de 100ml.
7. se aforó con agua destilada hasta los 100ml.
8. Se agitó dicha fiola, para que la muestra se homogenice.
9. Luego se llevó al equipo “espectrofotómetro de absorción atómica”, para medir las concentraciones de hierro y cobre.
10. Siempre teniendo en cuenta el estándar y el blanco.

Nota: El estándar fue de 5 ppm para hierro y cobre.

APÉNDICE B.- Manejo del equipo espectrofotómetro de absorción atómica a llama.

1. Al encender el equipo, se dejó calentar por un promedio de 15-30min. Con el fin de que el equipo se calibre y la lectura no tenga errores significativos.
2. Luego se eligió que parámetro primero se iba a medir (cada parámetro es independiente).

Nota:

Si la lectura es mayor que el estándar, se procede a diluir la muestra, basado en el siguiente procedimiento:

1. Se saca con una pipeta 2 ml de muestra que dio como resultado mayor que el estándar.
2. En una fiola de 50ml, se vacía.
3. Se afora hasta los 50ml con agua destilada.
4. Se agita para homogenizar la muestra.
5. Se vuelve a tomar lectura con la muestra nueva diluida.

Apéndice C.- Calculo de eficiencia de remoción de hierro

La eficiencia de remoción de hierro y cobre se ha calculado mediante la fórmula que a continuación se muestra:

$$\%Remoción = \frac{[]i - []f}{[]i} \times 100$$

Donde:

[]i= Concentración inicial

[]f= Concentración final

Tiempo de agitación 30 min, cantidad de cal 40gr.

$$1.-\%Remoción = \frac{62.018 - 34.638}{62.018} \times 100 = 44.148$$

$$2.-\%Remoción = \frac{61.992 - 33.938}{61.992} \times 100 = 45.254$$

$$3.-\%Remoción = \frac{61.795 - 34.541}{61.992} \times 100 = 44.104$$

Tiempo de agitación 30 min, cantidad de cal 80gr.

$$1.-\%Remoción = \frac{62.018 - 18.234}{62.018} \times 100 = 70.599$$

$$2.-\%Remoción = \frac{61.992 - 18.421}{61.992} \times 100 = 70.285$$

$$3.-\%Remoción = \frac{61.795 - 18.339}{61.992} \times 100 = 70.323$$

Tiempo de agitación 30 min, cantidad de cal 120gr.

$$1.-\%Remoción = \frac{62.018-3.698}{62.018} \times 100 = 94.037$$

$$2.-\%Remoción = \frac{61.992-3.759}{61.992} \times 100 = 93.936$$

$$3.-\%Remoción = \frac{61.795-3.764}{61.992} \times 100 = 93.909$$

Tiempo de agitación 60 min, cantidad de cal 40gr.

$$1.-\%Remoción = \frac{62.018-20.337}{62.018} \times 100 = 67.208$$

$$2.-\%Remoción = \frac{61.992-20.243}{61.992} \times 100 = 67.346$$

$$3.-\%Remoción = \frac{61.795-20.412}{61.992} \times 100 = 66.968$$

Tiempo de agitación 60 min, cantidad de cal 80gr.

$$1.-\%Remoción = \frac{62.018-3.056}{62.018} \times 100 = 95.072$$

$$2.-\%Remoción = \frac{61.992-3.101}{61.992} \times 100 = 94.998$$

$$3.-\%Remoción = \frac{61.795-3.048}{61.992} \times 100 = 95.068$$

Tiempo de agitación 60 min, cantidad de cal 120gr.

$$1.-\%Remoción = \frac{62.018-1.523}{62.018} \times 100 = 97.544$$

$$2.-\%Remoción = \frac{61.992-1.575}{61.992} \times 100 = 97.459$$

$$3.-\%Remoción = \frac{61.795-1.488}{61.992} \times 100 = 97.592$$

Tiempo de agitación 90 min, cantidad de cal 40gr.

$$1.-\%Remoción = \frac{62.018-17.023}{62.018} \times 100 = 72.552$$

$$2.-\%Remoción = \frac{61.992-17.027}{61.992} \times 100 = 72.534$$

$$3.-\%Remoción = \frac{61.795-17.041}{61.992} \times 100 = 72.423$$

Tiempo de agitación 90 min, cantidad de cal 80gr.

$$1.-\%Remoción = \frac{62.018-0.932}{62.018} \times 100 = 98.497$$

$$2.-\%Remoción = \frac{61.992-0.951}{61.992} \times 100 = 98.466$$

$$3.-\%Remoción = \frac{61.795-0.897}{61.992} \times 100 = 98.548$$

Tiempo de agitación 90 min, cantidad de cal 120gr.

$$1.-\%Remoción = \frac{62.018-0.017}{62.018} \times 100 = 99.973$$

$$2.-\%Remoción = \frac{61.992-0.027}{61.992} \times 100 = 99.956$$

$$3.-\%Remoción = \frac{61.795-0.011}{61.992} \times 100 = 99.982$$

Apéndice D.- Calculo de eficiencia de remoción de cobre

Tiempo de agitación 30 min, cantidad de cal 40gr.

$$1.-\%Remoción = \frac{19.528-6.213}{19.528} \times 100 = 68.184$$

$$2.-\%Remoción = \frac{19.469-6.189}{19.469} \times 100 = 68.211$$

$$3.-\%Remoción = \frac{19.247-6.127}{19.247} \times 100 = 68.166$$

Tiempo de agitación 30 min, cantidad de cal 80gr.

$$1.-\%Remoción = \frac{19.528-3.012}{19.528} \times 100 = 84.576$$

$$2.-\%Remoción = \frac{19.469-3.103}{19.469} \times 100 = 84.062$$

$$3.-\%Remoción = \frac{19.247-3.114}{19.247} \times 100 = 83.821$$

Tiempo de agitación 30 min, cantidad de cal 120gr.

$$1.-\%Remoción = \frac{19.528-0.436}{19.528} \times 100 = 97.767$$

$$2.-\%Remoción = \frac{19.469-0.576}{19.469} \times 100 = 97.041$$

$$3.-\%Remoción = \frac{19.247-0.601}{19.247} \times 100 = 96.877$$

Tiempo de agitación 60 min, cantidad de cal 40gr.

$$1.-\%Remoción = \frac{19.528-6.034}{19.528} \times 100 = 69.101$$

$$2.-\%Remoción = \frac{19.469-6.021}{19.469} \times 100 = 69.074$$

$$3.-\%Remoción = \frac{19.247-6.053}{19.247} \times 100 = 68.551$$

Tiempo de agitación 60 min, cantidad de cal 80gr.

$$1.-\%Remoción = \frac{19.528-1.529}{19.528} \times 100 = 92.170$$

$$2.-\%Remoción = \frac{19.469-1.557}{19.469} \times 100 = 92.003$$

$$3.-\%Remoción = \frac{19.247-1.498}{19.247} \times 100 = 92.217$$

Tiempo de agitación 60 min, cantidad de cal 120gr.

$$1.-\%Remoción = \frac{19.528-0.378}{19.528} \times 100 = 98.064$$

$$2.-\%Remoción = \frac{19.469-0.497}{19.469} \times 100 = 97.447$$

$$3.-\%Remoción = \frac{19.247-0.472}{19.247} \times 100 = 97.548$$

Tiempo de agitación 90 min, cantidad de cal 40gr.

$$1.-\%Remoción = \frac{19.528-5.211}{19.528} \times 100 = 73.315$$

$$2.-\%Remoción = \frac{19.469-5.235}{19.469} \times 100 = 73.111$$

$$3.-\%Remoción = \frac{19.247-5.307}{19.247} \times 100 = 72.427$$

Tiempo de agitación 90 min, cantidad de cal 80gr.

$$1.-\%Remoción = \frac{19.528-0.399}{19.528} \times 100 = 97.957$$

$$2.-\%Remoción = \frac{19.469-0.340}{19.469} \times 100 = 98.254$$

$$3.-\%Remoción = \frac{19.247-0.412}{19.247} \times 100 = 97.859$$

Tiempo de agitación 90 min, cantidad de cal 120gr.

$$1.-\%Remoción = \frac{19.528-0.004}{19.528} \times 100 = 99.980$$

$$2.-\%Remoción = \frac{19.469-0.006}{19.469} \times 100 = 99.969$$

$$3.-\%Remoción = \frac{19.247-0.002}{19.247} \times 100 = 99.990$$

APÉNDICE E.- Análisis estadístico

ANÁLISIS DE VARIANZA

a) Prueba de Hipótesis:

H0= El efecto de la dosificación de cal en la remoción de hierro y cobre del efluente de la empresa minera San Simón es igual.

H1: El efecto de la dosificación de cal en la remoción de hierro y cobre del efluente de la empresa minera San Simón es diferente.

b) Nivel de significancia: $\alpha=0.05$

c) Criterio de rechazo y aceptación:

-Si la significancia calculada, es < que el nivel de significancia (5%), que se trabajó, entonces se rechaza la hipótesis nula (H0: El efecto de la dosificación de cal en la remoción de hierro y cobre del efluente de la empresa minera San Simón es igual). Y se acepta la hipótesis alternativa (H1: El efecto de la dosificación de cal en la remoción de hierro y cobre del efluente de la empresa minera San Simón es diferente).

Tabla N° 11.-Análisis de Varianza, para el tiempo de agitación y la cantidad de cal en la remoción de hierro y cobre.

Origen	Variable dependiente	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	Remoción de Hierro	3452,450	8	431,556	23570,715	,000
	Remoción de Cobre	160,594	8	20,074	8193,072	,000
Interceptación	Remoción de Hierro	3289,942	1	3289,942	179689,887	,000
	Remoción de Cobre	183,176	1	183,176	74761,107	,000
Tiempo de Agitación	Remoción de Hierro	840,484	2	420,242	22952,760	,000
	Remoción de Cobre	8,678	2	4,339	1770,825	,000
Cantidad de Cal	Remoción de Hierro	2382,150	2	1191,075	65054,073	,000
	Remoción de Cobre	147,654	2	73,827	30131,604	,000
Tiempo de Agitación * Cantidad de Cal	Remoción de Hierro	229,816	4	57,454	3138,014	,000
	Remoción de Cobre	4,263	4	1,066	434,929	,000
Error	Remoción de Hierro	,330	18	,018		
	Remoción de Cobre	,044	18	,002		
Total	Remoción de Hierro	6742,721	27			
	Remoción de Cobre	343,814	27			
Total corregido	Remoción de Hierro	3452,779	26			
	Remoción de Cobre	160,638	26			

Fuente: Software SPSS

En la tabla N°11.- Se muestra el análisis de varianza (ANOVA), en la que va a permitir aceptar o rechazar la hipótesis nula. Por lo expuesto anteriormente, el “sig” (p calculado) es menor a 0.05, entonces se rechaza la hipótesis nula, por tanto se acepta la hipótesis alternativa (H1: El efecto de la dosificación de cal en la remoción de hierro del efluente de la empresa minera San Simón es diferente).

A continuación se muestra la tabla N°12, estadísticos descriptivos de las medias de los tratamientos realizados para la remoción de hierro y cobre.

1. Datos descriptivos

Tabla N° 12.-Estadísticos descriptivos de las medias de las variables dependientes e independientes.

Variables independientes: Tiempo de agitación y cantidad de cal					
Variable dependiente	Tiempo de Agitación	Cantidad de Cal	Media	Desviación estándar	N
Remoción de Hierro	30min.	40gr.	34,37233	,379258	3
		80gr.	18,33133	,093735	3
		120gr.	3,74033	,036747	3
		Total	18,81467	13,270448	9
	60min.	40gr.	20,33067	,084678	3
		80gr.	3,06833	,028572	3
		120gr.	1,52867	,043776	3
		Total	8,30922	9,040836	9
	90min.	40gr.	17,03033	,009452	3
		80gr.	,92667	,027392	3
		120gr.	,01833	,008083	3
		Total	5,99178	8,288268	9
	Total	40gr.	23,91111	7,977372	9
		80gr.	7,44211	8,219558	9
		120gr.	1,76244	1,621439	9
Total		11,03856	11,523854	27	

Remoción de Cobre	30min.	40gr.	6,17633	,044377	3
		80gr.	3,07633	,055985	3
		120gr.	,53767	,088929	3
		Total	3,26344	2,446309	9
	60min.	40gr.	6,03600	,016093	3
		80gr.	1,52800	,029513	3
		120gr.	,44900	,062746	3
		Total	2,67100	2,566881	9
	90min.	40gr.	5,25100	,049960	3
		80gr.	,38367	,038371	3
		120gr.	,00400	,002000	3
		Total	1,87956	2,534118	9
	Total	40gr.	5,82111	,433245	9
		80gr.	1,66267	1,170910	9
		120gr.	,33022	,253571	9
Total		2,60467	2,485636	27	

Fuente: Software SPSS.

2. Prueba de Post Hot

Tabla N° 13.-Prueba de Post Hot para remoción de hierro

		Remoción de Hierro			
	Tiempo de Agitación	N	Subconjunto		
			1	2	3
HSD Tukey	90min.	9	5,99178		
	60min.	9		8,30922	
	30min.	9			18,81467
	Sig.		1,000	1,000	1,000
Duncan	90min.	9	5,99178		
	60min.	9		8,30922	
	30min.	9			18,81467
	Sig.		1,000	1,000	1,000
Scheffe	90min.	9	5,99178		
	60min.	9		8,30922	
	30min.	9			18,81467
	Sig.		1,000	1,000	1,000

Fuente: Software SPSS.

En la tabla N° 13, se muestra la prueba de post hoc, en donde, se realiza una comparación con los tres autores (HDS de Tukey, Duncan y Scheffe). Por lo

que dichos autores antes mencionados concuerdan que la mejor remoción para hierro se da en un tiempo de agitación de 90 minutos.

Tabla N° 14.-Prueba de Post Hot para la remoción de Cobre

Remoción de Cobre					
	Tiempo de Agitación	N	Subconjunto		
			1	2	3
HSD	90min.	9	1,87956		
	60min.	9		2,67100	
	30min.	9			3,26344
	Sig.		1,000	1,000	1,000
Duncan	90min.	9	1,87956		
	60min.	9		2,67100	
	30min.	9			3,26344
	Sig.		1,000	1,000	1,000
Scheffe	90min.	9	1,87956		
	60min.	9		2,67100	
	30min.	9			3,26344
	Sig.		1,000	1,000	1,000

Fuente: Software SPSS.

En la tabla N° 14, se muestra la prueba de post hoc, en donde, se realiza una comparación con los tres autores (HDS de Tukey, Duncan y Scheffe). Por lo que dichos autores concuerdan que la mejor remoción para cobre se da en un tiempo de agitación de 90 minutos.

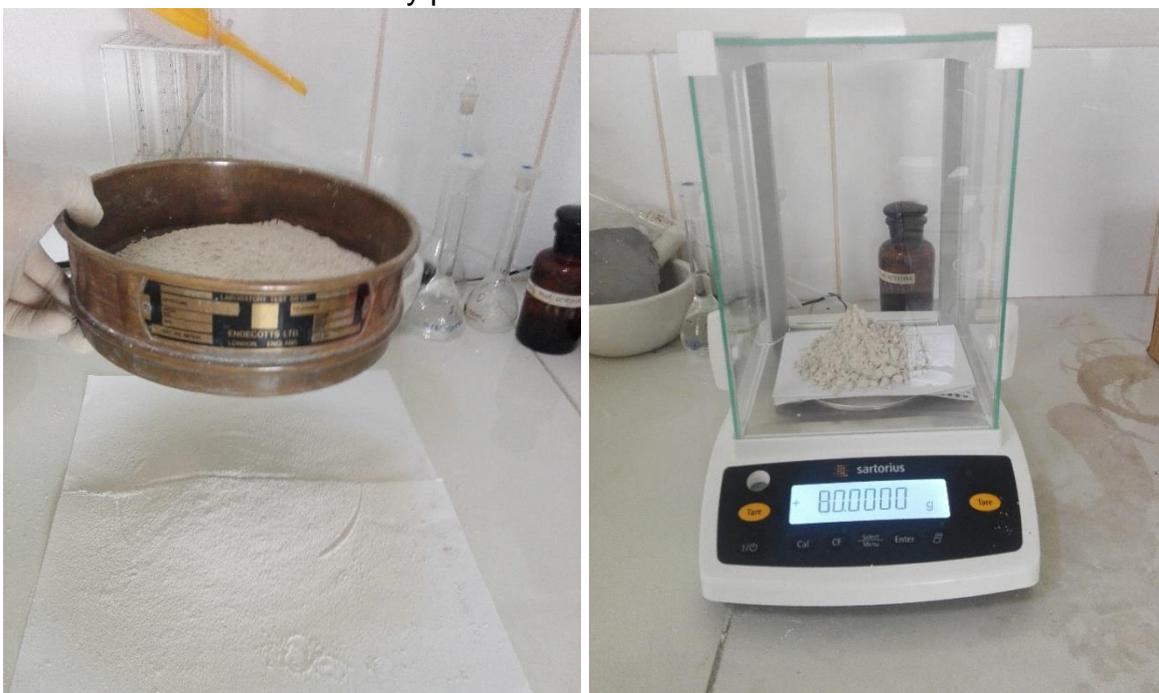
ANEXOS

Foto N° 1.- Equipo de laboratorio –pH-metro y espectrofotómetro de absorción atómica a la llama.



Fuente: Elaboración propia

Foto N°2.- Tamizado y peso de cal



Fuente: Elaboración propia

Foto N° 3.- Agitador magnético: agua ácida de mina y CaO.



Fuente: Elaboración propia

Foto N°4.- Muestra tratada con diferentes concentraciones de cal.



Fuente: Elaboración propia

Foto N°5.- Vaciado de muestra para tomar lectura (hierro y cobre).



Fuente: Elaboración propia

Foto N°6.- Estándar cobre a 5ppm.

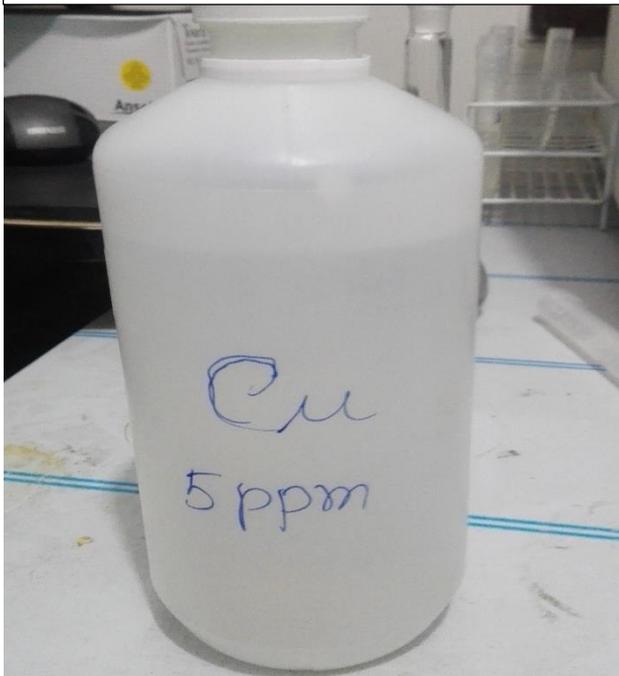


Foto N°7.- Estándar hierro a 5ppm.



Fuente: Elaboración propia

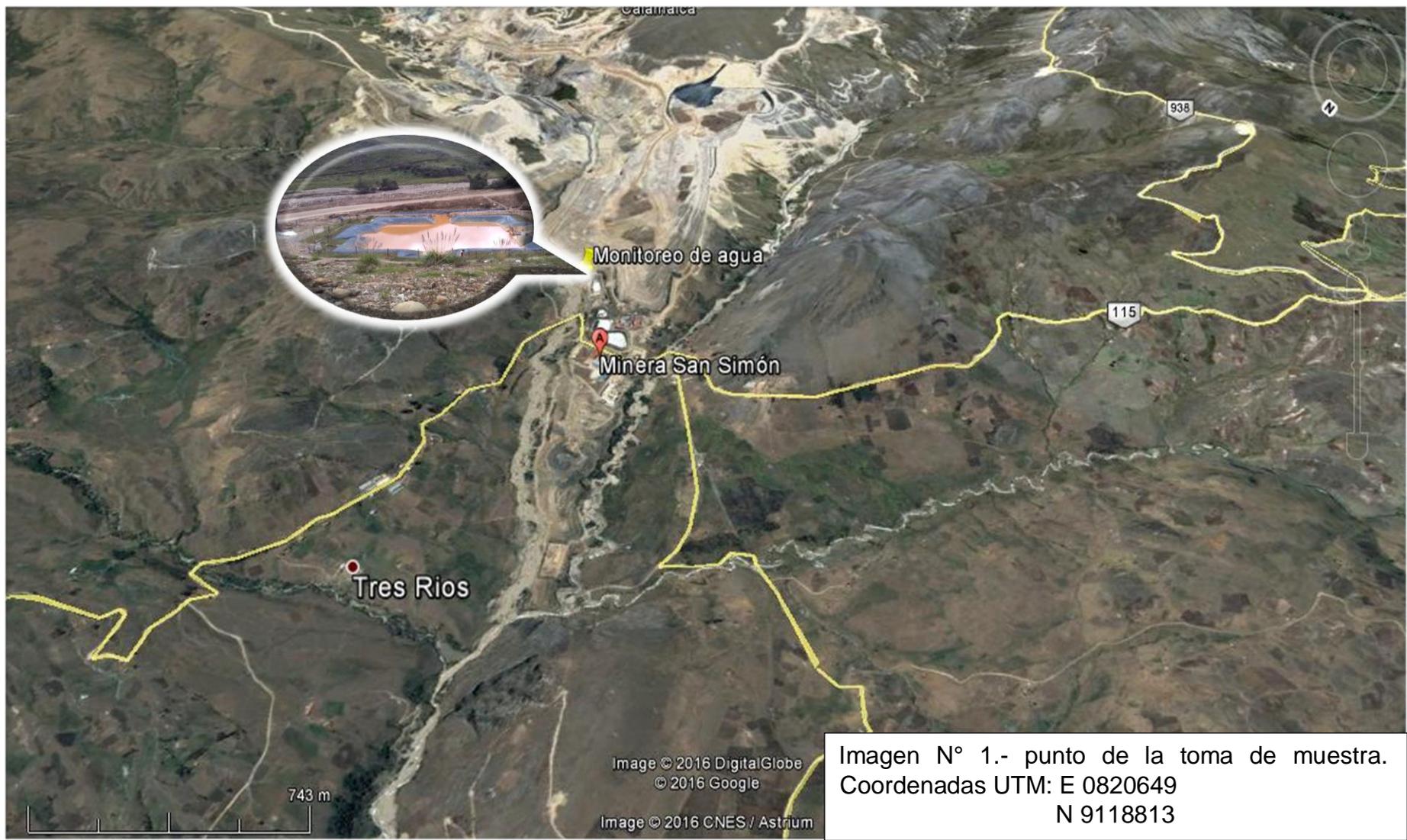


Imagen N° 1.- punto de la toma de muestra.
Coordenadas UTM: E 0820649
N 9118813

Fuente: Google Earth-2016

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS



RIVELAB - S.A.C.
LABORATORIO DE ANÁLISIS



INFORME DE ENSAYO N° 1014-2016-RIVELAB/FO

I. DATOS GENERALES:

SOLICITANTE	Humberto Lelis Barreto Baltazar
ENSAYO SOLICITADO	Concentración de Cobre y Hierro
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	
✓ MUESTRA	Agua Residual
✓ PROCEDENCIA	Tres Rios - Santiago de Chuco - La Libertad
✓ NUMERO DE MUESTRAS	27
✓ PRESENTACION/CANTIDAD	27 Muestras de 1.0 Litro en Botella de plástico
✓ Fecha de ingreso de la muestra	28 de Octubre del 2016
✓ Fecha de inicio de ensayos	28 de Octubre del 2016
✓ Fecha de término de ensayos	09 de Noviembre del 2016
✓ Coordenadas UTM del Muestreo	E 0820649 N 9118813

II. RESULTADOS:

ENSAYO FÍSICO- QUÍMICO

CUADRO DE ANÁLISIS DE HIERRO Y COBRE						
Fecha: 28/10/2016						
ION METÁLICO	[ppm] INICIAL	[ppm] FINAL	pH		MASA CAL AÑADIDO	TEMPO DE AGITACIÓN
[]	ppm	ppm	Inicial	Final	Gramos	min
Fe	62.018	34.638	3.38	5.93	40	30'
	62.018	18.234	3.38	7.78	80	30'
	62.018	3.698	3.38	12.01	120	30'
	62.018	20.337	3.38	6.83	40	60'
	62.018	3.056	3.38	8.07	80	60'
	62.018	1.523	3.38	12.62	120	60'
	62.018	17.023	3.38	7.61	40	90'
	62.018	0.932	3.38	8.97	80	90'
Cu	19.528	6.213	3.38	5.93	40	30'
	19.528	3.012	3.38	7.78	80	30'
	19.528	0.436	3.38	12.01	120	30'
	19.528	6.034	3.38	6.83	40	60'
	19.528	1.529	3.38	8.07	80	60'
	19.528	0.478	3.38	12.62	120	60'
	19.528	5.211	3.38	7.61	40	90'
	19.528	0.399	3.38	8.97	80	90'
19.528	0.004	3.38	12.85	120	90'	



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - CAL - ACEITE

Jr. Pizarro N° 137 - Oficina N° 108
Trujillo - Perú

rivelabperu@hotmail.com
joferime@hotmail.com

Cel. # 955805353
RPM: # 942101990
Fijo: 044 346297



CUADRO DE ANÁLISIS DE HIERRO Y COBRE						
Fecha:04/11/2016						
ION METÁLICO	[ppm] INICIAL	[ppm] FINAL	pH		MASA CAL AÑADIDO	TEMPO DE AGITACIÓN
[]	ppm	ppm	Inicial	Final	Gramos	min
Fe	61.992	33.938	3.55	6.12	40	30'
	61.992	18.421	3.55	7.83	80	30'
	61.992	3.759	3.55	11.96	120	30'
	61.992	20.243	3.55	6.92	40	60'
	61.992	3.101	3.55	8.21	80	60'
	61.992	1.575	3.55	12.34	120	60'
	61.992	17.027	3.55	7.59	40	90'
	61.992	0.951	3.55	8.99	80	90'
	61.992	0.027	3.55	12.89	120	90'
Cu	19.469	6.189	3.55	6.12	40	30'
	19.469	3.103	3.55	7.83	80	30'
	19.469	0.576	3.55	11.96	120	30'
	19.469	6.021	3.55	6.92	40	60'
	19.469	1.557	3.55	8.21	80	60'
	19.469	0.397	3.55	12.34	120	60'
	19.469	5.235	3.55	7.59	40	90'
	19.469	0.340	3.55	8.99	80	90'
	19.469	0.006	3.55	12.89	120	90'



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - CAL - ACEITE

Jr. Pizarro N° 137 - Oficina N° 108
Trujillo - Perú

rivelabperu@hotmail.com
joferime@hotmail.com

Cel. # 955805353
RPM: # 942101990
Fijo: 044 346297



CUADRO DE ANÁLISIS DE HIERRO Y COBRE						
Fecha:09/11/2016						
ION METÁLICO	[ppm] INICIAL	[ppm] FINAL	pH		MASA CAL AÑADIDO	TEMPO DE AGITACIÓN
			Inicial	Final		
[]	ppm	ppm			Gramos	min
Fe	61.795	34.541	3.60	6.07	40	30'
	61.795	18.339	3.60	7.81	80	30'
	61.795	3.764	3.60	11.83	120	30'
	61.795	20.412	3.60	6.68	40	60'
	61.795	3.048	3.60	8.13	80	60'
	61.795	1.488	3.60	12.63	120	60'
	61.795	17.041	3.60	7.35	40	90'
	61.795	0.897	3.60	8.95	80	90'
Cu	19.247	6.127	3.60	6.07	40	30'
	19.247	3.114	3.60	7.81	80	30'
	19.247	0.601	3.60	11.83	120	30'
	19.247	6.053	3.60	6.68	40	60'
	19.247	1.498	3.60	8.13	80	60'
	19.247	0.472	3.60	12.63	120	60'
	19.247	5.307	3.60	7.35	40	90'
	19.247	0.412	3.60	8.95	80	90'
	19.247	0.002	3.60	12.87	120	90'

*MÉTODO UTILIZADO
SMEWW APHA AWWA WEF, Part 3030F/3111B, 22nd Edition, 2012, Nitric Acid/Hydrochloric Acid Digestion/Direct Air/Acetylene Flame Method.

Trujillo, 10 de Noviembre del 2016


JOSE RIVERO CORCUERA
Ingeniero Químico
R. CIP. 20384



Informe N°1014-2016-RIVELAB páginas 3

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - CAL - ACEITE

Jr. Pizarro N° 137 - Oficina N° 108
Trujillo - Perú

rivelabperu@hotmail.com
joferime@hotmail.com

Cel. # 955805353
RPM: # 942101990
Fijo: 044 346297