



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“EVALUACIÓN TÉCNICA PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE POR CEMENTACIÓN CON CHATARRA DE HIERRO A PARTIR DEL DRENAJE ÁCIDO DE MINA DE LA BOCAMINA SAN LUIS EN MICHQUILLAY, CAJAMARCA 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Dennis Alexander Alvarado Guevara

Bach. Laksmi Nadine Leon Arribasplata

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo Alvarez León

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios por ser el pilar de todo mi existir y el guía en cada uno de los proyectos que emprendo.

A mis queridos padres quienes con su siempre constante apoyo durante todo el transcurso de mi carrera contribuyeron en mi formación académica y personal, por motivarme, por ser mi soporte, por sus enseñanzas y formar en mí una persona de bien.

Dennis Alexander

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr los objetivos trazados, además de su infinita bondad y amor. A mi padre Jorge León Chávez y a mi madre Alicia Arribasplata Huatay por su infinito apoyo que me brindaron en todo momento por la confianza que depositaron en mí y el enorme sacrificio que hicieron para cumplir esta meta, a mi hermana Vanessa Correa por apoyarme siempre incondicionalmente y brindarme sus consejos.

Laksmi Nadine

AGRADECIMIENTO

A Dios, por habernos dado fuerza y ganas de seguir superándonos profesionalmente para establecer objetivos, realizar metas y cumplir responsabilidades.

Agradecimiento especial a nuestra alma mater “Universidad Privada del Norte” a nuestros docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas por sus enseñanzas brindadas a lo largo de nuestra carrera y su franco apoyo e incondicional.

A nuestros padres por enseñarnos que la mejor herencia es la educación, por sus consejos, valores, motivación y amor.

Finalmente, a todas aquellas personas que nos ayudaron directamente e indirectamente.

Dennis y Laksmi

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	19
2.1. Tipo de investigación	19
2.2. Población y muestra	20
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	20
2.4. Procedimiento.....	21
2.5. Aspectos éticos	23
CAPÍTULO III. RESULTADOS	25
3.1. Contenido de cobre disuelto en las aguas del drenaje ácido de mina (DAM) del socavón San Luis ubicado en Michiquillay.....	25
3.2. Evaluación del tratamiento para la obtención del cobre por cementación con chatarra de hierro.....	26
3.3. Costos del tratamiento para la obtención del cobre por cementación con chatarra de hierro.	30
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	31
REFERENCIAS	34
ANEXOS	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resultados del análisis de agua	25
Tabla 2: Análisis del cemento de cobre	25
Tabla 3: Datos del hierro utilizado	27
Tabla 4: Resultados del análisis de cobre	28
Tabla 5: Resumen de costos operativos	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Precipitador de cono para la cementación de cobre utilizando hierro en partículas	14
Figura 2: Precipitador de cono para la cementación de cobre utilizando chatarra de hierro.....	14
Figura 3: Diagrama del agitador de precipitación.....	16
Figura 4: Esquema de procedimientos en campo.....	22
Figura 5: Esquema del proceso de producción de cemento de cobre.....	23
Figura 6: Gráfico del balance del flujo de materia.....	26

RESUMEN

La tesis tiene como objetivo principal evaluar técnicamente la recuperación del cobre por cementación con chatarra de hierro a partir del drenaje ácido de mina (DAM) de la bocamina San Luis en Michiquillay, con la realización pruebas experimentales a nivel de laboratorio. Luego de realizar las pruebas, se determinó que el 1 % Cu cementado se encuentra en el rango tal como lo indica en la teoría, de 85 – 90 %. El peso de hierro real W_{Fe} (Real) > peso de hierro teórico W_{Fe} (Teórico), lo cual indica, que en la práctica es necesario trabajar con un exceso de Fe, esto debido a que el oxígeno atmosférico contribuye a que se consuma Fe en exceso porque lo oxida directamente o puede producir iones Fe^{3+} que consumen Fe metálico, estableciendo la siguiente relación entre el hierro y el cobre, de 0.889 g de Fe por 1 g de Cu. Por último, se concluye que, según la evaluación de costos del tratamiento para la obtención del cobre por cementación con chatarra de hierro, el proceso es viable desde el punto económico, técnicamente es factible, no necesita un gran esfuerzo de investigación y desarrollo y el proceso es sensible al precio del cobre.

Palabras clave: Cementación de cobre, chatarra de hierro, DAM, pasivo ambiental.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La actividad minera ha formado parte de la economía cajamarquina desde el siglo XVIII, mencionando además que en esa época la explotación del recurso minero estaba bajo el control de las haciendas. En el caso de Michiquillay, el recuerdo del desarrollo de esta actividad se remonta a la existencia de los asentamientos mineros de la hacienda Combayo, que explotaba los yacimientos de cobre y plata dentro del territorio comunal en el sector llamado El Punre. La explotación minera en la zona tenía características muy diferentes a las de la minería en gran escala. Hasta la primera mitad del siglo XX, los asentamientos mineros eran propiedad de las familias de hacendados, en este caso los Santolalla. Esta familia explotaba, mediante técnicas artesanales, diversas minas de socavón ubicadas en el actual territorio de la comunidad. Después, fundían la plata y el cobre para llevarlos a otra de sus propiedades donde se acuñaban monedas (Deere, 1992).

A principios de la década de 1960 se descubrió un nuevo yacimiento minero de cobre con apreciables contenidos de oro y plata en el sector Michiquillay; lo que constituyó un momento clave dentro de la historia comunal. Hasta entonces, Michiquillay era un anexo de la comunidad campesina La Encañada. Cuando se descubre este yacimiento, una empresa estadounidense, American Smelting and Refining Company (ASARCO), compra los derechos de explotación que más adelante, en los años setenta, serían a su vez adquiridos por la empresa japonesa Michiquillay Copper Corp. Según lo que cuentan hoy los comuneros de Michiquillay, la comunidad La Encañada quería percibir los beneficios de esta empresa, el pago por la servidumbre y los puestos de trabajo, sin compartírselos debidamente con su anexo, por lo que, en 1963, el personero

legal decide inscribir a Michiquillay como comunidad campesina independiente de La Encañada (Deere, 1992).

De acuerdo con información recopilada por el personal de la Defensoría del Pueblo en Cajamarca encargado de hacer seguimiento al caso de Michiquillay, el yacimiento fue explotado por ASARCO entre 1959 y 1965 y, luego, por Michiquillay Copper Corp., entre 1972 y 1976. Después fue estatizado e incorporado como unidad de la Empresa Minera del Centro del Perú (CENTROMÍN) de propiedad estatal (Deere, 1992).

En el área del Proyecto Minero Michiquillay, distrito de La Encañada, en la provincia de Cajamarca, existen 15 pasivos ambientales mineros, correspondiente a drenajes ácidos, aceites y gasas industriales, bocaminas, caminos, campamentos, oficinas, talleres, desmontes de mina, plantas de procesamiento y relaves, que estarían afectando a la cuenca del Jequetepeque (Deere, 1992).

El presente trabajo de investigación se ha desarrollado en base al problema debido al agua ácida generada por el pasivo ambiental de la antigua mina Michiquillay que se forma en forma natural dentro de la bocamina San Luis, contiene metales pesados. Realizando pruebas experimentales a nivel de laboratorio acerca de la recuperación de cobre por diversos métodos permiten afirmar que existe la posibilidad de generar una oportunidad de recuperar el cobre por cementación con chatarra de hierro, a partir del drenaje ácido del socavón San Luis en Michiquillay, lo cual se ve reafirmado en el resumen de los reportes de monitoreo de calidad del agua desde el año 2009 al 2015 realizados por Anglo American Michiquillay S.A, en el punto WQW-04 efluente de bocamina en el sector Michiquillay “El túnel” (ver Anexo 4), los cuales indican un caudal promedio de 32.22 L/s y concentración de cobre promedio de 1.422 mg/L. Por

otro lado en el anexo 5 se presenta un resumen de los reportes de monitoreo de calidad del agua desde al año 2012 al 2018 realizados por la Dirección de Supervisión Ambiental de Energía y Minas – OEFA, que indican un caudal promedio de 36.20 L/s y concentración de cobre promedio de 1.667 mg/L. Estos valores de la concentración de cobre disuelto en el efluente de bocamina en el sector Michiquillay “El túnel”, exceden a lo establecido por los Límites Máximos Permisibles LMP, para descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas (con un valor de 0.5 ppm/D.S. N° 010-2010-MINAM), por lo que es necesario realizar tratamiento del agua previo al riego de vegetales y bebida de animales (Michiquillay, 2012)

El yacimiento Michiquillay tipo pórfido de cobre, presenta un recurso minero cuprífero de 1,048 Mt con una ley promedio de 0,64% Cu, hospedado en una roca dacita porfirítica de 2.5 km de ancho y 300 metros de altura, presentando contenido metálico de cobre, molibdeno, oro y plata (Centeno, 2014)

En el aspecto tecnológico relacionado a la metalurgia de la extracción de los metales a partir de los minerales con valor económico en soluciones acuosas, existen varias publicaciones relacionados al tema del presente trabajo de investigación, que a continuación citare los más importantes.

Según Suero (2012) en su tesis denominada “Optimización técnica y económica de la obtención del cemento de cobre a nivel de planta piloto”, cuyo objetivo principal fue determinar que el uso de la tecnología de precipitación de cobre oxidado, es una alternativa rentable para la pequeña minería. En la investigación se analizó el contenido

de cobre y fierro, asimismo usando los métodos de análisis con microscopía óptica se identificó los tipos de minerales existentes en la muestra, donde el contenido de fierro fue importante, porque esta sustancia también consumía ácido sulfúrico en la lixiviación. Se concluye que la recuperación de cobre llegó al 90% a nivel experimental y se mejoró en la planta de procesamiento, con la recirculación de los materiales tratados.

Espíritu (2018), en su trabajo de investigación denominado “Obtención del cemento de cobre mediante la adición de chatarra de hierro para la recuperación de cobre en Volcán compañía minera, unidad Paragsha - Pasco”. En esta investigación se realizaron pruebas experimentales a nivel de laboratorio realizadas por el área de investigaciones metalúrgicas, y cementación artesanal de cobre al interior de la mina. Los resultados permiten afirmar que existe la posibilidad de generar una oportunidad de negocio recuperando económicamente cobre por cementación con chatarra de hierro, a partir de las aguas ácidas de mina y del stock pile Pampa Seca. La investigación concluye que, el análisis del proceso de producción de cemento de cobre con chatarra de acero a partir del agua ácida, obtuvo una recuperación final del cobre del 75 % con 1 573.80 kilogramos procesados por día.

Según Tejada (2019), en su trabajo de investigación “Evaluación Experimental de la Cinética de cementación en soluciones ácidas de cobre” señala que, la producción de precipitado de cobre o cemento de cobre, es una tecnología conocida y sencilla a partir de minerales oxidados; se obtiene a partir de soluciones provenientes de lixiviación ácida de cobre, o soluciones ácidas de agua de mina, para obtener un producto

aceptable en su comercialización; debe tener características establecidas en sus impurezas; se requiere caracterizar el mineral oxidado, que se va a utilizar para obtener el precipitado de cobre; debe conocerse el contenido de hierro, carbonatos, y otras impurezas, para procesar a pequeña escala debe tener un contenido aceptable de cobre (ley de cabeza), que presente un tipo de mineralogía que facilite una buena recuperación o extracción de cobre.

El Drenaje Ácido de Minas (DAM) se produce por la oxidación de los sulfuros minerales principalmente pirita que quedan expuestos a las condiciones del ambiente por factores naturales como el afloramiento de yacimientos o la presencia de aguas subterráneas o antropogénicos como la recuperación de minerales (relaves mineros, depósitos de material extraído de mina), que se originan en la extracción de los minerales de interés económico (Zevallos, 2016).

Los procesos químicos de cementación de cobre se basan en los estudios realizados por Walther Nernst y otros científicos, sobre los potenciales electroquímicos, y los principios establecidos por Michael Faraday en procesos electroquímicos. La obtención de precipitado de cobre o cemento de cobre, es un método conocido y sencillo que se obtiene a partir de soluciones provenientes de lixiviación ácida de cobre, o drenajes ácidos de agua de mina, para obtener un producto aceptable en su comercialización; estas soluciones tienen características de impurezas establecidas previamente, determinados con análisis químicos, por tal motivo debe conocerse el contenido de hierro, carbonatos, y otras impurezas, para procesar a pequeña escala; debe tener un contenido aceptable de cobre. En el caso de la cementación de cobre

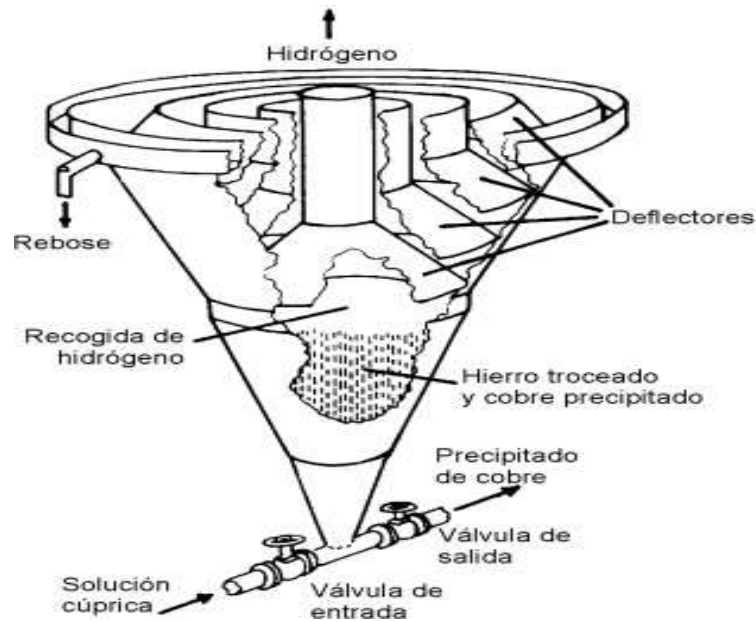
mediante fierro, junto al cobre coprecipitan el plomo, estaño, níquel y cobalto que se encuentran presentes en solución, contaminando el producto (Tejada, 2019).

La cementación es la precipitación de un metal desde una solución acuosa, que se produce por efecto de la presencia de otro metal. En este proceso el metal precipitado usualmente se deposita o "cementa" sobre el metal añadido. El proceso se basa en el potencial de electrodo que tengan los metales involucrados. El metal con potencial de electrodo más alto, tiene mayor tendencia a la oxidación, y pasará a la solución desplazando al metal que tenga un menor potencial positivo. Lo anterior ocurrirá de este modo siempre y cuando las soluciones sean diluidas y el ión del metal no se encuentre formando complejo. Cuando hay complejos involucrados, los datos de potencial de electrodo pueden cambiar drásticamente (Reyna & Rey, 2009).

La cementación del cobre con chatarra de hierro es una técnica muy utilizada en la industria minera de mediana y pequeña escala para recuperar el metal que se encuentra en las soluciones acuosas ricas provenientes de la lixiviación. La implementación de procesos de cementación requiere una inversión menor a la requerida para las plantas tradicionales de SX (extracción por solvente)-EW (electro obtención). No obstante, el uso de SX-EW es en la actualidad una operación muy utilizada, fundamentalmente porque no requiere de un proceso de fundición de cementos. Una vez obtenidas las soluciones de lixiviación ricas en cobre, éstas son sometidas al proceso de cementación con hierro haciendo uso de las técnicas y alternativas (Reyna & Rey, 2009)

Figura 1

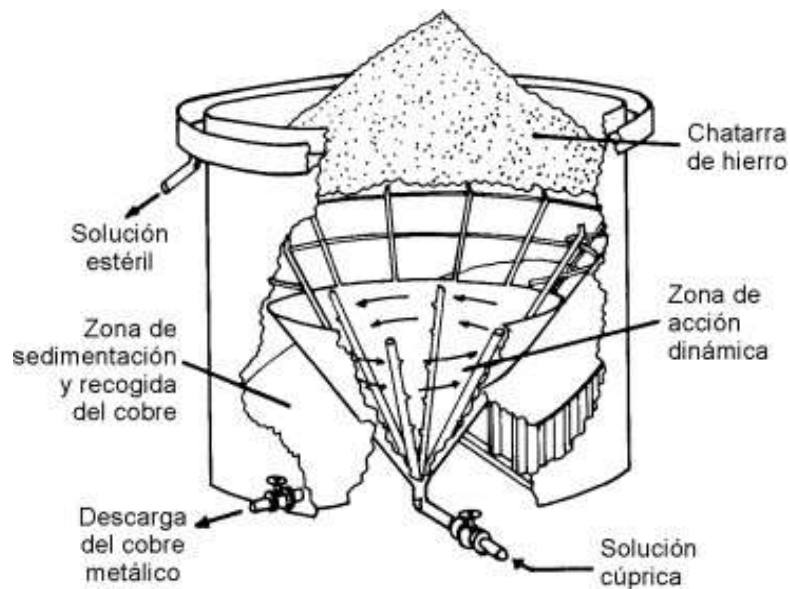
Precipitador de cono para la cementación de cobre utilizando hierro en partículas.



Fuente: Cementación (2015).

Figura 2

Precipitador de cono para la cementación de cobre utilizando chatarra de hierro.



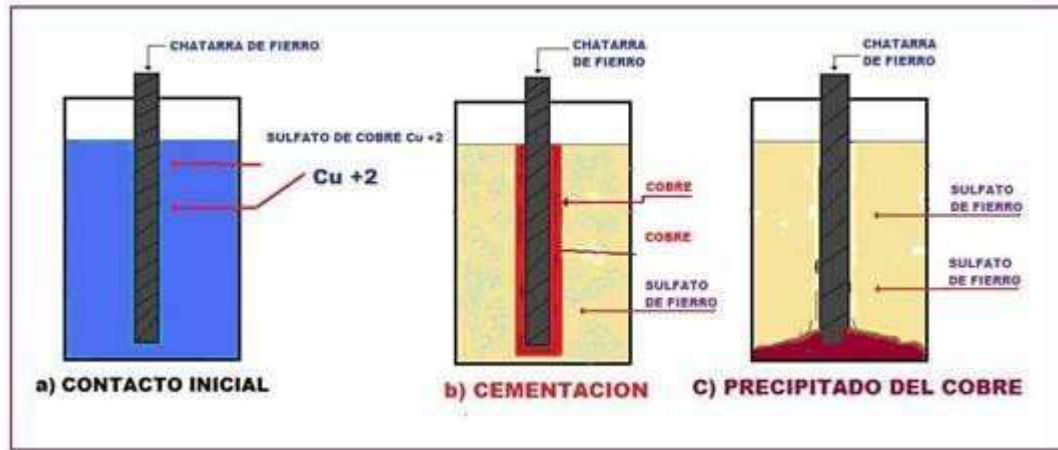
Fuente: Cementación, (2015).

En la reacción de cementación se transfieren electrones entre el hierro que se disuelve y el cobre que precipita. Esto hace que el cobre se deposite en la superficie del hierro en vez de permanecer en la solución. Por consiguiente, es necesario que las condiciones en el flujo de fluido y en la superficie del hierro sean las adecuadas para que el precipitado sea fácil de separar de la superficie de éste. Parece no haber una norma absoluta para la obtención de un depósito granular denso, pero parece que las altas velocidades del flujo de la solución a través del acero y los bordes pronunciados (aristas vivas) dan el mejor tipo de precipitación para su colección y transporte (Chambi, 2017).

Rojas (2019), indica que, la cementación es un proceso de precipitación química que permite retirar iones en solución agregando un reactivo precipitante. En el caso de iones metálicos disueltos la reacción se favorece agregando un metal más activo, según la serie electroquímica, como reactivo para formar un precipitado conocido como cemento. En este proceso el metal precipitado usualmente se deposita o "cementa" sobre el metal añadido causando una pasivación del material agregado para que se produzca la precipitación química. El proceso se basa en el potencial de electrodo que tengan los metales involucrados. El metal con potencial de electrodo más alto, tiene mayor tendencia a la oxidación, y pasará a la solución desplazando al metal que tenga un menor potencial positivo. La cementación del cobre con chatarra es una técnica muy utilizada en la industria minera de mediana y pequeña escala para recuperar el metal que se encuentra en las soluciones acuosas ricas provenientes de la lixiviación. Una vez obtenidas las soluciones de lixiviación ricas en cobre, éstas son sometidas al proceso de cementación con hierro.

Figura 3

Diagrama de la cementación con cobre



Fuente: Espíritu, 2018

Teóricamente, una libra de hierro precipitará 1.137 kg de cobre, mientras que en la práctica real de dos a tres veces esa cantidad es necesaria, especialmente si el hierro usado está muy oxidado. El Hierro esponja es generalmente más eficaz y a menudo el consumo es igual al peso de cobre precipitado. Impurezas en el hierro esponja reducen la calidad del cemento de cobre producido. El cemento de cobre normalmente tiene entre un 50 y un 90% de cobre. Recuperaciones de más del 97% del cobre en solución no es inusual. Las soluciones contienen cobre en el rango de 1 a 15 gpl. La solución rica se transfiere por lotes a uno de los dos agitadores de la precipitación en forma de chatarra de hierro en tamaño pequeño ha sido añadido sobre una parrilla. Después de llenar un agitador con la solución rica se pone éste en funcionamiento para mantener la solución en movimiento a través de la chatarra de hierro y promover la precipitación del cobre tan rápidamente como sea posible. Generalmente de 2 a 3 horas de agitación es suficiente para completar la reacción dependiendo de la fuerza del ácido y de otros

factores. La solución pobre se mantiene en el agitador hasta el cemento de cobre se asienta, luego se transfiere esta solución al tanque de solución pobre. El cemento de cobre puede ser retirado al final de cada ciclo o después de varios ciclos de funcionamiento (Espíritu, 2018).

La precipitación del cobre por el hierro en fase líquida ácida presenta las siguientes ventajas: la reacción se produce con gran rapidez, el precipitado puede separarse con facilidad sin contaminación, se puede reciclar la solución gastada final y proceder a devolverla a su estado reducido anterior con algún otro proceso sencillo, presenta una gran economía de espacio y de costos de operación. Como precaución debe mantenerse siempre alejado el ingreso de oxígeno al reactor de cementación, para evitar reacciones competitivas que reduzcan la efectividad del agente precipitante (Tejada, 2019).

1.2. Formulación del problema

¿Es posible recuperar cobre por cementación empleando chatarra de hierro del drenaje ácido de mina de la bocamina San Luis en Michiquillay, Cajamarca 2020?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar técnicamente la recuperación de cobre por cementación con chatarra de hierro del drenaje ácido de mina de la bocamina San Luis en Michiquillay.

1.3.2. Objetivos específicos

Determinar el contenido de cobre disuelto en el drenaje ácido de mina (DAM) de la bocamina San Luis en Michiquillay.

Evaluar el tratamiento para la obtención del cobre por cementación con chatarra de hierro.

Analizar los costos del tratamiento para la obtención del cobre por cementación con chatarra de hierro.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

El tratamiento del drenaje ácido de la bocamina San Luis en Michiquillay por cementación con chatarra de hierro permitirá recuperar entre 60% y 80% de cemento de cobre y al realizar la evaluación económica se determina que el proyecto es viable.

1.4.2. Hipótesis específicas

- De los resultados de los análisis químicos de laboratorio se determina que el contenido de cobre disuelto en el drenaje ácido de mina (DAM) de la bocamina San Luis en Michiquillay está entre 1000 y 3000 mg/L.
- El tratamiento propuesto consideraría un tanque alimentador, un reactor giratorio, una poza de decantación y una etapa de neutralización, lo cual permitirá recuperar cemento de cobre con una alimentación diaria aproximada de 500 m³/día de drenaje ácido de mina
- Al realizar el tratamiento del drenaje ácido por cementación con chatarra de hierro, el costo de operación aproximado es de 1.50 \$/m³

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El presente proyecto corresponde a una investigación Aplicada, del tipo Experimental a nivel de laboratorio, ya que los datos de las muestras tomadas en campo se analizaron mediante pruebas en laboratorio, donde la variable independiente es la evaluación técnica de la cementación con chatarra de hierro y la variable dependiente la recuperación de cobre y el costo de tratamiento.

Vargas (2009), nos indica que el tipo de investigación Aplicada es una forma de conocer las realidades con una prueba científica; requiere obligatoriamente de un marco teórico, sobre el cual se basará para generar una solución al problema específico que se quiera resolver, se centra en el análisis y solución de problemas de varias índoles de la vida real, así como también se nutre de avances científicos y se caracteriza por su interés en la aplicación de los conocimientos.

Según Paella y Martins, (2012) “El diseño experimental es aquel según el cual el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas. Su objetivo es describir de qué modo y porque causa se produce o puede producirse un fenómeno. Busca predecir el futuro, elaborar pronósticos que una vez confirmados, se convierten en leyes y generalizaciones tendentes a incrementar el cúmulo de conocimientos pedagógicos y el mejoramiento de la acción educativa” (p.86). Así mismo es a nivel de laboratorio, ya que las muestras tomadas en campo se analizaron y procesaron mediante pruebas en laboratorio.

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

Todos los drenajes ácidos de mina generados por los Pasivos ambientales ubicados en Michiquillay.

2.2.2. Muestra

100 litros de muestra del DAM generado en el Pasivo ambiental bocamina San Luis – Michiquillay (los litros de la muestra fueron calculados en base al número de pruebas).

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de recopilación de información fue la observación y el análisis documental.

Técnica de Observación

Se realizó la observación directa en campo, para reconocimiento del pasivo ambiental ubicado en Michiquillay, dónde se evidenció la generación de grandes cantidades de agua ácida que sale de la bocamina y perjudican a todos los ecosistemas alrededor de esta área.

Inicialmente se visitó la zona del pasivo ambiental para la recolección de muestras de agua, 100 litros aproximadamente en baldes de plástico para el análisis y pruebas en laboratorio. El agua ácida se almacenó en un tanque de alimentador el cual alimentó al reactor giratorio de cobre. La velocidad de este equipó fue de 15 rpm y su descarga del cemento fue por la periferia. El precipitado se almacenó en un depósito de decantación.

Análisis documental

Se investigaron los antecedentes previos de trabajos de investigación relacionados a la recuperación de cobre por cementación con chatarra de hierro, para lo cual se revisaron los diferentes repositorios de universidades y bibliotecas virtuales, con esta información se establecieron antecedentes que respalden el trabajo de investigación.

2.4. Procedimiento

La investigación se divide en tres etapas esenciales, las cuales son:

2.4.1 En gabinete

Se procedió a la revisión de antecedentes, estudios previos, realizados respecto al tema, en los diferentes ámbitos, tanto local, nacional como internacional, para lo cual se recurrió a los repositorios virtuales.

2.4.2 En campo

Se realizó el reconocimiento del pasivo de la bocamina San Luis, ubicado en Michiquillay para la recolección de muestras de agua. En la Figura 4 se muestra el esquema del procedimiento realizado en campo.

Figura 4

Esquema del procedimiento en campo

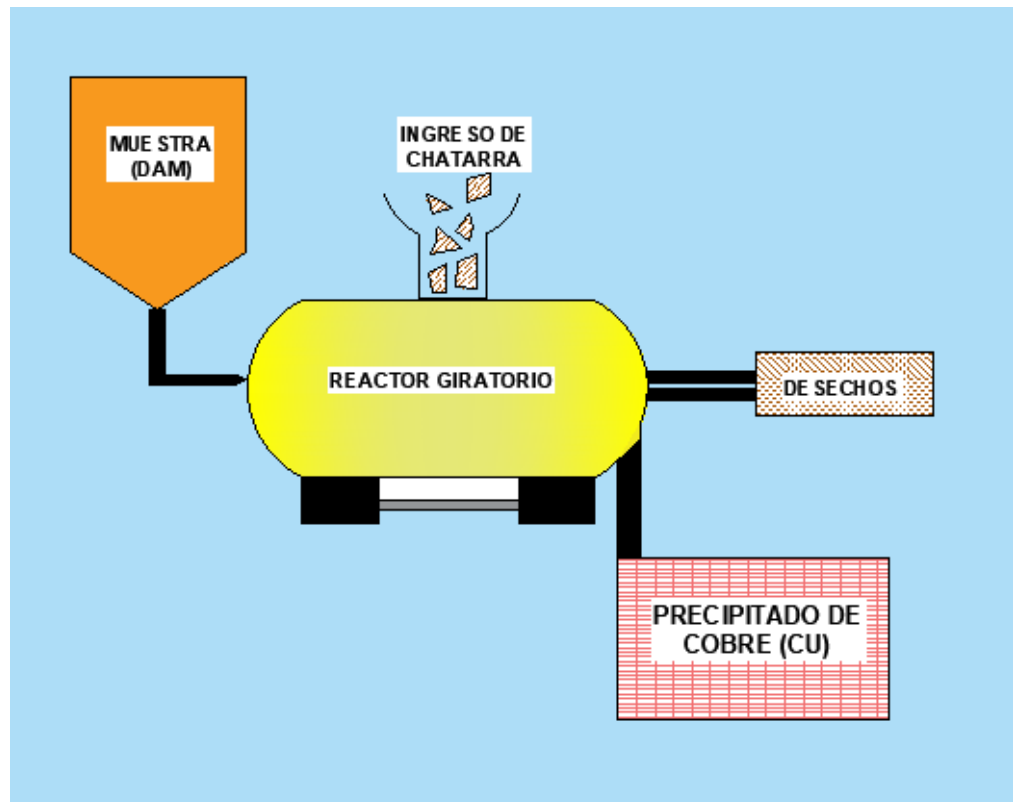


2.4.3 Pruebas de laboratorio

Con las muestras líquidas de DAM obtenidas en campo se envió una contra muestra a laboratorio químico para análisis de metales. Luego con 50 litros se procedió a realizar las pruebas experimentales de laboratorio en el tratamiento del drenaje ácido de mina con chatarra de hierro para la obtención del cobre, utilizando siguiente esquema:

Figura 5

Esquema del proceso de producción de cemento de cobre.



2.4.4 Análisis de datos

Los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio, fueron procesados y tabulados haciendo uso del programa Excel para almacenar y generar la base de datos de forma digital, esto facilitó la creación de tablas y gráficos para tener una mejor interpretación de los resultados finales.

2.5. Aspectos éticos

El presente trabajo se realizó, utilizando los formatos actualizados que maneja la Universidad Privada del Norte, por ello el investigador en primer lugar está sujeto a cumplir la normatividad institucional que rigen una investigación como derechos de autor; en segundo lugar, revelar las fuentes y hallazgos informativos considerados para

el presente trabajo; en tercer lugar, brindar información abierta y completa en beneficio de la comunidad científica, cuyos resultados serán mostrados y compartidos para nuevas y futuras investigaciones; en cuarto lugar, presentar un contenido entendible de todo el trabajo, recalcando metodología, análisis e interpretación de resultados. Finalmente, citar acorde a la norma APA, de manera correcta.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Contenido de cobre disuelto en las aguas del drenaje ácido de mina (DAM) del socavón San Luis ubicado en Michiquillay

Inicialmente se realizó el análisis químico de las muestras de agua obtenidas en el drenaje ácido.

Tabla 1

Resultados del análisis de agua.

Cabezas liquidas	Cu (mg/l)	Pb (mg/l)	Zn(mg/l)	Ag(mg/l)	Fe(mg/l)
San Luis	540.73	4.32	2801.39	0.02	39537.5

Fuente: Pruebas de laboratorio.

En los resultados de las pruebas obtenidas de laboratorio, se observa un total de 540.73 ppm para la concentración de Cobre. El cemento de cobre es la precipitación de cobre metálico con chatarra de acero sobre el agua ácida de cobre disuelto.

La resultante de este proceso es un cemento de cobre color marrón que contiene características comerciales, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2

Análisis del cemento de cobre

Sólidos	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Ag(g/TM)
Cemento de cobre	50	0.38	0.31	1.8

Fuente: Pruebas de laboratorio.

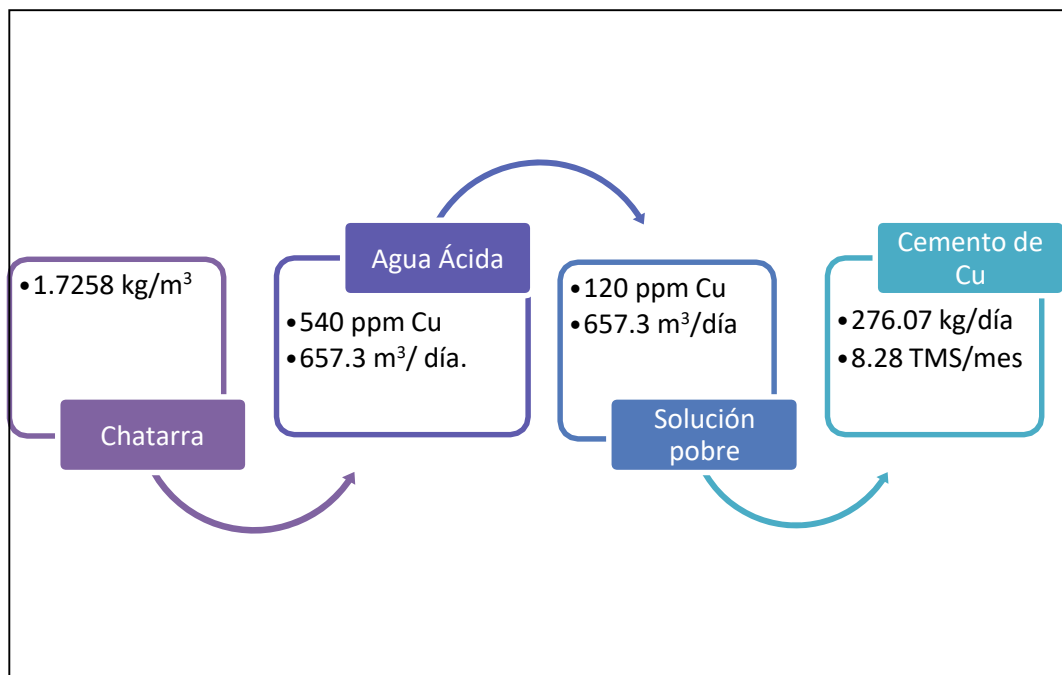
3.2. Evaluación del tratamiento para la obtención del cobre por cementación con chatarra de hierro

Como resultado de las pruebas se ha obtenido precipitado de cobre desde el agua ácida de la bocamina San Luis. El proceso general se muestra en la figura 6.

- El agua ácida se almacena en un tanque de alimentador el cual alimenta al reactor giratorio a razón de 120 ppm y 540 ppm de cobre. El reactor gira 15 rpm y su descarga del cemento es por la periferia.
- El precipitado se almacena en un depósito de decantación y luego se filtró con papel de filtro.

Figura 6

Gráfico del balance del flujo de materia.



3.2.1. Análisis de cobre

A continuación, se presentan los resultados y datos obtenidos en el análisis del cobre y chatarra de hierro.

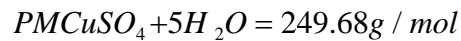
Tabla 3

Datos del hierro utilizado

Chatarra de hierro	W_o (g)	W_f (g)
01	52.798	45.647

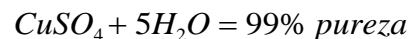
Fuente: Datos de laboratorio.

Pero:



$$\rho_{H_2SO_4} = 1.8364$$

$$V_{H_2SO_4} = 11 \text{ ml} \approx 20 \text{ g}$$



$$W_{CuSO_4 + 5H_2O} = 25 \text{ g} \quad \text{Temperatura} = 24^\circ \text{C}$$

$$pH = 0.9$$

$$W_{Cu, recuperado} = 7.236 \text{ g (pesado)}$$

Cálculo de ppm Cu^{2+} corregidos: (Por ley de dilución)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$\Rightarrow C_1 = \frac{2899.512 \times 1000}{900} = 3221.680 \text{ ppm } Cu^{2+} \quad (\text{para } t = 20 \text{ min y } V = 900 \text{ ml})$$

Análogamente determinamos para el resto de volúmenes.

3.2.2. Recuperación de cobre

Tabla 4

Resultados del análisis de cobre

Tiempo (minutos)	Volumen (ml)	gpl Cu ²⁺ (Laboratorio)	gpl Cu ²⁺ (corregido)
0	500	18.963	18.963
15	490	12.981	13.246
30	480	7.777	8.101
45	470	5.803	6.173
60	460	3.051	3.316

Fuente: Datos de laboratorio.

Se calculó el porcentaje de cobre cementado por el Fe en una hora.

- **% Cu (A partir de CuSO₄ + 5H₂O: Pureza = 99%)**

$$WCu = 25 \text{ g } CuSO_4 + 5H_2O \times (0.99) \left(\frac{63.54 \text{ g Cu}}{249.68 \text{ g } CuSO_4 + 5H_2O} \right)$$

$$WCu = 6.298 \text{ g (para 500 ml)}$$

Luego:

$$\begin{array}{r} 6.298 \text{ g} \quad \text{_____} \quad 1000 \text{ ml} \\ X \text{ g} \quad \text{_____} \quad 900 \text{ ml} \end{array}$$

$$WCu_{(inicial)} = X = 5.6691 \text{ g}$$

$$WCu, \text{ recuperado} = 4.869 \text{ g} = 4869 \text{ mg}$$

$$\% Cu = \frac{4.869}{5.6691} \times 100 = 85.9\%$$

- **%Cu (A partir de los datos del análisis)**

Sabemos que la concentración de cobre es de 6265.017 para 1000 ml, luego:

$$\begin{array}{r} 6265.017\text{ppm} \quad \text{_____} \quad 1000\text{ml} \\ X \quad \text{ppm} \quad \text{_____} \quad 900 \text{ ml} \end{array}$$

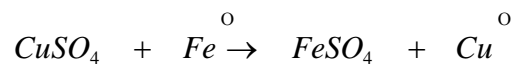
$$WCu = 5638.515 \text{ ppm}$$

$$\% Cu = \frac{4869}{5638.515} \times 100 = 86.4\%$$

Para el %Cu tomamos un promedio:

$$\% Cu = \frac{(85.9 + 86.4)}{2} = 86.2\%$$

- **Sea la reacción:**



$$\text{Consumo } Fe / Cu = 1 \text{ gCu} \times \frac{PM \text{ Fe}}{PM \text{ Cu}} = 1 \times \frac{55.85}{63.54}$$

(Teórico)

$$\text{Consumo } Fe / Cu = 0.879 \text{ gFe} / \text{gCu}$$

(Teórico)

- **Del análisis: (Peso total de Fe, utilizado para la cementación de cobre)**

$$WFe_{(L1)} = 47.558 - 45.118 = 2.44 \text{ g}$$

$$WFe_{(L2)} = 48.749 - 46.811 = 1.938 \text{ g}$$

$$W_{Fe(Total)} = 2.44 + 1.938 = 4.378 \text{ g (práctico)}$$

Cálculo de W_{Fe} por cada gramo de Cu:

$$\underset{\text{(Pr áctico)}}{\text{ConsumoFe/ Cu}} = \frac{4.378\text{gFe}}{4.869\text{gCu}}$$

$$\underset{\text{(Pr áctico)}}{\text{ConsumoFe/ Cu}} = 0.899\text{gFe / gCu}$$

Comparando los W_{Fe} , tanto práctico como teórico, tenemos que:

$$W_{Fe \text{ (Practico)}} > W_{Fe \text{ (Teórico)}}$$

3.3. Costos del tratamiento para la obtención del cobre por cementación con chatarra de hierro.

Para realizar la evaluación económica se considera una producción de 102 TMS de cobre anuales. Esta producción es lo que se va a tratar inicialmente en la planta luego se irá incrementando la producción del cemento de cobre mediante la chatarra de hierro.

Los costos de operación se calcularon considerando los costos directos e indirectos que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5

Resumen de costos operativos

Costo Total /Mes	\$	31780.2	Tratamiento	
Costo por TM tratada	\$/m ³	1.61	m ³	19720.22
Costo por Ton Cu producida	US \$/TM	3730.45		

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

A partir de los hallazgos encontrados, con la información doctrinada expuesta y la información descriptiva y analítica presentada se realizó el proceso de cementación de cobre del drenaje ácido de mina proveniente del pasivo Michiquillay, donde se obtuvo un cemento de 85% de cobre; sin embargo, el % de extracción no supera el 98%. Lo que pretende con estas pruebas es afirmar si existe la posibilidad de generar una oportunidad de negocio recuperando económicamente cobre por cementación con chatarra de hierro, a partir de las aguas ácidas. Lo cual permite apoyar lo señalado por Reyna & Rey (2009) quienes señalan en su trabajo de investigación lo siguiente “La cementación del cobre con chatarra es una técnica muy utilizada en la industria minera de mediana y pequeña escala para recuperar el metal que se encuentra en las soluciones acuosas ricas provenientes de la lixiviación. La implementación de procesos de sedimentación requiere una inversión menor a la requerida para las plantas tradicionales de SX (extracción por solvente)-EW (electro obtención). No obstante, el uso de SX-EW es en la actualidad una operación muy utilizada, fundamentalmente porque no requiere de un proceso de fundición de cementos. Una vez obtenidas las soluciones de lixiviación ricas en cobre, éstas son sometidas al proceso de cementación con hierro haciendo uso de las técnicas y alternativas”.

Según los resultados obtenidos de los cálculos y pruebas de laboratorio, para realizar el proceso de cementación de cobre haciendo uso de chatarra de hierro se obtuvo la siguiente relación, 0.889 g de Fe por 1 g de Cu. Este resultado nos permite refutar lo señalado por Espíritu (2018), en su trabajo de investigación denominado “Obtención

del cemento de cobre mediante la descomposición de chatarra de hierro para la recuperación de cobre en Volcán compañía minera, unidad Paragsha - Pasco” cuyo objetivo principal es realizar la obtención de cemento de cobre mediante la descomposición de chatarra de hierro para la recuperar el cobre en Volcán Compañía Minera, Unidad Paragsha. Concluyendo que, el análisis del proceso de producción de cemento de cobre con chatarra de acero a partir del agua ácida, obtuvo una recuperación final del cobre del 75 % con 1 573,80 kilogramos procesados por día; los insumos y suministros utilizados en la planta de cementación incluyen un total de chatarra de hierro con 3,5 kg /kg Cu.

4.2 Conclusiones

Se determinó el contenido de cobre disuelto en las aguas del drenaje ácido de mina (DAM) del socavón San Luis ubicado en Michiquillay, las leyes de cabeza de las aguas ácidas alimentadas a la planta piloto son de 540, 53 mg/l con respecto al cobre, en la muestra tomada a 200 m desde bocamina.

Se evaluó el tratamiento para la obtención del cobre por cementación con chatarra de hierro, el % Cu cementado se encuentra en el rango tal como lo indica en la teoría de 85 – 90 %. Se determina que $W_{Fe}(\text{Practico}) > W_{Fe}(\text{Teórico})$, lo cual nos indica que en la práctica es necesario trabajar con un exceso de Fe, esto debido a que el oxígeno atmosférico contribuye a que se consuma Fe en exceso porque lo oxida directamente o puede producir iones Fe^{3+} que consumen Fe metálico., estableciendo la siguiente relación entre el hierro y el cobre de 0.889 g de Fe por 1 g de Cu.

Se concluye que, según los análisis de costos del tratamiento para la obtención del cobre por cementación con chatarra de hierro, el proceso es viable desde el punto económico, técnicamente es factible, no necesita un gran esfuerzo de investigación y desarrollo y el proceso es sensible al precio del cobre.

Dentro de las limitaciones que se tuvieron para el desarrollo del trabajo de investigación, se encuentra en el proceso de toma de datos en campo, ya que, por las circunstancias actuales de pandemia en un inicio no se tuvo fácil el traslado y acceso a la zona de estudio.

REFERENCIAS

- Centeno, E. (2014). “*Optimización en la estimación de recursos y límite de explotación en el proyecto Michiquillay*”. (tesis pre gado). Universidad Nacional Jorge Basadre Gohmann. Tacna, Perú.
- Deere, Carmen Diana (1992). *Familia y relaciones de clase. El campesinado y los terratenientes en la sierra norte del Perú, 1900-1980*. Lima: IEP.
- Espíritu, M. (2018). “*Obtención del cemento de cobre mediante la descomposición de chatarra de hierro para la recuperación de cobre en Volcan compañía minera, unidad Paragsha -Pasco – 2018*”. (tesis pre gado). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Cerro de Paso, Perú.
- Lovera, D. et al. (2005). “Cinética de la reacción de cementación de cobre a partir de minerales sulfurados del complejo Marañón”. Revista del Instituto de Investigación FIGMMG. Vol. 8, N° 16: 44-50. Lima, Perú.
- Palella, S. & Martins, F. (2012). *Metodología de la investigación cuantitativa*, Florencia, Venezuela. Recuperado de <https://www.docsity.com/es/disenio-tipo-nivel-y-modalidad-de-palella-y-martins/2733947/>
- Rojas, F. (2019). “*Diseño y cálculo de un sistema motriz para un reactor rotativo para la cementación de cobre, en conjunto de una valorización del sistema*”. (tesis pre gado). Universidad Técnica Federico Santa María. Valparaíso, Chile.

- Suero, P. (2012). *“Optimización técnica y económica de la obtención del cemento de cobre a nivel de planta piloto”*. (tesis pre gado). Universidad Nacional del Callao. Callao, Perú.
- Tejada, F. (2019). *“Evaluación Experimental de la Cinética de cementación en soluciones ácidas de cobre”*. (tesis pre gado). Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.
- Vargas, R. (2009). La Investigación aplicada: *una forma de conocer las realidades con evidencia científica*. Vol. (33), p.161.

ANEXOS

Anexo N° 01: GALERÍA DE FOTOS



Foto 1. Tesistas en la poza de descarga del DAM de la bocamina San Luis



Foto 2. Tesistas alistando envases para el muestreo en el canal de descarga



Foto 3. Tesistas muestreando en el canal de descarga del DAM



Foto 4. Poza de descarga del DAM de la bocamina San Luis



Foto 5. Toma de muestras del segundo punto (salida de poza de descarga)



Foto 6. Muestras del segundo punto (salida de poza de descarga)



Foto 7. Pesando las limaduras de hierro

Anexo N° 02: Ubicación de los puntos de monitoreo de calidad del agua reportados por Anglo American Michiquillay (2009-2015) y SPCC (2018 y 2019)

Reporte trimestral de monitoreo calidad de agua del 2009 a 2015 reportados por Anglo American Michiquillay S.A.				Evaluación ambiental temprana en el área de influencia del proyecto minero Michiquillay de Southern Perú Copper Corporation sucursal del Perú, durante el 2018 y 2019						
PUNTO	COORDENADAS UTM WSG 84 - ZONA 17 M			DESCRIPCIÓN	CUERPO DE AGUA	PUNTO	COORDENADAS UTM WSG 84 - ZONA 17 M			DESCRIPCIÓN
	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m s. n. m.)				Este (m)	Norte (m)	Altitud (m s. n. m.)	
WQW-01	798075	9222626	3739	Qda Michiquillay, cuenca alta, aguas arriba de perforaciones, después de confluencia de fuentes provenientes del bofedal.	Río Michiquillay	RMich2	797728	9222447	3711	Río Michiquillay, aproximadamente a 512 m a noroeste de la antena de telefonía celular, parte alta del Sector Michiquillay
WQW-02	797060	9221853	3715	Qda Michiquillay, cuenca alta, altura de fuente de agua aguas arriba de cruce de carretera	Río Michiquillay	RMich3	796965	9221825	3705	Río Michiquillay, aproximadamente a 5 m aguas arriba de la trocha que une los Sectores Michiquillay y pampa gande
WQW-03	796904	9221757	3705	Qda Michiquillay, cuenca media, aguas abajo de bocamina cerrada. antes de bocamina Michiquillay	Río Michiquillay	RMich4	795809	9221543	3555	Río Michiquillay, aproximadamente a 600 m aguas arriba de la bocamina Michiquillay «El Túnel»
WQW-04	795516	9220742	3511	Efluente proveniente de la bocamina túnel Michiquillay, canal de conducción, antes de CCHH.	Efluente de bocamina «El Túnel»	ARI-04	795633	9220970	3515	Efluente de bocamina en el Sector Michiquillay «El Túnel»
WQW-05	795404	9220750	3433	Qda Michiquillay, cuenca baja, aguas abajo de Relavera antigua y antes de descarga efluente de túnel Michiquillay	Río Michiquillay	RMich5	795140	9220359	3389	Río Michiquillay, aproximadamente a 800 m aguas abajo de la bocamina Michiquillay «El Túnel»
WQW-06	794962	9219978	3347	Qda Michiquillay, cuenca baja, aguas abajo de descarga de efluente de túnel Michiquillay	Río Michiquillay	RMich6	794976	9219905	3340	Río Michiquillay, aproximadamente a 340 m antes de la confluencia con el río Quinuamayo
WQW-07	795009	9219616	3066	Río Quinuamayo, antes de la confluencia con la Qda Michiquillay	Río Quinuamayo	RQuin7	795020	9219624	3314	Río Quinuamayo, aproximadamente a 110 m aguas arriba de la confluencia con el río Michiquillay
WQW-08	794480	9219569	3269	Qda. Challhuamayo, antes de la confluencia con río la encañada	Río Challhuamayo	RChal2	794471	9219580	3304	Río Challhuamayo aproximadamente a 140 m antes de la confluencia con el río la encañada
WQW-09	794430	9219452	3282	Río la encañada, aguas abajo de la confluencia con Qda. Challhuamayo	Río La Encañada	RLEnc	794394	9219433	3292	Río la encañada, aproximadamente a 60 m aguas abajo de la confluencia de los ríos Challhuamayo y Quinuamayo.

Los datos de la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas se obtuvieron de los informes:

Informe N.° 759-2012-OEFA/DS Informe

N.° 222-2013-OEFA/DS-MIN

Informe preliminar de supervisión directa N.° 0279-2016-OEFA/DS-MIN Informe de supervisión N.° 1102-2017-OEFA/DS-MIN

Informe de supervisión N.° 425-2018-OEFA/DS-MIN Informe de supervisión N.° 527-2018-OEFA/DS-MIN

Parámetros	Unidades				
		ago	set	oct	nov
Parámetros de campo					
pH	unidades de pH	3,90	3,95	4,01	3,89
Temperatura	°C	12,60	13,70	13,20	13,90
Oxígeno Disuelto	mg/L	7,04	7,07	7,07	7,03
Conductividad eléctrica	uS/cm	132,80	133,90	160,80	195,40
Potencial óxido reducción	mV	216,00	218,00	281,00	252,00
Caudal	L/s	17,48	21,64	26,01	35,05
Fiticoquímicos					
Cloruros	mg/L	0,03	0,08	0,10	0,96
Nitratos	mg N-NO ₃ /L	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,015
Sulfatos	mg/L	42,19	43,42	46,32	40,88
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	95,00	95,00	100,00	129,00
Sólidos Totales Suspendedos	mg/L	10,00	10,00	9,00	17,00
Metales totales					
Plata (Ag)	mg/L	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001
Aluminio (Al)	mg/L	0,930	0,940	0,917	0,789
Arsénico (As)	mg/L	0,006	0,004	0,004	0,004
Boro (B)	mg/L	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007	< 0,0007
Bario (Ba)	mg/L	0,015	0,016	0,016	0,015
Berilio (Be)	mg/L	< 0,00004	< 0,00004	< 0,00004	< 0,00004
Bismuto (Bi)	mg/L	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001
Calcio (Ca)	mg/L	4,270	5,190	5,430	5,460
Cadmio (Cd)	mg/L	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003
Cobalto (Co)	mg/L	0,007	0,006	< 0,00004	0,007
Cromo (Cr)	mg/L	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Cobre (Cu)	mg/L	1,429	1,390	1,339	1,428
Hierro (Fe)	mg/L	9,587	5,476	5,762	7,007
Mercurio (Hg)	mg/L	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005

Anexo N° 04: Resumen de los reportes de monitoreo de calidad del agua desde al año 2009 al 2015 realizados por Anglo American Michiquillay SA

Parámetros	Unidades	Resumen de los reportes de monitoreo de 2009 a 2015 reportados por Anglo American Michiquillay S.A						
		Promedio	Mínimo	Máximo	Rango	N.º Datos	N.º < LC	% (Nº < LC)
Parámetros de campo								
pH	unidades de pH	4,98	3,20	6,30	3,10	73,00	0,00	0,0%
Temperatura	°C	13,57	12,00	25,00	13,00	72,00	1,00	1,4%
Oxígeno Disuelto	mg/L	6,58	4,00	8,77	4,77	73,00	0,00	0,0%
Conductividad eléctrica	uS/cm	116,21	79,70	259,00	179,30	73,00	0,00	0,0%
Potencial óxido reducción	mV	229,50	-8,20	443,30	451,50	72,00	1,00	1,4%
Caudal	L/s	32,22	0,04	90,50	90,46	73,00	0,00	0,0%
Fisicoquímicos								
Cloruros	mg/L	0,42	0,008	3,030	3,02	73,00	0,00	0,0%
Nitratos	mg N-NO ₃ /L	0,04	0,001	0,215	0,21	12,00	61,00	83,6%
Sulfatos	mg/L	39,60	17,600	50,160	32,56	73,00	0,00	0,0%
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	77,46	10,00	129,00	119,00	73,00	0,00	0,0%
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	17,06	6,50	84,00	77,50	73,00	0,00	0,0%
Metales totales								
Plata (Ag)	mg/L	ND	ND	ND	ND	0,00	73,00	100,0%
Aluminio (Al)	mg/L	0,826	0,3000	2,2450	1,945	64,00	9,00	12,3%
Arsénico (As)	mg/L	0,005	0,0026	0,0422	0,040	49,00	24,00	32,9%
Boro (B)	mg/L	0,009	0,0034	0,0161	0,013	8,00	65,00	89,0%
Bario (Ba)	mg/L	0,019	0,0010	0,1400	0,139	71,00	2,00	2,7%
Berilio (Be)	mg/L	0,001	0,0010	0,0010	0,000	4,00	69,00	94,5%
Bismuto (Bi)	mg/L	ND	ND	ND	ND	0,00	73,00	100,0%
Calcio (Ca)	mg/L	5,964	1,8300	9,3200	7,690	70,00	3,00	4,1%
Cadmio (Cd)	mg/L	0,001	0,0005	0,0007	0,000	4,00	69,00	94,5%
Cobalto (Co)	mg/L	0,006	0,0046	0,0076	0,003	59,00	14,00	19,2%
Cromo (Cr)	mg/L	0,010	0,0020	0,0319	0,030	4,00	69,00	94,5%
Cobre (Cu)	mg/L	1,422	0,8770	2,1090	1,232	72,00	1,00	1,4%
Hierro (Fe)	mg/L	6,017	0,4020	16,5900	16,188	73,00	0,00	0,0%
Mercurio (Hg)	mg/L	0,122	0,1220	0,1220	0,000	1,00	72,00	98,6%

Anexo N° 05: Resumen de los reportes de monitoreo de calidad del agua desde el año 2012 al 2018 realizados por la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas - OEFA

Parámetros	Unidades	EF-1	WQM-04	MCH-05	ESP-1	MCH-05	ESP-1	MCH-05	ESP-1
		795629	795047	795633	795617	795634	795625	795631	975625
		9220942	9220354	9220975	9220950	9220978	9220949	9220975	9220949
Informes del 2012 al 2018 (Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas - OEFA)									
		ene. 2012	set. 2013	set. 2015	abr. 2017	abr. 2017	set. 2017	jul. 2018	jul. 2018
Parámetros de campo									
pH	unidades de pH	4,5	4,61	4,64	5,53	5,56	5,54	4,97	4,95
Temperatura	°C	-	12,43	13,9	12,8	12,8	13,9	13,9	13,5
Oxígeno Disuelto	mg/L	-	36,2	-	4,58	3,92	-	-	-
Conductividad eléctrica	uS/cm	123	116	123,3	124,8	124,5	116,5	101,2	104
Potencial oxido reduccion	mV	-	-	-	-	-	-	-	-
Caudal	L/s	-	36,20	43,20	16,10	15,00	23,95	12,75	12,96
Fisicoquímicos									
Cloruros	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitratos	mg N-NO ₃ /L	-	-	-	-	-	-	-	-
Sulfatos	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	<6	26	-	12,8	12,8	10,4	30	16
Metales totales									
Plata (Ag)	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Arsénico (As)	mg/L	<0,010	0,0089	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	0,00472	0,00377
Boro (B)	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Bario (Ba)	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Berilio (Be)	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Bismuto (Bi)	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	--	0,0007	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,00001	<0,00001
Cobalto (Co)	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	2,049	1,857	1,513	1,348	1,365	1,329	1,010	1,022
Hierro (Fe)	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Mercurio (Hg)	mg/L	--	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,00003	<0,00003

Anexo N° 06: Análisis de pruebas de agua a 50 m de bocamina.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 1020503-A

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre	DENNIS ALVARADO GUEVARA		
Dirección	-		
Persona de contacto	-	Correo electrónico	dalex.vann@hotmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	16.10.20	Hora de Muestreo	08:30
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	01		
Ensayos solicitados	Fisicoquímico		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación		
Referencia de la Muestra:	La Encañada		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	SC - 507	Cadena de Custodia	CC-503A-20
Fecha y Hora de Recepción	16.10.20	13:30	Inicio de Ensayo 16.10.20 13:45
Reporte Resultado	23.10.20	14:00	



Eder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028



Freddy López León
Especialista de Química
CIP: 198264

Cajamarca, 23 de Octubre de 2020.

Página: 1 de 3

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA - ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
 JR. LUIS ALBERTO SANCHEZ N° 1, URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
 e-mail: laboratorio@regcajamarca.gob.pe FONOS: 053226 1140



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 1020503-A

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra	Michiquillay		-	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	1020503-A		-	-	-	-	-	-
Matriz	AGUA RESIDUAL		-	-	-	-	-	-
Descripción	INDUSTRIAL		-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	La Encañada		-	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales					
Plata (Ag)	mg/L	0.019	0.020	-	-	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.023	21.41	-	-	-	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.005	0.442	-	-	-	-	-
Boro (B)	mg/L	0.026	0.460	-	-	-	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.004	0.045	-	-	-	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-	-
Bismuto (Bi)	mg/L	0.016	0.024	-	-	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.124	5.834	-	-	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	0.479	-	-	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.002	<LCM	-	-	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.003	0.153	-	-	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.018	540.73	-	-	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.023	39537.5	-	-	-	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.051	1.008	-	-	-	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.006	<LCM	-	-	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.019	2.035	-	-	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.003	0.075	-	-	-	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	0.123	-	-	-	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.026	1.567	-	-	-	-	-
Níquel (Ni)	mg/L	0.006	0.082	-	-	-	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.024	22.45	-	-	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.004	4.320	-	-	-	-	-
Azufre (S)	mg/L	0.091	64.89	-	-	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	<LCM	-	-	-	-	-
Señeno (Se)	mg/L	0.018	<LCM	-	-	-	-	-
Silicio (Si)	mg/L	0.104	17.15	-	-	-	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.003	0.036	-	-	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.004	0.010	-	-	-	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-	-
Uranio (U)	mg/L	0.004	0.083	-	-	-	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.004	<LCM	-	-	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.018	2801.39	-	-	-	-	-
Ceno	mg/L	0.0040	0.363	-	-	-	-	-
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	0.022	-	-	-	-	-
pH a 25°C	pH	NA	4.01	-	-	-	-	-

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

Cajamarca, 23 de Octubre de 2020.

Página: 2 de 3



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N°

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Metales Disueltos y Totales por ICP-OES (Ag, Al, As, B, Bix, Be, Bl, Ca, Ce, Cs, Cu, Du, Cr, Fe, K, Li, Na, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Tl, Ti, U, V, Zn)	mg/L	EPA Method 200.7 Rev. 4.4, 1994. (Validado) 2014, Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.
Potencial de Hidrógeno (pH) a 25°C	pH	SM/WW-APHA-AWWA-WEF, Part 4505-H+ B, 23rd Ed. 2017, pH Value: Electrometric Method.

NOTAS FINALES

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz, que no han sido acreditados por el INACAL - DA.

(**) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de conformidad otorgada emitida en este informe, por parte del cliente.

Código del Formato: P-23-F01 Rev: N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 23 de Octubre de 2020.



LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

Página: 3 de 3

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
 JR. LUIS ALBERTO SANCHEZ S/N, URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
 e-mail: laboratorio@regioncajamarca.gob.pe FON: 296000 anex 1140



INFORME DE ENSAYO N° 38098

Cliente : DENNIS ALEXANDER ALVARADO GUEVARA
 Referencia del Cliente : MICHIGULLAY - SOCAVON
 Cantidad de Muestras : 1
 Fecha de Recepción : 25/10/2020
 Fecha de Inicio de Ensayo : 25/10/2020
 Fecha de Término de Ensayo : 25/10/2020
 Lugar de ejecución del ensayo : Lab Perú Minerales S.R.L., Mz. N19, Lote 1C, Parque Industrial, La Esperanza, La Libertad, Peru.

Código de Método	Descripción
MUP-001 / Ver. 00	Determinación de Ag, As, Cu, Fe, Pb, Sb, Zn por Absorción Atómica en Concentrados Polimetálicos, Muestras Geoquímicas y Minerales a fines
MUP-003 / Ver. 00	Determinación de Ag, Au por Gravimetría en Concentrados Polimetálicos, Muestras Geoquímicas y Minerales a fines
MUP-010 / Ver. 00	Determinación de Au por Absorción Atómica en Concentrados Polimetálicos, Muestras Geoquímicas y Minerales a fines

N°	Cod. Cliente	Tipo Ensayo	Tipo Muestra	Presentación Muestra	Cod. Laboratorio	Método Elemento	MUP-07	MUP-003	MUP-001	MUP-001
						Observación	Zn	Ag	Cu	Pb
							%	gTM	%	%
1	LOTE 1	Lote (Duplicado)	Geoquímico	Saco	DCT20-1489-001	-	0.31	1.8	50	0.38

Las muestras podrán ser retiradas por los interesados transcurrido el tiempo de almacenamiento que es de 30 días calendario a partir de la fecha de recepción para Contramuestras, rechatas o gruesas, caso contrario se procederá a desecharlas.

Emisido en Trujillo - Perú, 25 de octubre del 2020




Ing. Dana Silvestre
 Jefe de Laboratorio Químico
 CIP : 185141