



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE
EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU
REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL
RECURSO”**

Realizado por:

JOSELYN JAZMIN FREIRE PÉREZ

Director del proyecto:

MSc. Katty Coral Carrillo

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERA AMBIENTAL

Agosto, 2020

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, JOSELYN JAZMIN FREIRE PÉREZ, con cédula de identidad #172629368-9, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



FIRMA

JOSELYN JAZMÍN FREIRE PÉREZ

1726293689

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO”

Realizado por:

JOSELYN JAZMIN FREIRE PÉREZ

Como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERA AMBIENTAL

Ha sido dirigido por la profesora

KATTY CORAL

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



FIRMA

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

ALBERTO AGUIRRE

ANA CAROLINA ZURITA

Después de revisar el trabajo presentado,

Lo han calificado como apto para su defensa oral ante

El tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

Quito, Agosto de 2020

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

El presente Trabajo de Fin de Carrera ha sido realizado dentro del Programa de Investigación de la Universidad Internacional SEK denominado:

BIODIVERSIDAD Y RECURSOS NATURALES APLICADOS A LA GESTIÓN AMBIENTAL Y LA BIOTECNOLOGÍA

Perteneciente a la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

DEDICATORIA

A mis padres Bolívar y Silvana, quienes con su amor, paciencia, sacrificio y constancia me han permitido cumplir una meta más en el camino de mi vida.

A mi hermano Alex y su esposa, a toda mi familia, amigos que con su apoyo incondicional estuvieron presentes en todo este proceso.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

AGRADECIMIENTO

A mis padres Bolívar y Silvana por todo su esfuerzo, cariño, paciencia y apoyo.

A mi hermano Alex y esposa por toda su comprensión y por la confianza que han puesto en mí.

A amigos a que me han brindado su amistad durante mi asistencia a mi carrera.

A Katty Coral por su paciencia, apoyo y enseñanzas que han generado bases sólidos en mi crecimiento profesional y sobre todo por los valores de vida enseñados en cada clase durante toda mi carrera y en la culminación este trabajo con éxito.

A la Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales y sus docentes que han aportado bases firmes en mi desarrollo académico y profesional.

A la Empresa Ecuador FORTESCUE, por la confianza y el apoyo brindado para el desarrollo de este tema de investigación.

A Karina Yépez por ser el impulsor de mi formación profesional y al equipo que forma parte de la empresa, que más que colegas, son mis buenos amigos y se convirtieron en mi segunda familia.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

Para someter a:

To be submitted:

Evaluación del agua de perforación en la etapa de exploración inicial de minería de cobre para su reutilización con fines de reducción de consumo del recurso.

Joselyn Freire¹, Katty Coral¹

¹Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador.

*AUTOR DE CORRESPONDENCIA: Msc Katty Coral.

Universidad Internacional SEK,

Facultad de Ciencias Ambientales y Naturales, Quito, Ecuador.

Teléfono: 0983084617; email: katty.coral@uisek.edu.ec

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

RESUMEN

La investigación “Evaluación del agua de perforación en la etapa de exploración inicial de minería de cobre para su reutilización con fines de reducción de consumo del recurso”, busca brindar propuestas de alternativas eficientes para reducir el consumo de agua en las plataformas de perforación, considerando que el uso del agua en el sector minero es alto y muchas veces resulta costoso, por lo que es de vital importancia establecer y proponer sistemas de tratamiento que sean compatibles con el ambiente, representen un potencial ahorro económico para las empresas mineras y, además, asegurar con ellos el cumplimiento de las normativas vigentes y aplicables. Se estableció la composición del agua de perforación a través de análisis de parámetros fisicoquímicos, orgánicos y metales totales, en muestras tomadas de ingreso y descarga del proceso, lo cual permitió indicadores de calidad y comparar el estado del agua de descarga con el cumplimiento de la normativa aplicable y con ciertos estándares de calidad para plantear alternativas de recirculación o reutilización para generar una reducción de consumo del recurso. El cálculo de indicadores de calidad arrojó que los parámetros que necesitan un tratamiento previo por sus altas concentraciones son: sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno y metales totales como el cromo, para los cuales se propone un sistema de tratamiento basado en un proceso de sedimentación seguida por una coagulación-floculación y como tratamiento terciario una fitorremediación usando la planta denominada Jacinto de agua, por sus altas propiedades de acumulación de metales pesados en sus raíces.

Palabras clave: agua, minería, perforación, tratamiento, consumo, normativa.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

ABSTRACT

The investigation "Evaluation of drilling water in the initial exploration stage of copper mining for reuse for the purpose of reducing resource consumption" seeks to provide proposals for efficient alternatives to reduce water consumption on drilling platforms, considering that The use of water in the mining sector is high and often expensive, so it is vitally important to establish and propose treatment systems that are compatible with the environment, represent potential economic savings for mining companies, and also ensure with they comply with current and applicable regulations. The composition of the drilling water was established through analysis of physicochemical, organic and total metal parameters in samples taken from the process inlet and discharge, which allowed establishing quality indicators and comparing the state of the discharge water with compliance with the applicable regulations and with certain quality standards to propose recirculation or reuse alternatives to generate a reduction in consumption of the resource.

The calculation of quality indicators showed that the parameters that require pre-treatment due to their high concentrations are: total suspended solids, chemical demand for oxygen and total metals such as chromium, for which a treatment system based on a process of sedimentation followed by coagulation-flocculation and as a tertiary treatment a phytoremediation using the plant called Water Hyacinth, due to its high properties of heavy metal accumulation in its roots.

Key words: water, mining, drilling, treatment, consumption, regulations.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

1. INTRODUCCIÓN

“La minería es una actividad económica que comprende el proceso de extracción, explotación y aprovechamiento de minerales que se hallan en la superficie terrestre con fines comerciales. Es la aplicación de la ciencia, técnicas y actividades que tienen que ver con el descubrimiento y la explotación de yacimientos minerales” (Pereyra Fausto, 2015).

La minería en Ecuador concentra una gran cantidad de riquezas culturales y características geográficas excepcionales que generan interés en varias zonas del país. Gran parte de esta riqueza ha sido utilizada por la nación en su compleja inserción e integración a la dinámica económica mundial (Vivanco, 2019).

El sector minero en el Ecuador ha venido tomando importancia en cuanto al contexto de la creciente economía del país, razón por la cual el Gobierno Nacional ha introducido durante los últimos años algunos cambios en el marco legal, con el propósito de establecer una normativa adecuada para que se facilite el desarrollo e inclusión de esta industria, la aplicación de la Ley de Minería busca desarrollar el interés de incrementar la productividad del sector minero, incentivar la inclusión de los actores mineros en el territorio nacional, reducir el impacto ambiental y social en cuanto a actividades mineras y al mismo tiempo acentuando el nivel de modernización, investigación, tecnología y desarrollo en cuanto a este sector estratégico (Sandoval, 2019).

El viceministro de Minas del Ecuador, Fernando L. Benalcázar asegura que, *“La minería bien manejada puede ser el futuro del Ecuador”*, *“La minería mal manejada e ida de las manos con*

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

corrupción y descontroles puede ser al acabose de un país”. Teniendo en cuenta que en específico la actividad minera, en 2019, según el reporte hecho en marzo reciente y provisto por Benalcázar, apporto 1,64% al Producto Interno Bruto (PIB) del país (Romero, 2020).

El Artículo 27 de la Ley de Minería menciona ocho fases generales en las que se divide la actividad minera:

Prospección, consiste en la búsqueda de ciertos indicios de algunas áreas mineralizadas de importancia, **Exploración**, consiste en la determinación del tamaño y forma del yacimiento incluyendo el contenido y la calidad del mineral existente, la exploración se divide en inicial y avanzada, esta última incorpora una evaluación económica y productiva del yacimiento, **Explotación**, comprende un conjunto de todas las operaciones, trabajos y labores mineras que se llevan a cabo para la preparación y correcto desarrollo del yacimiento en la que se incluye la extracción y transporte de los minerales, **Beneficio**, consiste principalmente en todos los procesos físicos, químicos y/o metalúrgicos a los que se someten necesariamente los minerales para poder elevar su contenido útil o ley de los mismos, **Fundición**, constituye todo el proceso de fusión de los minerales concentrados o a su vez precipitados, que tienen el objetivo de separar el producto metálico, **Refinación**, es el proceso destinado a convertir los productos metálicos en metales de alta pureza para poder ser comercializados, incluyendo la celebración de contratos para negociar cualquier producto que pueda resultar de la actividad minera y **Cierre de Minas**, finalización de las actividades mineras y desmantelamiento de instalaciones utilizadas en las fases de operación, incluyendo la reparación ambiental de acuerdo al plan de cierre aprobado por la autoridad ambiental competente (Ley de Minería, 2018).

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

1.2. Empresa

Ecuador Fortescue S.A. es una subsidiaria bajo control de Fortescue Metals Groups Ltd. Desde su fundación en 2003, Fortescue ha descubierto y desarrollado importantes depósitos minerales y se convirtió en el líder global en la industria del hierro, siendo la empresa minera más segura, de menor costo y mayor rentabilidad (Fortescue, 2019).

Fortescue se encuentra en un proceso de diversificación de minerales, enfocado en adquirir y expandir proyectos, por esta razón, la empresa Australiana llegó a Ecuador en el año 2016, impulsado por la gran riqueza del país, con el objetivo de realizar una búsqueda de algunas áreas que puedan servir de principales actividades de exploración de depósitos minerales como cobre y oro y así generar inversiones en proyectos y brindar mejores oportunidades en la industria minera del país.

En el año 2017, Ecuador Fortescue empieza con sus actividades en el proyecto denominado Santa Ana. Mediante Resolución Nro. MM-CZM-N-2016-01313 de 09 de noviembre de 2016, el ministerio de Minería otorgó a la compañía, el título de concesión minera para minerales metálicos del área denominada “SANTA ANA”, con una superficie de concesión de 4977 hectáreas mineras contiguas (Código 100000149), ubicada en la Parroquia Manuel Cornejo Astorga (Tandapi), cantón Mejía, provincia Pichincha, de igual manera, el Ministerio del Ambiente emitió el Registro Ambiental del área minera SANTA ANA el 04 de septiembre de 2017 para la Fase de Exploración Inicial MAE-RA-2017-315854, previo a la obtención de los permisos los sondeos de prueba iniciaron el 15 de abril de 2019 (Fortescue, 2019).

Fortescue se encuentra en la fase de exploración inicial dentro del proyecto Santa Ana, que consiste en la búsqueda de depósitos minerales que logren identificar el desarrollo de un proyecto, realiza actividades de sondeos de prueba dentro de la concesión, para lo cual implantará 20 plataformas,

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

de acuerdo a lo establecido por la legislación ambiental nacional, el área de las plataformas tiene una extensión de 6m x 6m, en la cual se instalan materiales necesarios para las actividades de perforación y equipos de soporte. Las perforaciones serán realizadas utilizando taladros portátiles y se utilizan agua y fluidos de perforación biodegradables (EcuadorFortescue, 2019).

1.2.1. Proceso de Operación

La perforación es una técnica para la exploración directa del subsuelo, el tipo de perforación corresponde a sondajes con diamantina, que consisten en perforar el subsuelo con una broca diamantada permitiendo la recuperación de la muestra en forma cilíndrica, el cual se denomina testigo de perforación (Sandoval, 2019). Se tiene en cuenta que los sondajes son pozos exploratorios perforados con varias inclinaciones y dimensiones que pertenecen al periodo de exploración inicial, los cuales son realizados con equipos transportables a mano o aéreos.

El tipo de perforación corresponde a sondajes con diamantina en diámetros PQ (85 mm), HQ (77.80 mm), NQ (60.30 mm) y BQ (46 mm). La perforación se inicia en PQ hasta la profundidad máxima alcanzable con dicho diámetro y con recuperación de testigo en toda su longitud. La reducción a diámetro HQ se realizará cuando por condiciones operacionales o particularidades del macizo rocoso no pueda seguir perforándose en HQ, de la misma manera se irán reduciendo los diámetros de perforación a NQ y BQ respectivamente, estas reducciones serán en función de la profundidad y el tipo de roca que se encuentre a lo largo del sondaje. La longitud de sondaje será de hasta 2000 m, teniendo en cuenta las condiciones geológicas mineras del sitio a perforar. El procedimiento de perforación diamantina que se utiliza en la etapa de exploración inicial se muestra en la Figura 1. Sistema de perforación a diamantina (Hubbard Drilling Services, 2019).

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO



Figura 1. Sistema de perforación a diamantina (Hubbard Drilling Services, 2019).

Con respecto a los aditivos de perforación, en esta operación se utilizan aditivos inocuos, de uso común en las labores de sondaje, los mismos que tienen la finalidad de servir como sella y soporte de las paredes del pozo cuando estas presentan material poroso o fracturado, previniendo la pérdida de circulación de fluidos y posible atrapamiento de la herramienta de perforación. Para el avance de la broca del taladro se requiere lubricar y enfriar, por lo cual se utiliza como principal fluido el agua que se mezcla con arcilla natural, bentonita u otros aditivos biodegradables.

El uso de combustible se reduce al único empleo de diésel y para una operación continua de 24 horas, el consumo de combustible para la perforación se estima en unas 500 a 800 litros de diésel, dentro de cada plataforma se dispone de un sitio para el almacenamiento de los combustibles, lubricantes y aditivos, los cuales están sobre una superficie impermeable, con un cubeto antiderrames.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

1.2.2. Agua para perforación

La provisión de agua que se requiere para los trabajos de perforación es de 1.5 L/s, sin embargo, se ha solicitado un volumen de captación de 3 L/s debido a las pérdidas que pueden darse por filtración, evaporación y otros factores determinantes dadas ciertos cortes o fallas correspondientes a las características geológicas del área de exploración, la cual será captada de sitios definidos en el Permiso de Aprovechamiento de Aguas otorgado por la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) en la demarcación hidrográfica Esmeraldas dentro del Proceso Administrativo No 105-2018.AUT-(FTF).

El agua es bombeada desde el sitio de captación mediante una bomba y conducida hasta el sitio de perforación a través de mangueras de presión de línea de hasta 500 metros de longitud. El fluido saliente del sondaje es conducido hacia un sistema SRU, luego de todos los procesos de recirculación a la que pueda ser sometida el agua, actualmente no se realizan descargas al ambiente de ningún tipo. Por las características que presenta el agua de descarga del proceso de perforación que la convierte en un residuo peligroso, en la actualidad es destinada a un gestor ambiental.

Todas las actividades de sondeos llevados a cabo en el proceso de perforación, puede ocasionar impactos con respecto a la calidad de agua debido a posibles descargas de efluentes de cualquiera de los procesos realizados y pudiendo existir algún remanente que se deberá descargar al ambiente, por otra parte, existe un riesgo de derrames de combustible y/o aditivos afectando a los cuerpos de agua que se encuentran cercanos a las plataformas.

1.3. Impactos de la minería en el recurso agua

“Uno de los impactos medioambientales de mayor relevancia ocasionados por la actividad minera es el relativo a las aguas, ya sean superficiales o profundas. En ciertas explotaciones mineras se

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

puede producir una alteración temporal del régimen de caudales de las aguas subterráneas y aguas superficiales” (Toro, García de los Ríos Cobo, Fadón, Cabrera, & Acebes, 2020).

Las actividades de sondeos podrían ocasionar impactos a la calidad del agua debido a posibles descargas de efluentes del proceso, es importante mencionar que, si bien este efluente será recirculado al proceso de perforación, podría existir algún remanente que se deberá descargar al ambiente bajo el análisis de Límites máximos permisibles. Eventualmente por fallas de operación podrían existir derrames de combustible y/o aditivos que se utilizan durante la perforación y que puede afectar a cuerpos de agua cercanos a las plataformas. La Tabla 1. Impactos del proceso de perforación al recurso Indica los impactos sobre el recurso hídrico que pueden generarse durante el proceso de perforación.

Tabla 1. Impactos del proceso de perforación al recurso hídrico.

ACTIVIDAD	SUB ACTIVIDAD	IMPACTO IDENTIFICADO	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO
Perforación	Captación de agua	Disminución del caudal de los cuerpos de agua	Disminución del caudal de los cuerpos de agua utilizados como fuentes de captación
		Afectación de la fauna acuática	Afectación a la fauna acuática debido a la succión de agua generado durante las actividades de captación
	Almacenamiento de combustibles y aditivos de perforación	Derrames de aditivos y combustibles	Deterioro de la calidad físicoquímica del suelo debido a derrames que se podrían presentar

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

ACTIVIDAD	SUB ACTIVIDAD	IMPACTO IDENTIFICADO	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO
	Sistema de tratamiento y recirculación de agua de perforación	Generación de efluentes	Deterioro de la calidad físicoquímica de los cuerpos de agua debido a derrames que se podrían presentar

Elaborado por: Joselyn Freire

Los evidentes impactos primarios que se generan sobre los cuerpos de agua denotan directamente sobre la salud y bienestar de las comunidades cercanas al proyecto minero, quienes se abastecen de agua como recurso fundamental para sobrevivir y lo hacen principalmente con la captación de ríos, vertientes, acequias o canales. En las parroquias de la concesión minera Santa Ana, aproximadamente el 33.25% consume el agua tal como llega al hogar, es decir sin brindarle ningún tratamiento previo.

Con la finalidad de prevenir, evitar, mitigar, controlar, corregir, compensar, restaurar y reparar los posibles impactos ambientales negativos, el plan de manejo ambiental plantea como requisitos ciertas acciones o medidas que deben ser ejecutadas por los proyectos, obras o actividades según su naturaleza (Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, 2019).

Dados todos los posibles impactos directos e indirectos derivados de la contaminación del agua por descargas generadas en distintos procesos dentro de la industria minera, las empresas han buscado alternativas de reciclaje de agua o incluso sistemas de recirculación en cualquier de los procesos que se llevan a cabo, para mantener una visión de sostenibilidad con énfasis en el cuidado del ambiente bajo el cumplimiento de la normativa vigente y aplicable.

Toda organización que realice proyectos o actividades que generen cualquier tipo de descargas de agua, debe cumplir los límites máximos permisibles estipulados en el Acuerdo Ministerial 097-A.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

La norma técnica tiene como objetivo principal la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en todo lo relacionado con el recurso agua, además busca proteger la calidad del recurso agua y así lograr salvaguardar los usos asignados, la integridad de las personas, de los ecosistemas y todas sus posibles interrelaciones y del ambiente en general (Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, 2015).

1.4. Calidad del agua

“La calidad del agua se define mediante una serie de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas; así como también el estado de la biota presente en el cuerpo de agua. La calidad del agua va a presentar variaciones espaciales y temporales dependiendo de los factores externos e internos del agua” (Sierra, 2011).

La calidad del agua puede estar influenciada por algunos factores de importancia como el uso del suelo, el tipo de actividad que desarrollen descargas a distintos efluentes, el tipo de tratamiento que se le dé antes del vertimiento respectivo, la capacidad de purificación que puede llegar a tener los cuerpos de agua, etc. Para evaluar la calidad existen diversos índices de calidad que pueden generar facilidad al momento de evaluar el estado de un cuerpo de agua a través del análisis de parámetros de calidad importantes (Estadística Ambiental, 2005).

La manera más sencilla y práctica de estimar la calidad de agua, consiste en la definición de índices o ratios de medidas de ciertos parámetros físicos, químicos o biológicos en la situación real y en otra situación que se considera admisible o deseable, la misma que viene definida por ciertos estándares o criterios específicos. El cálculo de los límites permitirá llegar a una clasificación en la que se pueda diferenciar fácilmente el estado de un cierto cuerpo de agua (Coral, 2013).

De manera general se puede entender a un índice de calidad, como una herramienta que permite el análisis de varios parámetros cuyo resultado accederá asignar un valor de calidad al medio

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

analizado. El uso de varios índices ayuda a tener una visión mucho más precisa y real del estado ecológico y biológico del medio acuático.

Para presentar resultados de una forma más resumida y sencilla, integrando todos los indicadores, se ha generalizado la utilización de índices de calidad. La ventaja del índice es que ofrece una sola cifra que puede ser directamente comparada con las de otras condiciones del río y establecer la comparación de agua “más limpia” o “más sucia”. Son numerosos los parámetros y condiciones que se toman en cuenta para poder determinar la calidad del agua. Por este motivo, el índice de calidad del agua trata de establecer un valor que englobe las características más importantes.

Se han establecido algunos tipos de índices de contaminación y calidad del agua, uno de ellos es el que marca la relación existente entre la concentración de los contaminantes existentes en la muestra problema y la concentración máxima admitida por las leyes vigentes y aplicables (Coral, 2013).

A nivel mundial existen alrededor de 30 tipos de índices de calidad, que incluyen al menos tres de los siguientes parámetros que son considerados importantes dentro del estudio: OD, DBO5, DQO, nitrógeno amoniacal y nitratos, fosforo en forma de orto fosfato, pH y solidos totales (Samboni & Escobar, 2007).

La implementación de cálculo de indicadores de calidad tiene como objetivo identificar el estado en el que se encuentra un cuerpo de agua y a raíz de esto plantear criterios o estándares de calidad que permitan el desarrollo de un sistema de tratamiento adecuado según el análisis resultante del agua. El Acuerdo Ministerial 097-A define al criterio de calidad del agua como una concentración numérica o un enunciado descriptivos recomendado sobre ciertos parámetros físicos químicos y biológicos para mantener determinado uso benéfico del agua, teniendo en cuenta que los criterios de calidad con respecto a los múltiples usos del agua son una base fundamental para poder determinar de una manera adecuada los objetivos de calidad en algunas zonas y tramos del cuerpo

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

receptor. Se menciona que la determinación de manera muy general va a demandar un proceso de modelación del cuerpo receptor, por consecuente se deben considerar condiciones mas criticas de caudales del cuerpo receptor, tomando en cuenta cargas futuras de contaminantes y también la capacidad de asimilación del recurso hídrico (Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, 2015).

El método de sondaje tipo diamantino para las actividades de perforación con recuperación de testigos, mediante el uso de coronas de diamante para la perforación utiliza la circulación de agua como elemento fundamental de enfriamiento (Munaylla, 2015). Los criterios de calidad técnicos con respecto al fluido de perforación que ingresa al proceso se basan principalmente en la concentración elevada de sólidos con un gran tamaño que podrían interferir en el correcto funcionamiento del taladro de perforación, siendo el único parámetro de vital importancia tomado en cuenta por la empresa perforista que se encuentra realizando las actividades dentro del proyecto minero.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Metodología de campo

2.1.1. Área de estudio:

La zona de estudio correspondió a la concesión minera para minerales metálicos del área denominada “Santa Ana” que cuenta con 4977 hectáreas mineras contiguas, ubicada en la Parroquia Manuel Cornejo Astorga (Tandapi), cantón Mejía, provincia Pichincha, que se encuentra a cargo de la empresa Ecuador Fortescue S.A (Anexo 1).

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

2.1.2. Colección y análisis de muestras:

Se trabajó bajo análisis previos realizados en muestras de agua utilizada para el proceso de perforación y muestras del agua de descarga final del mismo proceso, es decir cuando el agua ya se ha recirculado las veces posibles y permitidas mediante el sistema SRU aplicado actualmente, ambos análisis fueron realizados por un laboratorio acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano, SAE.

Se tomaron tres muestras correspondientes a cuerpos de agua cercanos a la plataforma que forman parte de los puntos de captación de agua utilizada en el proceso de perforación para evaluar el estado del agua y los parámetros necesarios de ingreso que deben cumplirse. En el análisis de las muestras se tomaron en cuenta parámetros fisicoquímicos, orgánicos y metales totales, la toma de muestras fue realizada por el personal técnico del laboratorio acreditado en fechas asignadas por la empresa.

Adicionalmente, se tomaron tres muestras correspondientes a las descargas de agua respectiva del proceso de perforación. El análisis de las muestras realizado por el laboratorio acreditado comprende parámetros físicos, químicos, orgánicos y metales totales; la toma de muestras fue realizada directamente por personal de la empresa y enviada a su análisis respectivo.

Para el análisis de Metales totales: Bario, Cromo, Plomo, Vanadio, en las muestras de agua se aplicó una dilución 10X siguiendo la aplicación de los métodos respectivos.

El análisis de los parámetros se realizó mediante la aplicación de los siguientes métodos adaptados:

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

Tabla 2. Métodos Adaptados de análisis de muestras de agua.

PARÁMETROS	MÉTODO ADAPTADO DE REFERENCIA
<i>Físico Químico</i>	
pH	SM 4500 H/ MM-AG/S - 01
Conductividad (uS/cm)	EPA 9050 A / MM-AG/S-02
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	SM 2540 B / MM-AG-06
<i>Parámetros Orgánicos</i>	
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	SM 5220 D / MM-AG-18
TPH (mg/L)	EPA 8015 D / MM-AG-23
<i>Metales Totales (mg/L)</i>	EPA 6020 B / MM-AG/S-39

Fuente: (Gruentec, 2019)

Gruentec realizó el muestreo de matrices líquidas basado en lo establecido por las siguientes normas:

- Capítulo 1060. Recolección y conservación de muestras. Método estándar para el análisis de agua y aguas residuales. Edición 22, 2012.
- Norma ISO 5667: 2006-01. Calidad del agua. Muestreo Parte 1: Guía para el diseño de los programas de muestreo y técnicas de muestreo.
- Norma ISO 5667: 2006-06. Guía sobre muestreo de ríos y arroyos.
- Norma ISO 5667: 2006-09. Guía sobre muestreo de aguas marinas (Gruentec, 2019).

2.2. Cálculo de indicadores de calidad

Con los resultados de laboratorio y análisis de cada uno de los parámetros, se procedió a calcular indicadores de calidad para poder determinar los criterios necesarios a cumplirse para que el agua de descarga pueda ser recirculada dentro del proceso de perforación.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

Se aplicó la siguiente fórmula para establecer los parámetros que cumplen con los criterios necesarios de recirculación, tomando en cuenta que los parámetros permitidos para generar un proceso de recirculación se basan en el análisis de muestras de agua de ingreso utilizada satisfactoriamente para el proceso de perforación, los que necesitan un tratamiento previo y los parámetros que se encuentran en el punto límite (Coral, 2013).

$$IC = \frac{VS}{VE}$$

Ecuación 1. Indicador de calidad.

Donde:

IC: Indicador de calidad

VS: Valor de parámetros de salida del proceso.

VE: Valor de parámetros de entrada al proceso.

La siguiente fórmula se aplicó para determinar indicadores de calidad con respecto a la normativa aplicable y vigente (Acuerdo Ministerial 097-A), esto permitió conocer el cumplimiento de los parámetros con distintos usos que puede tomar el agua de descarga del proceso:

$$IC\ legal = \frac{VS}{LMP}$$

Ecuación 2. Indicador de calidad legal.

Donde:

IC legal: Indicador de calidad legal.

VS: Valor de parámetros de salida del proceso.

LMP: Límite máximo permisible.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

La aplicación de las fórmulas de indicadores de calidad permitió obtener un valor que fue analizado bajo los siguientes criterios:

Tabla 3. Criterios de análisis de indicadores de calidad.

Necesidad de tratamiento previo	>1
Límite	1
Se Acepta	<1

Elaborado por: Joselyn Freire. Fuente: (Coral, 2013)

Los criterios mencionados en la Tabla 3. Criterios de análisis de indicadores de calidad., se utilizaron para determinar los parámetros que necesiten un tratamiento previo, ya sea para plantear un proceso de recirculación o para adaptar el agua de descarga del proceso de perforación a cualquiera de los usos que se mencionan en la normativa aplicable, además de distinguir los parámetros que cumplen las necesidades de recirculación acorde con la normativa aplicable y aquellos que se encuentran en un nivel límite.

3. RESULTADOS

Siguiendo la metodología descrita, se tomaron tres muestras de agua de ingreso y tres muestras del agua de descarga final del proceso cuando el agua ya ha completado todos los posibles ciclos de recirculación en el SRU aplicado actualmente, en el periodo de tiempo asignado por la empresa, las muestras fueron analizadas por un laboratorio acreditado por el SAE.

Tabla 4. Resultados de análisis de muestras de agua.

PARÁMETROS	AGUA DE INGRESO			AGUA DE SALIDA		
	<i>Muestra 1</i>	<i>Muestra 2</i>	<i>Muestra 3</i>	<i>Muestra 1</i>	<i>Muestra 2</i>	<i>Muestra 3</i>
<i>Físico Químico</i>						
pH	8	7.7	7.4	7.6	7.1	6.9
Conductividad (uS/cm)	51	47	66	-	510	6250
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	9	5	5	-	-	21257

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

PARÁMETROS	AGUA DE INGRESO			AGUA DE SALIDA		
Parámetros Orgánicos						
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	14	5	21	-	-	7900
TPH (mg/L)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Metales Totales						
Bario (mg/L)	0.011	0.0062	0.002	1.7	0.24	5.8
Cadmio (mg/L)	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0004	
Cromo (mg/L)	0.0002	0.0002	0.0002	0.053	0.038	0.68
Mercurio (mg/L)	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0004	-
Níquel (mg/L)	0.001	0.001	0.001	0.042	0.004	-
Plomo (mg/L)	0.0006	0.0007	0.0005	0.017	0.0024	0.048
Zinc (mg/L)	0.026	0.008	0.005	0.28	0.53	-

Elaborado por: Joselyn Freire

La Tabla 4. Resultados de análisis de muestras de agua, indica los valores obtenidos de los parámetros que fueron analizados en las tres muestras de agua recogidas de ingreso y descarga respectiva del proceso. Las muestras fueron analizadas previamente por un laboratorio acreditado para contar con información de base para el tratamiento llevado a cabo posteriormente por el gestor calificado, quien en la actualidad se hace cargo del agua de descarga del proceso.

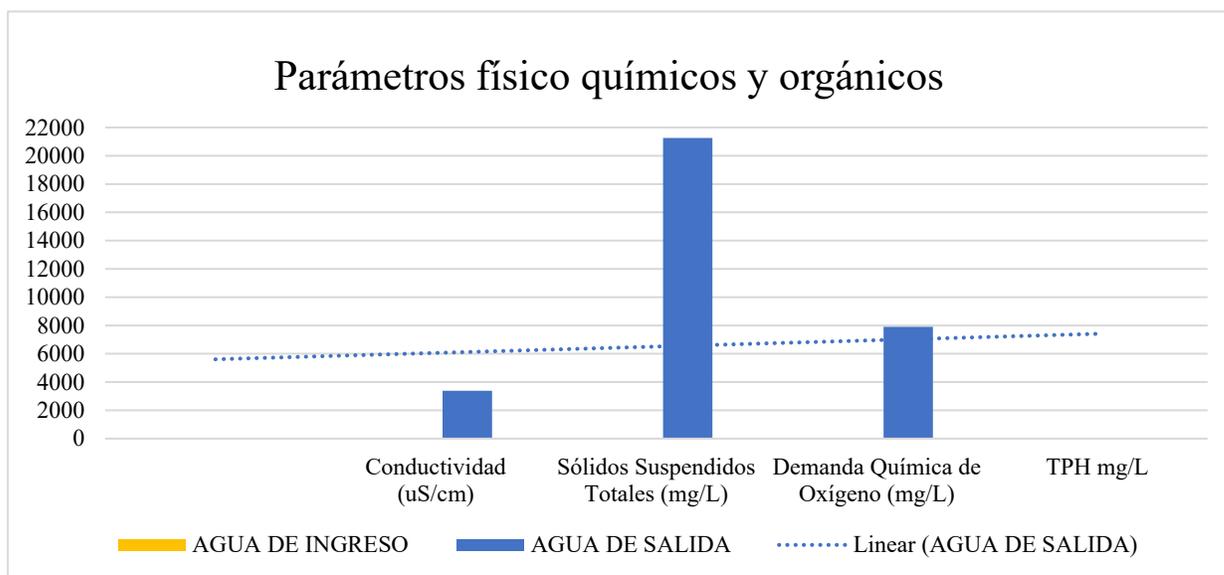


Figura 2. Análisis de Parámetros físicoquímicos y orgánicos de muestras del agua de ingreso. Elaborado por: Joselyn Freire.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

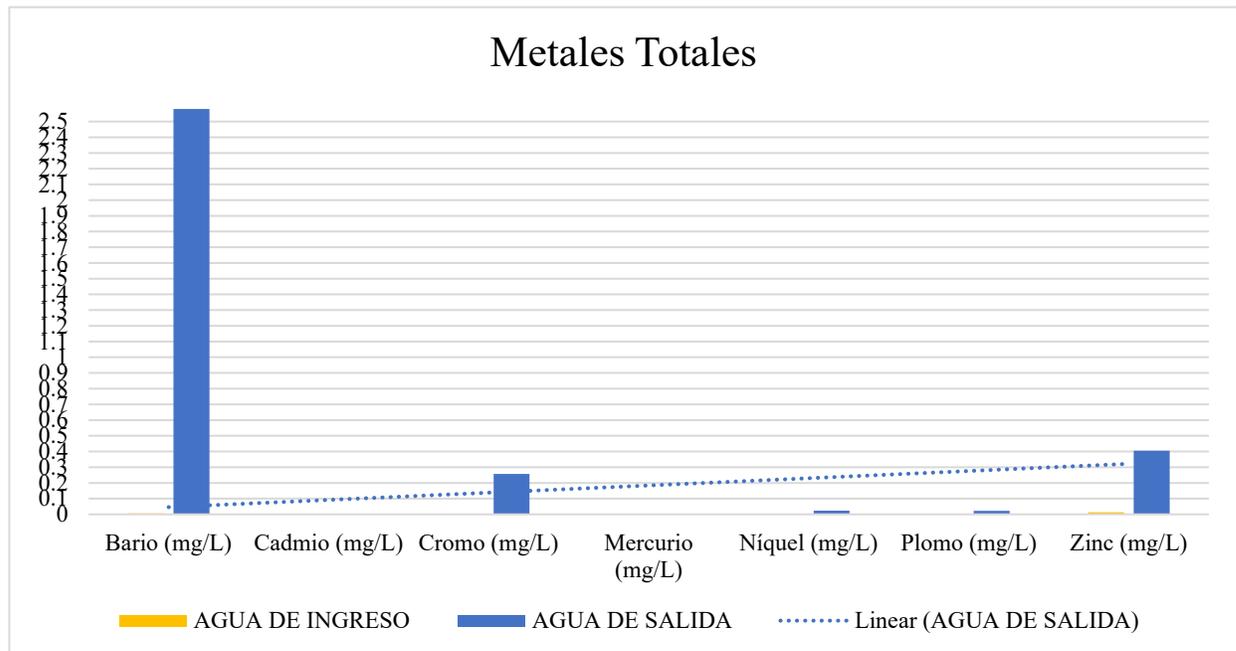


Figura 3. Análisis de metales totales de muestras del agua de ingreso. Elaborado por: Joselyn Freire

La Figura 2. Análisis de Parámetros fisicoquímicos y orgánicos de muestras del agua de ingreso, y la Figura 3. Análisis de metales totales de muestras del agua de ingreso, indican la variación de los valores obtenidos de los parámetros en las muestras de agua analizadas en las que se puede evidenciar que en todos los casos las concentraciones de los parámetros aumentan de manera considerable en las muestras de agua de descarga del proceso, demostrando que no se puede descargar el agua directamente al cauce receptor ya que para este proceso debería contar con los mismos parámetros de ingreso.

3.1. Cálculos

3.1.1. Indicadores de calidad

Se aplicó la Ecuación 1. Indicador de calidad., para obtener valores representativos que demuestren la relación entre el agua de ingreso y descarga del proceso y poder plantear criterios específicos para conocer los parámetros necesitan un tratamiento previo, los que se encuentran en un punto

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

límite y los parámetros que cumplen con los criterios para plantear directamente un sistema de recirculación.

Tabla 5. Ejemplo de cálculo 1.

PARÁMETROS	INGRESO	SALIDA
<i>Físico Químico</i>	<i>Muestra 1</i>	<i>Muestra 1</i>
pH	8	7.6

Elaborado por: Joselyn Freire

$$IC = \frac{VS}{VE}$$

$$IC \text{ pH} = \frac{8}{7.6}$$

$$IC \text{ pH} = 0.95$$

Se aplicó la Ecuación 2. Indicador de calidad legal., para obtener un valor que represente el estado del agua de salida del proceso y poder compararlo con los criterios y límites máximos permisibles establecidos en la normativa aplicable.

Tabla 6. Ejemplo de cálculo 2.

PARÁMETROS	INGRESO	SALIDA	Criterios de Calidad. Tabla 3. Aguas para riego agrícola.
<i>Metales totales</i>	<i>Muestra 1</i>	<i>Muestra 1</i>	
Cromo (mg/L)	0.0002	0.053	0.1

Elaborado por: Joselyn Freire

$$IC \text{ legal} = \frac{VS}{V_{\text{legal}}}$$

$$IC \text{ legal cromo} = \frac{0.053 \text{ mg/L}}{0.1 \text{ mg/L}}$$

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

$$IC \text{ legal cromo} = 0.53$$

El cálculo de indicadores de calidad para evaluar la factibilidad de recirculación y el cumplimiento legal se lo realizó para cada uno de los parámetros que fueron analizados en las todas muestras de agua, ver Tabla 4. Resultados de análisis de muestras de agua.

3.2. Tablas y Gráficos

Luego de realizar los cálculos de indicadores de calidad aplicando la Ecuación 1. Indicador de calidad., para cada uno de los parámetros establecidos en las muestras de agua, se obtuvo valores que fueron sometidos al análisis planteado en la Tabla 3. Criterios de análisis de indicadores de calidad., y se logró identificar aquellos parámetros que cumplen con los criterios de recirculación establecidos en las muestras de agua de ingreso al proceso, los parámetros que necesitan ser tratados por sus elevadas concentraciones y los que se encuentran en un nivel máximo de aceptación de los criterios.

Tabla 7. Indicadores de calidad para recirculación.

PARÁMETROS	IC = VS/VE		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Físico Químico			
pH	0.9	0.9	0.9
Conductividad (uS/cm)		11	95
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)			4251
Parámetros Orgánicos	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)			376
TPH (mg/L)	1	1	1
Metales Totales	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Bario (mg/L)	154.545	38.710	2900
Cadmio (mg/L)	2	4	

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

PARÁMETROS	IC = VS/VE		
Cromo (mg/L)	265	190	3400
Mercurio (mg/L)	2	4	
Níquel (mg/L)	42	4	
Plomo (mg/L)	28.333	3.429	96.000
Zinc (mg/L)	10.769	66.25	

Elaborado por: Joselyn Freire

La Tabla 7. Indicadores de calidad para recirculación, se analizó bajo los criterios específicos mencionados en la Tabla 3. Criterios de análisis de indicadores de calidad, para poder distinguir los parámetros que pueden recircularse y los que necesitan ser analizados para el planteamiento de un sistema de tratamiento específico. Los parámetros que se encuentran marcados con color rojo son los que necesitan, de manera obligatoria, un tratamiento previo para poder darle uso al agua en un proceso de recirculación, ya que sobrepasan los criterios de cumplimiento establecidos, dentro de los parámetros se encuentran: conductividad, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno y todos los metales totales que se encuentran dentro del análisis.

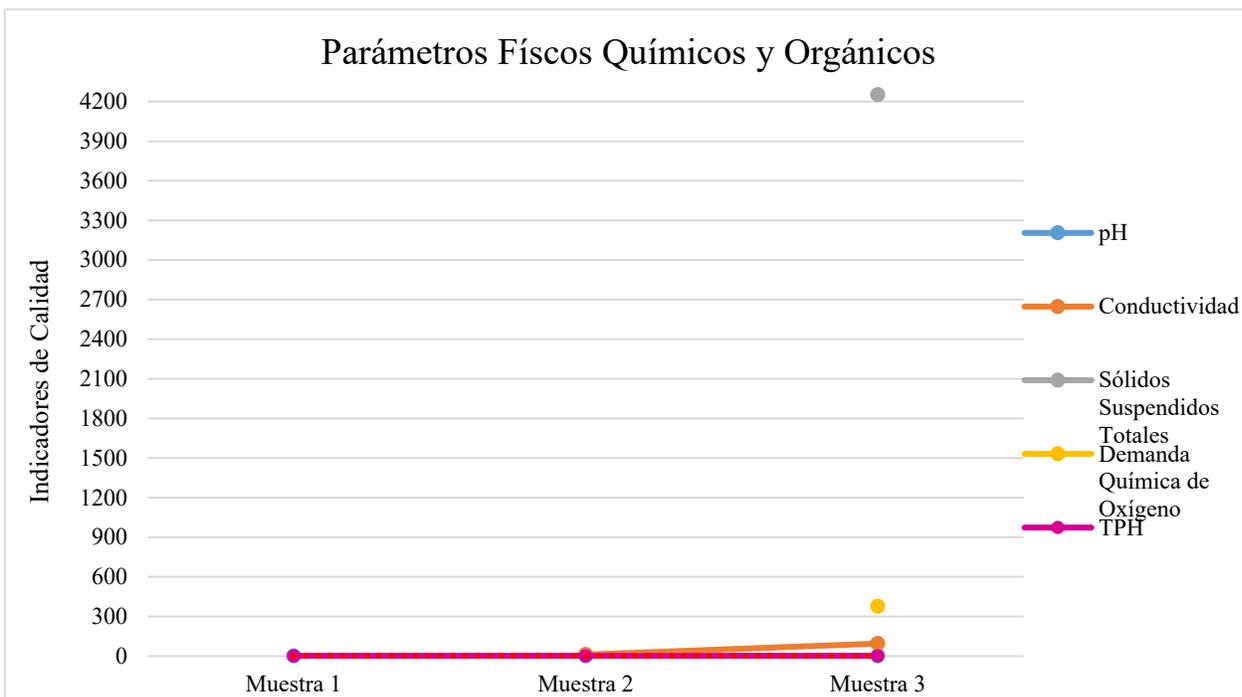


Figura 4. Análisis de Indicadores de calidad. Elaborado por: Joselyn Freire

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

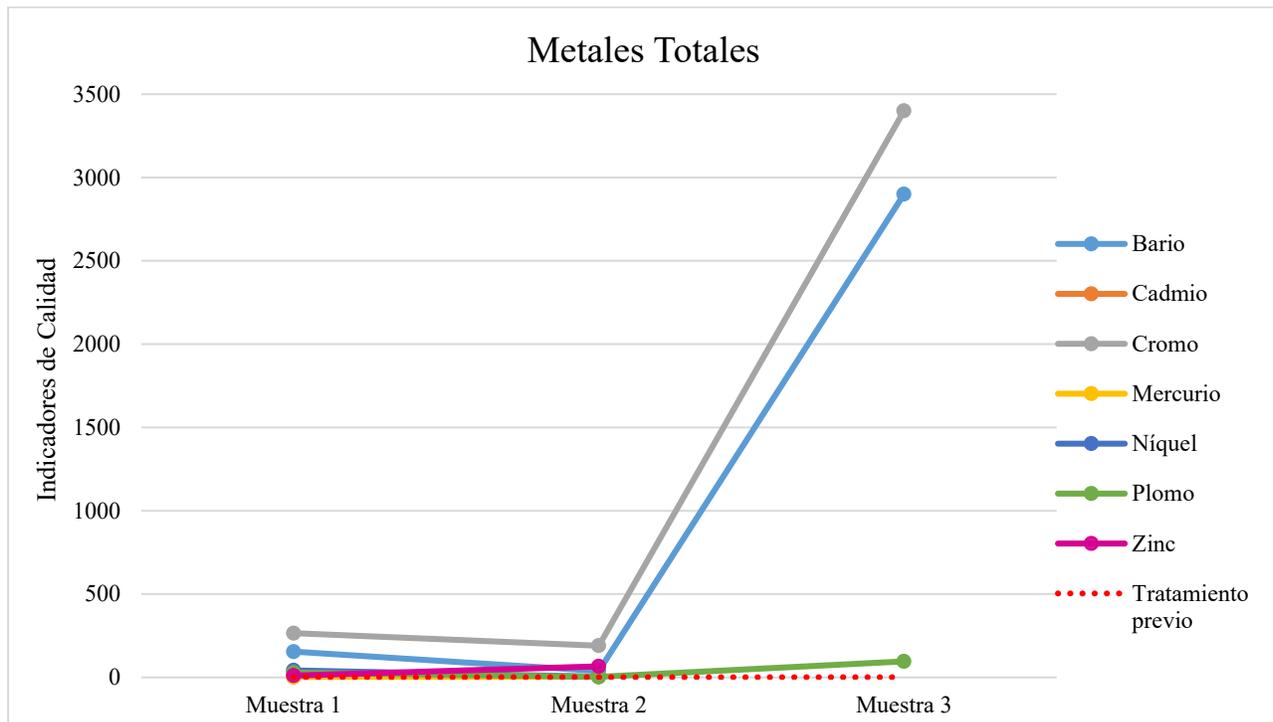


Figura 5. Análisis de Indicadores de calidad. Elaborado por: Joselyn Freire

La Figura 4, y la Figura 5, demuestran que los parámetros analizados arrojan valores superiores a uno, lo que implica la aplicación necesaria de un tratamiento previo, ya que el agua de descarga no puede ser recirculada directamente en el mismo proceso, teniendo en cuenta que los criterios de calidad para que el agua pueda ser utilizada como fluido de enfriamiento del taladro de perforación se basan en el análisis realizado del agua de ingreso al proceso ya que la misma cuenta con los parámetros necesarios de cumplimiento.

Se evaluaron los parámetros respectivos bajo el cumplimiento de los criterios establecidos en cada una de las tablas estipuladas en el Acuerdo Ministerial 097-A, mediante cálculo de indicadores de calidad con la aplicación de la Ecuación 2. Indicador de calidad legal.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

Tabla 8. Criterios de aguas para riego.

PARÁMETROS	AGUA DE SALIDA DEL PROCESO			Criterios de Calidad. Tabla 3. Aguas para riego agrícola. Anexo 1. Acuerdo Ministerial 097-A TULSMA	IC Legal = VS/Vlegal		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Físico Químico							
pH	7.6	7.1	6.9	6-9	0.9	0.9	0.9
Conductividad (uS/cm)	-	510	6250	-	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	-	-	21257	-	-	-	-
Parámetros Orgánicos							
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	-	-	7900	-	-	-	-
Metales Totales							
Bario (mg/L)	1.7	0.24	5.8	-	-	-	-
Cadmio (mg/L)	0.0002	0.0004	-	0.05	0.004	0.008	-
Cromo (mg/L)	0.053	0.038	0.68	0.1	0.53	0.38	6.8
Mercurio (mg/L)	0.0002	0.0004	-	0.001	0.2	0.4	-
Níquel (mg/L)	0.042	0.004	-	0.2	0.21	0.02	-
Plomo (mg/L)	0.017	0.0024	0.048	5	0.0034	0.00048	0.0096
Zinc (mg/L)	0.28	0.53	-	2	0.14	0.27	-

Elaborado por: Joselyn Freire

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

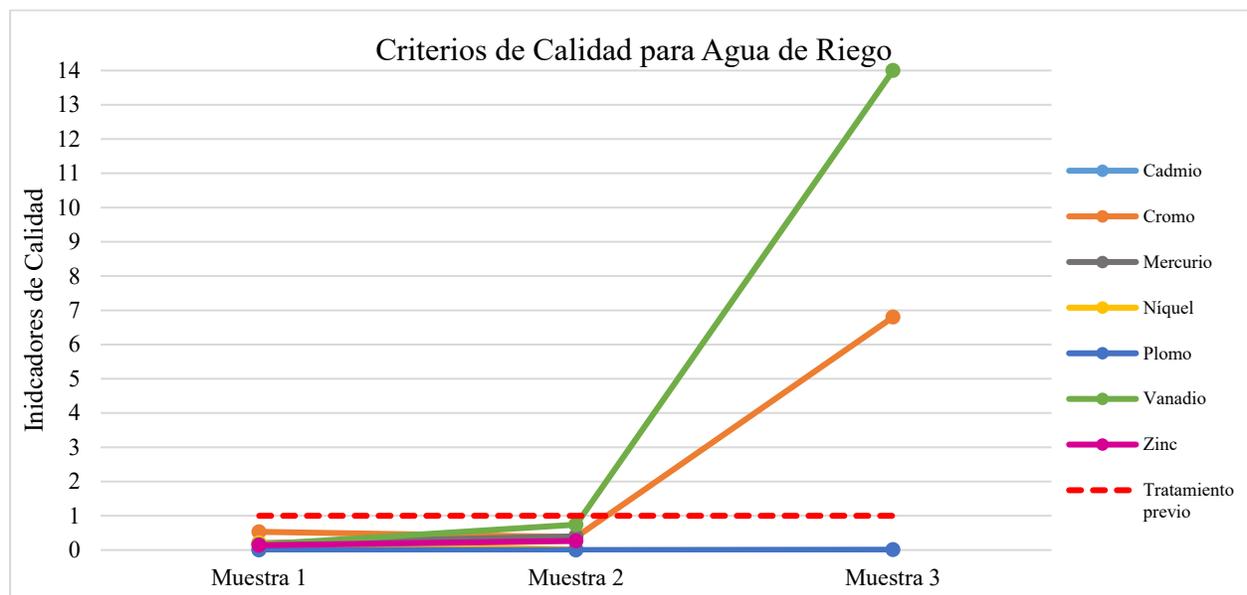


Figura 6. Criterios de calidad para agua de riego. Elaborado por: Joselyn Freire.

La Tabla 8, y la Figura 6, indican que los únicos parámetros que necesitan un tratamiento previo para cumplir con los criterios de calidad establecidos en la Tabla 3. Criterios de análisis de indicadores de calidad, son el cromo y el vanadio, mientras que los parámetros restantes cumplen satisfactoriamente los criterios de calidad para que el agua de descarga del proceso pueda ser utilizada como agua de uso agrícola, pudiendo ser de regadío de cultivos u otras actividades similares y complementarias.

Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

PARÁMETROS	AGUA DE SALIDA DEL PROCESO			Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Anexo 1, Acuerdo Ministerial 097-A TULSMA	IC Legal = VS/Vlegal		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Físico Químico							
pH	7.6	7.1	6.9	6-9	0.9	0.9	0.9
Conductividad (uS/cm)	-	510	6250	-	-	-	-

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

PARÁMETROS	AGUA DE SALIDA DEL PROCESO			Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Anexo 1, Acuerdo Ministerial 097-A TULSMA	IC Legal = VS/Vlegal		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Físico Químico							
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	-	-	21257	130	-	-	164
Parámetros Orgánicos							
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	-	-	7900	200	-	-	40
TPH (mg/L)	0.3	0.3	0.3	20	0.015	0.015	0.015
Metales Totales							
Bario (mg/L)	1.7	0.24	5.8	2	0.85	0.12	2.9
Cadmio (mg/L)	0.0002	0.0004	-	0.02	0.01	0.02	-
Cromo (mg/L)	0.053	0.038	0.68	0.5	0.106	0.076	1.36
Mercurio (mg/L)	0.0002	0.0004	-	0.005	0.04	0.08	-
Níquel (mg/L)	0.042	0.004	-	2	0.021	0.002	-
Plomo (mg/L)	0.017	0.0024	0.048	0.2	0.085	0.012	0.24
Zinc (mg/L)	0.28	0.53	-	5	0.056	0.106	-

Elaborado por: Joselyn Freire

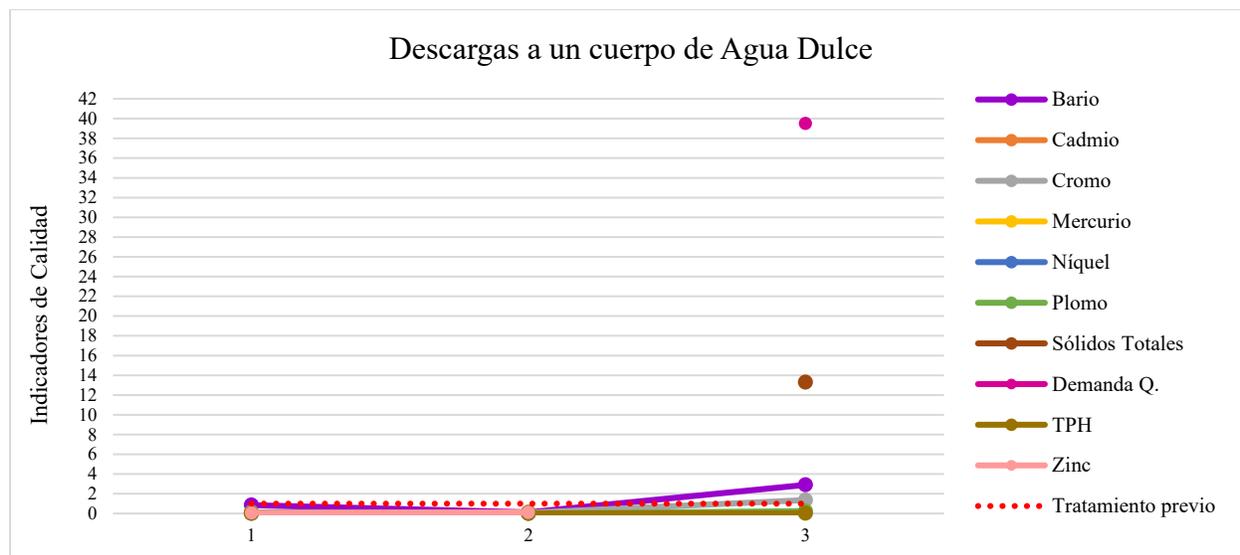


Figura 7. Criterios de calidad para descarga a un cuerpo de agua dulce. Elaborado por: Joselyn Freire.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

La Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce., y la Figura 7. Criterios de calidad para descarga a un cuerpo de agua dulce., indican los resultados de cada uno de los indicadores de calidad de los parámetros con respecto a la normativa, según los criterios establecidos los parámetros que necesitan un tratamiento previo para poder cumplir con los límites respectivos de descarga a un cuerpo de agua dulce son: sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, bario y cromo.

Después del análisis de indicadores de calidad bajo el cumplimiento de la normativa aplicable, se notó un patrón en aquellos parámetros que necesitan ser sometidos a un tratamiento previo para poder cumplir los criterios y límites permisibles según el uso que se requiera darle al agua de descarga del proceso. En todos los casos el cálculo de indicadores de calidad muestra que los parámetros que necesitan un tratamiento previo para poder cumplir las especificaciones estipuladas en la normativa son: Sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, cromo, y en el caso de la Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce., que corresponde a los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, se incluye un parámetro adicional que es el bario.

3.3. Balance de agua

La Figura 8. Balance de agua en el proceso de perforación, presenta el balance de agua llevado a cabo en las actividades de perforación, la cantidad de agua utilizada en el proceso es de 1,7 L/s, pero el volumen máximo que puede llegar a ser captado es de 3 L/s ya que pueden existir pérdidas con evaporación o posibles infiltraciones durante el proceso de perforación dadas las características geológicas de la zona de exploración.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

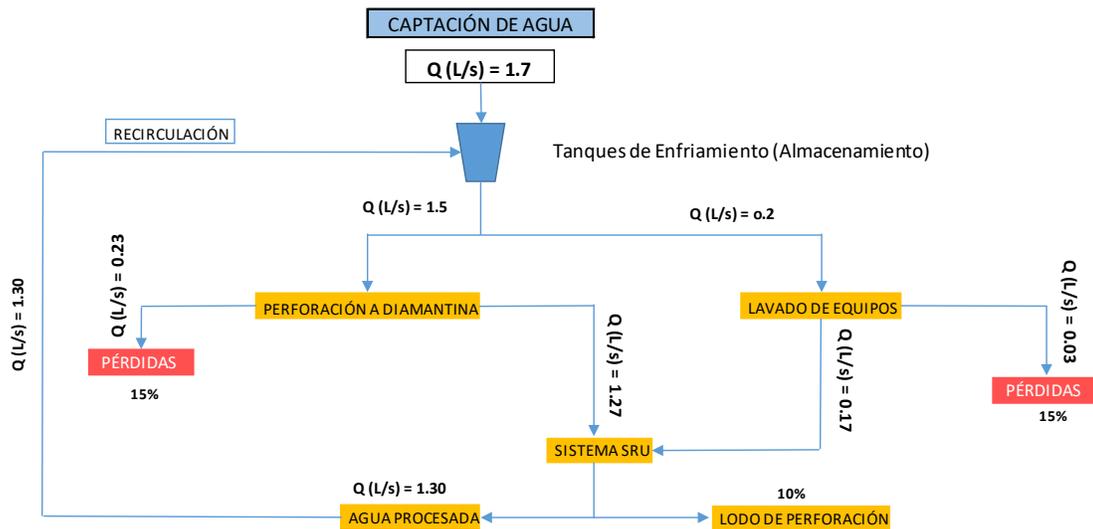


Figura 8. Balance de agua en el proceso de perforación (EcuadorFortescue, 2019).

El caudal utilizado está destinado a la perforación y al lavado de equipos, en los dos procesos existe una pérdida del 15%, el fluido resultante del proceso de perforación es conducido hacia una Unidad de Remoción de Sólidos (SRU por sus siglas en inglés), permitiendo reciclar los fluidos de perforación, posee un sistema de circuito cerrado que disminuye el volumen de agua y lodos requeridos para las operaciones, eliminando la continua necesidad de bombear agua desde la superficie o acumular reservas de agua, una vez que ya no se puede recircular más el agua, es almacenada y pasada a tanques de evaporación, sin realizar ningún tipo de descarga al ambiente.

El caudal que ingresa al SRU es de 1.44 L/s, el 10% del mismo se concentra en los lodos de perforación y el restante se convierte en el agua procesada que será recirculada. El objetivo es reemplazar esta unidad de remoción de sólidos con el sistema de tratamiento propuesto para generar alternativas de uso del agua bajo el cumplimiento legal.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

3.4. Tratamiento

Bajo el análisis de los parámetros con la ayuda de indicadores de calidad se planteó un sistema de tratamiento que puede generar la disminución considerable en las concentraciones llegando a los niveles óptimos para buscar darle un uso al agua, teniendo en cuenta el caudal calculado en el balance de agua del proceso en la Figura 8. Balance de agua en el proceso de perforación.

3.4.1. Desarenado – Sedimentación

“La sedimentación es la separación de partículas suspendidas más pesadas que el agua, mediante la acción de gravedad y es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de aguas residuales” (Coral, 2013).

Es el tratamiento primario, que logra remover por medios mecánicos o físicos, una parte importante de los sólidos suspendidos o sedimentables, con un porcentaje de reducción entre el 50 y 65% (Garcés Vinueza, 2019).

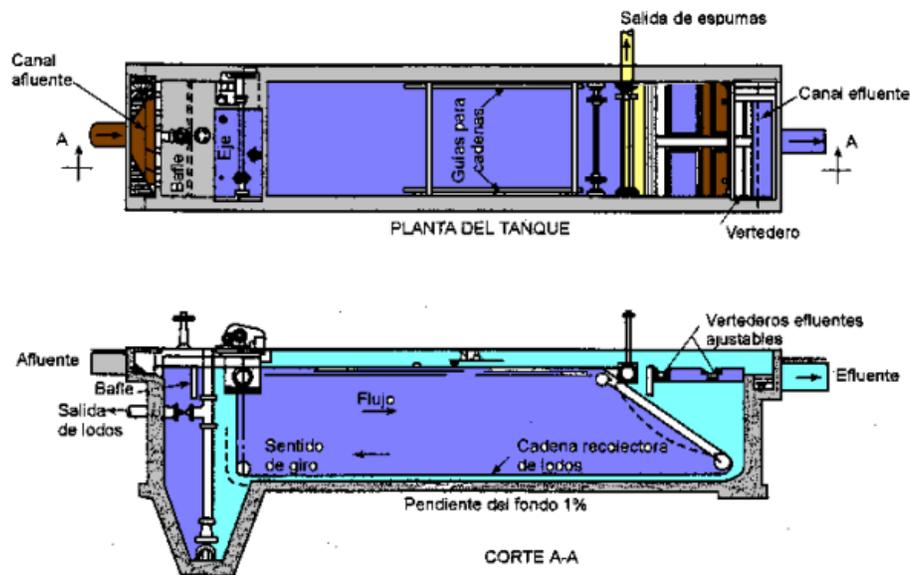


Figura 9. Modelo de Sedimentador Rectangular. Fuente: (Coral, 2013).

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

La Figura 9. Modelo de Sedimentador Rectangular. Fuente: , indica un sedimentador rectangular, este tanque y su rendimiento dependerán de varios factores, entre ellos el período de retención, la profundidad del tanque, el área y la velocidad de salida, el tamaño de las partículas y las características que presente el agua residual del proceso.

3.4.2. Coagulación – Floculación

Las partículas de pequeño tamaño que se pueden encontrar en suspensión tienen una velocidad de sedimentación muy pequeña y no llegan a separarse utilizando una sedimentación normal dado que el proceso conllevaría tiempos de residencia del fluido en sedimentadores muy largos, lo que implica mayores costos en material y terreno ocupado (Martínez, 2019). Es por esto que la floculación – coagulación ayudará a obtener un agua exenta de sólidos en suspensión y en estado coloidal, siendo la mejor opción para desestabilizar partículas y formar aglomeraciones con mayor peso y volumen, que les permitirá sedimentar (Coral, 2013).

La instalación de los tanques de coagulación floculación tiene el objetivo de mezclar los reactivos con el agua y favorecer la formación de flóculos. La dosis óptima, tanto de coagulante como de floculante, se puede determinar mediante ensayos denominados “*jar test*”, en los cuales se prueba diferentes dosis de reactivos. La prueba de jarras constituye un instrumento de apoyo usado para el control del proceso, determinando pH óptimo, puntos de adición de sustancias químicas y optimización de energía de mezclado y tiempos (Coral, 2013).

El material que se propone para la construcción del sistema es acrílico transparente de 9mm de espesor, por que presenta cualidades de alta resistencia y durabilidad, además otra ventaja añadida es que permite una clara visualización del funcionamiento del sistema, cuando esté puesto marcha para poder controlar el proceso (Garcés Vinueza, 2019).

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

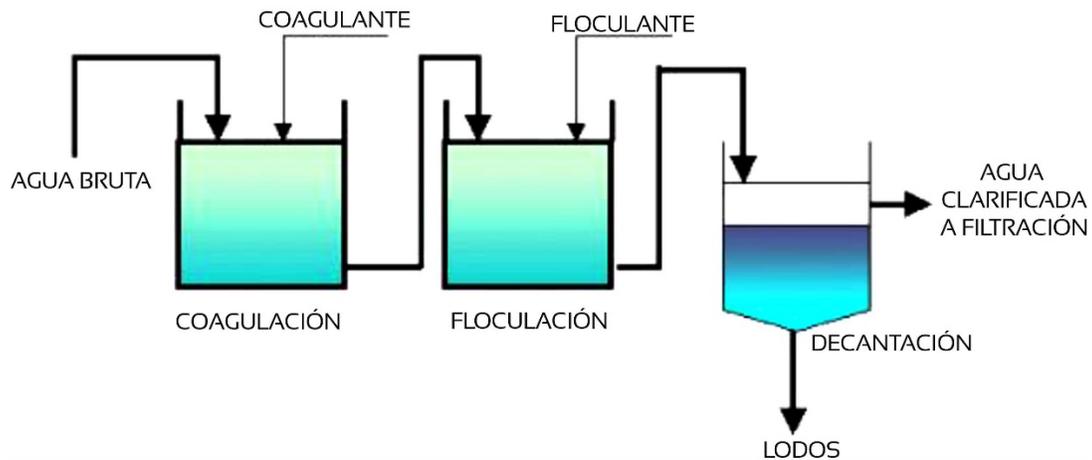


Figura 10. Modelo de tanques de coagulación floculación. Fuente: (Sánchez, 2016)

En la Figura 10. Modelo de tanques de coagulación floculación, (Sánchez, 2016) indica un modelo tradicional del sistema de coagulación floculación, el diseño de los tanques dependerá del caudal que se necesite tratar y también es necesario tomar en cuenta el espacio disponible para la construcción de todo el sistema.

Posterior al sistema de coagulación floculación, se propone construir una unidad de decantación o sedimentación en la que se logre recoger los lodos resultantes del proceso y obtener el agua clarificada final. Luego de estas pruebas se deberá evaluar los parámetros con indicador mayor a 1, para determinar la reducción de estos por la eliminación de sólidos, y dar paso al siguiente proceso. Esto debido a que los metales medidos por el laboratorio tienen el aporte tanto de sólidos disueltos como suspendidos.

3.4.3. Fitorremediación

La fitorremediación es una alternativa que utiliza, principalmente, plantas que ayudan en gran medida a remover, absorber, reducir, transformar, mineralizar, degradar o estabilizar contaminantes, entre ellos metales pesados (Delgadillo López, González Ramírez, Villagómez

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

Ibarra, & Acevedo Sandoval, 2011). Esta alternativa constituye una tecnología de bajo costo, puesto que no requiere de infraestructura sofisticada, además es compatible con el ambiente y estéticamente más agradable, por su naturaleza no intrusiva, que tecnologías convencionales (Núñez López, Meas Vong, Ortega Borges, & Olguín, 2004).

Las concentraciones de metales pesados en las muestras son bastante altos, por lo que la fitorremediación es una técnica considerada a nivel mundial con una considerable capacidad de remoción de metales pesados, dependiente de la especie de planta que se proponga a utilizar y sus características dentro del medio que se requiere tratar. El Jacinto de agua también conocido como lirio acuático o de agua, es una planta acuática perenne, vascular de climas cálidos y fríos, representa la octava planta con crecimiento más rápido en el mundo por lo que puede extenderse en gran cantidad y lograr sobrevivir en muchos sitios (Jaramillo Jumbo & Flores Campoverde, Universidad Politécnica Salesiana - Sede Cuenca, 2012). Esta planta tiene entre sus características, la habilidad de actuar como un filtro biológico para metales pesados por lo que varios estudios han demostrado que tiene una habilidad asombrosa para acumular metales sobre todo en la parte de sus raíces (Jiménez Moleón, y otros, 2015).

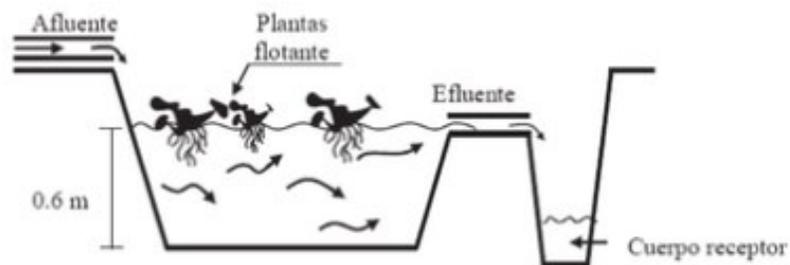


Figura 11. Modelo de sistema de fitorremediación. Fuente: (CIEMA, 2005)

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

El modelo propuesto para el desarrollo de este proceso se basa en un sistema con macrófitas flotantes, que consiste en lagunas con bajos niveles de agua en las que crecen las plantas y sus raíces mantienen un buen desarrollo.

3.5. Eficiencia del tratamiento

La Tabla 10. Carga contaminante., indica la concentración de los parámetros medidos en las muestras de descarga del proceso por el caudal vertido denominada carga contaminante, que es entendida como una masa de contaminantes aportada en una unidad de tiempo (Castillo, 2016).

Tabla 10. Carga contaminante.

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN mg/L	CAUDAL (L/s)	CARGA CONTAMINANTE kg/d
Sólidos Suspendedos mg/L	21257	1.3	2388
DQO mg/L	7900		887
Cromo mg/L	0.68		0.08
Mercurio mg/L	0.0004		4E-05

Elaborado por: Joselyn Freire

El caudal vertido de 1.3 L/s corresponde al valor de descarga resultante del proceso de recirculación con la unidad de remoción de sólidos, dado el agua de descarga resulta no apta para poder ser recirculada en el proceso, el SRU ayudará a disminuir el volumen de captación y consumo de agua en las plataformas de perforación.

Tabla 11. Eficiencia de remoción de parámetros.

TRATAMIENTO	EFICIENCIA DE REMOCIÓN	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA
Sedimentación	<i>Sólidos suspendidos</i>	Metcalf & Eddy., Ingeniería de Aguas Residuales., 1991., Pp 539
	50 - 70 %	

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

TRATAMIENTO	EFICIENCIA DE REMOCIÓN	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA
	TRH 1.5 2.5 horas	
Coagulación- Floculación	<i>Sólidos suspendidos</i>	Coral, K. Evaluación y Control de la Contaminación de Aguas Residuales. 2013.
	80 - 90%	
	<i>DQO</i>	
	30 - 60%	
Fitorremediación con Jacinto de agua	<i>Metales (cromo, mercurio)</i>	Carreño Sayago, U. F., & Granada Torres, C.A. Diseño, Desarrollo y Evaluación de una tecnología de fitorremediación. 2015
	20 - 70%	

Elaborado por: Joselyn Freire

La Tabla 11. Eficiencia de remoción de parámetros., muestra los porcentajes de eficiencia del sistema de tratamiento con respecto a la de remoción de los parámetros evaluados: sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, cromo y mercurio, basados en investigaciones que han puesto a prueba los distintos métodos propuestos para el tratamiento del agua de descarga del proceso de perforación. La eficiencia de remoción del tratamiento depende de varios factores como las características del agua residual, el tiempo de retención hidráulico, el proceso de barrida de lodos (Tilley, Ulrich, Luthi , Reymond, & Zurbrugg, 2014)., la aplicación de las dosis óptimas de floculantes y coagulantes, crecimiento de la especie de planta utilizada en el proceso de fitorremediación en este caso el Jacinto acuático incluyendo su máximo porcentaje de absorción y acumulación, entre otros.

Considerando los porcentajes de remoción mencionados en la Tabla 11. Eficiencia de remoción de parámetros., la aplicación del sistema de tratamiento propuesto para el agua de descarga del proceso generará los siguientes resultados con respecto a los parámetros evaluados mediante el cálculo de indicadores de calidad:

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

Tabla 12. Resultados del tratamiento.

TRATAMIENTO	EFICIENCIA DE REMOCIÓN	CONCENTRACIÓN INICIAL mg/L	CONCENTRACIÓN FINAL mg/L	LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE mg/L
Sedimentación	Sólidos suspendidos	21257	2126	130
	50 - 90 %			
	TRH 1.5 - 2.5 horas			
Coagulación-Floculación	DQO	7900	3160	200
	30 - 60%			
Fitorremediación con Jacinto de agua	Cromo 20 - 70%	0.68	0.204	0.5
	Mercurio 20 - 70%	0.0004	0.00012	0.005

Elaborado por: Joselyn Freire.

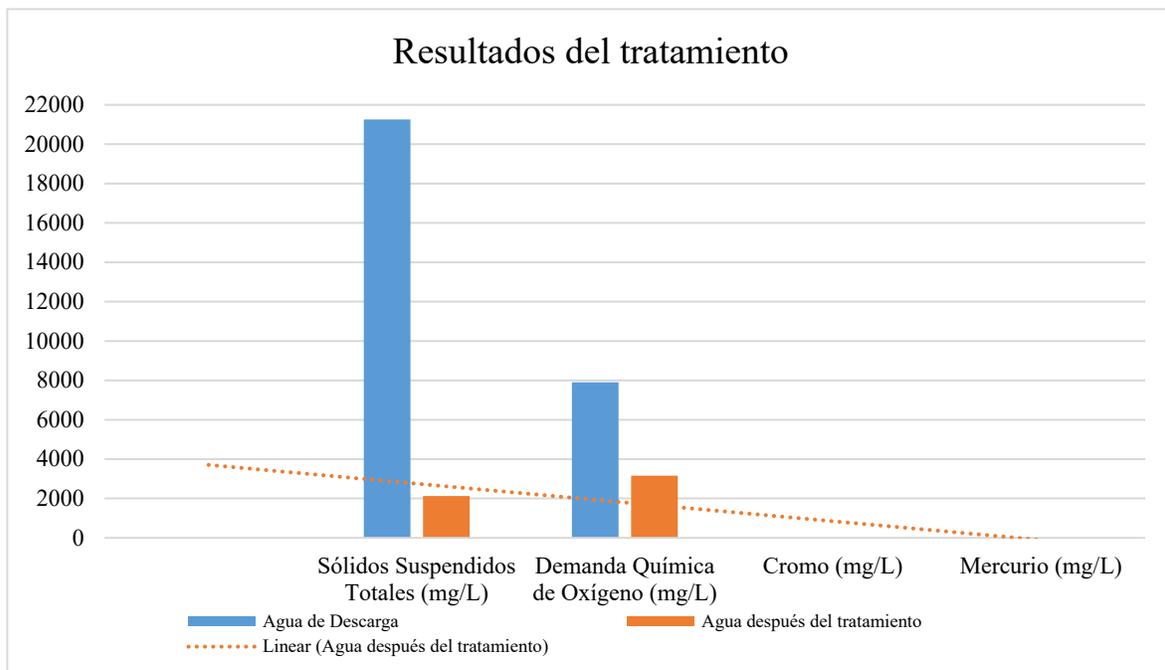


Figura 12. Resultados del tratamiento. Elaborado por: Joselyn Freire.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

La Tabla 12, y Figura 12. Resultados del tratamiento, muestran la eficiencia que tendrá en sistema de tratamiento propuesto frente a los parámetros evaluados previamente en el cálculo de indicadores de calidad, obteniendo una reducción de las concentraciones mayor al 50% con respecto a los valores iniciales de ingreso. Los nuevos valores obtenidos posterior al tratamiento deben ser evaluados bajo los criterios de indicadores de calidad nuevamente para poder plantear nuevos usos para el agua.

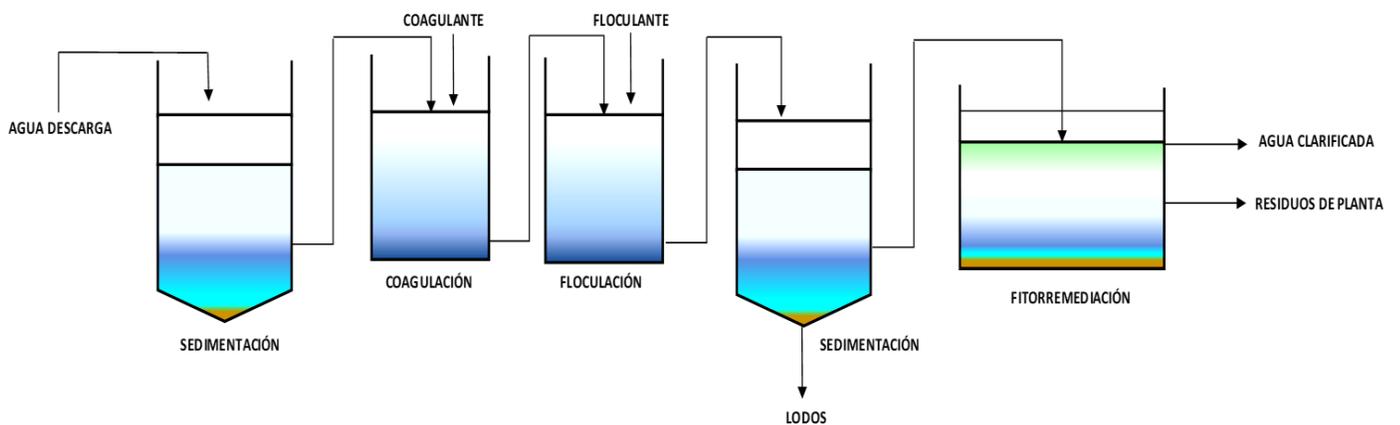


Figura 13. Sistema de tratamiento propuesto. Elaborado por: Joselyn Freire.

La Figura 13. Sistema de tratamiento propuesto, indica el sistema de tratamiento propuesto para el agua del proceso, está basado en el cálculo de indicadores de calidad que arrojaron resultados que permitieron plantear el sistema con respecto a los parámetros: sólidos suspendidos, demanda química de oxígeno y metales totales como son el cromo y mercurio.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos de los análisis realizados en la Tabla 4. Resultados de análisis de muestras de agua., indican claramente el aumento de concentración en los parámetros, sobresaliendo los metales totales: bario, cromo, cadmio, mercurio y zinc, la alta tasa de crecimiento podría ocasionar

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

impactos severos al ambiente especialmente al agua, si se realiza una descarga sobre los límites máximos permisibles, además el volumen de captación de agua necesario para los trabajos de perforación llevados a cabo en las plataformas es considerable, lo que podría ocasionar disminuciones de caudal de los cuerpos de agua aumentando así el deterioro de la calidad físico química del agua, todos estos efectos son de alto impacto ambiental, así como sus interacciones, aun cuando el Reglamento Ambiental de Actividades Mineras en el Art. 11 que actualmente es sustituido por el artículo 5 de Acuerdo Ministerial No 69, publicado en Registro Oficial Suplemento 795 de 12 de julio del 2016, menciona que para el período de exploración inicial la Autoridad Ambiental otorgará un Registro ambiental, que según el Reglamento al Código Orgánico del Ambiente en el Art. 426, corresponde a proyectos, obras o actividades consideradas de bajo impacto ambiental.

Los impactos que genera la presencia de metales pesados en los recursos hídricos son severos, Combariza (2009) señala que, por la elevada toxicidad, el impacto en la salud por exposición prolongada o por bio-acumulación de metales pesados es alarmante, dependiendo del metal o metaloide, se producen afecciones que van desde daños en órganos vitales hasta desarrollos cancerígenos. La Organización Mundial de la Salud, (2011), menciona valores de referencia para sustancias químicas cuya presencia en el agua de consumo humano representa una total preocupación para la salud, considerando como valores de referencia para el cromo de 0.05 mg/L y el mercurio con un valor de 0.006 mg/L, teniendo en cuenta las altas concentraciones obtenidas en el análisis del agua de proceso para estos metales, representaría un peligro para la salud de las personas si se llegará a descargar en cualquier cuerpo receptor que sirva como fuente de captación de agua para las comunidades cercanas al proyecto.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

El aumento en la concentración de sólidos suspendidos totales en el análisis del agua de descarga es muy alto, por lo que la remoción previa de este parámetro es necesaria para continuar con los siguientes pasos del tratamiento, varios estudios indican la eficiencia de este proceso como es el caso de Ramos, Vinatea, Santos, & Da Costa, (2010), quienes confirman que la etapa de sedimentación presenta un alto porcentaje de remoción de sólidos suspendidos, con un valor de superior al 65%.

El proceso de coagulación – floculación elimina alrededor del 80 al 90% de la materia total suspendida, del 40 al 70% de DBO, 30 al 60% de DQO y del 80 al 90% de bacterias, además de sustancias orgánicas disueltas, como es el caso de Jordán (2018), quien prueba un sistema de coagulación – floculación en el tratamiento de aguas residuales y obtiene una remoción del 99.8% de turbiedad, además indica que es un proceso eficiente logrando disminuir el gasto económico que implica el tratamiento externo de las descargas en un 99.11%, tomando en cuenta también el alto ahorro de agua que se puede llegar a tener con la alternativa de poder recircular el agua ya clarificada resultante del proceso.

La fitorremediación constituye un tratamiento terciario necesario para la remoción de las concentraciones elevadas de metales existentes en el agua, pero que puede ser lento por el tiempo que toma el crecimiento de la planta, sin embargo la eficiencia para la remoción de metales pesados es bastante alta, como lo indica el estudio realizado por Carreño Sayago & Granada Torres (2015), quienes diseñaron una tecnología de fitorremediación para la remoción del cromo usando Jacinto de agua y obtuvieron una eficiencia de remoción de este metal de 33 % en tan solo dos días, alcanzando una remoción final por encima del 70% después de varios días de tratamiento, si este método se aplicará en los efluentes analizados y se obtuviera un remoción similar, se alcanzarían

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

valores de 0.204 ppm utilizando sólo este método, tomando en cuenta que en la última muestra de agua tomada la concentración de cromo fue de 0.68 ppm con lo cual se entraría en norma legal en los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

El aumento de concentraciones de mercurio en el agua son altas considerando lo restrictiva que es la normativa con respecto a los límites máximos permisibles de presencia de este metal, la fitorremediación es un proceso que ayuda a la remoción de este metal como en el caso del estudio de Jaramillo Jumbo & Flores Campoverde, (2012), donde se realizó fitorremediación usando Jacinto de agua en aguas residuales mineras concluyendo que la capacidad de absorción al mercurio fue de un 29,5%, por lo que afirma que es eficiente para remover este elemento del agua. El estudio de Poma Llantoy & Valderrama Negrón, (2014), comprueba el anterior estudio afirmando que el porcentaje de sorción de la especie Jacinto de agua para mercurio es de 15,6% en un período de 7 días, concluyendo que dicha especie es una planta potencialmente aprovechable para remover mercurio en aguas contaminadas, alcanzando valores de 0.00012 ppm que cumplirían con la normativa ambiental vigente para que el agua pueda ser usada en actividades de riego o directamente descargada a un cuerpo de agua dulce.

5. CONCLUSIONES

- La importancia del cálculo y análisis de indicadores de calidad para buscar alternativas de reciclaje de agua dentro del proceso de perforación minera de cobre en la etapa de exploración inicial resulta acertado y necesario ya que es evidente que a medida que el proyecto se consolide, la extracción se duplicará diariamente, lo que implicará captar un doble caudal de agua. En este punto el proceso de captación, técnicas que puedan aplicarse

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

para la correcta descarga de efluentes incluyendo sistemas de recirculación, tratamiento y reciclaje del agua, aportarán una visión ambientalmente sostenible bajo el cumplimiento de la normativa aplicable.

- El cálculo de indicadores de calidad es una técnica sencilla que ayuda a obtener valores simples de ser analizados, bajo este concepto los resultados obtenidos de los indicadores de calidad para evaluar la capacidad del agua de descarga para ser recirculada dentro del mismo proceso demuestran que el agua no es apta para esta alternativa sin aplicar un sistema de tratamiento previo. De igual manera sucede con el análisis comparado con los criterios de calidad y límites máximos permisibles estipulados en el Acuerdo Ministerial 097-A, en el cual el agua de descarga no puede ser utilizada para los distintos usos mencionados en la normativa, sin antes pasar por un proceso de tratamiento.
- Los estándares de calidad para el ingreso del agua al sistema de perforación en las plataformas se basan principalmente en la cantidad de sólidos suspendidos totales que pueden estar presentes en el agua y que pueden interferir en el proceso que realiza el taladro de perforación, es por esto que se tomó como referencia la concentración de sólidos que contiene el agua proveniente de los puntos de captación destinados. Un tratamiento de estos sólidos mejorará la calidad del agua para su aprovechamiento posterior.
- El sistema de tratamiento propuesto fue planteado con respecto a los parámetros que después del análisis de indicadores arrojaron valores mayores a 1, dadas las concentraciones considerables de metales totales presentes en el agua fue necesario plantear un tratamiento terciario que consiste en una fitorremediación con Jacinto acuático, que, debido a su rápido

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

crecimiento y abundancia, es una tecnología de fácil acceso y sobre todo una alternativa económica para tratar el agua de descarga.

- A pesar de que la normativa ambiental ecuatoriana, establece que la fase de exploración inicial minera es de bajo impacto, por lo que se requiere únicamente la obtención de un registro, los resultados obtenidos muestran que el impacto sobre el agua es significativo tomando en cuenta el incremento en las concentraciones de metales como el cromo y el mercurio que resultan bastante tóxicos y peligrosos tanto para el ambiente como para el bienestar y salud de comunidades que pueden verse afectadas por la contaminación, y que consecuentemente, debe estar sometido a un mayor control y verificación del cumplimiento de valores máximos permitidos.

6. RECOMENDACIONES

- Una vez puesto en marcha el sistema de tratamiento propuesto para el agua de descarga del proceso es importante volver a realizar el cálculo de indicadores de calidad tanto para verificar si los parámetros cumplen para proponer alternativas de recirculación como para el cumplimiento de la normativa aplicable para buscar darle el mejor uso al agua. Se recomienda realizar pruebas piloto de los tratamientos para verificar la eficiencia de los mismos y su real necesidad. Un ejemplo de esto es que es factible que la eliminación de sólidos suspendidos y sedimentables, reduzcan la concentración de metales. Si esto se comprueba, la fitorremediación podría suprimirse o podría ser más efectiva. De no hacerlo, se recomienda probar la precipitación química.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

- El sistema de tratamiento propuesto plantea la técnica de fitorremediación usando la especie de planta conocida como Jacinto de agua, por lo que se recomienda que posterior al uso de esta planta, a su retiro del sistema, se realice un análisis CRETIB para conocer las características de este residuo, ya que en el proceso absorberá una gran cantidad de metales totales por lo que posiblemente tenga que ser tratado como un residuo tóxico y peligroso que tendrá que ser incinerado.
- En la actualidad se utiliza la unidad de remoción de sólidos, vistos los resultados, se deberá analizar su reemplazo por el sistema de tratamiento propuesto, o su funcionamiento en serie, por lo que es recomendable realizar un análisis costo beneficio detallado, para comparar ambas alternativas incluyendo las necesidades y requerimientos de la empresa.
- Las concentraciones de cromo en los análisis de muestras del agua de salida son altos, por lo que, sería de gran aporte en futuras investigaciones, buscar alternativas eficientes que permitan una recuperación y reutilización de este metal.
- Se deben realizar pruebas bajo planes piloto a nivel de laboratorio para probar el sistema de tratamiento propuesto y su eficiencia frente a la remoción de concentración de parámetros ya que puede variar por distintos factores que serán identificados cuando se únicamente puesto en marcha el tratamiento.
- Es necesario evaluar la clasificación de la exploración minera como actividad de bajo impacto, por lo que se recomienda, realizar evaluaciones más detalladas en otras concesiones mineras, para verificar la contaminación de los efluentes y a posterior, pensar en un cambio de la normativa ambiental vigente.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

- Se recomienda a la empresa realizar el proceso de evaluación a través de indicadores para un mayor número de muestras, tanto de entrada como de salida, y realizar los análisis en los parámetros efectuados en la última muestra de este trabajo. Esto permitirá tener una idea más precisa de los valores de salida y utilizando cálculos de probabilidad de ocurrencia, así como pruebas piloto, establecer los requerimientos específicos del sistema de tratamiento requerido, modificando o no, lo establecido en el presente estudio.

LITERATURA CITADA

- Carreño Sayago, U. F., & Granada Torres, C. A. (2015). *Diseño, Desarrollo y Evaluación de una tecnología de fitorremediación a escala de laboratorio utilizando la Eichhornia Crassipes para el tratamiento de Aguas contaminadas con Cromo*. Obtenido de Ridum: <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2578/Art%20Carre%20b1o%20%26%20Granada..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castillo, F. (24 de enero de 2016). *Gestión y tratamiento de residuos*. Obtenido de Carga contaminante y habitantes equivalente: <https://www.docsity.com/es/5-carga-contaminante-y-habitantes-equivalente-1/623383/>
- CIEMA. (2005). Tecnología sostenible para el tratamiento de aguas residuales. *Centro de investigación y estudios en medio ambiente*.
- Combariza, B. (2009). Contaminación por Metales Pesados en el embalse del Muña y su relación con los niveles en sangre de Plomo, Mercurio y Cadmio y alteración de salud en los habitantes del municipio de Sibaté (Cundimarca). *Trabajo de Maestría, Universidad Nacional de Colombia*, 1-115.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

- Coral, K. (2013). *Evaluación y Control de la Contaminación de Aguas Residuales*. Quito: Paraninfo UISEK.
- Crittenden, J., Rhodes, R., Hand, D., Howe, K., & Tchobanoglous, G. (2012). *Coagulation and Flocculation in Basic Water Treatment* (3d Edition ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Delgadillo López, A. E., González Ramírez, C. A., Villagómez Ibarra, J. R., & Acevedo Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Scielo*.
- Durán, M. A. (2014). El agua...Un recurso estratégico para la minería. *ElectroIndustria*.
- EcuadorFortescue. (2019). *Balance de Agua*. Quito.
- Estadística Ambiental, D. D. (2005). *Informe de la Situación Ambiental en México*. México: SEMRAT.
- Fortescue. (2019). *Fortescue Latinoamérica*. Obtenido de Acerca de Fortescue: <https://www.fmgl.com.au/latinamerica/who-we-are>
- Garcés Vinuesa, D. (2019). *UDLA - Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas*. Obtenido de Diseño de un Sistema de Coagulación-Floculación para el Tratamiento de Aguas Residuales: <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/11327/1/UDLA-EC-TIAM-2019-28.pdf>
- Gruentec. (2019). *Reporte de Análisis*.
- Hubbard Drilling Services. (2019). Procedimiento de perforación Diamantina.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

- Jaramillo Jumbo, M. D., & Flores Campoverde, E. D. (2012). *Universidad Politécnica Salesiana*. Obtenido de Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemma Minos (Lenteja de agua), y Eichornia crassipes (Jacinto de agua(en aguas residuales producto de la actividad minera.: www.UPS-CT002482.pdf
- Jiménez Moleón, M. D., Jacobo, A., Chávez, A. A., Mota, M. T., Islas Espinoza, M., & Contreras, A. (Enero de 2015). *Fitorremediación de Metales Pesados*. Obtenido de Facultad de Química UAEMEX: https://www.researchgate.net/publication/309533740_FITORREMEDIACION_DE_METALES_PESADOS
- Jordán Santamaría , L. A. (2018). *Universidad Técnica de Ambato* . Obtenido de Sistema de coagulación - floculación a escala laboratorio y su eficiencia en el tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de preparación de pega para la elaboración de zapatos de cuero : Tesis_ %20t1543mshi.pdf
- Martínez, M. (2019). Tratamiento Primario. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Metcalf & Eddy. (1991). *Wasterwater Engineering Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. McGraw-Hill.
- Munaylla, F. L. (06 de noviembre de 2015). *Universidad José Carlos Mariátegui, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental*. Obtenido de Tratamiento de Lodos de Perforación Mediante Sistema de Tubos de Geotextil (Polipropileno) en el Proyecto de Exploración Minera Hilarón.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

- Núñez López, R. A., Meas Vong, Y., Ortega Borges, R., & Olguín, E. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Biotecnología y biología molecular*, 69-82.
- Organización Mundial de la Salud. (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. Obtenido de <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>
- Pereyra Fausto, G. (2015). Sector minería. *Boletín Científico de La Escuela Superior Atotonilco de Tula*, 2(4). <https://doi.org/10.29057/esat.v2i4.1469>
- Poma Llantoy, V. R., & Valderrama Negrón, A. (2014). *Scielo*. Obtenido de Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (ii) y mercurio (ii) con la especie *Eichhornia Crassipes* (Jacinto de agua): <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v80n3/a03v80n3.pdf>
- Ramos, R., Vinatea, L., Santos, J., & Da Costa, R. (2010). *Scielo*. doi:10.3856/vol38-issue2-fulldtext-3
- Romero, E. (4 de Mayo de 2020). La minería bien manejada puede ser el futuro del Ecuador. *Elements*. Obtenido de <https://www.elementsgroup.com.ec/ing-fernando-l-benalcazar-viceministro-de-minas-del-ecuador-la-mineria-bien-manejada-puede-ser-el-futuro-del-ecuador/>
- Samboni , N., & Escobar, J. (15 de Abril de 2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Scielo*, 172-181.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

- Sánchez, M. (10 de Enero de 2016). *Agua y Ambiente*. Obtenido de Elimina la turbiedad del agua: <https://aguayambiente.com/2016/01/10/turbiedad-del-agua/>
- Sandoval, M. X. O. (2019). *Identificación y Evaluación de Riesgos Físicos en la Plataforma de Perforación Minera en Exploración Inicial*.
[https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3492/1/Identificación y Evaluación de Riesgos en Operaciones de drilling Xavier Ocaña Sandoval.pdf](https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3492/1/Identificación%20y%20Evaluación%20de%20Riesgos%20en%20Operaciones%20de%20drilling%20Xavier%20Ocaña%20Sandoval.pdf)
- Sierra, C. (2011). *Calidad del Agua*. Medellín: Ediciones de la U.
- Tilley, E., Ulrich, L., Luthi, C., Reymond, P., & Zurbrugg, C. (2014). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies* (Segunda ed.).
- Toro, A., García de los Ríos Cobo, J., Fadón, O., Cabrera, R., & Acebes, P. (18 de 02 de 2020). *Anles Sectoriales*. Obtenido de Impactos ambientales en minería metálica: <https://www.interempresas.net/Mineria/Articulos/265811-Impactos-ambientales-en-mineria-metalica.html>
- Vivanco, D. C. (2019). Situación Actual de la Minería en Ecuador. In *Situación Actual de la Minería en Ecuador* (Vol. 6, Issue 1). <https://doi.org/10.1109/MTAS.2004.1371634>

NORMATIVA

- Acuerdo Ministerial 37. Reglamento Ambiental de Actividades Mineras. (23 de noviembre de 2018). *Registro Oficial Suplemento 213*.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

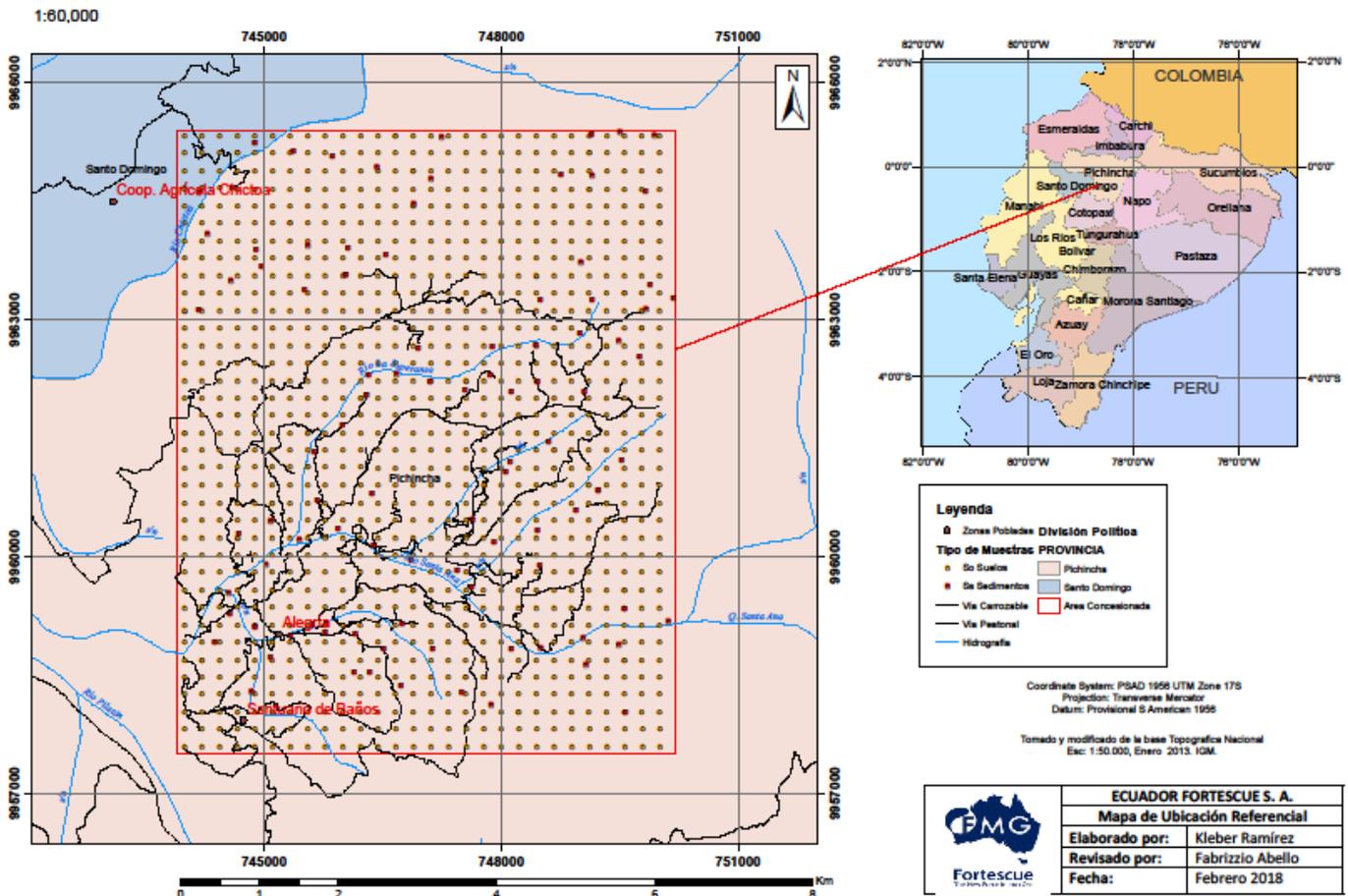
- Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa. (04 de 11 de 2015). Reforma Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. *Registro Oficial 387 Año III*. Ministerio del Ambiente.
- Acuerdo Ministerial No 69. (martes 12 de julio de 2016). *Registro Oficial Suplemento 796*
- Ley de Minería. (21 de mayo de 2018). *Registro Oficial Suplemento 517*. Ecuador: Asamblea Nacional Comisión Legislativa y de Fiscalización.
- Reglamento al Código Orgánico del Ambiente. (21 de junio de 2019). Decreto Ejecutivo 752. *Registro Oficial Suplemento 507*.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

ANEXOS

Anexo 1. Mapa de Ubicación

MAPA DE UBICACION - SANTA ANA



EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

Anexo 2. Análisis de Laboratorio de la primera muestra de ingreso al proceso.



REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: ECUADOR FORTESCUE S. A.
COMPLEJO EMPANER, OFICINA 702
TEL. 0021070722

Atm: Ing. Karina Yápez Escobar
Proyecto: Prueba de Sondeos - Santa Ana

Muestra Recibida: 13-abr-19

Tipo de Muestra: 1 Muestra de Agua Natural

Análisis Completado: 28-abr-19

Número reporte Gruntec: 1904274-AG001

Rotulación Muestra:	PAD_02 AGUA	Límite Máximo Permisible Tabla 2. Agua dulce Anexo 1. Acuerdo Ministerial 097-A. TULBMA 11	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestra:	13-abr-19		
No. Reporte Gruntec:	1904274-AG001		
Parámetros de campo:			
pH ^(1,2)	8	6,5 - 9	SM 4500 HJ / MMA-9545-01
Conductividad $\mu\text{S/cm}$ ^(1,2,3)	51	N/A	EPA 8060 A / MMA-9298-02
Oxígeno disuelto mg/l ^(1,2)	8,7	N/A	SM 4500 O.G / MMA-92-03
Oxígeno saturación % ^(1,2,3)	93,5	> 80	SM 4500 O.G / MMA-92-03
Física Química:			
Sólidos Suspensivos Totales mg/l ^(1,2)	9	max incremento de 10% de la condición natural	SM 2540 D / MMA-92-05
Aniones y No Metálicos:			
Amonio mg/l ^(1,2)	0.14	N/A	SM 4500 Norg / MMA-92-15
Amonio como Amoníaco mg/l ^(1,2,4)	0.14	0.499	SM 4500 Norg / MMA-92-15
Nitrato mg/l ^(1,2)	0.53	13	EPA 8060.1 / MMA-92-27
Nitrato mg/l ^(1,2)	<0.05	0.2	EPA 8060.1 / MMA-92-27
Cianuro Libre mg/l ^(1,2)	<0.001	N/A	SM 4500 CN / MMA-92-28
Cianuro Total mg/l ^(1,2)	<0.001	0.01	SM 4500 CN / MMA-92-28
Cloro total residual mg/l ^(1,2)	<0.1	0.01	EPA 8060.1 / MMA-92-27
Parámetros Orgánicos:			
Aciditos y Grasas mg/l ^(1,2)	<0.3	0.3	EPA 8060 / MMA-92-32
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/l ^(1,2)	<2	20	SM 5210 B,D / MMA-92-19
Demanda Química de Oxígeno mg/l ^(1,2)	14	40	SM 5210 D / MMA-92-19
Fenoles mg/l ^(1,2)	<0.001	0.001	EPA 8060 / MMA-92-35
Hidrocarburos totales de petróleo (C6-C10) mg/l ^(1,2)	<0.3	0.5	EPA 8010 D / MMA-92-33
Sustancias Tensioactivas mg/l ^(1,2)	0.12	0.5	SM 5640 / MMA-92-26
Parámetros Microbiológicos:			
Coliformes Fecales NMP/100 ml ^(1,2)	230	N/A	SM 9223 A,B / MMA-92-20
Coliformes Totales NMP/100 ml ^(1,2)	46000	N/A	SM 9223 A,B / MMA-92-20
Metales totales:			
Aluminio mg/l ^(1,2)	0.16	0.1	EPA 8000 B / MMA-92-38
Arsénico mg/l ^(1,2)	<0.0005	0.05	EPA 8000 B / MMA-92-38
Bario mg/l ^(1,2)	0.011	1.0	EPA 8000 D / MMA-92-39

Ing. Isabel Estrella

Gerente de Operaciones

Nota 1: Sobre análisis, espesores y determinaciones están basados en el material de información provisto por el cliente para que se le realice este reporte en forma analítica y confidencial.

Nota 2: La forma de muestra fue realizada por el personal técnico de Gruntec, Cia. Ltda. de edificación al ingreso de muestra.

Nota 3: El cliente puede solicitar fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 1 de 2

San Juan de Cumbayá - Eloy Alfaro S7-157 y Bellisario Quevedo. P.O. Box 17-22-20064 Quito - Ecuador
Telfs: 601- 4371 / 603- 9221 / 600- 5273 · E-mail: info@gruntec.com - www.gruntec.com

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

Anexo 3. Análisis de Laboratorio de la segunda muestra de ingreso al proceso.



REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: Ecuador Fortescue S.A.
COMPLEJO EKOPARK, OFICINA 702
Tel: 098518787

Atm: Karla Yépez Escobar
Proyecto: Prueba de Sándaca - Santa Ana

Muestra Recibida: 04-may-18

Tipo de Muestra: 1 Muestra de Agua Natural

Análisis Completado: 17-may-18

Número Reporte Gruntec: 1905044-AG001

Rotulación Muestra:	PAID_04 AGUA	Límite Máximo Permisible Tabla 2. Agua dulce Anexo 1, Acuerdo Ministerial DPT-A, TUMSA 111	Método Aceptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	03-may-18		
No. Reporte Gruntec:	1905044-AG001		
Parámetros de campo:			
pH ^(1.2.1)	7.7	6.5 - 8	SM 4100 H / MM-AQ-01
Conductividad $\mu\text{S/cm}$ ^(1.2.2)	47	N/A	EPA 8090 A / MM-AQ-02
Oxígeno disuelto mg/l ^(1.2.3)	7.6	N/A	SM 4600 O/G / MM-AQ-03
Oxígeno saturación % ^(1.2.4)	88.7	> 80	SM 4100 O/G / MM-AQ-03
Físico Químico:			
Sólidos Suspendedos Totales $\text{mg/l}^{(1.3)}$	<5	max Incremento de 10% de la condición natural	SM 2540 D / MM-AQ-05
Aniones y No Metales:			
Antimonio $\text{mg/l}^{(1.3)}$	0.14	N/A	SM 4600 Harg / MM-AQ-16
Artenio como Arsenico $\text{mg/l}^{(1.3)(1)}$	0.13	0.715	SM 4600 Harg / MM-AQ-15
Nitrato $\text{mg/l}^{(1.3)}$	0.65	13	EPA 700.9 / MM-AQ-37
Nitró $\text{mg/l}^{(1.3)}$	<0.05	0.2	EPA 300.1 / MM-AQ-37
Cianuro Libre $\text{mg/l}^{(1.3)}$	<0.001	N/A	SM 4600 CN / MM-AQ-24
Cianuro Total $\text{mg/l}^{(1.3)}$	<0.001	0.01	SM 4600 CN / MM-AQ-24
Cloro total residual $\text{mg/l}^{(1.3)}$	<0.1	0.01	EPA 300.9 / MM-AQ-07
Parámetros Orgánicos:			
Aceites y Grasas $\text{mg/l}^{(1.3)}$	<0.3	0.3	EPA 1064 / MM-AQ-22
Demanda Bioquímica de Oxígeno $\text{mg/l}^{(1.3)}$	<2	20	SM 5210 B/D / MM-AQ-19
Demanda Química de Oxígeno $\text{mg/l}^{(1.3)}$	<5	40	SM 5200 D / MM-AQ-19
Fenoles $\text{mg/l}^{(1.3)}$	<0.001	0.001	EPA 420.1 / MM-AQ-25
Hidrocarburos totales de petróleo (C6-C40) $\text{mg/l}^{(1.3)}$	<0.3	0.5	EPA 8015 D / MM-AQ-29
Sustancias Tensioactivas $\text{mg/l}^{(1.3)}$	0.18	0.5	SM 5540 / MM-AQ-20
Parámetros Microbiológicos:			
Coliformes Fecales NMP/100 ml ^(1.3)	<30	N/A	SM 9223 A,B / MM-AQ-23
Coliformes Totales NMP/100 ml ^(1.3)	2400	N/A	SM 9223 A,B / MM-AQ-23
Metales totales:			
Aluminio $\text{mg/l}^{(1.3)}$	0.06	0.1	EPA 8020 B / MM-AQ-30
Arsénico $\text{mg/l}^{(1.3)}$	<0.0005	0.05	EPA 8020 B / MM-AQ-30
Bario $\text{mg/l}^{(1.3)}$	0.0062	1.0	EPA 8020 B / MM-AQ-30
Berilio $\text{mg/l}^{(1.3)}$	<0.0002	0.1	EPA 8020 B / MM-AQ-30
Boro $\text{mg/l}^{(1.3)}$	<0.02	0.78	EPA 8020 D / MM-AQ-30

Ing. Isabel Estrella

Gerente de Operaciones

Nota 1: Los resultados químicos y/o Interpretaciones están basados en el mejoramiento de información disponible
de el cliente para que se ha realizado este reporte en forma confidencial y confidencial.

Nota 2: La lista de muestra se resume por el personal Oficina de Gestión de Calidad, se asegura el registro de muestra.

Nota 3: El cliente puede solicitar la lista de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 1 de 2

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

Anexo 4. Análisis de Laboratorio de la tercera muestra de ingreso al proceso



REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: Ecuador Fortescue S.A.
COMPLEJO EKOPARK, OFICINA 402
Tel: 098210652
Ato: Ing. Karina Yápez Escobar
Proyecto: Prueba de Sondeos - Santa Ana
Muestras Recibidas: 15-Jul-18
Tipo de Muestra: 1 Muestra de Agua Natural
Análisis Completado: 24-Jul-18
Número reporte Gruntec: 1807331-AG001
Fecha de Emisión: 25-Jul-18

Identificación de la muestra	AG PAD DT	Límite Máximo Permisible	Método Aceptado de Referencia / Método Británico
Fecha de Muestreo:	12-Jul-18		
No. Reporte Gruntec:	1807331-AG001		
Parámetros de campo:			
pH ^(1,2)	7.4	6.5 - 9	SM 4500 H / MMA-AG-01
Conductividad µS/cm ^(1,2)	66	N/A	EPA 8150 A / MMA-AG-02
Oxígeno disuelto mg/l ^(1,2)	8.0	N/A	SM 4500 O / MMA-AG-03
Oxígeno saturación % ^(1,2)	>100	> 80	SM 4500 O / MMA-AG-03
Físico Químicos:			
Sólidos Suspendedos Totales mg/l ^(1,2)	<5	max incremento de 10% de la condición natural	SM 2540 D / MMA-AG-05
Aniones y No Metales:			
Amonio mg/l ^(1,2)	0.08	N/A	SM 4500 Norg / MMA-AG-16
Amonio como Amoníaco mg/l ^(1,2)	0.08	1.54	SM 4500 Norg / MMA-AG-15
Nitrato mg/l ^(1,2)	0.78	1.3	EPA 8001 / MMA-AG-37
Nitrato mg/l ^(1,2)	<0.05	0.2	EPA 8001 / MMA-AG-37
Cianuro Libre mg/l ^(1,2)	<0.001	N/A	SM 4500 CN / MMA-AG-28
Cianuro Total mg/l ^(1,2)	<0.001	0.01	SM 4500 CN / MMA-AG-28
Cloro total residual mg/l ^(1,2)	<0.1	0.01	EPA 8001 / MMA-AG-07
Parámetros Orgánicos:			
Acidez y Grasas mg/l ^(1,2)	<0.3	0.3	EPA 1894 / MMA-AG-32
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/l ^(1,2)	<2	20	SM 5210 B / MMA-AG-10
Demanda Química de Oxígeno mg/l ^(1,2)	21	40	SM 5210 D / MMA-AG-18
Fenoles mg/l ^(1,2)	<0.001	0.001	EPA 821 / MMA-AG-25
Hidrocarburos totales de petróleo (C6-C40) mg/l ^(1,2)	<0.8	0.5	EPA 8010 B / MMA-AG-23
Sustancias tóxicas mg/l ^(1,2)	<0.02	0.5	SM 8500 / MMA-AG-26
Parámetros Microbiológicos:			
Coliformes Fecales (E. coli) NMP/100 ml ^(1,2)	<30	N/A	SM 9223 A B / MMA-AG-30
Coliformes Totales NMP/100 ml ^(1,2)	1500	N/A	SM 9223 A B / MMA-AG-30
Metales pesados:			
Aluminio mg/l ^(1,2)	<0.01	0.1	EPA 8008 B / MMA-AG-39
Arsénico mg/l ^(1,2)	<0.0005	0.05	EPA 8008 B / MMA-AG-39
Bario mg/l ^(1,2)	0.002	1.0	EPA 8008 B / MMA-AG-39
Berilio mg/l ^(1,2)	<0.0002	0.1	EPA 8008 B / MMA-AG-39
Boro mg/l ^(1,2)	<0.02	0.75	EPA 8008 B / MMA-AG-39
Cadmio mg/l ^(1,2)	<0.0001	0.001	EPA 8008 B / MMA-AG-39
Cobalto mg/l ^(1,2)	<0.0001	0.2	EPA 8008 B / MMA-AG-39

[Firma]

Ing. Isabel Estrada
Gerente de Operaciones

Nota 1: Este análisis, optando sus interpretaciones están basados en el método y estándares presentados por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.
 Nota 2: La tarja de muestra es propiedad del personal técnico de Gruntec Che Ltda., es esencial el registro de muestra como parte de informe.
 Nota 3: El cliente puede solicitar la forma de análisis de los resultados cuando lo requiera.

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

Anexo 5. Análisis de Resultados de la primera muestra de agua descarga del proceso.



REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: ECUAMBIENTE CONSULTING GROUP CIA. LTDA.
FRANCISCO ARIZAGA LUJUE N04-247 Y FEDERICO FAEZ
Tel: 03001-2826

Atn: Ing. Santiago Valarezo

Proyecto: Análisis de Aguas

Muestra Recibida: 21-may-19

Tipo de Muestra: 1 Muestra de Agua Residual

Análisis Completado: 30-may-19

Número reporte Gruntec: 1905374-AG001

Rotulación Muestra:	CIIE-AG - INDUSTRIALES-FORTESCUE, S.A 18-06-2019	Límite Máximo Permisible Tabla 2. Aguas dulces Anexo 1, Acuerdo Ministerial 097-A, TULSMA ⁽¹⁾	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	18-may-19		
No. Reporte Gruntec:	1905374-AG001		
Fecha Química:			
pH ⁽¹⁾⁽²⁾	7.8	6.5 - 9	SM 4500 H / MM-AG/S-01
Parámetros Orgánicos:			
Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/l ⁽¹⁾⁽³⁾	<0.3	0.5	EPA 8015 D / MM-AG-23
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos:			
Acenafteno mg/l [*]	<0.00005	N/A	EPA 8270 D / MM-AG-22
Acenafileno mg/l [*]	<0.00005	N/A	EPA 8270 D / MM-AG-22
Antraceno mg/l [*]	<0.00005	N/A	EPA 8270 D / MM-AG-22
Benzo(a)antraceno mg/l ⁽¹⁾⁽⁴⁾	<0.00005	N/A	EPA 8270 D / MM-AG-22
Benzo(a)pireno mg/l ⁽¹⁾⁽⁴⁾	<0.00005	N/A	EPA 8270 D / MM-AG-22
Benzo(b)fluoranteno mg/l ⁽¹⁾⁽⁴⁾	<0.00005	N/A	EPA 8270 D / MM-AG-22
Benzo(g,h,i)perileno mg/l ⁽¹⁾⁽⁴⁾	<0.00005	N/A	EPA 8270 D / MM-AG-22
Benzo(k)fluoranteno mg/l ⁽¹⁾⁽⁴⁾	<0.00005	N/A	EPA 8270 D / MM-AG-22
Criseno mg/l ⁽¹⁾⁽⁴⁾	<0.00005	N/A	EPA 8270 D / MM-AG-22
Dibenz(a,h)antraceno mg/l ⁽¹⁾⁽⁴⁾	<0.00005	N/A	EPA 8270 D / MM-AG-22
Fenantreno mg/l ⁽¹⁾⁽⁴⁾	0.0022	N/A	EPA 8270 D / MM-AG-22
Fluoranteno mg/l ⁽¹⁾⁽⁴⁾	<0.00005	N/A	EPA 8270 D / MM-AG-22
Fluoreno mg/l [*]	<0.00005	N/A	EPA 8270 D / MM-AG-22
Indeno(1,2,3-c,d)pireno mg/l ⁽¹⁾⁽⁴⁾	<0.00005	N/A	EPA 8270 D / MM-AG-22
Naftaleno mg/l [*]	0.087	N/A	EPA 8270 D / MM-AG-22
Pireno mg/l ⁽¹⁾⁽⁴⁾	<0.00005	N/A	EPA 8270 D / MM-AG-22
Metales totales:			
Bario mg/l ⁽¹⁾⁽⁵⁾	1.7 ⁽⁶⁾	1.0	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Cadmio mg/l ⁽¹⁾⁽⁵⁾	<0.0002 ⁽⁶⁾	0.001	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Cromo mg/l ⁽¹⁾⁽⁵⁾	0.063 ⁽⁶⁾	0.052	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Mercurio mg/l ⁽¹⁾⁽⁵⁾	<0.0002 ⁽⁶⁾	0.0002	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Níquel mg/l ⁽¹⁾⁽⁵⁾	0.042 ⁽⁶⁾	0.025	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Plomo mg/l ⁽¹⁾⁽⁵⁾	0.017 ⁽⁶⁾	0.01	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Vanadio mg/l ⁽¹⁾⁽⁵⁾	0.015 ⁽⁶⁾	N/A	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Zinc mg/l ⁽¹⁾⁽⁵⁾	0.28 ⁽⁶⁾	0.03	EPA 8020 B / MM-AG/S-39

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. SAE LEN 05-005

⁽²⁾ Registro SA / VMDQ No. LEA/R-005

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación del SAE

N/A - No Aplica

(3) Criterios de calidad admitidos para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarios.

(4) La muestra presenta características que hicieron necesario aplicar dilución 2X y digestión EPA antes

INCERTIDUMBRE (U) para pH = 0.3 unidades

INCERTIDUMBRE (U):

Conductividad en agua = 11%; Metales en Agua = 18%; HAPs = 0%; TPH = 20%

Cálculo: C = (U/(100)) en donde: C=valor medido; U=incertidumbre %.

Ing. Isabel Estrella
Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y comercial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 1 de 1

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

Anexo 6. Análisis de Resultados de la segunda muestra de agua descarga del proceso.



REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: ECUAMBIENTE CONSULTING GROUP CIA. LTDA.
FRANCISCO ARIZAGA LUCQUE N34-247 Y FEDERICO PAEZ
Tel: 02601-2825

Atn: Ing. Santiago Valarezo

Proyecto: Análisis de Agua - Fortescue S.A.

Muestra Recibida: 07-Jun-19

Tipo de Muestra: 1 Muestra de Agua Residual

Análisis Completado: 14-Jun-19

Número reporte Gruntec: 1906090-AG001

Rotulación Muestra:	CIIE-AG - INDUSTRIALES- FORTESCUE S.A 06-06- 2018	Límite Máximo Permisible Tabla 2. Agua dulce Anexo 1, Acuerdo Ministerial 097-A, TULSMA ^{a1)}	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	05-Jun-19		
No. Reporte Gruntec:	1906090-AG001		
Físico Químico:			
pH ^(1,2)	7.1	6.5 - 9	SM 4500 H / MM-AG/S-01
Conductividad $\mu\text{S/cm}$ ^(1,2)	510	N/A	EPA 8050 A / MM-AG/S-02
Parámetros Orgánicos:			
Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/l ^(1,2)	<0.3	0.6	EPA 8015 D / MM-AG-23
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos:			
Benzo(a)pireno mg/l ^(1,2)	<0.0005	N/A	EPA 8270 D / MM-AG-22
Benzo(b)fluoranteno mg/l ^(1,2)	<0.0005	N/A	EPA 8270 D / MM-AG-22
Benzo(k)fluoranteno mg/l ^(1,2)	<0.0005	N/A	EPA 8270 D / MM-AG-22
Fluoranteno mg/l ^(1,2)	<0.0005	N/A	EPA 8270 D / MM-AG-22
Indeno(1,2,3-c,d)pireno mg/l ^(1,2)	<0.0005	N/A	EPA 8270 D / MM-AG-22
Pireno mg/l ^(1,2)	<0.0005	N/A	EPA 8270 D / MM-AG-22
Metales totales:			
Bario mg/l ^(1,2)	0.24 ⁽¹⁾	1.0	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Cadmio mg/l ^(1,2)	<0.0004 ⁽¹⁾	0.01	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Cromo mg/l ^(1,2)	0.038 ⁽¹⁾	0.032	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Mercurio mg/l ^(1,2)	<0.0004 ⁽¹⁾	0.0002	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Níquel mg/l ^(1,2)	<0.004 ⁽¹⁾	0.025	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Plomo mg/l ^(1,2)	0.0024 ⁽¹⁾	0.01	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Vanadio mg/l ^(1,2)	0.074 ⁽¹⁾	N/A	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Zinc mg/l ^(1,2)	0.55 ⁽¹⁾	0.03	EPA 8020 B / MM-AG/S-39

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. SAE I FN 05-008

⁽²⁾ Registro SA / MDNG No. LEA R. 005

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación del SAE

N/A - No Aplica

a1) Crímenes de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarias.

(1) La muestra presenta características que hicieron necesario aplicar dilución 4X y digestión EPA 3002a.

INCERTIDUMBRE (L) para pH = 0.2 unidades

INCERTIDUMBRE (U):

Conductividad en agua = 11%; Metales en Agua = 18%, HAPs = 30%; TPH = 25%

Cálculo: C = I / (U/100) en donde: C=valor medido; U= incertidumbre %.

Ing. Isabel Estrella
Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material o información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestra es fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 1 de 1

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

Anexo 7. Análisis de Resultados de la tercera muestra de agua descarga del proceso.



REPORTE DE ANÁLISIS

Ciente: ECUAMBIENTE CONSULTING GROUP CIA. LTDA.
FRANCISCO ARIZAGA LUQUE N34-247 Y FEDERICO PALZ
Tel: 02601-2525

Atn: Ing. Santiago Valarezo

Proyecto: Análisis de Agua

Muestra Recibida: 02-ago-19

Tipo de Muestra: 1 Muestra de Agua Residual

Análisis Completado: 12-ago-19

Número reporte Gruentec: 1908022-AD003

Fecha de Emisión: 14-ago-19

Identificación de la muestra:	CIE-AG-AGUAS INDUSTRIALES-FORTESCUE, S.A (01-08-2019)	Límite Máximo Permisible Tabla 4a RAOHE D.E. 1215	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	31-jul-19		
No. Reporte Gruentec:	1908022-AD003		
Físico Químico:			
pH ^(1,2)	8.9	5<pH<9	SM 4500 H / MM-AG/S-01
Conductividad μ S/cm ^(1,2)	6250	<2500	EPA 9050 A / MM-AG/S-02
Sólidos Totales Gravimétricos mg/l ^(1,2)	21257	<1700	SM 2540 B / MM-AG-06
Parámetros Orgánicos:			
Demanda Química de Oxígeno mg/l ^(1,2)	7900	<120	SM 5220 D / MM-AG-18
Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/l ^(1,2)	<0.3	<20	EPA 8015 D / MM-AG-23
Metales totales:			
Cadmio mg/l ^(1,2)	5.8 ^(1,4)	<5	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Cromo mg/l ^(1,2)	0.88 ^(1,4)	<0.5	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Piomo mg/l ^(1,2)	0.048 ^(1,4)	<0.5	EPA 8020 B / MM-AG/S-39
Vanadio mg/l ^(1,2)	1.4 ^(1,4)	<1	EPA 8020 B / MM-AG/S-39

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. SAE LEM 05-008

⁽²⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-035

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación del SAE

(1) La muestra presenta características que hicieron necesario aplicar dilución 10X

(2) Digestión - EPA 8005a

INCERTIDUMBRE (U) para pH = 0.2 unidades

INCERTIDUMBRE (U):

Conductividad en agua = 11%; Demanda Química de Oxígeno = 9%; Metales en Agua = 18%; Sólidos Totales

Gravimétricos = 14%; TPH = 29%

Cálculo: $C \pm U$ (Ux100) en donde: C=valor medido; U=incertidumbre %.

Ing. Isabel Estrella
Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material o información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo

Página 1 de 1

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Impactos del proceso de perforación al recurso hídrico.....	15
Tabla 2. Métodos Adaptados de análisis de muestras de agua.....	21
Tabla 3. Criterios de análisis de indicadores de calidad.	23
Tabla 4. Resultados de análisis de muestras de agua.	23
Tabla 5. Ejemplo de cálculo 1.....	26
Tabla 6. Ejemplo de cálculo 2.....	26
Tabla 7. Indicadores de calidad para recirculación.	27
Tabla 8. Criterios de aguas para riego.....	30
Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.	31
Tabla 10. Carga contaminante.....	39
Tabla 11. Eficiencia de remoción de parámetros.....	39
Tabla 12. Resultados del tratamiento.	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de perforación a diamantina.....	13
Figura 2. Análisis de Parámetros fisicoquímicos y orgánicos de muestras del agua de ingreso..	24
Figura 3. Análisis de metales totales de muestras del agua de ingreso.....	25
Figura 4. Análisis de Indicadores de calidad.....	28
Figura 5. Análisis de Indicadores de calidad.....	29
Figura 6. Criterios de calidad para agua de riego.....	31
Figura 7. Criterios de calidad para descarga a un cuerpo de agua dulce.....	32
Figura 8. Balance de agua en el proceso de perforación.....	34
Figura 9. Modelo de Sedimentador Rectangular.....	35

EVALUACIÓN DEL AGUA DE PERFORACIÓN EN LA ETAPA DE EXPLORACIÓN INICIAL DE MINERÍA DE COBRE PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES DE REDUCCIÓN DE CONSUMO DEL RECURSO

Figura 10. Modelo de tanques de coagulación floculación.....	37
Figura 11. Modelo de sistema de fitorremediación.....	38
Figura 12. Resultados del tratamiento.....	41
Figura 13. Sistema de tratamiento propuesto.....	42