

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
AGUSTIN
FACULTAD DE INGENIERIA DE PROCESOS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA



**TRATAMIENTO DE AGUAS EN OBRAS DE
INGENIERIA**

Tesis presentada por el Bachiller:
**ARANA ZAPANA, JOSHELL
RUBEN**

Para optar el Título Profesional de
INGENIERO METALURGISTA

**AREQUIPA - PERU
2016**

PRESENTACION

El presente estudio se realizó con el fin de conocer el tratamiento de las aguas en obras de ingeniería en la empresa Ferrer, como son los sedimentos , el control del pH, concentraciones de iones metálicos, como es el caso del Cu, Pb, As, Fe y Mn dependiendo de la zona donde se hace las obras de ingeniería.

El proceso de remoción de iones metálicos y sólidos suspendidos tiene características físicas y químicas diferentes en el cual se hace uso de diferentes reactivos para la sedimentación y posterior precipitación de iones metálicos.

Se cumplen los 100 años de experiencia que avalan la trayectoria ininterrumpida de **FERRER**, que inició su proyecto en 1.916, cuando D. José Ferrer Roselló fundó la empresa, con su actividad centrada en la ejecución de pozos de agua para atender las necesidades agrícolas y urbanas en el área geográfica del Mediterráneo.

Desde su origen, fiel a sus valores, ha incorporado las últimas tecnologías, tanto en maquinaria como en sus aplicaciones, centrandó su actividad en la especialización actual de **control integral del agua subterránea (*Dewatering*) y superficial (*Unwatering*), y en sistemas de impermeabilización técnica para obras subterráneas (*Waterproofing*), en el ámbito de la hidrología aplicada a minería, obras de ingeniería civil, edificación y medioambiente**. Actualmente, **FERRER** con presencia en Panamá, Perú, Colombia, Bolivia, México, Marruecos, Francia, Italia y Reino Unido, tiene su sede central en España.

FERRER apuesta por la formación continuada, y para ello mantiene alianzas estratégicas con universidades y centros de investigación, elevando su valor agregado al conciliar la práctica que da la experiencia, con la teoría que aporta

la ciencia. Esta combinación incorpora a **FERRER** conocimiento y tecnología eficiente de última generación, lo cual traslada a la comunidad profesional y clientes en la prestación de sus servicios, cuidando los aspectos medioambientales.

De entre las tecnologías más avanzadas, destaca la de códigos de computación en el estudio hidrogeológico aplicado a una obra de ingeniería, que permiten el modelado de diversos escenarios y su simulación, pudiendo aproximar resultados justificadamente, en régimen estacionario y transitorio (caudal, tiempos de descenso, radios de influencia, etc.), así como los parámetros hidráulicos de los terrenos, (*Conductividad Hidráulica -K-, Transmisividad -T- y Coeficiente de almacenaje -S-*). De igual modo, **FERRER** es pionero en la implantación y difusión de la realización de Ensayos de Bombeo dentro de este ámbito, como mejor medio de análisis del medio hidrogeológico.

TRATAMIENTO DE AGUAS EN OBRAS DE INGENIERÍA

INDICE

CAPÍTULO I - GENERALIDADES

1.1.	INTRODUCCIÓN	1
1.2.	PROBLEMA	2
1.3.	JUSTIFICACIÓN	2
1.4.	OBJETIVOS	2
1.4.1	OBJETIVO GENERAL	2
1.4.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
1.5.	METODOLOGÍA	3
1.6.	POLITICA DE CALIDAD	3
1.7.	MISION	5
1.8.	VISION	7
1.9.	VALORES	7
1.10.	DETALLES DEL AREA DE ESTUDIO	9
1.10.1	UBICACIÓN	9
1.10.2	CLIMA Y ECOLOGIA	9
1.10.3	COMUNIDADES	10
1.10.4	FLORA Y FAUNA EN LA CUENCA	11
1.10.5	GEOLOGÍA	11
1.10.5.1.	GEOLOGIA REGIONAL	11
1.10.5.2.	GEOLOGIA LOCAL	12
1.10.5.1.1.	Formaciones geológicas	12
1.10.5.1.2.	Rocas ígneas y metamórficas	15
1.11.	METALOGENIA	18
1.12.	HIDROLOGÍA Y PLUVIOMETRÍA	22
1.12.1.	HIDROLOGÍA	22
1.12.2.	PLUVIOMETRÍA	22
1.13.	BALANCE HÍDRICO	23
1.13.1.	CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN	23
1.13.2.	CALCULO DE LA ESCORRENTIA	23
1.13.3.	CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION	24

1.13.4. CALCULO DE LA INFILTRACION	24
------------------------------------	----

CAPÍTULO II - MARCO LEGAL

2.1. A NIVEL NACIONAL PERÚ	25
2.1.1. NORMATIVIDAD GENERAL A NIVEL NACIONAL	25
2.1.2. NORMATIVIDAD GENERAL AMBIENTAL EN EL SECTOR DE ENERGIA Y MINAS	27
2.2. A NIVEL MUNDIAL	28
2.2.1. GENERALIDADES	28
2.2.2. EVOLUCION LEGAL A NIVEL MUNDIAL	29
2.2.3. NORMAS INTERNACIONALES DE CONTROL AMBIENTAL	33
2.3. DECRETOS ESPECÍFICOS	35
2.3.1. DECRETOS EN EL SUB SECTOR MINERO	35
2.3.2. LEGISLACION EN LA PREVENCION DE LA CONTAMINACION MINERA	37
2.3.3. INTEGRACION DE INSTRUMENTOS LEGALES EN UNA ESTRATEGIA DE PREVENCION	39

CAPÍTULO III - MONITOREO AMBIENTAL

3.1. PROGRAMA DE MONITOREO AMBIENTAL	42
3.1.1. ORGANIZACIÓN DEL PLAN DE MONITOREO	43
3.1.2. SELECCIÓN E IDENTIFICACION DE LOS PARAMETROS A ANALIZAR	44
3.2. CRITERIOS Y CONSIDERACIONES PRÁCTICAS PARA EL MONITOREO	45
3.2.1. CRITERIOS GENERALES PARA EL MONITOREO	45
3.2.2. CONSIDERACIONES PRÁCTICAS	46
3.2.3. INSTRUMENTACION	46
3.2.4. CRITERIOS PARA ESTABLECER ESTACIONES DE MONITOREO	46
3.2.5. CARACTERISTICAS DE LAS DATOS RECOLECTADOS	47
3.2.6. TIPO DE MUESTRAS	47
3.3. PROCEDIMIENTO DE TOMA DE MUESTRAS	49
3.3.1. PARA EL AGUA	49
3.3.2. PARA SEDIMENTO	49
3.4. MONITOREO EN AGUAS SUPERFICIALES	50
3.4.1. TOMA DE MUESTRAS EN RIOS	51

3.4.2.	TOMA DE MUESTRAS EN LAGOS Y EMBALSES	51
3.4.3.	TOMA DE MUESTRAS EN CANALES	52
3.4.4.	TABLAS USADAS EN LA EVALUACION DE AGUAS SUPERFICIALES	52
3.5.	MONITOREO EN SEDIMENTOS	58
3.6.	CONDICIONES ACTUALES	61
3.6.1.	PARAMETROS FISICO-QUIMICOS, SULFATOS, TURBIDEZ Y SOLIDOS SUSPENDIDOS	61
3.6.2.	LOS METALES EN AGUA	62
3.6.3.	GRANULOMETRIA, MINERALOGIA Y METALES EN SEDIMENTOS	63
3.7.	CUERPOS RECEPTORES	65
3.7.1.	AGRICULTURA	65
3.7.2.	GANADERIA	66
3.7.3.	COMUNIDADES	66
3.8.	CONTAMINACIÓN EN AGUA	66
3.8.1.	CONTAMINANTES HIDRICOS EN FORMA GLOBAL	66
3.8.2.	PARAMETROS E INDICADORES DE CALIDAD	67
3.8.3.	EFFECTOS GENERALES DE LA CONTAMINACION HIDRICA	69
3.9.	CONTAMINACIÓN EN SEDIMENTOS	70
3.9.1.	DETERMINACION DEL POTENCILA NETO DE NEUTRALIZACION	70
3.9.2.	OTROS ANALISIS IMPORTANTES EN SEDIMENTOS Y EN SUELOS	72
3.10.	IMPACTOS DE LA ACTIVIDAD MINERA	72
3.10.1.	EN LA FASE DE EXPLORACION	72
3.10.2.	EN LA FASE DE EXPLOTACION	73
3.10.3.	EN LA FASE DE CIERRE	75
3.11.	PASIVOS AMBIENTALES	77
3.12.	LAS FUENTES DE IMPACTO Y LOS RIESGOS	79
3.12.1.	DESCRIPCION DE LAS FUENTES PRINCIPALES DE IMPACTO	79
3.12.2.	IDENTIFICACION Y CARACTERIZACION DE AGUAS RECEPTORAS POTENCIALES	81
3.12.3.	RIESGOS	81

CAPÍTULO IV -TRATAMIENTO DE AGUAS

4.1.	MITIGACIÓN EN AGUAS	81
------	---------------------	----

4.1.1.	MANEJO DE ESCORRENTIAS	81
4.1.2.	METODOS DE HOMOGENIZACION, NEUTRALIZACION, PRECIPITACION, COAGULACION Y FLOCULACION Y CLARIFICACION	83
4.1.3.	PROCESO DE SEPARACION PARA DESPRENDER LOS CONTAMINANTES DEL MEDIO	87
4.1.4.	INTERCAMBIO IONICO COMUN	89
4.1.5.	BIORREMEDIACION	90
4.2.	MITIGACION EN SEDIMENTOS	90
4.2.1.	ELECTROCINETISMO Y FITOREMEDIACION	90
4.2.2.	SOLIDIFICACION Y ESTABILIZACION	92
4.2.3.	EXCAVACION Y DISPOSICIÓN FUERA DEL SUELO CONTAMINADO	93
4.3.	PROCESOS DE REMOCIÓN DE IONES METÁLICOS Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS	93
4.3.1.	CARACTERÍSTICAS DE LA DEL AGUA Y LOS SEDIMENTOS EN LA ZONA DE REPRESAMIENTO	93
4.3.1.1.	CONDICIONES DEL AGUA	94
4.3.1.2.	CONDICIONES DE LOS SEDIMENTOS	98
4.4.	CAUSAS DEL ALTO CONTENIDO DE IONES METÁLICOS Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS	99
4.4.3.	ESTABILIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL AGUA Y DE LOS LODOS	100
4.4.3.1.	ESTABILIDAD DEL AGUA	100
4.5.	ESTABILIDAD DE LOS LODOS	103
4.6.	REMEDIACION AMBIENTAL DE LOS LUGARES DEPOSICION DE LODOS	104

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

En estos tiempos en el mundo y en el Perú se vienen presentando serios problemas sociales relacionados con la contaminación ambiental, principalmente debido a operaciones mineras, siderúrgicas y ahora en zonas petroleras donde ahora último se han provocado serios impactos ambientales.

En este estudio se planteará la remediación de las aguas provenientes del proceso de perforación y otra obras de ingeniería que desarrolla la Empresa Ferrer en cumplimiento con su política de cuidar el medio ambiente, mediante el tratamiento y remoción de iones metálicos y sólidos suspendidos presentes, los cuales son el principal problema ambiental de este tipo de trabajo.

Este estudio contribuirá al desarrollo sostenible de las zonas donde se realiza trabajos de ingeniería y de la empresa, logrando que el agua usada, tratada y estabilizada se encuentre dentro de los estándares

establecidos por las entidades ambientales correspondientes y consecuentemente reducirá la contaminación de las diferentes zonas donde se realiza los trabajo de ingeniería, como pueden ser los ríos, ecosistemas y poblaciones para no afectar el medio ambiente.

1.2. PROBLEMA

Teniendo en cuenta la experiencia de las diferentes obras de ingeniería ejecutadas en la empresa, se ha visto la necesidad de realizar el tratamiento de aguas provenientes de las obras de ingeniería que presentan alta concentración de iones metálicos como es el caso de Cu, Pb, Cd, As, etc., y sólidos suspendidos que estén dentro de los estándares ambientales cuando se hacen sobre todo perforaciones y otro tipo de obras que implique la alteración del ecosistema.

1.3. JUSTIFICACION

Los diferentes lugares donde se realiza labores de ingeniería pueden contar o no con cuenca, y algunas no presenta fauna acuática y tiene una reducida variedad de especies vegetales en las cercanías al río, cuando según sus características geográficas debería tener diferentes ecosistemas en su entorno. Adicionalmente, las poblaciones cercanas sólo toman el agua de bofedales o pozos, cuando podría tener la posibilidad de tomarla del mismo río y tener un lugar de almacenamiento de agua para la época de estiaje.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- ✓ Tratamiento de las aguas provenientes de las obras de ingeniería como es perforación diamantina.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Reducir la cantidad de sólidos suspendidos a niveles permisibles para el riego.
- ✓ Reducir la concentración de iones metálicos a niveles permisibles de acuerdo a los ECAs en su categoría 3.

1.5. METODOLOGÍA

- ✓ Recopilación de información de la cuenca hidrográfica.
- ✓ Realizar y corroborar los resultados de los monitoreos en campo, principalmente en lo que respecta a metales y sólidos suspendidos, comparándolos con los ECAs y LMPs según sea el caso.
- ✓ Calcular en laboratorio la cantidad de insumos como cal y floculante que serán necesarios para realizar el tratamiento y remoción de los metales y parámetros que se encuentran fuera del rango de los estándares ambientales.
- ✓ Evaluar en campo y topográficamente la cuenca para encontrar el lugar más adecuado para realizar la remediación.
- ✓ Calcular la cantidad de insumos que se necesitarán de acuerdo a las condiciones de la zona de represamiento, caudal y demás parámetros evaluados en el monitoreo.

1.6. POLITICA DE CALIDAD

PERFORACIONES EN INSTALACIONES FERRER, S.L. (FERRER) tiene como objeto social el análisis y la evaluación cuantitativa de los diversos sistemas de control de las aguas subterráneas, en el ámbito de la hidrogeología aplicada en obras de edificación y obras de ingeniería civil. Incluye la ejecución de pozos, perforaciones, monitoreo y ensayos de bombeo así como la implantación de los sistemas de bombeo pertinentes, con aplicación de métodos numéricos para la optimización de recursos.

FERRER, desde su origen ha prestado especial atención al rigor de sus compromisos frente a sus clientes, empleados y proveedores, con el máximo respeto por el Medio Ambiente. Manteniendo su compromiso de mejora y superación continuada, hace extensivo a toda su organización, las bases de la Responsabilidad Social Corporativa (RSC), estableciendo metas empresariales compatibles con el desarrollo de la sociedad, preservando recursos ambientales y culturales para las generaciones futuras, bajo respecto de la diversidad, con el objeto de mejorar su situación competitiva, valorativa y su valor añadido. Y para ello se compromete a:

1. Desarrollar, mantener y evaluar un Sistema de Gestión integrado para todas las actividades de la organización, orientado a la mejora continua de la eficacia del mismo y a la satisfacción de nuestros clientes, cumpliendo en todo momento con los requisitos establecidos.
2. Garantizar a nuestros clientes nuestro firme compromiso en satisfacer sus requerimientos y expectativas, ofreciendo un equipo con gran capacidad técnica, responsable e integridad personal.
3. Realizar revisiones anuales por dirección de todo el Sistema de Gestión con el objetivo de conseguir su adecuación.
4. Establecer los canales de comunicación necesarios para que la Política sea conocida y entendida en todos los niveles de la organización y esté a disposición del público en general.
5. Proporcionar la formación necesaria a sus empleados y comunicarles la importancia de sus actividades para la consecución de los objetivos propuestos y conseguir que se sientan identificados con la necesidad de mantener y mejorar el Sistema de Gestión existente.
6. Mantener y/o renovar el parque de maquinaria y herramientas necesarias para la correcta ejecución de los trabajos a realizar, respetando al mismo tiempo, las normas en Prevención de Riesgos Laborales.

7. Mantener una actitud activa frente a la innovación y desarrollo de las técnicas empleadas que puedan aportar mayores cotas en la calidad de los servicios prestados.
8. Adecuar la demanda de mercado, ampliando nuestras fronteras en el ámbito de ejecución de obras e implantado la internacionalización de nuestra firma.
9. Asumir el compromiso de prevención, gestión y control de residuos atendiendo a las exigencias de los compromisos de la RSC, más allá y por supuesto, del cumplimiento de la legislación y reglamentación aplicable, tanto general como particular.
10. Minimizar el impacto de nuestras actividades (consumo de carburante, consumo de aceite) sobre el medio ambiente y prevenir la contaminación, exigiendo a nuestros proveedores el compromiso con requisitos medioambientales considerados de interés.

Para conseguir estos objetivos, la Dirección de **FERRER**, adquiere el firme compromiso de mejorar su atención y servicio a clientes, empleados y proveedores, desde la aplicación de los criterios definidos en esta Política.

1.7. MISION

La experiencia que da la práctica, en combinación con la teoría que da la ciencia, se hacen necesarias a la hora de ofrecer al cliente el servicio que desea en la solución a su problema concreto. El mejor posicionamiento, vendrá de la mano del mejor servicio, entendido como calidad. **FERRER** mantiene su competitividad optimizando los costes de gestión y producción, que traslada en ahorros al proyecto final, apelando al necesario esfuerzo económico que demanda la situación del mercado actual consiguiendo con ello, la fidelización efectiva de sus clientes.

Aspiramos a mejorar de manera continua la captación, la satisfacción y la vinculación de los clientes a través de una oferta especializada de

productos y servicios complementarios, que bajo los parámetros de calidad, aproximen el servicio integral al cliente.

La empresa sigue apostando por las nuevas tecnologías y la innovación mediante el desarrollo de nuevos sistemas de control de aguas subterráneas y superficiales (*Dewatering*) y optimización de medios utilizados para este fin, que permitirán incrementar la calidad del servicio y mejorar la eficiencia.

FERRER en su empeño innovador, sigue implementando nuevas técnicas de perforación y bombeo, así como nuevas tecnologías para la captura y tratamiento de datos de campo, mejorando en eficiencia día a día.

Con todas las actividades que se realizan, la Empresa manifiesta su compromiso con la sociedad y pretende ser su aliado en temas de desarrollo sostenible apoyado en la tecnología.

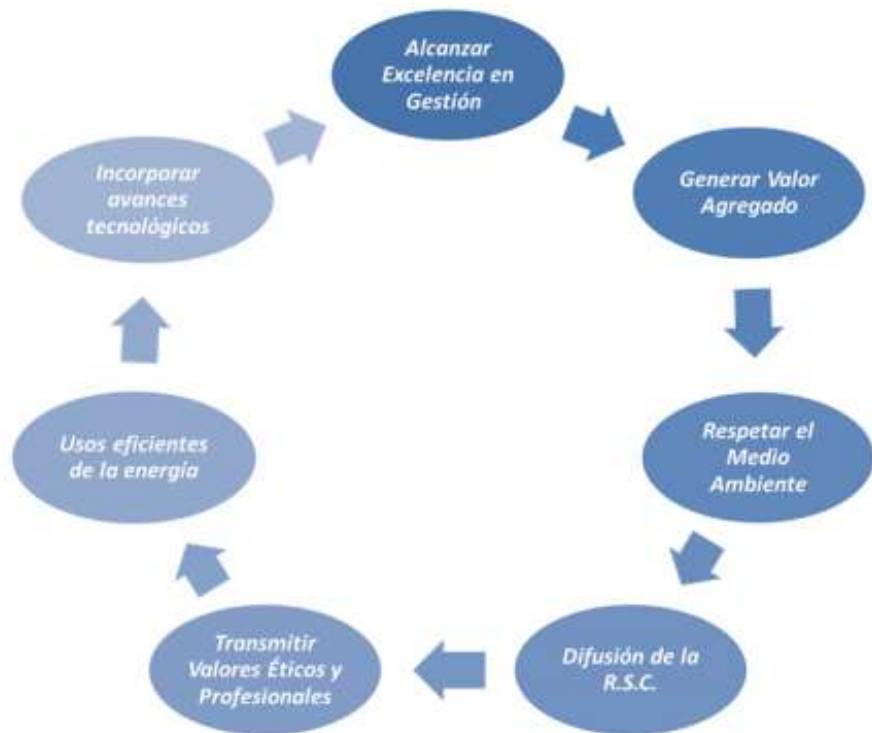
Deseamos ser la empresa de referencia en los ámbitos en los que actuamos, reconocida por el alto valor añadido, la excelencia en la gestión empresarial, la cultura organizacional y la calidad de nuestra gestión. Para ello es decisivo estar a la vanguardia del sector, en lo que a hidrogeología aplicada a obras de ingeniería se refiere, favorecido por la perspectiva que da la reciente visión internacional, que plantea nuevos escenarios y enriquece la visión de futuro.

Queremos, para optimizar la utilización de los recursos, agilidad en las decisiones, aprovechamiento de las oportunidades que ofrece el desarrollo tecnológico; máxima objetividad en la selección de personal y atención continua a su formación. Todo esto implica, entre otros factores, pragmatismo y flexibilidad.

Nuestra premisa es adelantarnos al futuro y cada vez estamos más preparados para afrontarlo.

1.8. VISION

FERRER proyecta su visión en ser empresa de referencia en el control integral del agua subterránea (*Dewatering*) y superficial (*Unwatering*), y en sistemas de impermeabilización técnica para obras subterráneas (*Waterproofing*), en el ámbito de la hidrología aplicada a minería, obras de ingeniería civil, edificación y medioambiente.



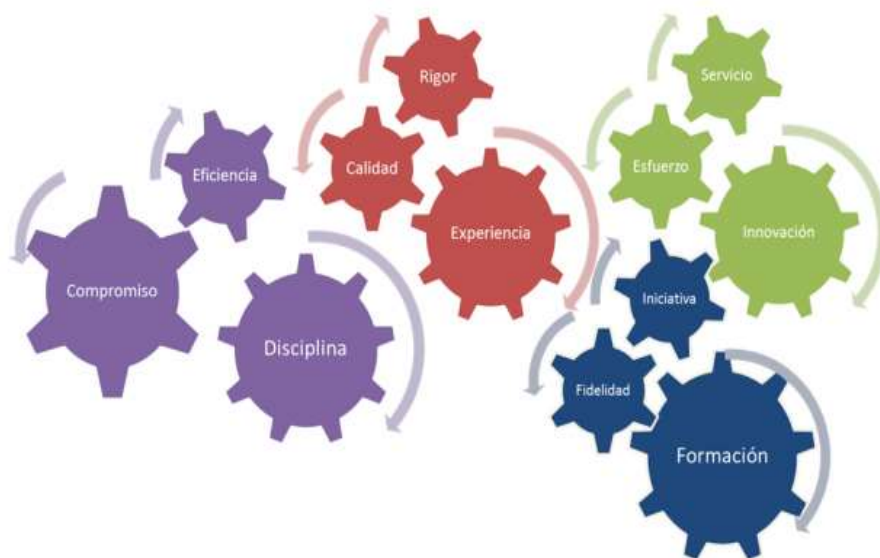
Fuente: Elaboración propia

1.9. VALORES

Desde su fundación, **FERRER** mantiene presentes los valores que, con la razón que da el paso del tiempo, deben prevalecer en la empresa si se desea permanecer líder en el mercado.

Sin importar el orden, los valores esenciales de la empresa han sido y son:

- Apuesta por el rigor de los compromisos asumidos.
- Fidelidad con los clientes, empleados y proveedores.
- Uso del conocimiento y la experiencia en beneficio de todas las partes implicadas en cada proyecto o trabajo.
- Formación continuada del personal en todas las áreas y ámbitos de la empresa.
- Entusiasmo e ilusión por el conocimiento y la innovación en las líneas principales de negocio así como en complementarias que incrementen el valor añadido.
- Conocimiento de la necesidad real del mercado, presente y futura, tanto nacional como internacional siendo necesario para ello mantener contacto permanente con la práctica, la técnica y la ciencia del sector a desarrollar.
- Respeto por el medioambiente, planteando soluciones sostenibles y que en su caso, minimice el impacto de los proyectos en los que participa, no aceptando actuaciones que deriven en agravamiento de cualquier situación conocida.
- Obtención de Certificados que acrediten la calidad y distinción de sus servicios. En la actualidad **FERRER** dispone de los Certificados de Calidad ISO 9001 y Medioambiental ISO 14001, así como el de Clasificación de Contratista de Obras en los grupos A y K.



Fuente: Elaboración propia

1.10. DETALLES DEL AREA DE ESTUDIO

1.10.1. UBICACION

Una de las áreas de estudio de las labores de ingeniería y de perforación tiene contenidos metálicos de las diferentes minas abandonadas y de los trabajos que realizamos de exploración contribuyen al peligro de contaminación de uno de los principales efluentes como es el Río Tablachaca, el cual a su vez es afluente del Río Santa. Limita hacia el norte con la cuenca del Río Sacaycacha y hacia el sur con cuenca del Río Ancos, ambas subcuencas pertenecientes a la cuenca del Río Tablachaca, en la provincia de Pallasca, en el departamento de Ancash. Los distritos que pertenecen a esta cuenca son: Bolognesi, Cabana y Tauca.

La cuenca tiene un área de 271 km², con niveles altitudinales que varían de 4600 m.s.n.m. a 1300 m.s.n.m. Según los datos del IGN la cuenca del Río Boca Cabana está ubicada en los cuadrángulos de Santiago de Chuco y Pallasca.

1.10.2. CLIMA Y ECOLOGÍA

El área se halla comprendida dentro de la vertiente del pacífico y llega hasta el nivel de 4600 m.s.n.m. en sus orígenes. La cuenca presenta un periodo de lluvias bien marcado entre los meses de Diciembre y Marzo. Dentro de este contexto árido, el zoneamiento climático y vegetacional, es vertical y está controlado principalmente por la altitud. Desde el nivel del mar hasta los 1500 m.s.n.m. la zona es árida, con algunos bosques localizados por acción de las nieblas costeras.

De los 1500 m.s.n.m. a los 2500 m.s.n.m. se presenta una capa de suelo y en la estación lluviosa desarrolla pasto y alguna vegetación arbórea, si se cultiva adecuadamente habrá un buen desarrollo.

Las condiciones óptimas para la agricultura se presentan entre los 2500 m.s.n.m. y los 4000 m.s.n.m.

Sobre los 4000 m.s.n.m. es demasiado frío para que crezcan árboles, excepto en lugares propicios donde existe una cobertura densa de pasto que sirve de sustento al ganado.

1.10.3. COMUNIDADES

La cuenca se encuentra en el departamento de Ancash, lugar donde la cultura Chavín tuvo mucha influencia, esta cultura una de las más antiguas de América, y su origen se remonta a 1200 años A.C.

La distribución de los asentamientos humanos en la cuenca está controlada principalmente por la altitud y la gran mayoría de los distritos y anexos andinos se encuentran en altitudes entre 2500 m.s.n.m. y 3,500 m.s.n.m.

Los asentamientos humanos situados a menor altitud generalmente están cerca de los torrentes rápidos, mientras que los situados por encima de aquellas altitudes se relacionan con las actividades de la industria minera.

1.10.4. FLORA Y FAUNA EN LA CUENCA

Flora

Los productos cultivados en la zona son: maíz amiláceo, fréjol, quinua, chochos, ocas, papa, maíz duro, arveja y camote.

Las frutas cultivadas en la zona son: membrillo, limón, pero manzano, lima, ciruelos, melocotón, guayabos, nueces, palta, manzana, peras, toronja, nísperos, uva, naranja, tuna, granadilla, durazno, pacay, lúcuma, chirimoyas, plátano, mango y caña de castilla.

Fauna

Entre los mamíferos de la zona tenemos: zorro, zorrillo, vizcacha, venado, conejos, ganado vacuno, ovino, caprino, equino y auquénido en las partes más altas de la cuenca.

Entre las aves presentes en la zona tenemos: Pichuchanca, picaflor, chihues, paloma torcaza, loro, pato silvestre, gallareta, huachas, zorzal, zapallero, perdiz, cóndor, y águila entre otros.

1.10.5. GEOLOGÍA

1.10.5.1. GEOLOGÍA REGIONAL

Las rocas que se presentan son sedimentarias, ígneas (intrusivas y extrusivas) y metamórficas. Las rocas sedimentarias están representadas principalmente por calizas, lutitas, areniscas y conglomerados.

Entre las rocas ígneas intrusivas, predominan las de composición granitoide (granitos, granodioritas, etc.) y forman parte de intrusiones batolíticas; además, existen intrusiones menores de composición aplítica, derrames y aglomerados de composición andesítica, riolítica y dacítica.

Las rocas metamórficas están conformadas principalmente por cuarcitas y pizarras destacando las cuarcitas por su morfología conspicua y coloración blanca a rojiza y su resistencia a la erosión.

La unidad geológica de mayor distribución en la cuenca es el Grupo Calipuy, compuesto por rocas volcánicas que conforman la Cordillera Negra llegando a prolongarse hacia el sur este muy cerca de Cajatambo.

Las rocas volcánicas del Grupo Calipuy han recibido stocks graníticos y sub volcánicos porfiríticos que en algunos casos han originado yacimientos mineralizados.

1.10.5.2. GEOLOGÍA LOCAL

1.10.5.2.1. Formaciones Geológicas

Los Grupos y Formaciones presentes en los cuadrángulos mencionados, pertenecientes a la cuenca del Río Boca Cabana son las siguientes:

a) Formación Chicama

La Formación pertenece al Titoniano. Esta Formación consiste en grosores considerables de lutitas y areniscas finas. No hay afloramientos de la base pero se supone discordantemente sobre el Grupo Pucará y formaciones más antiguas. Es difícil medir su

grosor verdadero debido a sus complicadas estructuras y los sobre escurrimientos; pero se estima que esta entre 800 m y 1000 m.

Se considera estos afloramientos extensos, son productos de factores estructurales considerando la tectónica del área. Las lutitas de esta Formación que se intercalan con areniscas son piritosas con nódulos ferruginosos, siendo más arenosas en el sector oriental.

b) Formación Chimú

Se encuentra en el Neocomiano y Valanginiano. Conformado por centenares de metros de cuarcitas, areniscas y arcillitas, con mantos de carbón, sobreyaciendo a la Formación Oyón e infrayaciendo a la Formación Santa con una ligera discordancia.

El grosor variable es de 150 m a 400 m y esencialmente comprende dos miembros, el inferior que consiste en areniscas y cuarcitas con intercalaciones de arcillita, con presencia de mantos de carbón; el miembro superior está compuesto de capas macizas de cuarcitas blancas grisáceas con escasas capas de arcillitas.

El miembro superior representa las unidades más prominentes de la región de 100 m a 300 m de cuarcitas blancas conteniendo en muchos casos, carbón antracítico.

c) Formación Santa

Esta Formación pertenece al Valanginiano. Consiste de 100 m a 380 m de calizas y arcillitas calcáreas que sobreyacen a la Formación Chimu e infrayacen a la Formación Carhuaz, ambos contactos con discordancia paralela.

d) Formación Carhuaz

Se encuentra en el Aptiano y el Albiano inferior. Consiste en aproximadamente 500 m de arenisca y arcillitas en discordancia sobre la Fm. Santa y se encuentra infrayaciendo al Grupo Calipuy también de edad Cretácica.

La litología de esta Formación consiste en areniscas y cuarcitas finas marrones en capas delgadas con abundantes intercalaciones de arcillitas, en algunas áreas se encuentran intercalaciones de conglomerados, principalmente en la parte superior de la Formación. Las intercalaciones de caliza y yeso son comunes en la base de la Formación.

e) Grupo Calipuy

El Grupo Calipuy pertenece al Cretáceo superior. Conocido también como volcánicos Calipuy, esta unidad suprayace a secuencias cretáceas en discordancia angular, estando el tope generalmente erosionado, su grosor se estima mayor a 2000 m.

Las rocas del Grupo Calipuy son mayormente tobas, piroclastos gruesos, aglomerados, lavas, cuerpos intrusivos subvolcánicos, su composición varía de andesítica-dacítica a riolítica.

Este Grupo presenta dos unidades:

e.1) Calipuy Inferior: Consiste en rocas piroclásticas gris verdosas, púrpuras a marrón rojizas, bien estratificadas y con niveles de limoarcillas grises.

e.2) Calipuy Superior: Son capas gruesas resistentes que corresponden a aglomerados, brechas de colores verde grisáceos, marrón rojizo y algunas lavas porfiríticas.

f) Depósitos Cuaternarios

Sobreyaciendo a todas las unidades descritas se encuentran depósitos cuaternarios siendo los más importantes los fluvioglaciares, en los que están incluidos las morrenas que son extensos mantos de arena y gravas, además de estos se puede encontrar depósitos aluviales, eluviales, coluviales, coluvioaluviales y deluviales.

- f.1) Depósitos Fluvioglaciares:* están compuesta por fragmentos de rocas angulosas de diferente composición litológicas, se encuentran ubicados en la parte más alta de la cuenca.
- f.2) Depósitos Aluviales:* consisten en acumulaciones de cantos redondeados de composición litológica variable, puede encontrarse en varios lugares de la cuenca.
- f.3) Depósitos Eluviales:* estos depósitos son también denominados in situ, se originan por la meteorización de la roca, en el caso de esta cuenca pueden provenir de rocas volcánicas, intrusivas, clásticas y calcáreas.
- f.4) Depósitos Coluviales:* estos depósitos presentan material anguloso y se generan por acción de la gravedad, ubicándose en algunas laderas y colinas de mediana a alta pendiente.
- f.5) Depósitos Coluvio-Aluviales:* estos depósitos presentan materia heterogénea y están ubicados en las quebradas de la cuenca.
- f.6) Depósitos Deluviales:* estos depósitos son generalmente de material fino y se encuentran tapizando varias laderas y colinas, generalmente en la parte media y baja de la cuenca.

1.10.5.2.2. Rocas Ígneas y Metamórficas

La exposición de rocas intrusivas abarca alrededor de 1500 Km², se caracteriza por presentar una topografía accidentada, sin embargo los cerros formados por rocas intrusivas, presentan

contornos más suaves que los que se encuentran en rocas volcánicas.

La roca intrusiva ampliamente difundida es la granodiorita que se presenta como extensos plutones, además se encuentran granitos y diques de andesita.

a) Granodiorita

Un afloramiento de granodiorita se reconoce en la parte occidental del área, otra parte se encuentra al este de los pueblos, Tauca, Llapo y Cabana, este cuerpo intrusivo se prolonga hasta la Cordillera Blanca.

Además de estos afloramientos mayores existen pequeños stocks dispersos en la parte central del área, atravesando formaciones del Cretáceo superior y volcánicos Calipuy. En profundidad todos estos afloramientos de rocas intrusivas probablemente constituyen una unidad del Batolito Andino.

En roca fresca la fractura es de color gris claro textura equigranular holocristalina hipidiomórfica y de grano grueso a medio. Entre sus minerales esenciales se reconocen a simple vista cuarzo, plagioclasas y algo de ortosa, bastante hornblenda y poca biotita.

En algunos caso aflora con una estructura porfidítica, especialmente donde los fenocristales de plagioclasas alcanzan 5 cm de longitud. La granodiorita en muchos casos presentan transiciones graduales tanto diorita y diorita cuarcífera como también a monzonita.

En algunas zonas la granodiorita se encuentra afectada por sistemas de fracturas que producen una disyunción tabular y en otros lugares presenta disyunción esferoidal.

b) Granito

Este tipo de roca se encuentra principalmente en forma de diques. Se han encontrado numerosos diques de granito cortando a la formación Chicama.

El granito es de color blanco grisáceo a rojizo de textura granular. El cuarzo y la ortosa se presentan algunas veces en cristales bien desarrollados y la biotita en agregados más pequeños, como accesorio presentan también granos de magnetita. Estos diques son cortos y de orientaciones variables.

c) Andesita

Los diques de andesita se encuentran a la granodiorita. Sistemas de diques de esta clase con orientación N-S se encuentran abundantemente esparcidos en el cuerpo del batolito en la parte sur de Santa Rosa.

d) Metamorfismo producido por las intrusiones

El emplazamiento de los intrusivos ha producido en las rocas huéspedes diversos grados de metamorfismo termal.

La aureola metamórfica tiene anchos variables según la naturaleza de la roca intruida y el tamaño de las intrusiones. Los efectos más pronunciados se manifiestan en las lutitas Chicama, las que se han transformado a pizarras chistólicas.

En otros casos estas pizarras se presentan sin relación visible con rocas intrusivas, lo cual hace suponer la existencia de masas ígneas cerca de la superficie, se hace notar por la presencia de los estratos en dichos lugares.

Las cuarcitas Chimú cerca al contacto de los intrusivos se presentan decoloradas y más duras, cerca al pueblo de Tauca.

Es probable que el magma haya afectado en cierto grado la composición y condiciones físicas de los mantos de carbón que se encuentran dentro de las cuarcitas Chimú.

El volcánico Calipuy a lo largo del contacto con los cuerpos intrusivos muestra una débil silicificación y piritización así como también decoloraciones. Las rocas volcánicas debido a la silicificación se han vuelto más densas y duras.

En algunos sitios se notan xenolitos de roca volcánica parcialmente digeridas por el magma así como núcleos de minerales básicos posiblemente originados por segregaciones del magma.

1.11. METALOGENIA

Las minas ubicadas en esta subcuenca se encuentran abandonadas, sin embargo podrían generar contaminación en el agua y en el suelo.

(1) Mina Ogopito

Se localiza en el distrito de Bolognesi, en general se extraían minerales de Wolframio. Presenta una forma irregular; se trata de tres estructuras principales emplazadas en rocas calizas y lutitas. La mineralización está constituida principalmente por cuarzo masivo que ha rellenado totalmente

las estructuras. Las rocas dominantes en el área del yacimiento son estratos de calizas y lutitas que sobreyacen en un intrusivo granodiorítico.

(2) Mina Santísima Cruz de Pedro Urraca

Localizada en el distrito de Cabana, comúnmente se extraían minerales de: Oro y Plata. Presenta forma de vetas; la mina comprende una veta principal de cuarzo aurífero entre pizarras negras, la veta tiene un ancho variable entre 20 y 30 cm. En el área del yacimiento existen pizarras negras.

(3) Mina Huamayara

Se encuentra ubicada en el distrito de Cabana, principalmente se extraían minerales de: Oro y Plata. Presenta una forma irregular, como minerales de alteración presenta caolín y sericita. Se trata de tres fracturas preexistentes dentro de la intrusión granodiorítica cuyos afloramientos son escasamente observados, el relleno de las estructuras está constituido por la roca encajonante alterada, dentro del cual se observan lentes y vetillas. En la zona se aprecian afloramientos de granodiorita, mas al extremo norte se presenta una secuencia apreciable de lutitas pizarrosas pertenecientes a la Formación Chicama, también la sobrecarga de material aluvial, los pastos y arbustos naturales.

(4) Mina Sucará

Está ubicada es en el distrito de Cabana, principalmente se extraían minerales de Oro y Plata. Muestra una forma irregular. Se encuentra en una zona de intrusivo granodiorítico.

(5) Mina Beatriz

Se encuentra ubicada en el distrito de Cabana, comúnmente se extraían minerales de: Cobre y Oro. La alteración principal es la oxidación; el yacimiento está formado por tres vetas principales: vetas Vista Alegre, Bandera y Rincón Piticocha, la primera tiene un rumbo de S80°W buzando 40°E y con potencia de 3.0 m. La zona está constituida por pizarras dispuestas en capas inclinadas hasta los 30°, por la ocurrencia de disturbios litológicos que ocasionaron plegamientos anticlinales y sinclinales, esta secuencia ha sufrido diferentes intrusiones de diques graníticos.

(6) Mina La Verde

Se encuentra ubicada en el distrito de Cabana, principalmente se extraían minerales de: Oro y Plata. Presenta forma tabular, la alteración principal es la silicificación. La roca predominante en la zona es la granodiorita.

(7) Mina Joya

Está ubicada en el distrito de Tauca, principalmente se extraían minerales como oro nativo, asociado a los sulfuros. Tiene una forma irregular, la alteración principal es la oxidación, el yacimiento tiene verticalmente dos zonas perfectamente definidas: la superior de oxidación y enriquecimiento y debajo la sulfurada o primaria. La mina se encuentra enclavada en el centro de un gran arco, formado por paquetes pizarrosos, al pie de Cabana, entre campos de cultivo; estas pizarras constituyen la roca predominante, extendiéndose desde Tauca hasta Cabana y prolongándose al norte.

(8) Mina Carolina

Se ubica en el distrito de Tauca, por lo común se extraían minerales de Oro y Plata. Presenta forma de vetas, el yacimiento está formado por tres vetas mineralizadas llamadas: Montecristo, Berlín y Milagrosa; la veta Montecristo es una fisura de relleno en forma de manto caso horizontal, emplazada en rocas fuertemente alteradas (andesitas).

(9) Mina Montecristo

Se encuentra ubicada en el distrito de Tauca, generalmente se extraían minerales de: Oro, Plomo y Plata. Muestra una forma irregular, se trata de un manto cuyo relleno está formado por minerales oxidados de hierro y arsénico, arsenopirita y pirita en menor proporción, dentro de una ganga de cuarzo con caolín. La región está caracterizada por la existencia de potentes paquetes sedimentarios de pizarras generalmente negruzcas, alternados con uno que otro manto de cuarcita.

(10) Mina Rosa

Se localiza en el distrito de Cabana, principalmente se extraían minerales de: Oro y Cobre. Presenta forma tabular, La alteración principal es la oxidación, el yacimiento está formado por tres vetas principales: vetas Vista Alegre, Bandera y Rincón Piticocha, la primera tiene un rumbo de S 80°W buzando 40°E y con potencia de 3.5 m. La zona está constituida por pizarras dispuestas en capas inclinadas hasta lo 30°, por la ocurrencia de disturbios litológicos que ocasionaron plegamientos anticlinales y sinclinales, esta secuencia ha sufrido diferentes intrusiones de diques graníticos.

(11) Depósito Río Negro

Se ubica en el distrito de Cabana, principalmente se extraían minerales de Carbono. Tiene forma de mantos; el yacimiento consta de 4 mantos denominados localmente "El Rey", "La Reina", "La Princesa", "El Príncipe".

1.12. HIDROLOGÍA Y PLUVIOMETRÍA

1.12.1. HIDROLOGÍA

El Río Boca Cabana es uno de los principales afluentes del Río Tablachaca, el cual a su vez es afluente del Río Santa, una de los ríos más grandes de la cuenca del Pacífico. Los ríos regionalmente más importantes, son aquellos que pertenecen tanto a la cuenca del Río Santa como a la cuenca del Río Tablachaca.

1.12.2. PLUVIOMETRÍA

La precipitación, entendida como toda forma de humedad que llega a la superficie terrestre, constituye la principal fuente de alimentación hídrica de una cuenca. La variación cuantitativa en el tiempo y en el espacio está fuertemente condicionada por las condiciones climáticas de la zona y el cambio climático, en tal sentido el análisis pluviométrico se centra en la caracterización de su evolución en el tiempo (mensual, anual y multianual) y en el espacio.

Regionalmente se encuentran 3 estaciones pluviométricas las cuales se ubican en los distritos de Santiago de Chuco, Cachicadán y Mollepata, todas ellas pertenecientes a la provincia de Santiago de Chuco, en el departamento de La Libertad.

1.13. BALANCE HÍDRICO

Para realizar el balance hídrico es necesario tener en cuenta cuatro parámetros los cuales son: la precipitación, la escorrentía, la evapotranspiración y la infiltración; a continuación se indica la manera de calcular estos parámetros y realizar el balance hídrico.

1.13.1. CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN

La precipitación (P) se evaluará a partir de las estaciones pluviométricas de Santiago de Chuco, Cachicadán y Mollepata.

La precipitación anual promedio en la estación de Santiago de Chuco es: 635.53 mm/año. La precipitación anual promedio en la estación de Cachicadán es: 807.9 mm/año. La precipitación anual promedio en la estación de Mollepata es: 481.85 mm/año.

Por lo que la precipitación (P) anual promedio, será el promedio de estos tres valores: **P = 641.76 mm/año.**

1.13.2. CÁLCULO DE LA ESCORRENTÍA

La escorrentía (ESC) es dependiente del caudal promedio anual y del área de la cuenca ($271 \text{ km}^2 = 271\,000\,000 \text{ m}^2$), es decir:

Caudal = $1.5 \text{ m}^3/\text{seg} = 47\,304\,000 \text{ m}^3/\text{año}$, por lo tanto la escorrentía (ESC) es:

ESC = Caudal / Área, entonces, **ESC = 172.16 mm/año.**

1.13.3. CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

Para la evapotranspiración (ETP) se usará la fórmula de Turc:

$$ETP = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \text{ y } T=10^\circ\text{C}$$

(Temperatura media anual de la cuenca).

Realizando los cálculos de acuerdo a la fórmula el valor promedio de la evapotranspiración es: **ETP = 457.28 mm/año.**

1.13.4. CÁLCULO DE LA INFILTRACIÓN

Para determinar infiltración se utilizará la fórmula global con los datos ya calculados, como son la precipitación, la escorrentía y la evapotranspiración.

$$P = ETP + ESC + I$$

Realizando los cálculos de acuerdo a la fórmula el valor promedio de la infiltración es: **I = 12.32 mm/año.**

CAPÍTULO II

MARCO LEGAL

2.1. A NIVEL NACIONAL PERÚ

2.1.1. NORMATIVIDAD GENERAL A NIVEL NACIONAL

- Constitución Política del Perú - Título III, Capítulo II: Del Ambiente y los Recursos Naturales.
- Ley del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (Decreto Legislativo N° 613).
- Ley del Consejo Nacional del Ambiente (CONAM Ley N° 26410).
- Ley del Creación del Fondo Nacional del Ambiente (FONAM Ley N° 26793).
- Decreto Legislativo N° 997 13/03/2008, Ley Orgánica del Ministerio de Agricultura (Creación de la Autoridad Nacional del Agua).
- Reglamento de Organización y Funciones del CONAM, Decreto Supremo N° 022-2001-PCM.

- Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental, Ley N° 27446.
- Ley que regula los Pasivos Ambientales de la Actividad Minera: Ley N° 28271.
- Título XIII del Código Penal - Delitos Contra la Ecología.
- Formalización de denuncias por los delitos tipificados en el Código Penal (Ley N° 26631).
- Ley de Áreas Naturales Protegidas (Ley N° 26834).
- Ley de Evaluación de Impacto Ambiental para Obras y Actividades (Ley N° 26786).
- Ley del Fondo Nacional del Ambiente (FONAM Ley N° 26793).
- Ley General de Salud (Ley N° 26842).
- Ley Orgánica para el Aprovechamiento de los Recursos Naturales (Ley N° 26821).
- Ley Sobre la Conservación y Aprovechamiento Sostenible de la Diversidad Biológica Ley N° 26839).
- Ley Forestal y de Fauna Silvestre (Ley N° 27308).
- Ley General de Residuos Sólidos (Ley N° 27314).
- Decreto Supremo N° 056-97-PCM y 061-97-PCM – Casos en que aprobación de EIA o PAMA requieren opinión técnica del SERNAMP.
- Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada (1991).
- Ley de Tierras (1995).
- Se regularon las actividades de exploración minera (D.S. N° 038-98-EM) (1998)
- Ley General del Patrimonio Cultural de la Nación (2004).
- El año 2003, se establecen compromisos relacionados con el Desarrollo Sostenible (D.S. N° 042-2003-EM).

2.1.2. NORMATIVIDAD GENERAL AMBIENTAL EN EL SECTOR DE ENERGÍA Y MINAS

- Uniformizan procedimiento Administrativos ante la Dirección General de Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 053-99-EM.
- Reglamento de Participación Ciudadana en el Procedimiento de aprobación de los Estudios de Impacto Ambiental, a través de Audiencias Públicas aprobado a través de la Resolución Ministerial N° 728-99-EM/VMM.
- Exoneración del procedimiento de Audiencias Públicas a los Estudios de Impacto Ambiental, Resolución Ministerial N° 391-96-EM/SG.
- Aprobación de los Programas Especiales de Manejo Ambiental – PEMA, aprobado por Decreto Supremo N° 041-2001-EM.
- Resolución Directoral N° 032-97-EM/DGAA, Aprueban ficha de declaración jurada para actualización de datos de empresas o entidades autorizadas a realizar EIA en el sector.
- Resolución Ministerial N° 580-98-EM/VMM, Registro de Entidades Autorizadas a realizar Estudios de Impacto Ambiental.
- Resolución Directoral N° 036-97-EM/DGAA, Presentación del Cronograma de acciones e inversiones y el porcentaje de avance físico mensualizado del PAMA.

Reglamento de Consulta y Participación Ciudadana en el Procedimiento de Aprobación de los Estudios Ambientales en el Sector Energía y Minas (RM 596-2002-EM/DM).

Con respecto a la participación ciudadana:

- En 1996, Reglamento de Participación ciudadana en el procedimiento de aprobación de los estudios ambientales (R.M. N° 335-96-EM/VMM).
- En 1999, Reglamento de Participación Ciudadana en el Procedimiento de Aprobación de Estudios Ambientales (R.M. N° 728-99-EM-VMM)
- En el 2002, Reglamento de Consulta y Participación Ciudadana en el Procedimiento de Aprobación de los Estudios Ambientales (R.M. N° 596-2002 EM/DM).

2.2. A NIVEL MUNDIAL

2.2.1. GENERALIDADES

El impacto ambiental de la minería puede ser muy adverso si se carece de una adecuada tecnología preventiva y un marco regulador que funcione de manera apropiada.

La prevención de la contaminación, adoptada como principio en la gestión estratégica, ofrece la oportunidad de evitar o minimizar los efectos ambientales negativos de la actividad minera, a la vez que promueve la eficiencia económica en el diseño y ejecución de las operaciones.

A nivel interamericano, existen razones poderosas para que los países colaboren en el desarrollo de un marco hemisférico para la prevención de la contaminación como consecuencia de la minería metálica.

El comercio y la inversión en el sector se expanden cada vez más y muchos de los recursos naturales potencialmente amenazados por

la actividad minera en la región, tienen características comunes o son incluso compartidos por los diferentes países. Asimismo, las empresas mineras operan como multinacionales.

Un enfoque interamericano de la regulación ambiental de la minería ayudaría a establecer reglas de juego comunes y evitaría la complejidad de tener estándares diferentes en las diferentes áreas de la región.

Para atender esta necesidad, el Environmental Law Institute, condujo un estudio de las legislaciones nacionales para la prevención de la contaminación en el sector minero.

Esta conducción se dio en colaboración con la Fundación Ambiente y Recursos Naturales (Argentina), Centro Especializado de Derecho y Política (Bolivia), Instituto Socioambiental (Brasil), Canadian Institute for Environmental Law and Policy (Canadá), Comité Nacional Pro Defensa de la Fauna y Flora (Chile), Centro Mexicano de Derecho Ambiental (México) y Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (Perú).

El estudio analiza instrumentos legales tradicionales, tales como permisos, evaluaciones de impacto ambiental y fijación de estándares regulatorios, además de opciones de política como son la participación pública o el uso de incentivos económicos.

2.2.2. EVOLUCIÓN LEGAL A NIVEL MUNDIAL

El libro “Silent Spring” de Rachel Carson publicado en 1962, marcó el principio del movimiento moderno del ambiente.

A pesar del creciente desbalance en la relación entre la naturaleza y la humanidad, Carson describió los impactos de los pesticidas en

los seres humanos y otros seres vivos, lo cual inició un amplio interés acerca del creciente desbalance en esta relación.

Los resultados de la búsqueda de Carson fueron verificados y reforzados en numerosas evaluaciones producidas por el Consejo Social y Económico de las Naciones Unidas, durante la Década del Desarrollo Mundial (1960-1970), así como también las estrategias formuladas durante la Segunda Década del Desarrollo Mundial (1970-1980).

El 28 de mayo de 1968 el Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas (ECOSOC) aceptó una propuesta de Sveker Astrom, el embajador suizo ante las Naciones Unidas, para explorar la posibilidad de realizar una conferencia internacional sobre los seres humanos en el ambiente. Basados en las recomendaciones de ECOSOC, la Asamblea General de las Naciones Unidas del 6 de diciembre de 1968, autorizó al consejo conducir una conferencia.

Reportes subsecuentes por U Than, Secretaría General de las Naciones Unidas, subrayaron la urgente necesidad de nuevas concepciones y actitudes hacia el ambiente. Estos reportes formaron la base para la resolución, adoptada por la Asamblea General de las Naciones Unidas del 15 de septiembre de 1969, para patrocinar y ser el anfitrión de La Conferencia de las Naciones Unidas para el Ambiente Humano.

La Conferencia de Estocolmo realizada del 5 al 16 de junio de 1972, incluyó la participación de 113 países y docenas de observadores, pero la Unión Soviética y algunos pocos países de Europa del Este boicotearon la conferencia en protesta ante estipulaciones que excluyeron algunos países de su región de participar en la conferencia en iguales términos que otros países.

Por resoluciones especiales, la Conferencia de Estocolmo designó el 5 de junio como el Día Mundial del Ambiente, declaró 26 principios para la conservación de la naturaleza, la protección de las especies y los derechos humanos; ampliamente estimuló una mejor integración de las políticas de desarrollo y ambiente para fomentar más formas sostenibles de desarrollo; y estableció el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

Representantes a la primera conferencia del PNUMA al año siguiente, unánimemente acordaron que a los temas de ambiente y desarrollo se les debía asignar la prioridad más alta, exigiendo la integración central de consideraciones ambientales en todas las agendas.

La Estrategia Mundial para la Conservación (WCS), emitida por el Foro Mundial de Conservación (UICN) en 1980, contenía un enfoque sistemático hacia el desarrollo enfocado en el manejo ecológico de los recursos vivos, para asegurar la continuidad de la vida y biodiversidad para la satisfacción de las necesidades humanas del presente y futuro.

El reporte de la WCED (Nuestro Futuro Común / Brundtland Report), formó la fundación para la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Ambiente y Desarrollo (UNCED), también conocida como la Cumbre de la Tierra, realizada en Río de Janeiro del 3 al 14 de junio de 1992.

Esta conferencia, a la que asistieron delegados de 197 países, dio como resultado el establecimiento y la ratificación de acuerdos internacionales, incluidos entre otros los siguientes:

1. Los principios de Río para el desarrollo sostenible.
2. La agenda 21 (LA21) – un escrito que define el marco para la legislación y la implementación del desarrollo sostenible.
3. La Convención sobre Bosques y otros acuerdos sobre conservación.
4. La Convención sobre Cambio Climático (UNFCCC)
5. La Convención sobre Biodiversidad (CBD)

La Cumbre de la Tierra de Río levantó la conciencia del mundo sobre la interdependencia y la influencia mutua de los factores social, económico y ambiental y el reconocimiento de que el éxito de cualquier programa o acción tomada para responder a la crisis ambiental, dependería de un esfuerzo continuo y concertado y debería ser proclamado para la sostenibilidad a largo plazo. De aquí nació el concepto de desarrollo sostenible como una forma de desarrollo que logra llenar las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de llenar sus propias necesidades.

La última Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible (WSSD), se llevó a cabo en Johannesburgo, del 26 de Agosto al 4 de Septiembre del 2002, una década después de la Cumbre de la Tierra.

A la conferencia de Johannesburgo asistieron delegados de aproximadamente 190 países, incluyendo líderes gubernamentales y representantes de grupos ciudadanos y comunidades, instituciones de las Naciones Unidas, instituciones financieras internacionales y otras entidades que comparten el interés por el ambiente.

El WSSD trató de evaluar cuanto han avanzado las naciones en el camino del desarrollo sostenible para identificar los límites que

hemos afrontado y formular los próximos pasos que debemos tomar para afrontar la situación mundial actual.

Adicionalmente, el propósito de la WSSD fue renovar los compromisos hechos por los líderes mundiales en Río diez años atrás y determinar prioridades de acción futura relacionadas con los temas tratados en reuniones anteriores, así como también temas que han surgido recientemente.

2.2.3. NORMAS INTERNACIONALES DE CONTROL AMBIENTAL

a) ISO 14001

La ISO 14000 es una serie de normas internacionales para la gestión medio ambiental. Es la primera serie de normas que permite a las organizaciones de todo el mundo realizar esfuerzos medio ambientales y medir la actualización de acuerdo a los criterios aceptado internacionalmente.

La ISO 14001 es una norma voluntaria y fue desarrollada por la Organización Internacional de Estandarización (ISO) en Ginebra. La ISO 14001 puede ser aplicable a organizaciones de todo tipo y dimensiones, además de albergar diversas condiciones geográficas, culturales y sociales.

El objetivo general de la ISO 14001 así como todas las normas de la serie ISO 14000 es apoyar la protección medio ambiental y la prevención de la contaminación en armonía con las necesidades socioeconómicas. La ISO 14001 se aplica a cualquier organización que desee mejorar y demostrar a otros su actuación medio ambiental, mediante un sistema medioambiental certificado.

Las Normas ISO 14000 son básicamente de dos tipos: lineamientos y especificaciones; de las cuales solo la ISO 14001 es una norma de especificación que es un modelo de Sistema de Administración Ambiental.

Al implementa la norma ISO 14001 se consigue lo siguiente:

- Definir los aspectos e impactos ambientales significativos para la organización.
- Plantear objetivos y metas para demostrar desempeño ambiental.
- Establecer programas de administración ambiental.
- Definir la política ambiental de la organización.

Ventajas de la Certificación:

- Implementar, mantener y mejorar un Sistema de Administración Ambiental.
- Demuestra ante la autoridad competente la implementación de un Sistema de Gestión Ambiental.
- Es la evidencia para la comunidad, o cualquier parte interesada, de un sano desempeño ambiental que respalda la imagen de la empresa.
- Actualmente, se ejerce presión y estímulo proveniente de las autoridades ambientales y otras comunidades, para lograr un desempeño ambiental sano y la conservación de los pocos recursos naturales que poseemos.

b) ISO 26000 (Responsabilidad Social)

Hasta hace una década atrás, el énfasis estaba centrado en los estándares de calidad de productos. Sin embargo, a partir de la ISO 14000 se incorpora la variable ambiental dentro de la categoría

de estandarización. Con la ISO 26000 sobre Responsabilidad Social, cuyo objetivo integral es económico, ambiental y social, se entra a la tercera generación de estándares internacionales.

La Responsabilidad Social ha sido impulsada con mucha fuerza fundamentalmente por organismos multinacionales, en base a criterios desarrollados en Europa y Norteamérica, y se ha ido consolidando a partir de la difusión durante la década pasada del concepto de desarrollo sostenible.

Esta ley aún se encuentra en proceso de formulación. El desarrollo de esta norma es una decisión tomada y ya está lanzada; cuando se adoptó esta determinación, la ISO estableció un marco de referencia para su formulación, el cual en su mayor parte fue ratificado en la primera reunión plenaria efectuada en Brasil en marzo del 2005.

2.3. DECRETOS ESPECÍFICOS

2.3.1. DECRETOS EN EL SUB SECTOR MINERO

- Plan de Implementación para el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas, Resolución Ministerial N° 030-2011-MEM/DM.
- Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas, Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM.
- Ley de Estándares de Calidad de Agua (ECAs), Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM.
- Resolución Directoral N° 440-2004-MEM/AAM: Aprobación de Formatos de Declaración de Impacto Ambiental

- Reglamento de Protección Ambiental para las Actividades Mineras, aprobado a través del D.S. 016-93-EM modificado por D.S. 059-93-EM.
- Modelo de Contrato de Estabilidad Administrativa Ambiental en base al PAMA de las Actividades Minero Metalúrgicas (Resolución Ministerial N° 292-97-EM/VMM).
- Reglamento Ambiental para las Actividades de Exploración Minera (Decreto Supremo N° 038-98-EM).
- Modificación del Reglamento para la Protección Ambiental en las actividades Minero Metalúrgicas aprobado por Decreto Supremo N° 058-99-EM.
- Ley de Fiscalización Minera aprobada a través de la Ley N° 27474.
- Resolución Ministerial N° 315-96-EM/VMM, aprueba los Niveles Máximos Permisibles de Emisiones de gases y partículas para las actividades minero metalúrgicas.
- Resolución Directoral N° 016-95-EM/DGAA Formulario de la Declaración Jurada PAMA, para pequeños productores mineros.
- Resolución Ministerial N° 353-2000-EM/VMM, Escala de Multas y Penalidades por incumplimiento del TUO de la Ley General de Minería y normas reglamentarias.
- 1993, 2003, Planes de Cierre para las operaciones de minado subterráneo y a cielo abierto (Ley N°28098).

Con respecto a las empresas consultoras:

- 1992, Registro de Entidades Autorizadas a realizar EIA (R.M. N° 143-92-EM/VMM).
- 1998, Registro de Entidades Autorizadas a realizar EIA (R.M. N° 580-98-EM/VMM).
- 2003, Registro de Entidades Autorizadas a realizar Planes de Cierre (R.M. N° 627-2003-MEM/DM).

2.3.2. LEGISLACIÓN EN LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN MINERA

Las leyes, políticas y técnicas de gestión son fundamentales para hacer de la prevención un componente clave en las operaciones mineras sostenibles.

En ese sentido, muchas de las aproximaciones legales y de política existentes pueden requerir la identificación e integración de la prevención de la contaminación en las operaciones de minería metálica.

En esta parte del estudio, se identifica el universo de instrumentos y políticas a utilizar para fomentar dicha prevención. Asimismo, se explica las diversas funciones que cada tipo de instrumento legal, de diseñarse de manera apropiada, puede desempeñar como soporte de un programa de prevención de la contaminación.

Se tienen los siguientes Instrumentos Legales y Políticas:

a) Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)

Se adoptó a partir de 1993. Es el estudio de línea base que permite identificar las posibles fuentes de contaminación en un proyecto e implementar los procesos de mitigación de dichas fuentes contaminantes.

El propósito de llevar a cabo un EIA es establecer las condiciones ambientales existentes, dentro y en el ámbito de influencia del proyecto para evaluar posibles impactos que pueden ser ocasionados por el proyecto e identificar las medidas de mitigación necesarias que serán necesarios para eliminar o minimizar los impactos a niveles aceptables.

Un proceso de EIA se compone básicamente de los 5 pasos siguientes:

- Establecer las condiciones ambientales existentes.
- Identificar anticipadamente los tipos de impactos, utilizando las metodologías más apropiadas al tipo de proyecto y a su naturaleza.
- Estimar la extensión y magnitud de los impactos previstos.
- Interpretar el significado de los impactos.
- Comunicar los resultados a la autoridad pertinente.

Las categorías ambientales de análisis y evaluación que pueden ser afectadas por las operaciones de beneficio y minería son:

- Ambiente Físico: aire, agua, tierra y recursos
- Ambiente Biológico: ecosistemas terrestres y acuáticos
- Ambientes Socio-Económicos
- Ambiente de Interés Humano

b) Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA)

Se adoptó a partir de 1993. El Propósito del PAMA es mitigar y prevenir el deterioro ambiental futuro causado por las operaciones mineras y de beneficio existentes. La mitigación incluye el logro de la reducción en la concentración de los contaminantes liberados por las operaciones de minería y beneficio en el ambiente a niveles iguales o menores a los límites máximos permisibles (LMPs) ordenados y establecidos legalmente por el MEM (La Autoridad Competente).

Los PAMA deben desarrollarse en cinco años, con la excepción de algunas operaciones como las de fundición, para las que el plazo de adecuación es de diez años. Las empresas mineras deben

realizar una inversión anual mínima del 1% de los ingresos del año respectivo para llevar a cabo el programa.

Las autoridades tienen un plazo de cuatro meses para aprobar un PAMA y su silencio se interpreta como aprobatorio. El proceso no ofrece al público posibilidades de participar ni en la elaboración ni en la aprobación.

Los planes de cierre son requeridos en Perú como parte del EIA o el PAMA. Sin embargo, las recomendaciones en las guías de gestión ambiental para dichos planes se concentran en el tratamiento y disposición de residuos y no exigen ninguna medida preventiva.

2.3.3. INTEGRACIÓN DE INSTRUMENTOS LEGALES EN UNA ESTRATEGIA DE PREVENCIÓN

a) En la Fase de Exploración

Los Instrumentos Legales, de Política y de Gestión son los siguientes:

- Evaluación de Impacto Ambiental para identificar los impactos potenciales de un proyecto antes de que se lleve a cabo.
- Estándares para prevenir el drenaje ácido y la clasificación de residuos.
- Estándares para regular la construcción de las instalaciones y la operación de las mismas, así como las unidades de manejo de residuos.
- Estándares regulatorios para la prevención.
- Sistemas de gestión ambiental que dispongan sobre la manipulación de sustancias tóxicas.

- Incentivos económicos y seguridades financieras que garanticen una completa restauración.
- Planificación para las etapas de explotación, cierre y post-cierre.
- Exigir monitoreo e información sobre los derrames.
- Restricciones en el uso de suelos, en base a la naturaleza y uso preexistente del terreno.

b) En la Fase de Explotación y de Cierre

- Uso de EIA's y requisitos de planificación y autorización para evitar la creación de problemas ambientales en el largo plazo.
- Incorporación de estándares para el cierre en el diseño del proyecto para establecer un tope clave en base al cual evaluar la conducta e imponer responsabilidades ante los incumplimientos.
- Implementar sistemas de gestión ambiental para contribuir a que los operadores cumplan sus obligaciones de cierre.
- Diseño de mecanismos de seguridad financiera que reflejen adecuadamente el costo de las obligaciones presentes y futuras generadas por el tratamiento y limpieza del sitio.
- Uso de información al público y transparencia para elevar la efectividad de los controles posteriores a la explotación, asegurando que las áreas de disposición queden desafectadas luego del cierre y no generen riesgos para la población local.
- Garantizar el cumplimiento de todas las obligaciones de post-cierre a través de la participación de público en el procedimiento para levantar los mecanismos de seguridades financieras.
- Los planes de Cierre de mina a nivel conceptual se establecieron a partir de 1993 y en el año 2003 se incorpora el concepto de garantía para el cumplimiento de Planes de Cierre así como medidas de cierre progresivo, cierre final y post cierre; la Política ambiental en los Planes de Cierre tiene un doble alcance:

- En primer lugar, reglamenta los planes de cierre de las nuevas operaciones, las cuales se encuentran sujetas a las provisiones de la Ley de Medio Ambiente.
- En segundo lugar, busca controlar o contener los actuales niveles de contaminación minera, producto de operaciones anteriores a la promulgación de la actual legislación. Las actividades de exploración y de pequeña minería cuyo impacto no sea significativo para el ambiente deben también adoptar medidas de cierre de operaciones y rehabilitación de terrenos e informar sobre las mismas.

CAPÍTULO III

MONITOREO AMBIENTAL

El monitoreo nos permite tomar muestras de aguas, gases, material particulado, suelos, relaves, desmontes, plantas, plancton, etc.; identificando el lugar con sus coordenadas UTM y altura, además de algunas emisiones in situ como pH, T°C, conductividad, potencial redox en aguas, dirección y velocidad del aire para monitoreo de gases y material particulado, etc.

3.1. PROGRAMA DE MONITOREO AMBIENTAL

Son las acciones de observación, muestreo, medición y análisis de datos técnicos y ambientales que se realizan para obtener objetivos definidos.

En el diseño se deben considerar las siguientes preguntas:

¿Cuáles son las etapas del proceso?

¿Cuáles son los objetivos del Plan de Monitoreo?

¿Qué parámetros se deben medir?

¿Qué equipos se deben seleccionar?

¿Cuándo y con qué frecuencia se deben efectuar las mediciones?

- ¿Dónde tomar las muestras?
- ¿Qué mediciones in situ se deben hacer?
- ¿Qué métodos analíticos se deben seleccionar?
- ¿Cómo y dónde se deben seleccionar los análisis de las muestras?
- ¿Cómo evaluar los posibles errores?
- ¿Cuál es el tiempo requerido?
- ¿Cómo interpretar y reportar los resultados?

3.1.1. ORGANIZACIÓN DEL PLAN DE MONITOREO

El procedimiento se muestra en la Tabla N° 3.1.

Tabla N° 3.1.
Organización del Plan de Monitoreo

	Actividad	Objetivo Principal
1	Identificar a la institución o grupo que se encargará de diseñar y llevar a cabo el plan de monitoreo ambiental.	Asegurar que el equipo encargado del plan de monitoreo sea el idóneo y tenga el respaldo social y político del caso
2	Definir y pre-diagnosticar el área de monitoreo	Delimitar el área geográfica de estudio e identificar los problemas ambientales más relevantes
3	Establecer los objetivos del plan de monitoreo	Precisar para que se va a realizar el plan de monitoreo ambiental
4	Diseñar el plan de monitoreo ambiental y su respectivo plan operativo	Establecer las herramientas que se emplearán, los parámetros, frecuencias y lugares de medición
5	Implementar el plan de monitoreo ambiental	Medir el estado del ambiente
6	Procesar e interpretar la información recabada	Arribar a conclusiones y recomendaciones sobre el estado del ambiente

3.1.2. SELECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS A ANALIZAR

a) Con respecto a la selección de los parámetros

Los parámetros y la frecuencia de muestreo dependen de:

- Geología, tipo de mina y mineral, proceso
- La variabilidad del parámetro en la muestra
- Magnitud del problema asociado al parámetro
- Componente muestreado

El procedimiento para la selección del parámetro es el siguiente:

- Identificar todos los parámetros en base a datos y literatura existente de las minas, identificar (para el caso de agua) el uso aguas abajo: consumo humano, agrícola, vida acuática, recreación, etc.
- Identificar potencial de generación de ácido y todos los metales contenidos en minerales y desechos.
- Listar todos los químicos y reactivos utilizados en procesamiento: CN, sulfato, acidez, metales.

b) Con respecto a la identificación de los parámetros

Identificar las actividades industriales extractivas o productivas dentro del área de influencia de la zona a evaluar. Las dimensiones del área de influencia a evaluar son extremadamente variables y dependerán de las características propias, topografía, clima, ecoregión, etc. del lugar.

Identificar potenciales contaminantes propios de la actividad en los tres componentes ambientales: agua, suelo y aire, de la zona de estudio.

Cuando sea posible, identificar la presencia de contaminantes in situ por características simples como olor, apariencia, color, efecto en plantas y animales.

Los potenciales contaminantes identificados son los parámetros que se deberán evaluar en el Plan de Monitoreo.

3.2. CRITERIOS Y CONSIDERACIONES PRÁCTICAS PARA EL MONITOREO

La toma de muestra nos da datos operacionales de rutina sobre el desempeño general de la planta; estos datos pueden usarse para documentar el desempeño de un determinado proceso u operación. Al mismo tiempo los datos obtenidos pueden usarse para implementar programas nuevos propuestos, además son necesarios para reportar cumplimiento de las normas.

3.2.1. CRITERIOS GENERALES PARA EL MONITOREO

- Ubicación de la estación de muestreo
- Selección de parámetros de medición
- Tipo de muestra a coleccionar y frecuencia de medición
- Instrumentos y equipos
- Métodos de preservación de la muestra
- Métodos de análisis
- Reporte de resultados y validación
- QA/QC (Controles de calidad)

3.2.2. CONSIDERACIONES PRÁCTICAS

- Muestra en turbulencia y bien mezcladas.
- A los 25 metros aguas debajo de disturbancias.
- Evitar muestras no representativas.
- Muestrear después de cada etapa, y después del proceso o tratamiento.
- Número de muestras 95% confiables.
- Muestras discretas y compuestas.

3.2.3. INSTRUMENTACIÓN

- pHmetros
- Conductímetros
- Medidores de O disuelto
- Turbidímetros
- Colorímetros
- Espectrofotómetros
- Espectroscopía de absorción atómica
- Cromatografía
- Fotómetro de flama
- Celdas electroquímicas

3.2.4. CRITERIOS PARA ESTABLECER ESTACIONES DE MONITOREO

En base al reconocimiento de los factores ambientales se establecen las estaciones de monitoreo que permitan evaluar el estado ambiental en una unidad minera o a una cuenca hidrográfica a escala regional.

Por lo cual se tienen estaciones de monitoreo que nos permitan evaluar agua de entrada y de salida de una unidad minera, los drenajes de bocaminas o tajos abiertos, drenajes de relaveras,

desmontes, aguas industriales, aguas servidas en cuerpos receptores como ríos y lagunas, etc.; también permiten evaluar material particulado y gases en el entorno de la planta metalúrgica, laboratorio químico, fundición, grupos de generación eléctrica, además de suelos y sedimentos, etc.

3.2.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS DATOS RECOLECTADOS

Los datos recolectados deben ser:

- Representativos: Los datos deben representar el agua residual o el ambiente muestreado
- Reproducibles: Los datos obtenidos deben poder ser reproducidos por otros siguiendo el mismo muestreo analítico.
- Sustentados: la documentación debe estar disponible para validar el plan de muestreo. Los datos deben tener un grado conocido de exactitud y precisión.
- Útiles: Los datos deben poder usarse para encontrar los objetivos del plan de monitoreo

3.2.6. TIPO DE MUESTRAS

El sistema de muestreo de agua, varía según el origen del agua, en el caso de un río, lago, acuífero abierto, cisterna, etc.; el frasco para muestreo se sumergirá a una distancia prudencial de la superficie generalmente 50 centímetros y bastante lejos de las orillas o de los bordes, así como de los obstáculos naturales o superficiales evitando poner en suspensión partículas que pudieran estar sedimentadas. La toma de muestras variará dependiendo del tipo de agua y el uso al cual este destinada.

a) Muestras Simples

- Se recogen de una sola vez y reflejan las condiciones en un momento concreto.
- Parámetros como pH, Oxígeno disuelto, temperatura, conductividad eléctrica y turbidez, que precisen una determinación rápida y que proporcionen una información preliminar para posterior estudio.
- Si el muestreo es constante en el tiempo.
- Cuando ocurre una descarga ocasional y se desea conocer el impacto de la misma.
- Cuando se tiene un efluente que solo se descarga de forma intermitente.

b) Muestras Compuestas

- Una muestra compuesta está formada por varias muestras simples recogidas a lo largo de un periodo de tiempo y combinadas en proporciones concretas referidas a parámetros de interés tales como el caudal. Este tipo de muestras nos da información de las condiciones medias de flujo del efluente en un tiempo determinado.
- La muestra compuesta puede ser de un volumen fijo o proporcional al flujo. En las muestras de volumen fijo tanto el intervalo de tiempo entre muestras como el volumen recogido en cada toma permanece constante. En las muestras compuestas proporcionales al flujo, el volumen de las muestras recogidas se mezcla en cantidades proporcionales a los flujos del efluente.

3.3. PROCEDIMIENTO DE TOMA DE MUESTRAS

Las muestras han sido tomadas tanto en agua como en sedimento, dicho procedimiento es detallado a continuación:

3.3.1. PARA AGUA

Se tomó 2 muestras de agua en cada estación de muestro en frascos de polietileno de 500 ml y 1 litro respectivamente. A las muestras de 500 ml se le añadió 2 ml de HNO₃ concentrado para su conservación, esta muestra se usará para el análisis de metales Cu, Zn, Cd, Pb, As, Hg, Fe y Mn.

A la muestra de 1 litro se le trae intacta, a esta muestra se le medirá en el laboratorio la turbidez y los sulfatos. A ambas muestras se les pone en un cooler con hielo para que se mantengan a baja temperatura.

En el campo también se recogió adicionalmente una cubeta de agua a la cual se midió in situ la temperatura, el pH, la conductividad y el potencial Redox. Se calculó además el caudal aproximado del río en esa estación.

3.3.2. PARA SEDIMENTO

Se tomó aproximadamente 1 kilo de sedimentos por cada estación de muestreo y fue colocada en bolsas Ziploc para una mejor conservación. A las muestras de sedimento se les mide en laboratorio los metales Cu, Zn, Cd, Pb, As y Hg, además se les tamizará y se observara la mineralogía microscópicamente.

3.4. MONITOREO EN AGUAS SUPERFICIALES

Para el caso de aguas superficiales se debe tener muy en cuenta, si el agua que se necesita monitorear es un efluente o un cuerpo receptor, ya que los estándares son muy diferentes.

a) Efluentes

Son aguas residuales, domésticas, de relaveras, drenajes de mina, aguas de plantas metalúrgicas, etc.; provenientes del lugar de la operación minera. Para medir la calidad de agua de los efluentes se usan los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas y son controlados por el MINAM, según el DS-010-2010 y su plan de implementación se lleva a cabo según la RM-030-2011.

Tabla N° 3.2.

Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas.

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
pH		6 a 9	6 a9
Sólidos suspendidos totales	mg/l	50	25
Cobre total	mg/l	0.5	0.4
Zinc total	mg/l	1.5	1.2
Plomo total	mg/l	0.2	0.16
Cadmio total	mg/l	0.05	0.04
Arsénico total	mg/l	0.1	0.06

b) Cuerpos Receptores

Los cuerpos receptores son los lugares a donde llegan los efluentes como son los ríos, las lagunas, puquiales, lagos, el mar, etc. Para medir la calidad de agua en los cuerpos receptores existen varios estándares, los

principales son los Estándares de Calidad Ambiental para Aguas en todas sus categorías.

Por otro lado, se puede considerar también como cuerpos receptores a las comunidades aledañas, la flora, la fauna, el aire, el suelo, entre otros. En este estudio los cuerpos receptores analizados fueron las aguas superficiales y los sedimentos de la cuenca del río Boca Cabana.

3.4.1. TOMA DE MUESTRAS EN RÍOS

- Se puede obtener una muestra compuesta, formada por varias tomas a lo largo de un río, si este tiene siempre el mismo caudal o bien se elige una zona de mezcla completa.
- No se deben tomar demasiado cerca de la orilla, sino lo más cerca de la corriente principal, para evitar que las condiciones especiales de temperatura y de concentración de oxígeno influyan debido a la presencia de vegetación y de algas.
- Cuando se quiere conocer los efectos causados por un vertimiento, se deben tomar muestras aguas arriba del vertido, en el foco mismo y aguas abajo en una estación tal que se garantice la mezcla homogénea.
- Los resultados de las muestras recogidas en un río variarán de acuerdo a la profundidad y a la velocidad de la corriente en la estación en la cual fueron tomadas.
- Es recomendable tomar la muestra en el centro de la corriente y a una profundidad media. La frecuencia de muestreo debería decidirse según las condiciones del cuerpo de agua bajo estudio.

3.4.2. TOMA DE MUESTRAS EN LAGOS Y EMBALSES

- Las notables variaciones motivadas por factores como la cantidad de lluvia, vientos, volumen de agua embalsada y la

estratificación son las que condicionan la ubicación de la estación de muestreo, cantidad y tipo de muestra.

- En el caso de lagos y embalses se recomienda escoger varias estaciones de toma y en cada uno de ellos tomar varias muestras a diferentes profundidades.
- En general se deberá evitar áreas de turbulencia por la posible pérdida de componentes volátiles, Se debe muestrear desde la superficie descendiendo progresivamente.

3.4.3. TOMA DE MUESTRAS EN CANALES

- En las canalizaciones se deben diferenciar las que llevan aguas para consumo humano, aguas para refrigeración y aguas de vertido urbano e industrial.
- Existen dos tipos de canalizaciones, de paso interrumpido y de paso continuo en ambos casos es necesario tener en cuenta el diámetro y la longitud de la canalización y la velocidad del flujo.
- En las canalizaciones con el paso interrumpido la forma más adecuada de tomar la muestra será dejar pasar bastante agua para que la muestra sea representativa del suministro.

3.4.4. TABLAS USADAS EN LA EVALUACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES

a) Estándares de Calidad Ambiental para Aguas (ECAs)

El Ministerio de Energía y Minas según Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM ha establecido los nuevos estándares de calidad ambiental para aguas reemplazando a la Ley de Aguas. En estos nuevos estándares la clasificación se ha realizado de la siguiente manera:

Categoría 1: Agua para uso poblacional y recreacional.

Categoría 2: Actividades Marino Costeras.

Categoría 3: Riego Vegetal y Bebida de Animales.

Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático.

Para el caso particular del río Boca Cabana y el río Tablachaca, los parámetros medidos han sido evaluados según la Categoría 3, ya que el uso de esta agua es para riego vegetal y bebida de animales.

Los parámetros que se evaluaron en agua para este estudio fueron: pH, conductividad, potencial Redox, turbidez, sulfatos, cobre, plomo, cadmio, arsénico, mercurio, hierro y manganeso, para los cuales se hizo uso de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECAs) en su Categoría 3, referido al riego de vegetales y bebida de animales (uso principal de las aguas del río Boca Cabana), estos valores mencionados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N° 3.3.

Parámetros Evaluados según los ECAs en la Cat. 3

Parámetro	Unidad	Riego de vegetales	Bebida de animales
pH		6.5 a 8.5	6.5 a 8.4
Conductividad	us	2000	5000
Sulfatos	mg/l	300	500
Cobre	mg/l	0.2	0.5
Zinc	mg/l	2	24
Plomo	mg/l	0.05	0.05
Cadmio	mg/l	0.005	0.01
Arsénico	mg/l	0.05	0.1
Mercurio	mg/l	0.001	0.001
Hierro	mg/l	1	1
Manganeso	mg/l	0.2	0.2

Los ECAs en su Categoría 3, no determinan concentraciones máximas tanto para el potencial Redox como para la turbidez.

En lo que respecta al potencial Redox, se considera un medio oxidante cuando el Eh es mayor que 200 mv y un medio reductor si el Eh va de 0 a 200 mv.

De acuerdo a los estudios de cuencas. La turbidez en la parte alta de la cuenca de un río debe ser menor que 5 NTU y en la parte baja de la cuenca debe ser menor que 50 NTU.

La turbidez tiene relación directa con los sólidos suspendidos totales mediante la siguiente fórmula:

$$\text{SST (mg/L)} = (0.62) \times \text{Turbidez (NTU)} + 10.7$$

Los sólidos suspendidos totales tampoco tienen una concentración límite según los ECAs en su Categoría 3; sin embargo la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations – ONU) establece una concentración máxima de 50 mg/L para el riego de vegetales.

Las concentraciones establecidas por los ECAs en todas sus categorías y parámetros se encuentran en las tablas mostradas en el Anexo 1.

b) Otras tablas usadas

Las tablas que se usan adicionalmente en la evaluación de aguas superficiales son las siguientes tablas:

Tabla N° 3.4.
Criterios de la calidad de agua propuesto por
La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
En la Salud Humana (ug/l)

Sustancia química	Agua y alimento	Solo alimento	Observaciones
Arsénico	0.0022	0.018	(a)
Cadmio	10	n/a	(b)
Cobre	n/a	n/a	
Mercurio	0.144	0.146	
Plomo	50		(b)
Zinc	n/a		

(a) Estimaciones de las concentraciones que pueden resultar en un mayor incremento de los riesgos de cáncer sobre un tiempo de vida estimado en 10^{-6} .

(b) Estándares de agua de bebida.

n/a Insuficientes datos disponibles para determinar un criterio.

Tabla N° 3.5.
Criterios de la OMS para la calidad de Agua de Abastecimiento
(mg/l)

Contribuyente	Valor de la guía	Observaciones
Arsénico	0.05	(c)
Cadmio	0.005	(c)
Cobre		
Mercurio	0.001	(c)
Plomo	0.05	(c)
Zinc		

(c) Natural o adicionado deliberadamente; puede necesitar adaptación a las condiciones locales o climáticas

Tabla N° 3.6.
Valores guía extraídos de la legislación Norteamericana
(MADEP/EPA) y Canadiense

Parámetro investigado	Unidad	Uso para irrigación (1)	Uso para cría de ganado (1)	Uso para consumo humano (2)
SDT	mg/l	500/3500	3000	250
Cloruros	mg/l	100/700	NE	
Bario	mg/l	NE	NE	2
Arsénico	mg/l	0.100	0.025	0.05
Cadmio	mg/l	0.005	0.080	0.005
Cromo	mg/l	0.0049	0.050	0.1
Plomo	mg/l	0.200	0.100	0.015
Mercurio	mg/l	NE	0.003	0.002
Níquel	mg/l	0.200	1	0.1
Zinc	mg/l	5	50	NE
Cianuros	mg/l	NE	NE	0.2
Hidrocarburos tot	mg/l	NE	NE	0.2

(1): Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Agriculture Water Uses/Valores Guía para la protección de aguas de uso agrícola.

(2): Massachusetts Drinking Water Standards /Estándares para agua de bebida (Regional EPA).

NE: No se especifica valor.

Tabla N° 3.7.
Guía de calidad del agua potable en Canadá en la Salud Humana (mg/l)

Sustancia	Concentración Máx. permisible
Arsénico	0.05
Cadmio	0.005
Cobre	(d)
Mercurio	0.001
Plomo	0.05
Zinc	(d)

(d) No es tóxico.

Tabla N° 3.8.

Calidad de Agua para Lagos y Lagunas según las leyes Estado Unidenses

Constituyente	Concentr. Máx.	Unidad	Medio	Protección
Arsénico	50	ug/l	Agua	(a)
Cadmio	0.2	ug/l	Agua	(b)
Cobre	5	ug/l	Agua	(b)
Mercurio	0.2	ug/l	Agua	(c)
	0.5	ug/l	Pez	(d)
Plomo	(*)			
Zinc	30	ug/l	Agua	(b)

(*) Por debajo de los niveles de detección cuando se determinan por la mejor metodología científica disponible.

(a) Para abastecimiento de agua potable.

(b) Para vida acuática.

(c) Para vida acuática y aves.

(d) Para el consumo de pescado.

Tabla N° 3.9.

Calidad de Agua para la vida acuática en agua dulce

Parámetros	Concentr. Máx	Unidad	Observaciones
Arsénico	0.05	mg/l	(b)
Cadmio	0.20	ug/l	Dureza de 0-60 mg/l
	0.8	ug/l	Dureza de 60-120 mg/l
	1.3	ug/l	Dureza de 120-180 mg/l
	1.8	ug/l	Dureza > 180 mg/l
Cobre	2	ug/l	Dureza de 0-60 mg/l
	2	ug/l	Dureza de 60-120 mg/l
	3	ug/l	Dureza de 120-180 mg/l
	4	ug/l	Dureza > 180 mg/l
Mercurio	0.1	ug/l	
Plomo	1	ug/l	Dureza de 0-60 mg/l
	2	ug/l	Dureza de 60-120 mg/l
	4	ug/l	Dureza de 120-180 mg/l
	7	ug/l	Dureza > 180 mg/l
Zinc	0.03 (a)	ug/l	
pH	6.5 a 9.0		
Sólidos Susp.	Incremento de 10.0	mg/l	

(a) Criterio Tentativo

(b) La Dureza es con respecto a la concentración de CaCO₃

3.5. MONITOREO EN SEDIMENTOS

El monitoreo permite tomar muestras para evaluaciones químicas y físicas las cuales pueden ser superficiales, laterales, de calicatas y perforaciones. Los análisis que se realizan están orientados en base a establecer la estabilidad física y química de estos depósitos.

Se monitorean los suelos ya que se pueden producir la generación de drenaje ácido, para lo cual se debe evaluar el Potencial Neto de Neutralización (PNN) y la dispersión por acción del viento y del agua, contaminando agua y campos de cultivos (granulometría). Las evaluaciones y análisis químicos corresponden:

- Determinación del potencial neto de neutralización, esto es la evaluación del potencial de neutralización y potencial de acidez, correspondiente a pruebas estáticas, que nos ayuden a predecir la posibilidad de generación de drenaje ácido de esto depósitos.
- pH en pasta, que nos da la información respecto al grado de alteración del material y pH de las sustancias o minerales solubilizados.
- Evaluación de la composición química total de los sedimentos en especial de los elementos tóxicos As, Pb, Hg, Cd, etc.
- Evaluaciones petromineralógicas, para determinar los fragmentos de rocas y minerales que lo constituyen.
- Análisis granulométricos
- Evaluaciones de permeabilidad.

El Potencial Neto de Neutralización (PNN) se calcula mediante el siguiente procedimiento:

- Tomar una muestra de relaves de 5 kg y llevarlo a malla -60.
- Proceder al coneado y cuarteo hasta obtener 2 gramos de muestra.

- Echar la muestra en un vaso de precipitado y añadirle 50 ml de HCl (0,5N).
- Calentarlo hasta antes de su ebullición.
- Añadir agua destilada hasta que llegue el contenido a 100 ml.
- Calentarlo nuevamente hasta antes de su ebullición.
- Sacar el vaso del calentador y enfriarlo a temperatura ambiente.
- Filtrar el contenido.
- Titulación con NaOH (0,5N), utilizar como indicador el anaranjado de metilo o fenoftaleina

El Potencial Neto de Neutralización (PNN) está representado por la siguiente fórmula:

$$\mathbf{PNN = PN - PA}$$

PNN: Potencial Neto de Neutralización (Kg CaCO₃/Tm).

PN: Potencial de Neutralización (Kg CaCO₃/Tm).

PA: Potencial de Acidez (Kg CaCO₃/Tm).

$$\mathbf{PN = V(ac - bs) \times Nbs \times 50 / W(muestra)}$$

$$\mathbf{PA = 31.25 \times \%S}$$

V(ac -bs): Volumen del ácido – Volumen de la base.

Nbs: Normalidad de la base.

W(muestra): Peso de Muestra.

%S: Porcentaje de Azufre como sulfuro.

Si PNN >20: No genera DAM.

Si -20 < PNN < 20: Intervalo de incertidumbre de generación de DAM.

Si PNN < -20: Genera DAM.

Este tipo de monitoreo debe ser realizado en forma trimestral. Se presentará a continuación las tablas correspondiente a monitoreo de

suelos y sedimentos, mostrando los límites máximos permisibles según el uso y también en forma general. (Tabla N° 3.10 y 3.11).

Tabla N° 3.10.
Calidad de suelos y sedimentos según la legislación Canadiense

Parámetro investigado	Unidad	Uso agrícola	Uso residencial	Uso industrial
pH	UpH	6/8	6/8	6/8
Conductividad	ms/cm	2	2	4
Arsénico	mg/kg	12	12	12
Cadmio	mg/kg	1.4	10	22
Cromo	mg/kg	64	64	87
Plomo	mg/kg	70	140	600
Mercurio	mg/kg	6.6	6.6	50
Níquel	mg/kg	50	50	50
Sulfuros	mg/kg	500	NE	NE
Zinc	mg/kg	200	200	360
Cianuros	mg/kg	0.9	0.9	8.0
VOC'S	mg/kg	0.05	0.5	5

(1) Expresado como Benceno

Esta tabla corresponde a los valores guía extraídos de la legislación Canadiense para la calidad de suelos (Canadian Soil Quality Guidelines for Protection of Environmental and Human Health).

Tabla N° 3.11.
Límites máximos permisibles en sedimentos

Elemento	Límite máximo permible
Pb (mh/kg)	600
Cu (mh/kg)	500
Zn (mh/kg)	3000
As (mh/kg)	50
Cd (mh/kg)	20
Hg (mh/kg)	10
Cr (mh/kg)	800

Esta tabla holandesa (Ministerie VROM-1983) de límites máximos permisibles en sedimentos es la más utilizada en América y Europa para evaluar el grado de contaminación de los sedimentos y los riesgos asociados para la salud humana, así como también para decidir la aplicación de medidas correctivas.

3.6. CONDICIONES ACTUALES

3.6.1. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, SULFATOS, TURBIDEZ Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Los datos correspondientes a los parámetros Físico-Químicos, Sulfatos, Turbidez y Sólidos Suspendidos Totales tanto en época de estiaje como en época de lluvias se muestran en las Tabla N° 3.12 a 3.15.

Tabla N° 3.12.
PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS
Época de Estiaje (Agosto)

Punto de muestreo	Temperatura (C°)	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	pH	Redox (mv)	Caudal (m^3/s)
15	16.5	540	5.56	228	7.1
16	16	1492	5.45	227	0.55
17	16	712	5.8	139	7.8

Tabla N° 3.13.
PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS
Época de Lluvias (Marzo)

Punto de muestreo	Temperatura (C°)	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	pH	Redox (mv)	Caudal (m^3/s)
15	20	230	7.4	115	46.86
16	21	532	7	124	3.63
17	24	258	6.8	105	51.48

Tabla Nº 3.14.
SULFATOS, TURBIDEZ Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES
Época de Estiaje (Agosto)

Punto	Sulfatos (mg/L)	Turbidez (NTU)	SST (mg/L)
15	32.120	143	99.36
16	108.400	4705	2927.80
17	24.180	585	373.40

Tabla Nº 3.15.
SULFATOS, TURBIDEZ Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES
Época de Lluvias (Marzo)

Punto	Sulfatos (mg/L)	Turbidez (NTU)	SST (mg/L)
15	13.47	6310	3922.9
16	30.63	9400	5838.7
17	31.62	8167	5074.24

Obs. Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) son obtenidos a partir de la Turbidez

3.6.2. LOS METALES EN AGUA

Los datos correspondientes a los análisis de metales en agua tanto en época de estiaje como en época de lluvias se muestran en la Tabla Nº 3.16 y 3.17.

Tabla Nº 3.16.
ANÁLISIS DE METALES EN AGUA
Época de Estiaje (Agosto)

Punto	Cu (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	As (mg/l)	Hg (mg/l)
15	0.017	0.020	0.0003	0.0342	0.00060
16	0.154	0.181	0.0094	0.2375	0.00082
17	0.028	0.039	0.0009	0.0879	0.00065

Tabla 3.17.
ANÁLISIS DE METALES EN AGUA
Época de Lluvias (Marzo)

Punto	Cu (mg/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	As (mg/l)	Hg (mg/l)
15	0.370	0.264	0.0013	0.3570	0.00137
16	0.318	0.274	0.0014	0.1606	0.00125
17	0.447	0.304	0.0024	0.4550	0.00224

3.6.3. GRANULOMETRÍA, MINERALOGÍA Y METALES EN SEDIMENTOS

Los datos correspondientes a los análisis mineralógicos y granulométricos tanto en época de estiaje como en época de lluvia se muestran en la Tabla N° 3.18 a la 3.23.

Tabla N° 3.18.
ANÁLISIS MINERALÓGICO
Época de Estiaje (Agosto)

	Estación 15 (Agosto)
Malla +6	(vacío)
De malla -6 a malla +80	Alto contenido de cuarzo, micas, ortosa, rutilo, oxidación media.
Malla -80	Abundante cuarzo, ortosa, micas, esfalerita, rutilo, arcillas, muy poca cantidad de carbonatos

	Estación 16 (Agosto)
Malla +6	(vacío)
De malla -6 a malla +80	Cuarzo, rutilo, ortosa, micas, ilmenita, oxidación media
Malla -80	Cuarzo, ilmenita, micas, arcillas, ligera oxidación, muy poca cantidad de carbonatos

	Estación 17 (Agosto)
Malla +6	(vacío)
De malla -6 a malla +80	Cuarzo, ilmenita, esfalerita, micas, magnetita, ligera oxidación, carbonatos en muy poca cantidad
Malla -80	Magnetita, ilmenita, cuarzo, micas, zircones, arcilla, carbonatos en poca cantidad

Tabla Nº 3.19.
ANÁLISIS MINERALÓGICO
Época de Lluvias (Marzo)

	Estación 15 (Agosto)
Malla +6	(vacío)
De malla -6 a malla +80	Fragmentos de roca, cuarzo, micas, ilmenita, carbonatos en poca cantidad
Malla -80	Cuarzo, micas, rutilo, esfalerita, oxidación media, carbonatos en mediana cantidad

	Estación 16 (Agosto)
Malla +6	(vacío)
De malla -6 a malla +80	Fragmentos de roca, cuarzo, micas, magnetita, ilmenita, esfalerita, ligera oxidación, carbonatos en mediana cantidad
Malla -80	Cuarzo, micas, esfalerita, arcillas, ilmenita, magnetita, ligera oxidación, carbonatos en alta cantidad

	Estación 17 (Agosto)
Malla +6	Fragmentos de roca, cuarzo, pirita
De malla -6 a malla +80	Cuarzo, micas, pirita, magnetita, ilmenita, carbonatos mediana cantidad
Malla -80	Cuarzo, micas, rutilo, arcillas, mediana oxidación, carbonatos en alta cantidad

Tabla Nº 3.20.
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
Época de Estiaje (Agosto)

Malla	M. 1 1/2	M. 1	M. 3/8	M. 1/4	M. N6	M. N10	M. N20	M. N30	M. N40	M. N60	M. N100	M. N200
Espesor (mm)	48	25	9.5	6.3	3.3	2	0.84	0.58	0.42	0.25	0.15	0.066
Punto 15	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99.7%	99.9%	98.8%	87.2%	43.3%	15.2%
Punto 16	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99.7%	99.3%	98.8%	92.2%	66.6%	30.0%
Punto 17	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99.7%	98.7%	97.9%	95.5%	76.6%	47.7%

Tabla Nº 3.21.
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
Época de Lluvias (Marzo)

Malla	M. 1 1/2	M. 1	M. 3/8	M. 1/4	M. N6	M. N10	M. N20	M. N30	M. N40	M. N60	M. N100	M. N200
Espesor (mm)	48	25	9.5	6.3	3.3	2	0.84	0.58	0.42	0.25	0.15	0.066
Punto 15	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99.7%	99.3%	83.2%	35.7%	12.0%
Punto 16	100%	100%	100%	100%	100%	99.7%	98.8%	96.8%	92.7%	81.7%	60.5%	31.0%
Punto 17	100%	100%	100%	100%	99.7%	99.4%	99.1%	98.8%	98.6%	94.9%	56.8%	23.4%

Tabla Nº 3.22.
ANÁLISIS DE METALES EN SEDIMENTO
Época de Estiaje (Agosto)

Punto	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Cd (ppm)	As (ppm)	Hg (ppm)
15	18.2	91.2	1.32	28.80	0.155
16	14.5	53.3	1.20	70.80	0.132
17	30.1	112.8	1.72	68.00	0.105

Tabla Nº 3.23.
ANÁLISIS DE METALES EN SEDIMENTO
Época de Lluvias (Marzo)

Punto	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Cd (ppm)	As (ppm)	Hg (ppm)
15	36.00	58.0	23.4	62.10	0.16
16	32.10	112.7	15.7	16.30	0.17
17	38.00	52.1	19.0	51.70	0.18

3.7. CUERPOS RECEPTORES

3.7.1. AGRICULTURA

En la parte alta de la cuenca del río Boca Cabana se encuentra principalmente constituida por Ichu, la mayor parte de sembríos se encuentran en la parte media de la cuenca, mientras en la parte baja la agricultura se presenta en menor cantidad que en la parte media, es posible que la contaminación haya llegado hasta el agua del subsuelo en muchas zonas, reduciendo de esta manera el desarrollo de la agricultura en la cuenca, como es el caso de la cuenca baja.

3.7.2. GANADERÍA

La ganadería de la cuenca es escasa al igual que la agricultura, casi la totalidad de la ganadería que presenta la cuenca, se encuentra cerca de los lugares poblados.

Gran parte de la fauna toma el agua principalmente de acequias cercana a los lugares poblados y no de los ríos en sí, razón por la cual, gran parte de la fauna no recibe los efectos dañinos de los elementos contaminantes presentes en el río Boca Cabana.

3.7.3. COMUNIDADES

Las comunidades prácticamente no se encuentra afectada por la contaminación de los ríos de la zona, ya que al igual que el caso de la ganadería, gran parte de la población usa el agua proveniente de represas y acequias ubicadas en las zonas más altas de la cuenca, cerca de nevados; esta agua llega a los hogares, es hervida y bebida por los pobladores. El agua desechada por los pobladores recién es vertida al río Boca Cabana.

3.8. CONTAMINACION EN AGUA

3.8.1. CONTAMINANTES HÍDRICOS EN FORMA GLOBAL

a) Hidrocarburos: mareas negras se extienden en el mar afectando peces, aves, vegetación.

b) Productos químicos: Pesticidas, sustancias tensioactivas (detergentes), minerales inorgánicos compuestos químicos son arrastrados desde tierras de cultivo por tormentas y escorrentías. También tienen su origen en explotaciones mineras, carreteras y derribos urbanos.

c) Calor: Cuando se vierte, a ríos u otros cauces el agua de las fábricas y centrales energéticas, elevan la temperatura de las aguas y afectan a la vida que se desarrolla en ella.

d) Contaminantes de origen radiactivo: Proviene de residuos que producen la minería y refinado de uranio y torio, centrales nucleares y actividades científicas y médicas

e) Luz: El exceso de luz genera cambios biológicos. Algunos organismos tienden a alejarse de la luz y como consecuencia cambia su hábitat.

3.8.2. PARÁMETROS E INDICADORES DE CALIDAD

Los parámetros además se dividen en específicos e indicadores. Los primeros son los que determinan directamente un elemento o compuesto, como los cationes o aniones. Cuando es complicado o no representativo el análisis de un parámetro, se opera con un indicador, como es el caso de la DBO5, la DQO, índice de coliformes, etc.

La Organización Mundial de la Salud, OMS, selecciona como más representativos los parámetros e indicadores siguientes: oxígeno disuelto, materia oxidable biológicamente, amonio, salinidad, temperatura, bacterias nocivas y otros microorganismos. Los parámetros más frecuentes según la EPA son: DBO5, SST, DQO, aceites y grasas, fenoles, amoníaco (N - NH3), sulfuros, metales pesados, cromo hexavalente y pH.

a) Parámetros Físico– Químicos:

a.1) *Físicos:* Los parámetros físicos dan una información clara de determinadas características de un agua. Entre las más

importantes, se encuentran pH, sólidos en suspensión, temperatura, color, olor, sabor, pero no son índices absolutos de contaminación

a.2) Químicos inorgánicos: Los parámetros químicos son los más importantes para definir la calidad del agua. Son muy numerosos. Los parámetros químicos inorgánicos incluyen todos los aniones, cationes y metales traza que tienen una significación sanitaria o que comunican al agua alguna de las características clasificadas como indeseables para el uso a que se la destina.

Entre los parámetros de estos tipos tenemos: temperatura, conductividad, pH, potencial Redox, color, olor, sabor, turbidez, sólidos en suspensión, dureza, metales pesados, entre otros.

b) Químicos orgánicos: Los parámetros químicos orgánicos constituyen el grupo más amplio y complejo, abarcando por un lado algunos indicadores de contenido orgánico general, como: la demanda bioquímica de oxígeno, carbono orgánico total, DQO, o un gran número de familias de compuestos análogos en su estructura o función, como son los aceites, grasas, plaguicidas, detergentes, organoclorados y otros.

c) Parámetros bioquímicos: DBO

d) Radiactivos: Los parámetros radiológicos se refieren al control de la presencia en un agua de partículas alfa, beta y/o radiación gamma.

e) Microbiológicos: Los parámetros microbiológicos comprenden dos amplios campos muy diferenciados: los parámetros bacterianos y los de los demás organismos, vegetales o animales, susceptibles de estar presentes en las aguas; el más importante

entre los primeros es el índice de contaminación fecal, utilizado en la definición de la calidad del agua para la bebida.

Tabla Nº 3.24.
Parámetros contaminantes en forma global, su generación y la manera de medirlos

¿Qué?	¿Por qué?	¿Cómo?
DBO5, DQO	Consumo de oxígeno	DBO5, medir el O2 antes y después, DQO oxidación química titulación
AOX	Compuestos antropogénicos	Adsorción en carbón activado, incineración, medición de HCl
P, N	Eutroficación	Fotometría clásica o test rápido
Metales pesados	Tóxicos, bioacumulación, no biodegradables	Absorción atómica, fotometría (algunos) test rápido (algunos)
Sustancias orgánicas	Cuando interesa una sustancia específica	Cromatografía (HPLC, GC)

3.8.3. EFECTOS GENERALES DE LA CONTAMINACIÓN HÍDRICA

a) Acidificación: Pérdida de capacidad neutralizante del suelo y agua, como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra en forma de ácidos de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera. La acidificación: es un ejemplo claro de las interrelaciones entre: atmósfera, suelo, agua y organismos vivos. La contaminación atmosférica producida por los SOx y NOx afecta directa o indirectamente al agua, al suelo y a los ecosistemas.

b) Salinización: Proceso paulatino de acumulación de sales en el suelo, aportadas por actividades del hombre y/o por afloramiento del agua desde el subsuelo como resultado del riego artificial.

c) Eutrofización: Aguas superficiales reciben mayores nutrientes: N y P, crecimiento exagerado de algas + plantas acuáticas, estas mueren, van a los fondos y se descomponen, descomposición consume O₂ disuelto e impide el paso de luz y ecosistema destruido.

3.9. CONTAMINACIÓN EN SEDIMENTOS

La contaminación en sedimentos como en suelos se da por el emplazamiento y dispersión de sustancias provenientes de relaveras, desmontes, escorias y residuos sólidos. Los análisis que se hacen en sedimentos y suelos están orientados en base a establecer la estabilidad física y química del material.

3.9.1. DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL NETO DE NEUTRALIZACIÓN (PNN)

El estudio del Potencial Neto de Neutralización (PNN) nos permite determinar el potencial de generación de ácido de una muestra. Mediante el estudio del Potencial Neto de Neutralización podemos definir el balance entre los minerales generadores de aguas ácidas (Sulfuros principalmente) y aquellos potencialmente consumidores de ácido de una muestra (Carbonatos por lo general). Con este trabajo podemos predecir si un desmonte, relave, escoria y sedimento nos va a originar drenaje ácido.

La forma de obtener el PNN es la siguiente:

$$\mathbf{PNN = PN - PA}$$

Obs: PNN es el Potencial Neto de Neutralización, PN es el Potencial de Neutralización y PA es el Potencial de Acidez.

Para obtener el Potencial de Neutralización (PN), se hace una prueba de titulación, donde se inserta en la muestra 50ml de HCL al 0.5N, obteniendo el volumen neutralizado de HCl. Obteniendo el PN, cabe indicar que está estandarizado para que la normalidad de la muestra sea 0.5 y el peso de la muestra sea 2 gr. Luego se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{PN} = (\text{V}[\text{HCL}] \text{ consumido} \times \text{Normalidad} [\text{HCl}] \times 50) / (\text{W}[\text{muestra}])$$

Obs: Unidades de PN = Kg de CaCO₃

Para obtener el Potencial de Acidez (PA), se hacen análisis de contenido de azufre total excluyendo al azufre proveniente de los sulfatos, ya que a nosotros nos interesa únicamente al azufre contribuido por los sulfuros, para luego aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{PA} = \% \text{ de azufre de los sulfuro} \times 31,25.$$

Obs: Unidades de PA = Kg de CaCO₃.

La interpretación que se le da a los valores de PNN, es que si el PNN es menor de cero generará aguas ácidas mientras que si el PNN es mayor que cero no generará drenaje ácido.

A partir de las últimas investigaciones realizadas se ha concluido que entre los -20 y +20 tenemos una incertidumbre en la generación de drenaje ácido, debido a errores inherente a los procedimientos de prueba, a las conversiones de acidez total, a error analítico y al reducido tamaño de la muestra.

3.9.2. OTROS ANÁLISIS IMPORTANTES EN SEDIMENTOS Y EN SUELOS

- pH en pasta.
- Evaluación de elementos tóxicos (Plomo, Cadmio, Arsénico, Mercurio, etc.).
- Pruebas de extracción de tóxicos característicos.
- Evaluaciones petromineralógicas.
- Análisis granulométricos.
- Evaluaciones de permeabilidad.
- Evaluaciones sísmicas.

3.10. IMPACTOS DE LA ACTIVIDAD MINERA

Los impactos ambientales varían de acuerdo a la fase de la actividad minera que se está realizando, ya sea en la fase de exploración, de explotación o de cierre.

3.10.1. EN LA FASE DE EXPLORACIÓN

a) Fuentes Potenciales y Tipos de Contaminación

- Afectación de la superficie de los suelos.
- Contaminación del aire y agua generada por materiales naturales o introducidos en el sitio de exploración durante la perforación y actividades relacionadas.
- Contaminación de aguas subterráneas al crear conductos para la migración de la contaminación.
- Drenaje ácido y traslado de metales.
- Sedimentación y erosión a través de excavación, construcción de caminos.

- Impactos ambientales indirectos (en áreas remotas) a través de un desarrollo forzado como resultado de la construcción de caminos.

b) Posibilidades para la Prevención

- Limitar la afectación al área estrictamente necesaria para la exploración.
- Cuidado especial en áreas pasibles de generar ácidos, limitando la exposición de materiales formadores de ácidos.
- Clausura de pozos y hoyos perforados.
- Planes y requisitos para el abandono de caminos construidos, así como adecuada restauración y reforestación de los sitios de perforación y otras áreas afectadas, para prevenir la migración de contaminantes, desarrollo impuesto y no deseado por las poblaciones locales y degradación de suelos.

Para el caso de pequeña minería o minería artesanal, debe existir un programa de adecuación y manejo ambiental y/o un estudio de Impacto Ambiental semi-detallado.

3.10.2. EN LA FASE DE EXPLOTACIÓN

a) Fuentes Potenciales y Tipos de contaminación

- Generación de drenaje ácido y traslado de metales.
- Traslado y derrame de otras sustancias tóxicas naturales en el sitio, tales como arsénico, las que pueden contaminar aires y aguas.
- Derrames accidentales de, ácidos y otros materiales introducidos en el sitio y utilizados en los procesos de extracción y beneficio.

- Exposición de la vida silvestre (particularmente aves) a sustancias tóxicas, aun cuando los derrames sean prevenidos.
- Generación de volúmenes importantes de relaves y restos de roca, los que pueden producir contaminación del aire o aguas.

b) Posibilidades de Prevención Ambiental

- Cuidadosa clasificación de las características del yacimiento y los restos de roca, a fin de determinar qué afectar y cómo manipular y disponer los materiales afectados.
- Comprensión completa y anticipada de los materiales del sitio minero para evitar la formación de ácidos o tóxicos en lo posible y tener un control cuidadoso de su disposición.
- Uso de procesos más limpios (por ejemplo técnicas que no introduzcan, ácidos o ciertos reactores en el beneficiamiento, así como evitar aquellas técnicas que utilizan mercurio).
- Un mejor diseño de los procesos a fin de reducir la cantidad de sustancias tóxicas en el beneficiamiento.
- Minimizar el área expuesta a las pozas de procesamiento y usar sistemas de recuperación cubiertos sin pozas en exposición a fin de reducir el riesgo para la vida silvestre y el ambiente producido por las sustancias utilizadas en el proceso de lixiviación.
- Control del drenaje para que el contacto de la precipitación, aguas superficiales y subterráneas con contaminantes o materiales ácidos sea mínimo.
- Uso de diseños que separen el drenaje limpio del contaminado, a fin de reducir el volumen de agua que éste último requiere para su control y tratamiento.
- Uso de sistemas de detección de fugas y monitoreo de aguas subterráneas y superficiales y de aires.
- Disposiciones sobre sistemas de recolección de molidos y estructuras de almacenamiento para hacer frente a fallas previsibles de los procesos, fugas y derrames.

- Control del polvo mediante la utilización de materiales no tóxicos y poniendo atención al destino de los supresores de polvo.
- Restauración en el momento del cierre, donde reponer la tierra superficial es posible, para reducir la “huella” de la mina en el paisaje y la exposición de un área afectada a los elementos y así hacer menor el riesgo de contaminación potencial del aire y el agua.

3.10.3. EN LA FASE DE CIERRE

a) Fuentes Potenciales y Tipos de contaminación

- Exposición de materiales en los tajos y áreas de disposición de relaves y residuos de rocas que pueden necesitar de cuidado permanente.
- Drenaje ácido luego de concluida la explotación, el cual puede empeorar con el tiempo.
- Derrame en las aguas superficiales y subterráneas de contaminantes presentes en los relaves y en el yacimiento agotado, luego del beneficiamiento y cuando ya han sido clausuradas las áreas de disposición de relaves y almacenamientos.
- Contaminación de depósitos que quedan luego del cierre con drenaje ácido, metales u otros contaminantes, creando un riesgo para la vida silvestre, otros usuarios del agua y el ambiente.
- Contaminación del aire luego de la explotación y cierre como resultado de las partículas de polvo de los relaves y yacimientos agotados que no sean apropiadamente estabilizados y/o cubiertos.

b) Posibilidades de Prevención Ambiental

- Aislamiento y depósito de materiales generadores de ácido.
- Uso de neutralizadores y otros materiales para prevenir el drenaje ácido y traslado de metales en los tajos, montículos y aguas.
- Estabilización y control de áreas desgastadas en su configuración posterior a la extracción, utilizando suelo superficial y reforestación para limitar movimientos y filtraciones.
- Limpieza, descontaminación y cobertura de los yacimientos agotados y relaves, a la par que el control de drenajes para prevenir la migración de los contaminantes que permanecen luego del cierre.
- Extracción de agua de relaves y/o controles hidrológicos para sus depósitos, a fin de asegurar la estabilidad en el largo plazo.
- Monitoreos y mantenimiento que garanticen el control del drenaje y eviten el contacto de las aguas con los contaminantes y el consecuente acarreo de los mismos por aquéllas.
- Relleno de los tajos donde sea posible, para reducir el potencial de recolección y contaminación del agua, así como la exposición de restos de roca a oxígeno y agua, ahí donde pueda originarse drenaje ácido.
- Cubrir los pozos y socavones para prevenir la contaminación del agua y la descarga de fluidos del sitio conteniendo metales, sobre las aguas subterráneas y superficiales.
- Remover los materiales introducidos al sitio, incluyendo los residuos de control de la contaminación, químicos para el beneficiamiento y reactores, químicos de laboratorio, petróleo, etc. para prevenir la contaminación luego del cierre.

3.11. PASIVOS AMBIENTALES

Un pasivo ambiental se define como una situación ambiental que fue generada por el hombre en el pasado y con deterioro progresivo en el tiempo; representa actualmente un riesgo al ambiente y la calidad de vida de las personas. Un pasivo ambiental puede afectar la calidad del agua, el suelo, el aire, y los ecosistemas deteriorándolos. Estos han sido generalmente producidos por las actividades del hombre, ya sea por desconocimiento, negligencia, o por accidentes, a lo largo de la historia.

Los pasivos ambientales son complejos y complicados para su recuperación, debido a las características físico-químicas, los elevados costos para su control y rehabilitación, la falta de identificación de responsables y en otros casos por el incipiente desarrollo tecnológico para su recuperación.

a) Fuentes Potenciales y Tipos de contaminación

La minería, originó pasivos a través de excavaciones abiertas abandonadas, socavones abandonados, relaveras sujetas a erosión, depósitos de residuos sólidos industriales, deforestación y eliminación de cobertura vegetal, disposición de sustancias tóxicas y movimiento de tierras. Uno de los grandes problemas que resultan de estos pasivos ambientales, es la generación de drenaje ácido.

Los pasivos ambientales, pueden afectar los cuerpos de agua, como ríos, lagos, lagunas las aguas subterráneas, los suelos, el aire, el paisaje, la cobertura vegetal, ambiente, la salud humana y la infraestructura.

Los efectos pueden ser variados, pudiéndose alterar las características químicas, físicas, biológicas de los cuerpos receptores. La forma cómo estos cuerpos se alteran también es variada, dependiendo de la

temperatura local, la geografía del lugar, el aislamiento poblacional de la zona, la pluviosidad, los ecosistemas circundantes, etc.

b) Posibilidades de Prevención Ambiental

Son varias las herramientas que actualmente existen para medir el deterioro ambiental. Entre ellas podemos mencionar dos, el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) y los Límites Máximos Permisibles (LMP).

Es importante contar con un marco normativo adecuado que permita la rehabilitación de las áreas afectadas mediante mecanismos de cooperación entre diferentes instituciones, públicas y privadas, resultando en acciones inmediatas sobre las zonas más afectadas y en la emisión de pautas técnicas y administrativas que ayuden en su solución.

Se debería buscar el consenso para dar prioridad a los pasivos, áreas o lugares más críticos, utilizando criterios de ámbito de afectación, magnitud de los impactos, sensibilidad de las poblaciones vecinas y costos e iniciar los primeros esfuerzos en su remediación.

Sabemos que rehabilitar problemas ambientales es complicado. Por ello, muchos sectores, considerando la normatividad ambiental y otros elementos, ya están tomando las medidas necesarias para prevenir riesgos y daños ambientales; así como muchas personas ya están tomando conciencia de que su comportamiento también puede generar impactos ambientales. Además, ya se están tomando las medidas necesarias para eliminar o rehabilitar los pasivos existentes y de esta manera mejorar la calidad de vida de las poblaciones vecinas.

3.12. LAS FUENTES DE IMPACTO Y LOS RIESGOS

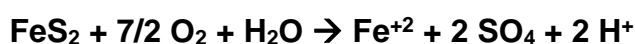
3.12.1. DESCRIPCIÓN DE LAS FUENTES PRINCIPALES DE IMPACTO

Las fuentes potenciales de descargas de contaminantes relacionadas a las operaciones mineras y de beneficio incluyen: drenaje de la mina, operaciones durante el proceso de beneficio, unidades de desechos, actividad humana y pilas de mineral.

a) Drenaje de mina

El agua proveniente de las operaciones de drenaje puede contener alta concentración de metales y, por lo tanto, contaminar las aguas superficiales; además, el drenaje ácido de mina (DAM) generado en las labores mineras y en los tajos puede ser bombeado y descargado a las aguas superficiales.

La formación del drenaje se por la combinación de iones metálicos, provenientes principalmente de los sulfuros, con el agua y el aire al entrar en contacto con el medio ambiente. Un ejemplo típico es el caso de la pirita:



b) Depósitos y Pilas de mineral

Los principales depósitos y pilas de mineral se muestran en la Tabla N° 3.24.

Tabla Nº 3.24.

Depósitos minerales y sus impactos en la calidad de agua

Depósitos	Posibles impactos en la Calidad de las Aguas
Pilas de desechos (desmontes y materiales de desbroce, material residual de pilas de lixiviación, relaves secos)	<ul style="list-style-type: none"> • Erosión con la consecuente descarga de sedimentos en las aguas superficiales • Producción de solución ácida de lixiviación y transporte de metales pesados a las aguas superficiales y subterráneas • Defectuosa inclinación del talud, produciendo la descarga de sedimento y la dispersión de desechos en las aguas superficiales • Transporte de finos mediante el viento hacia las aguas superficiales
Chanchas de relaves Relaves depositados como pulpa	<ul style="list-style-type: none"> • Formación de solución de lixiviación y filtración de desechos hacia aguas subterráneas y superficiales • Erosión, con la consecuente descarga de sedimentos hacia aguas receptoras • Transporte de finos a las aguas superficiales por acción del viento • Deterioro de las presas de pulpas, de relaves, particularmente durante tormentas
Pozas de almacenamiento de aguas residuales	<ul style="list-style-type: none"> • Filtración de la poza hacia aguas superficiales y subterráneas • Derrames, incluyendo la acumulación de agua de inundaciones que ocasionan el desborde y rompimiento de las presas

c) Operaciones durante el proceso de beneficio

El efluente puede contener constituyentes orgánicos e inorgánicos, incluyendo reactivos como el cianuro, y puede ser altamente ácido; el efluente puede ser depositado en canchas de relaves donde los contaminantes se pueden lixiviar o ser transportado mediante escorrentías superficiales. Las pozas de proceso pueden ser una fuente de contaminación de agua a través de la filtración de soluciones en las aguas superficiales y subterráneas y flujos que se derraman.

d) Actividad humana

Las fuentes de contaminación del agua provenientes del incremento de la actividad humana en un emplazamiento minero incluyen las aguas servidas y la basura.

3.12.2. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RECEPTORAS POTENCIALES

- Ubicación y usos benéficos de las aguas superficiales que pueden ser impactadas por actividades
- Ubicación (profundidad y extensión del área), dirección del flujo, y usos benéficos de las aguas subterráneas subyacentes que podrían ser impactadas por las actividades
- Identificación de todos los criterios de calidad de agua existentes aplicables a las aguas superficiales y subterráneas, y a la presente calidad de las aguas superficiales y subterráneas potencialmente impactadas.

3.12.3. RIESGOS

- Las sustancias tóxicas pueden tener efectos perjudiciales sobre la salud humana.
- La mortandad de la fauna acuática a menudo se debe a la toxicidad aguda causada por la descarga de lodos o descargas accidentales de materia sumamente tóxica en la masa de agua.
- Muchos materiales orgánicos pueden degradarse biológicamente en los cursos de agua y producen demandas excesivas de oxígeno.
- La materia colorante puede reducir sustancialmente la penetración de la luz y en consecuencia, afectar la producción de oxígeno fotosintético
- La inadecuada ubicación y construcción sin criterios de riesgo de las canchas de relave así como la falta de control sobre el Drenaje Ácido ha contribuido a la generación de impactos ambientales que según su ubicación y volumen puede llegar a afectar no solo grandes extensiones sino también cuencas alejadas que están conectadas por los sistemas hidrográficos.

- Con el tiempo, los elementos tóxicos pueden lixiviar, lo que ocasionaría la contaminación de las aguas subterráneas. La contaminación de aguas subterráneas puede ocurrir cuando los líquidos (generalmente aguas pluviales) fluyen a través de vertederos de residuos hasta llegar a las aguas subterráneas, portando los contaminantes con ellos. Una vez contaminadas, las aguas subterráneas son costosas, difíciles y a veces hasta imposibles de limpiar.

CAPÍTULO IV

TRATAMIENTO DE AGUAS

4.1. MITIGACIÓN EN AGUAS

Todos los métodos investigados sobre el tratamiento y manejo de efluentes nos ayudan a monitorear y predecir el tipo de fluido, cambios por la concentración del contaminante, y tiempos para solucionar el problema. Algunos de estos tratamientos también pueden ser utilizados en aguas subterráneas y aguas de drenaje.

4.1.1. MANEJO DE ESCORRENTÍAS

La escorrentía al pasar sobre suelos con hidrocarburos, reactivos, rellenos sanitarios puede recoger contaminantes por medios físicos o químicos con las consiguientes implicancias en los métodos de control y tratamiento.

Una de las preocupaciones principales de la escorrentía de actividades mineras es la potencial generación de ácido y la movilización de metales de residuos mineros. También los sedimentos pueden ocasionar efectos adversos en la calidad del agua. El manejo de escorrentías tiene los siguientes objetivos:

- Reducir contacto del agua con residuos mineros.
- Reducir riesgo de desborde de pozas de aguas residuales.
- Derivación y contención de escorrentías para abastecimiento de agua.
- Separar aguas limpias de las contaminadas.

La derivación de escorrentías comprende la construcción de zanjas para evacuar el agua rápidamente del lugar antes que se infiltre, o limitar su ingreso al relleno o a un tajo abierto, también mediante canales impermeables a través del área disturbada.

Una estrategia es derivar aguas superficiales sobre capas de material alcalino (escorias u otros materiales con cal) para que tomen alcalinidad y haciendo fluir sobre residuos o pozas de mina subterránea. Así modera los efectos del contacto con aguas ácidas.

a) Canales de Derivación

Son construidos en la parte superior de instalaciones del proyecto, pilas de lixiviación, botaderos de desmonte, depósitos de relave y pozas de agua, a fin de interceptar y conducir las escorrentías a zonas alejadas de las instalaciones.

Canales de drenaje pueden ser construidos en la parte inferior de instalaciones para coleccionar las aguas contaminadas para su tratamiento.

b) Diques

Para prevenir entrada de aguas superficiales e inundación de las instalaciones durante crecidas y prevenir descarga de aguas contaminadas a zonas adyacentes.

c) Pozas de Detención y Retención

Para controlar aguas superficiales mediante su almacenamiento y reducción del flujo para que el canal de drenaje sea de menores dimensiones.

d) Pozas de Almacenamiento

Para contener aguas superficiales a ser usadas en las operaciones mineras o para su tratamiento antes de su descarga.

4.1.2. MÉTODOS DE HOMOGENIZACIÓN, NEUTRALIZACIÓN, PRECIPITACIÓN, COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN Y CLARIFICACIÓN

Este tratamiento se realiza de esta manera:

- Homogenización: minimizar fluctuaciones
- Neutralización: ajustar pH
- Precipitación: por reacción con S. química
- Coagulación y floculación: aglomeración
- Clarificación: por sedimentación

a) Homogenización

La sedimentación se realiza colocando barreras o diques ya sea de madera o de concreto a lo largo del recorrido del agua; logrando de esta manera que el agua mantenga un caudal constante.

b) Neutralización

El objetivo principal de la neutralización, es lograr equilibrar el pH en aguas ácidas.

c) Precipitación

Este método consiste en hacer reaccionar un agua cargada con metales en forma iónica con compuestos de azufre por ejemplo logrando de esta manera su precipitación en forma de sulfuros.

d) Coagulación y Floculación

En el proceso de precipitación; precipitantes químicos, coagulantes y floculantes son usados para incrementar las dimensiones de la partícula por la agregación. El proceso de precipitación puede generar partículas muy finas que se encuentran en suspensión por una superficie de cargas electrostáticas.

Estas cargas causan nubes iónicas que se forman alrededor de las partículas dando un incremento de la fuerza repulsiva que previenen la agregación y reduce la eficiencia de los procesos de separación subsecuente sólido-líquido.

Por esto los coagulantes químicos son añadidos para vencer las fuerzas repulsivas de las partículas. Los principales tipos de coagulantes son electrolitos inorgánicos tales como cloruro férrico, y sulfato ferroso, aunque también se puede añadir polímeros orgánicos y coagulantes sintéticos.

La adición de coagulantes es seguida de una mezcla en el floculador para lograr el contacto entre las partículas permitiendo el crecimiento de la partícula. La presencia del floculante se refiere a una gran dilución de partículas en suspensión que floclula o coalesce durante la sedimentación. Así como la coalescencia o floculación ocurre, las partículas incrementan su masa sedimentándose.

La cantidad de floculación dependerá de la oportunidad para el contacto, el cual varía conforme pasa el fluido, la profundidad de la cuenca, de la concentración de las partículas, del tamaño de las partículas y la velocidad de gradientes en el sistema.

e) Clarificación

Es la etapa final de todo el proceso después de la precipitación de los iones y los sólidos suspendidos, logrando que el agua presente condiciones estándares, tanto a nivel químico como a nivel visual.

*** Aplicabilidad del método:**

La Precipitación es usada principalmente para convertir iones disueltos en partículas sólidas que pueden ser removidas desde la fase acuosa por coagulación y filtración. Para el caso de remediación trabaja en remoción metales tóxicos disueltos y radio nucleidos.

*** Limitaciones del método:**

Las desventajas del método pueden ser:

- La presencia de múltiples especies metálicas puede generar dificultades en la remoción como resultado de la naturaleza anfótera de los diferentes componentes.
- La descarga estándar se hace más restringida.
- La adición de reactivos debe ser cuidadosamente controlado para evitar una excesiva concentración en el efluente tratante.
- La eficacia del sistema recae en la adecuada técnica de separación del sólido.
- El proceso puede generar lodo mineral tóxico requiriendo una apropiada disposición.

- El proceso puede costar dependiendo del reactante usado, del sistema de control requerido y del operador requerido en el sistema de operación.
- Sales disueltas son añadidas al agua tratada para ajustar el pH.
- Polímeros pueden ser añadidos el agua para una adecuada disposición de los sólidos.
- El agua tratada puede requerir un reajuste en el pH.
- Los metales que se encuentran en solución por agentes complejos (Cianuros o EDTA) son difíciles de precipitar.

En la siguiente figura se muestra la precipitación de algunos iones metálico de acuerdo al pH de la solución.

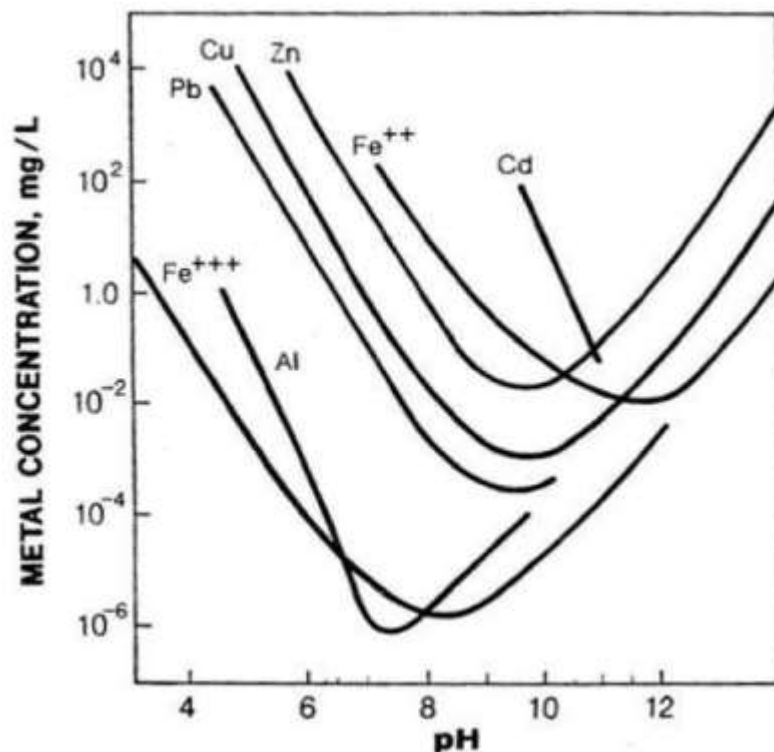


Figura N° 4.1.

Precipitación de Metales según el pH de la Solución

4.1.3. PROCESO DE SEPARACIÓN PARA DESPRENDER LOS CONTAMINANTES DEL MEDIO

La filtración aísla las partículas sólidas por los fluidos de vapor que corren a través de los poros del medio. La fuerza que dirige puede ser la gravedad o la presión diferencial a través del medio de filtración. Las técnicas de presión en filtración en separación diferenciada incluye separación por fuerza centrífuga, fuerza de vacío o presión positiva. Los químicos no son destruidos, si no puramente concentrados, haciendo posible la recuperación.

a) Destilación

Es un proceso de separación química que envuelve a la vaporización y condensación que es usado para separar componentes de variada presión de vapor en un líquido o flujo de gas. La destilación simple abarca una simple fase de operación en la cual el calor es aplicado a la mezcla líquida, causando que una porción del líquido se vaporice. Estos vapores después son enfriados y condensados productos líquidos llamados productos destilados.

El destilado es enriquecido con componentes de alta volatilidad; la mezcla sobrante es aun enriquecida con un componente menos volátil. Para la destilación comercial son utilizadas varias fases para obtener una mejor separación de los componentes orgánicos.

b) Filtración, Ultrafiltración y Microfiltración

Filtración, es el proceso físico de separación mecánica basado en la dimensión de las partículas, por medio del cual las partículas suspendidas en un medio son separadas por la fuerza del fluido mediante los poros del medio. Conforme el fluido pasa a través del

medio las partículas suspendidas son atrapadas en la superficie del medio.

Ultrafiltración/Microfiltración ocurre cuando las partículas están separadas por la fuerza del fluido a través de membranas semipermeables. Solo las partículas cuya dimensión es menor que la abertura de la membrana son permitidas a través del fluido.

c) Cristalización por Congelamiento

Este proceso remueve solventes purificados de la solución como cristal congelado; cuando la solución contiene contaminantes disueltos es congelado lentamente, los cristales de agua congelada se forman en la superficie y los contaminantes son concentrados en la solución que queda.

El hielo puede ser separado del cristal original, lavado y derretido para trabajar como flujo de agua pura. El flujo de desecho contaminado, el líquido original y los sólidos precipitados son generalmente tratables por la destrucción convencional y tecnología de estabilización debido a la alta concentración.

d) Pre-evaporización con Membranas

Este proceso que usa membranas permeables es usado preferentemente para adsorber compuestos orgánicos del agua contaminada. El agua contaminada pasa a través de un calentador que eleva la temperatura del agua. El agua calentada entra al módulo de pre-evaporación que contiene membranas compuestas polímeros organofílicos similar a la silicona formado dentro de las fibras capilares.

El contaminante se difunde a través de la pared de la membrana; el agua tratada sale del módulo, mientras que el vapor orgánico viaja del módulo al condensador donde retorna a la base líquida. El material orgánico condensado representa solo una fracción del volumen desecho de agua inicial.

e) Osmosis Inversa

El proceso de membrana de pre-evaporación puede ser modificado osmosis inversa. En este proceso el agua es forzada a través del módulo de pre-evaporización bajo presión.

El módulo puede contener uno o varios tipos de membrana de las cuales hay muchos tipos dependiendo de la aplicación.

El módulo permite que el agua pase a través de los contaminantes. El agua que contiene los contaminantes que no pudieron pasar es recirculada otra vez al módulo de pre-evaporización para un tratamiento adicional, donde los vapores orgánicos son extraídos, condensados y ventilados corriente abajo del condensador, además minimizando el aire que se libera.

4.1.4. INTERCAMBIO IÓNICO COMÚN

Es un proceso por el cual los iones tóxicos son removidos de la fase acuosa en intercambio con iones relativamente inocuos como NaCl.

Las resinas modernas de intercambio iónico consisten en un material sintético y orgánico que contiene el grupo funcional iónico, cuyos iones son usados. Estas resinas son estructuralmente estables y presentan una gran capacidad para el intercambio iónico, otros materiales usados pueden ser las arcillas y zeolitas.

El intercambio iónico es reversible y la concentración es dependiente. La resina puede ser regenerada para el re-uso. Con este método queda solo del 2% a 10% del desecho el cual debe ser tratado por separado.

Todos los elementos metálicos se presentan como especies solubles, siendo catiónicas o aniónicas y pueden ser removidas por el intercambio iónico.

4.1.5. BIORREMEDIACIÓN

Este es un método pasivo de mitigación alternativo para aguas contaminadas, usando bacterias. Se genera un “Wetland” (Pantano Artificial) adonde se le hace llegar al agua contaminada, las bacterias generan H_2S el cual reacciona con los metales del agua y se forman sulfuros; estos sulfuros precipitan al fondo y agua queda descontaminada. El proceso primeramente es en una etapa anaeróbica y luego en una etapa aeróbica.

Otros métodos pasivos al igual que los “Wetland” son las cunetas alcalinas, drenes anóxicos de caliza, las cascadas de aireación y pozas de sedimentación.

4.2. MITIGACIÓN EN SEDÍMENTOS

Estos métodos pueden ser utilizados tanto para el tratamiento de suelos como también para el tratamiento de sedimentos.

4.2.1. ELECTROCINETISMO Y FITOREMEDIACIÓN

Los suelos y sedimentos contaminados de metales son tratados usando la combinación de electrocinetismo y fitorremediación.

a) Electrocinetismo

Este proceso remueve metales y contaminantes orgánicos principalmente aunque también es aplicable en contaminantes inorgánicos en suelos de baja permeabilidad, barro y dragas marinas. Usa la electroquímica y la electrocinética para disolver y remover metales y orgánicos polares. La tecnología usada in situ es principalmente una técnica de separación y remoción para extraer el contaminante del suelo.

El grupo de contaminantes que son tratados en electrocinética son metales pesados, aniones, y orgánicos polares en suelo barro, etc. Las concentraciones pueden ser tratadas hasta un máximo de 10000 ppm. La electrocinética es más aplicable en suelos de baja permeabilidad. Estos suelos son tratados como saturados y parcialmente saturados arcillas y mezclas limo-arcillas las cuales no son fácilmente drenadas.

b) Fitorremediación

Es un proceso que usa a las plantas para remover, transferir estabilizar y destruir el contaminante en suelos y sedimentos; los contaminantes migran por las raíces a la parte más alta de las plantas y es posteriormente extraído. Los contaminantes pueden ser orgánicos o inorgánicos.

Los árboles son generalmente el elemento más usado de la flora en fitorremediación, debido a que crecen rápidamente y pueden sobrevivir a diferentes tipos de clima. Además que pueden llevar gran cantidad de agua desde el suelo. De esta manera pueden llevar los contaminantes disueltos y reducir la contaminación del suelo.

La fitoremediación puede ser aplicable para la remediación en el caso de metales, pesticidas, explosivos, aceite crudo y relleno de suelos de drenaje, estas especies de plantas conservan los metales en sus raíces.

Estas pueden ser llevadas a otros lugares para filtrar los metales ya que puede generar agua de desecho. Cuando las raíces están saturadas del metal contaminante pueden ser cosechadas. Las plantas hiperacumuladoras pueden remover una cantidad significativa de los metales contaminantes.

4.2.2. SOLIDIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN

Produce bloques de desechos monolíticos de estructura fuertemente integrada, los contaminantes no necesariamente interactúan químicamente con los reactivos de la solidificación (generalmente cemento/ceniza); pero estos se encuentran mecánicamente junto a la matriz solidificada.

El método de estabilización abarca la adición de químicos enlazantes, tales como cementos, silicatos, etc.; los cuales limitan la solubilidad o movilidad de estos desechos, a pesar de las características físicas de los desechos estas no cambian. Este proceso se puede dar In situ o ex situ.

Esta tecnología para contaminantes es principalmente inorgánica incluyendo a los radionucleidos, tiene poca efectividad contra orgánicos y pesticidas excepto vitrificación la cual destruye muchos contaminantes orgánicos

4.2.3. EXCAVACIÓN Y DISPOSICIÓN FUERA DEL SUELO CONTAMINADO

Este tipo de tratamiento se ha aplicado en forma intensiva en varios sitios, rellenando el lugar que ocupaban los materiales peligrosos, principalmente los desechos peligrosos, que se están haciendo cada vez más difíciles por el incremento de los controles de regulación, además que se prohíbe aplicarlos a zonas de gran extensión, gran profundidad o con una compleja hidrogeología, además la capacidad para desechos radioactivos y desechos mezclados es extremadamente limitada.

El material contaminado es removido y transportado a un lugar adecuado de tratamiento. En algunos casos se hacen pre-tratamientos para ver las restricciones del lugar de disposición del material.

Este proceso es aplicable a un rango completo de contaminantes. Incluso para desechos recolectados de ambientes de diferentes condiciones.

4.3. PROCESOS DE REMOCIÓN DE IONES METÁLICOS Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS

4.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA DEL AGUA Y LOS SEDIMENTOS EN LA ZONA DE REPRESAMIENTO

Para evaluar las características de la zona de represamiento se tomaron muestras de agua y sedimento en los sectores donde se emplazará el canal por donde circulara el agua contaminada para su tratamiento y que en algunos casos de junta con el agua de la quebrada donde se realiza la labor de ingeniería.

4.3.1.1. Condiciones del Agua

a) *Parámetro Físico-Químicos, Sulfatos, Turbidez y Sólidos Suspendidos*

Los parámetros físico-químicos, sulfatos y turbidez correspondientes a la zona del represamiento y el canal de drenajes se presentan en la Tabla N° 4.1 y su respectiva evaluación se realiza en la Tabla N° 4.2, 4.3 y 4.4.

Tabla N° 4.1.
PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS, SULFATOS, TURBIDEZ Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Parámetro	Agua represada	Agua del canal de drenajes
pH	5.1	7.9
Conductividad (uS/cm)	1940	1095
Eh (mv)	254	156
Sulfatos (mg/L)	172.43	164.87
Turbidez(NTU)	2700	525
SST (mg/L)	1684.7	336.2

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) son obtenidos a partir de la Turbidez.

Tabla N° 4.2.

Evaluación de parámetros Físico–Químicos, Sulfatos, Turbidez y Sólidos Suspendidos Totales en el agua represada (ECAs)

Parámetro	Valor	Según los ECAs (Cat 3)		
		RV	BA	Observaciones
Caudal	2.352 m ² /seg	No ESp.	No Esp.	
pH	5.1	6.5 a 8.5	6.5 a 8.4	Si supera el estándar
Conductividad	1940 µS/cm	2000 µS/cm	5000 µS/cm	NO supera los estándares
Sulfatos	156 mg/L	300 mg/L	500 mg/L	NO supera los estándares
Parámetro	Valor	Según el medio		Observaciones
Redox	254 mv	Medio Oxidante > 200 mv		Medio oxidante
Parámetro	Valor	Para cuencas bajas		Observaciones
Turbidez	2700 NTU	50 NTU		SI supera los estándar
Parámetro	Valor	Según la FAO - Riego		Observaciones
SST	1684.7 mg/L	50 mg/L		SI supera los estándar

(RV) Agua para riego vegetal y (BA) Bebida de animales.

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) son obtenidos a partir de la Turbidez

Tabla N° 4.3.

Evaluación de parámetros Físico–Químicos, Sulfatos, Turbidez y Sólidos Suspendidos en el canal de drenajes (ECAs)

Parámetro	Valor	Según los ECAs (Cat 3)		
		RV	BA	Observaciones
Caudal	0.032 m ² /seg	No ESp.	No Esp.	
pH	7.9	6.5 a 8.5	6.5 a 8.4	En el rango estándar
Conductividad	1095 µS/cm	2000 µS/cm	5000 µS/cm	NO supera los estándares
Sulfatos	164.87 mg/L	300 mg/L	500 mg/L	NO supera los estándares
Parámetro	Valor	Según el medio		Observaciones
Redox	156 mv	Medio Oxidante > 200 mv		Medio reductor
Parámetro	Valor	Para cuencas bajas		Observaciones
Turbidez	525 NTU	50 NTU		SI supera los estándar
Parámetro	Valor	Según la FAO - Riego		Observaciones
SST	336.32 mg/L	50 mg/L		SI supera los estándar

(RV) Agua para riego vegetal y (BA) Bebida de animales.

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) son obtenidos a partir de la Turbidez

Tabla N° 4.4.
Evaluación de pH y Sólidos Suspendidos Totales en el canal de drenajes (LMP)

Parámetro	Valor	Según los LMP (Efluentes)		
		CM	PA	Observaciones
pH	7-9	6.0 a 9.0	6.0 a 9.0	En el rango límite
SST	336.2 mg/L	50 mg/L	25 mg/L	SI supera el límite

(CM) Medido en cualquier momento y (PA) Promedio anual.

b) Metales en Agua

La concentración de metales en agua correspondientes a la zona de represamiento y el canal de drenajes se presenta en la Tabla N° 4.5 y la evaluación de los metales en agua se muestra en las Tablas N° 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8.

Tabla N° 4.5.
ANÁLISIS DE METALES EN AGUA

Parámetro	Agua represada	Agua del canal de drenajes
Cu (mg/L)	0.325	0.026
Zn (mg/L)	0.814	0.059
Pb (mg/L)	0.396	0.12
Cd (mg/L)	0.002	0.0193
As (mg/L)	6.12	0.0086
Hg (mg/L)	0.001	NR
Fe (mg/L)	702.8	NR
Mn (mg/L)	5.51	NR

(NR) No se realizó el análisis de este metal.

Tabla N° 4.6.

Evaluación de metales en agua en la zona del dique (ECAs)

Parámetro	Valor	Según los ECAs (Cat 3)		
		RV (mg/L)	BA (mg/L)	Observaciones
Cobre	0.325	0.2	0.5	SI supera los estándar en RV
Zinc	0.814	2	24	NO supera los estándares
Plomo	0.396	0.05	0.05	SI supera los estándar
Cadmio	0.002	0.005	0.01	NO supera los estándares
Arsénico	6.12	0.05	0.1	SI supera los estándar
Mercurio	0.001	0.001	0.001	NO supera los estándares
Hierro	702.8	1	1	SI supera los estándar
Manganeso	5.51	0.2	0.2	SI supera los estándar

(RV) Agua para riego vegetal y (BA) Bebida de animales.

Tabla N° 4.7.

Evaluación de metales en agua en el canal de drenajes (ECAs)

Parámetro	Valor	Según los ECAs (Cat 3)		
		RV (mg/L)	BA (mg/L)	Observaciones
Cobre	0.026	0.2	0.5	NO supera los estándares
Zinc	0.059	2	24	NO supera los estándares
Plomo	0.120	0.05	0.05	SI supera los estándar
Cadmio	0.0193	0.005	0.01	SI supera los estándar
Arsénico	0.0086	0.05	0.1	NO supera los estándares

(RV) Agua para riego vegetal y (BA) Bebida de animales.

Tabla N° 4.8.

Evaluación de metales en agua en el canal de drenajes (LMP)

Parámetro	Conc. Mg/L	Según los LMP (Efluentes)		
		CM (mg/L)	PA (mg/L)	Observaciones
Cobre	0.026	0.5	0.4	NO supera los estándares
Zinc	0.059	1.5	1.2	NO supera los estándares
Plomo	0.120	0.2	0.16	NO supera los estándares
Cadmio	0.0193	0.05	0.04	NO supera los estándares
Arsénico	0.0086	0.1	0.08	NO supera los estándares

(CM) Medido en cualquier momento y (PA) Promedio anual.

4.3.1.2. Condiciones de los Sedimentos

En los sedimentos de la zona de represamiento se evaluó metales.

a) Metales en Sedimento

La concentración de metales en sedimento correspondientes a la zona del represamiento y el canal de drenajes se presenta en la Tabla N° 4.9. y la evaluación de los metales en sedimento en la Tabla N° 4.10, 4.11 y 4.12.

Tabla N° 4.9.

ANÁLISIS DE METALES EN SEDIMENTO

Parámetro	Sedimento grueso (represamiento)	Sedimento fino (represamiento)	Sedimento canal de drenajes
Cu (ppm)	20	29	28
Zn (ppm)	23	105	163
Pb (ppm)	50	12	50
Cd (ppm)	6	5	5
As (ppm)	25	65	38

Tabla N° 4.10.

Evaluación de metales en sedimento en la zona del dique (Sedimento Grueso)

Parámetro	Conc. ppm	LMP en Sedimentos (Ministerie VROM-1983)	
		Valor ppm	Observaciones
Cobre	20	500	NO supera el límite
Zinc	23	3000	NO supera el límite
Plomo	50	600	NO supera el límite
Cadmio	6	20	NO supera el límite
Arsénico	25	50	NO supera el límite

Tabla N° 4.11.

Evaluación de metales en sedimento en la zona del dique (Sedimento Fino)

Parámetro	Conc. Ppm	LMP en Sedimentos (Ministerie VROM-1983)	
		Valor ppm	Observaciones
Cobre	29	500	NO supera el límite
Zinc	105	3000	NO supera el límite
Plomo	12	600	NO supera el límite
Cadmio	5	20	NO supera el límite
Arsénico	65	50	SI supera el límite

Tabla N° 4.12.

Evaluación de metales en sedimento en el canal de drenajes

Parámetro	Conc. Ppm	LMP en Sedimentos (Ministerie VROM-1983)	
		Valor ppm	Observaciones
Cobre	28	500	NO supera el límite
Zinc	163	3000	NO supera el límite
Plomo	50	600	NO supera el límite
Cadmio	5	20	NO supera el límite
Arsénico	38	50	NO supera el límite

4.4. CAUSAS DEL ALTO CONTENIDO DE IONES METÁLICOS Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS

A partir del monitoreo ambiental realizado en la época de estiaje como en época de lluvias, se observa que la elevada cantidad de sólidos suspendidos y la alta concentración de metales se mantiene constante en ambas épocas del año.

De acuerdo a las características hidrológicas, geológicas y metalogénicas que presenta la cuenca se puede plantear lo siguiente:

- Según la hidrología se puede observar que el grado de alteración de las rocas por meteorización y erosión es fuerte, trayendo esto como consecuencia la erosión de las rocas e incrementando la cantidad de sólidos suspendidos.

- Según la geología de la zona se puede observar grandes zonas de rocas intrusivas y volcánicas, además de áreas de contacto con rocas sedimentarias, en estas zonas puede ocurrir mineralización y los iones metálicos pueden ser arrastrados por el agua incrementando la concentración de metales en ésta; adicionalmente las rocas sedimentarias del área presentan horizontes de carbón, los cuales al entrar en contacto con el agua pueden incrementar significativamente la cantidad de sólidos suspendidos.
- Según la metalogenia se puede observar que las minas presentes alrededor de la labor de ingeniería se explotan principalmente oro, plata, cobre, plomo y wolframio; estando asociados muchos de estos metales a sulfuros primarios y secundarios y presentando óxidos en la parte superior.

Esta ganga al ponerse en contacto con el agua, ya sea por la erosión de los ríos o por las precipitaciones que ocurren en el área, puede hacer que se incremente la concentración de metales en el agua. Del mismo modo ocurre con las minas de carbón, la cuales pueden hacer que se incremente la cantidad de sólidos suspendidos en el agua.

4.4.3. ESTABILIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL AGUA Y DE LOS LODOS

4.4.3.1. Estabilidad del agua

Como se vio en las anteriores tablas en especial la 4.6, el agua que se obtiene después de un trabajo ingeniería supera el rango según los ECAs (Cat. 3), los cuales no pueden ser vertidos al medio ambiente o para su uso para riego o bebida animal así como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N° 4.13.
Parámetros que están fuera del rango de los ECAs (Cat. 3)

Parámetro	ECAs (Cat. 3) Riego Vegetal	ECAs (Cat. 3) Riego Animal
pH	5.1	6.5 a 8.4
Cu (mg/L)	0.325	0.5
Plomo (mg/L)	0.396	0.05
Arsénico (mg/L)	6.12	0.1
Hierro (mg/L)	702.8	1
Manganeso (mg/L)	5.51	0.2



Fotografía N° 4.1.
Muestra del agua antes de su tratamiento

a) Proceso de neutralización y precipitación de metales

El proceso consiste en una neutralización con adición cal hasta un pH entre 7,5 – 8,0 en agitación, seguido de luego de una adición de floculante con agitación y separación del lodo por sedimentación.

Dosificación:

- Se añade de 0,4 gramos de cal/Litro de agua, es decir 400 gramos Cal/m³ de agua.
- Se adiciona 0,5 ml de floculante/ Litro de agua, es decir 500 ml de floculante/m³ de agua. El floculante es Magnafloc al 0,05% W/V.

b) Resultados del proceso de neutralización y precipitación de metales

El agua tratada nos muestra una remoción de los metales por debajo de límites permitidos por los Ecas.

**Tabla N° 4.14.
CARACTERIZACIÓN DE AGUA TRATADA**

Parámetros	
pH	7.5
Conductividad (mS)	1.2
Potencial redox (mV)	164
Cu (mg/L)	0.001
Pb (mg/L)	0.010
Zn (mg/L)	0.001
Fe (mg/L)	0.001
Mn (mg/L)	0.001
Cd (mg/L)	0.001
As (mg/L)	0.001
Hg (mg/L)	0.0001
Lodo	10% del volumen inicial de solución de agua

Tabla N° 4.15.
CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DEL LODO DE
TRATAMIENTO

Muestra	pH en pasta	%S	PN	PA	PNN	PN/PA
Lodo de tratamiento	7.2	0.02	4.37	0.62	3.75	7.05

El lodo muestra un comportamiento incierto en la generación de drenaje ácido.

Tabla N° 4.16.
Velocidad de sedimentación

Tiempo (minutos)	Altura (mm)	Velocidad (descenso) (mm/minuto)
0	0	
14	37	2.64
28	74	2.64
42	111	2.64
54	148	2.74

4.5. ESTABILIDAD DE LOS LODOS

Para evaluar la estabilidad física de los lodos, se debe evaluar el lugar en donde se ubicara el depósito y como puede observarse en estos lugares presenta una topografía más o menos plana, además, los taludes que se encuentran en los alrededores de estos lugares de deposición son estables. La estabilidad química de estos lodos se determina mediante la evaluación del potencial neto de neutralización como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N° 4.17.

Potencial Neto de neutralización de los lodos

Muestra	pH en pasta	%S	PN	PA	PNN	PN/PA
Lodo tratado	7.2	0.02	4.37	0.62	3.75	7.05

PNN: Potencial Neto de Neutralización (Kg CaCO₃/Tm)

PN: Potencial de Neutralización (Kg CaCO₃/Tm)

PA: Potencial de Acidez (Kg CaCO₃/Tm).

El Potencial Neto de Neutralización (PNN) está representado por la siguiente fórmula:

$$\mathbf{PNN = PN - PA}$$

Si PNN >20: No genera DAM.

Si -20 < PNN < 20: Intervalo de incertidumbre de generación de DAM.

Si PNN < -20: Genera DAM.

De acuerdo a los resultados de la tabla mostrada se determinó que el lodo presenta un comportamiento incierto ante la generación de drenaje ácido. Por esta razón se recomienda colocar una membrana impermeabilizante en los lugares donde se depositarán los lodos después de ser retirados.

4.6. REMEDIACIÓN AMBIENTAL DE LOS LUGARES DEPOSICIÓN DE LODOS

Para evitar la contaminación del suelo e infiltraciones, deberá colocarse una membrana impermeable con lecho de cal en los lugares de deposición antes del traslado de los lodos.

Una vez que los lodos han sido trasladados a los lugares de deposición y estos depósitos llegaron a su capacidad máxima de almacenamiento se procederá como se menciona a continuación:

- Se cubrirá el material con suelo arcilloso (impermeable), para evitar que haya infiltraciones de la superficie hacia los lodos.
- Encima de la capa de arcilla se colocará una capa impermeable, la cual servirá como drenaje.
- En la parte superior de esta capa se colocará suelo orgánico.
- En la zona más superficial se revegetará, logrando de esta forma que el lugar se mantenga las condiciones que tuvo antes de la deposición de lodos.

CONCLUSIONES

1. Ferrer es una empresa dedicada a al control integral de aguas subterráneas en todas sus labores de ingeniería, así como el tratamiento de las aguas con contenidos metálicos importantes que pueden hacer daño al medio ambiente.
2. Las labores de ingeniería confluyen muchas veces con áreas cercanas donde hubo actividad minera, efluentes naturales, comunidades, etc. se determinó que según los ECAs categoría 3 para riego vegetal y bebida animal, el agua excede los valores permisibles de iones metálicos de Cu, Pb, As, Fe y Mn, Pb y Cd.
3. Realizado el tratamiento de neutralización y sedimentación para la descarga de efluentes líquidos de las actividades minero metalúrgicas, el agua tratada no excede los límites máximos permisibles (LMP), así como el valor medido en cualquier momento y en el promedio anual, con respecto al contenido de iones metálicos.
4. El pH y la conductividad evaluada en la zona de las labores de ingeniería, se tiene que el pH está por debajo del rango, pero la conductividad si está en el rango permisible.
5. La turbidez y de los sólidos suspendidos totales evaluados, se tiene que el valor límite sugerido por la FAO para riego (50 mg/L) es superado hasta en 117 veces su valor en la zona de trabajo.
6. El análisis realizado a los lodos (material sedimentado) se determinó que el potencial neto de neutralización (PNN) es de 3.75 Kg CaCO₃/Tm, dando una posibilidad de generación de acidez incierta; debido a esto será necesario colocar membranas impermeables con lecho de cal en los lugares de deposición o traslado.

BIBLIOGRAFÍA

- AVALO O. (2010): Separatas del Curso de Mitigación de Problemas Ambientales en la Industria Minera, Maestría UNI. Lima, Perú.
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA WEB SITE (2012): Aspectos Legales. Perú.
- CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES WEB SITE (2012): Aspectos Geotécnicos y de Diseños de Presas. Perú.
- CONSEJO NACIONAL DEL AMBIENTE WEB SITE (2012): Aspectos Legales. Perú.
- ENVIRONMENTAL LAW INSTITUTE WEB SITE (2012): Aspectos Legales. USA.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY WEB SITE (2012): Aspectos de Contaminación y Remediación Ambiental. USA.
- FONDO NACIONAL DEL AMBIENTE WEB SITE (2012): Aspectos Legales. Perú.
- GARCIA A. (2003): Bajo el sol del Tablachaca. Ancash, Perú.
- INGEMMET (1964): Geología del cuadrángulo de Santiago de Chuco, Boletín 8. Perú.
- INGEMMET (1995): Geología del cuadrángulo de Pallasca, Boletín 60. Perú.
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS WEB SITE (2012): Aspectos Legales. Perú.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE (2012): Aspectos Legales. Perú.
- MUNICIPALIDAD DE CABANA (2010): Información de minería proporcionada por dicha municipalidad. Ancash, Perú.
- MUNICIPALIDAD DE SANTIAGO DE CHUCO (2010): Información de minería proporcionada por dicha municipalidad. La Libertad, Perú.
- MENDOZA A. (2006): Separatas del Curso de Minería y Medio Ambiente, 10mo Ciclo UNI. Lima, Perú.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (1990): Manual y de evaluación y manejo de sustancias tóxicas en aguas superficiales. USA.

- PEREZ G. (2010): Separatas del Curso de Hidrogeología, Maestría UNI. Lima, Perú.
- REMEDIATION TECHNOLOGIES SCREENING MATRIX AND REFERENCE GUIDE WEB SITE (2012): Aspectos de Remediación Ambiental. USA.
- SAMAMÉ M. (1980): El Perú Minero - Tomo 3. Lima, Perú.
- SOCIEDAD GEOLÓGICA DEL PERÚ (1940): Evolución de los Andes. Boletín 10. Perú.
- SERVICION NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (2012): Reportes de estaciones hidrológicas y meteorológicas. Perú.
- VALVERDE S. (2010): Separatas del Curso de Manejo y Abandono de Relaveras, Maestría UNI. Lima, Perú.
- VIDALÓN J. (2009): Separatas del Curso de Efluentes Líquidos, Maestría UNI. Lima, Perú.