



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERIA EN MANEJO Y CONSERVACION DEL
MEDIO AMBIENTE**

TEMA:

**“CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL MANEJO DE RELAVES
MINEROS EN LA PLANTA DE BENEFICIO REINA DEL CISNE II, SITIO EL
PACHE CANTÓN PORTOVELO, PROVINCIA DEL ORO”**

TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE: INGENIERO EN MANEJO Y
CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

AUTOR:

MAURICIO ANDRES JARAMILLO SILVA

DIRECTOR:

ING JIMMY STALIN PALADINES, MG.SC

LOJA-ECUADOR

2018



CERTIFICACIÓN

Loja, 04 de Julio del 2018.

Ing. Jimmy Stalin Paladines, Mg. Sc.

DOCENTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y
ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en **“CARACTERIZACION AMBIENTAL DEL MANEJO DE RELAVES MINEROS EN LA PLANTA DE BENEFICIO REINA DEL CISNE II, SITIO EL PACHE CANTON PORTOVELO, PROVINCIA DEL ORO”**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, realizado por el señor egresado: Mauricio Andrés Jaramillo Silva , la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación para la evaluación y posterior sustentación correspondiente.

Ing. Jimmy Stalin Paladines, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS



CERTIFICACIÓN

En calidad de Tribunal Calificador de la tesis titulada **“CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL MANEJO DE RELAVES MINEROS EN LA PLANTA DE BENEFICIO REINA DEL CISNE II, SITIO EL PACHE CANTÓN PORTOVELO, PROVINCIA DEL ORO”**, de autoría del señor egresado de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente **Mauricio Andrés Jaramillo Silva**, certificamos que se ha incorporado al trabajo final de tesis todas las sugerencias efectuadas por sus miembros.

Por lo tanto autorizamos la publicación y difusión de la tesis.

APROBADA

Loja, 09 de agosto del 2018

Atentamente;

Ing. Aurita Geovania Gonzaga, Mg.Sc
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

Ing. Diana Karina Ochoa, Mg.Sc
VOCAL DEL TRIBUNAL

Ing. Carlos Guillermo Chuncho, Mg.Sc
VOCAL DEL TRIBUNAL



AUTORÍA

Yo **MAURICIO ANDRES JARAMILLO SILVA**, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cedula: 1105035396

Fecha: 16 de Julio del 2018.



CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo, **MAURICIO ANDRES JARAMILLO SILVA**, declaro ser autor de la tesis titulada: **“CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL MANEJO DE RELAVES MINEROS EN LA PLANTA DE BENEFICIO REINA DEL CISNE II, SITIO EL PACHE CANTÓN PORTOVELO, PROVINCIA DE EL ORO”**, como requisito para optar al grado de: **INGENIERO EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los quince días del mes de Agosto del dos mil dieciocho, firma el autor.

Firma:

Autor: Mauricio Andrés Jaramillo Silva

Cedula: 1105035396

Dirección: Calle Quito entre 18 de Noviembre y Sucre

Correo: jaramillomauricio2@gmail.com

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Jimmy Stalin Paladines, Mg.Sc

Tribunal de Grado: Ing. Aurita Geovania Gonzaga, Mg.Sc

Ing. Diana Karina Ochoa, Mg.Sc

Ing. Carlos Guillermo Chuncho, Mg.Sc



AGRADECIMIENTO

Es necesario dejar constancia de agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad Agropecuaria y de los Recursos Naturales Renovables, especialmente a la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente representada en cada uno de los docentes que en su momento me brindaron sus conocimientos y apoyo para la formación como futuro profesional. De manera especial:

Al Ing. Jimmy Stalin Paladines, por haber colaborado en la realización del presente proyecto.

A la Planta de Beneficio Reina del Cisne II la cual ha brindado las facilidades necesarias para la correcta ejecución de la presente investigación.

A nuestros familiares, compañeros y amigos que con su apoyo y ánimo impulsaron a la culminación de mi Proyecto de Tesis.

A Dios por brindarme la oportunidad de vivir y cada día ser mejor, por ser siempre el impulso necesario para seguir adelante y haberme bendecido con la mejor familia que pudiera haber deseado, por permitirme a través de este proyecto dar un pequeño aporte al desarrollo de la humanidad.



DEDICATORIA

Es mi deseo como sencillo gesto de agradecimiento, dedicarle mi Trabajo de Grado plasmada en el presente informe, a mis padres por brindarme el apoyo incondicional y saberme formar como persona de bien y de buenos valores, y a mis amigos y personas que han estado siempre a mi lado ayudándome, apoyándome y aconsejándome desinteresadamente.



ÍNDICE GENERAL	Pag.
PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
INDICE DE CONTENIDOS.....	vii
INDICE DE TABLAS.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE FOTOGRAFIAS.....	xii
RESUMEN.....	xvi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
3.1. Minería.....	3
3.2. Yacimientos metálicos.....	3
3.3. Procesamiento de minerales metálicos.....	3
3.3.1. Trituración y molienda.....	4
3.3.2. Proceso de cianuración.....	5
3.3.3. Mecanismo de lixiviación.....	7
3.3.4. Degradación Natural.....	8
3.3.5. Flotación.....	8
3.4. Relaves.....	9
3.4.1. Estudio del relave minero.....	10
3.4.2. Disposición final de los relaves.....	11
3.5. Normativa vigente.....	12
3.5.1. Libro VI, anexo I, del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes del recurso agua.....	12
3.5.2. Libro VI, anexo I, tabla 9, Limites de descarga a un cuerpo de agua dulce..	12



3.5.3. Libro VI, anexo II, del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados.	12
3.5.4. Libro VI, anexo 2, tabla 1, Criterios de calidad del suelo.	13
3.5.5. Libro VI, anexo 2, tabla 2, Criterios para la remediación del Suelo	13
3.6. Generalidades de los metales pesados	13
3.6.1. Propiedades de algunos metales.....	14
3.7. Efecto de los metales pesados sobre la salud.	15
3.7.1. Cadmio	15
3.7.2. Cromo	15
3.7.3. Plomo.....	15
3.7.4. Arsénico.....	16
3.7.5. Cobre	16
3.8. Efecto de los metales pesados en el Ambiente.....	17
3.8.1. Metales pesados en agua y sedimentos	17
3.8.2. Tecnologías de Remediación de Suelos	18
3.8.3. Fitorremediación	19
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
4.1. MATERIALES.....	22
4.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
4.3. Metodología para el primer objetivo “Analizar el proceso industrial de la planta de beneficio Reina del Cisne como generadora de relaves”	23
4.3.1. Revisión de información.....	23
4.3.2. Visita a la Planta de Beneficio y Tratamiento “Reina del Cisne II”	24
4.3.3. Levantamiento Topográfico.....	24
4.4. Metodología para el segundo objetivo “Caracterizar los elementos contaminantes presentes en los relaves de la planta de beneficio Reina del Cisne II”	26
4.4.1. Ubicación de la zona de interés y muestreo.....	26
4.4.2. Protocolo de muestreo de sedimentos para el Relave 1 y Relave 3 de Planta de Beneficio Reina de Cisne II.	28
4.4.3. Protocolo de muestreo de aguas residuales hacia el Rio Calera.	32
4.5. Metodología para el tercer objetivo “Establecer una propuesta tecnológica para la mitigación del principal elemento contaminante conforme lo establece el Tulsma, en los relaves de la planta de beneficio Reina del Cisne II”	37
4.5.1. Gestión de los Relaves de la Planta de Beneficio	38



4.5.2. Manejo de Relaves de la Planta de Beneficio	38
4.5.3. Tratamiento de Relaves en la Planta de Beneficio	38
Finalmente como tratamiento se propone:	38
5. RESULTADOS	39
5.1. DATOS GENERALES	39
5.1.1. Ubicación geográfica.....	40
5.1.2. Acceso	40
5.1.3. Aspecto biofísico.....	41
5.1.4. Aspecto Sociocultural.....	43
5.1.5. Aspecto Económico.....	45
5.2. RESULTADOS ESPECÍFICOS	47
5.2.1. Origen Mineral.....	47
5.2.2. Secuencia del proceso industrial de la planta de beneficio “Reina del Cisne II”	48
5.2.3. Elementos contaminantes presentes en los relaves de la planta de beneficio “Reina del Cisne II”	61
5.2.4. Propuesta tecnológica para la mitigación del principal elemento contaminante en la planta de beneficio “Reina del Cisne II”	67
6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	80
7. CONCLUSIONES	83
8. RECOMENDACIONES	84
9. BIBLIOGRAFÍA	85
ANEXO 1.....	102
ANEXO 2.....	103
ANEXO 3.....	104
ANEXO 4.....	105
ANEXO 5.....	106



ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1. Cianuro aprovechable y solubilidades de las sales de cianuro
- Tabla 2. Libro VI, anexo I, tabla 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce
- Tabla 3. Libro VI, anexo 2, tabla 1, Criterios de calidad del suelo.
- Tabla 4. Libro VI, anexo 2, tabla 2, Criterios para la remediación del Suelo
- Tabla 5. Principales materiales empleados en el desarrollo de la investigación
- Tabla 6. Puntos de control - UTM/WGS 84
- Tabla 7. Datos de la Muestra de Sedimentos Relave 1
- Tabla 8. Datos de la Muestra de Sedimentos Relave 3
- Tabla 9. Datos de Parámetros a ser analizados
- Tabla 10. Datos para la medición del Caudal.
- Tabla 11. Datos de la Muestra de agua.
- Tabla 12. Datos de Parámetros a ser analizados de aguas residuales
- Tabla 13. Datos Generales de la Planta de Beneficio
- Tabla 14. Estaciones de precipitación consideradas
- Tabla 15. Resultados de los análisis de Sedimentos del Relave 1
- Tabla 16. Resultados de los análisis de Sedimentos del Relave 3
- Tabla 17. Datos del Caudal en el Punto de Descarga de aguas.
- Tabla 18. Resultados de los análisis de Aguas Residuales.
- Tabla 19. Mecanismos de absorción de Metales
- Tabla 20. Resultados del análisis de metales pesados.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procesos de separación y concentración de un mineral.

Figura 2. Principio de separación por flotación

Figura 3. Clasificación de las tecnologías de Remediación

Figura 4. Proceso de Fitoremediación

Figura 5. Planta de “Beneficio Reina del Cisne II”

Figura 6. Rio Calera Amarillo y Pindo

Figura 7. Población Portovelo

Figura 8. Tasa de Analfabetismo

Figura 9. Actividades económicas.

Figura 10. Concesiones Mineras “MIOPI” y “MIRANDA ALTO”

Figura 11. Secuencia de procesos de la Planta de Beneficio Reina del Cisne

Figura 12. Relación de contaminantes presentes en relaves y aguas residuales

Figura 13. Especie *Myoporum laetum*.

Figura 14. Especie *Polylepis racemosa*

Figura 15. Especie *Buddleja coriacea*

Figura 16. Remoción del Cobre (Cu) por las especies forestales.

Figura 17. Especie *Myoporum laetum*

Figura 18. Remoción de Cu del Relave 3 por la especie *Myoporum laetum*

Figura 19. Área -Fitorremediación en la planta de beneficio Reina del Cisne II

Figura 20. Bloques elaborados con agregados de relaves mineros



INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Estación Trimble s5.

Fotografía 2. Relave 1/Descarga Principal

Fotografía 3. Relave 3/Disposición Final.

Fotografía 4. Punto de Descarga hacia el Río Calera

Fotografía 5. Colecta de la Muestras

Fotografía 6. Etiqueta de las Muestras

Fotografía 7. Muestras de los Relaves 1 y 3

Fotografía 8. Punto de Descarga hacia el Río Calera

Fotografía 9. Medición de Caudal a través del Método Volumétrico

Fotografía 10. Colecta de muestra de agua

Fotografía 11. Muestra de Agua del Punto de Descarga hacia el Río Calera

Fotografía 12. Vías de acceso

Fotografía 13. Área de stock

Fotografía 14. Criba fija de barrotes

Fotografía 15. Tolva alimentador mecánico

Fotografía 16. Trituradora

Fotografía 17. Bandas Módulo de trituración

Fotografía 18. Molino de rueda tipo trapiche Chilenos

Fotografía 19. Bayetas

Fotografía 20. Piscinas de Sedimentación/Recirculación de agua



Fotografía 21. Descarga de agua/Rio Calera

Fotografía 22. Molino de Bolas

Fotografía 23. Tanques Reguladores de Densidad

Fotografía 24. Celdas Serranas

Fotografía 25. Celdas Tipo Denver

Fotografía 26. Tanques o Pozas de escurrimiento del concentrado

Fotografía 27. Bolsas de concentrado

Fotografía 28. Tanque receptor con Bomba/Relave 1-Descarga Principal

Fotografía 29. Relave Secundario

Fotografía 30. Relave 3- Disposición Final



“UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”
Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
Carrera de Manejo y Conservación del Medio Ambiente

**“CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL MANEJO DE RELAVES
MINEROS EN LA PLANTA DE BENEFICIO REINA DEL CISNE II, SITIO EL
PACHE CANTÓN PORTOVELO, PROVINCIA DEL ORO”**



RESUMEN

El presente proyecto denominado “Caracterización Ambiental del Manejo de Relaves Mineros en la Planta de Beneficio Reina del Cisne II, sitio el Pache cantón Portovelo, Provincia del Oro” se desarrolló en el marco de la Carrera de Manejo y Conservación del Medio Ambiente, para lo cual se ha llevado a cabo el análisis del relave minero determinando alternativas que permita proteger el medio físico, biótico y social del ambiente.

Para la elaboración de este trabajo se realizó un conjunto de actividades obteniendo datos de campo y de gabinete, partiendo de esta manera con la descripción de los procesos industriales como generadora de relaves llevados a cabo en la Planta, los cuales consistieron principalmente en Trituración, Clasificación, Molienda, Concentración Gravimétrica y finalmente Flotación

De la misma manera se realizó un levantamiento topográfico que permitió el conocimiento a detalle de la superficie en estudio, procediendo a caracterizar los relaves y aplicar con exactitud la toma de muestras de los mismos, determinando así los principales metales que contaminan el Ambiente.

Una vez identificado los principales contaminantes se procedió a realizar una propuesta tecnológica para la gestión de manejo, tratamiento y disposición de los relaves.

Los resultados de esta investigación serán de gran utilidad para futuros proyectos requiriendo continuar las investigaciones que permitan el manejo sustentable del Ambiente.

Palabras Clave:

- Relave
- Minería
- Manejo
- Tratamiento.



ABSTRACT

The present research called "Environmental Characterization of Mining Tailings Management in Reina del Cisne II Benefit Plant, site Pache canton Portovelo, province of Oro" was developed in the framework of the Career of the Environmental Management and Conservation Program, which has been carried out the analysis of the mining tailings, determining alternatives that allow protect physical medium, biotic and social environment.

For the elaboration of this work, a set of proposed activities was realized to get the field data as a cabinet, starting in this way with the description of the industrial processes as a tailings generator carried out in the plant, which consisted mainly in Crushing, Classification, Grinding, Gravimetric Concentration and finally Flotation.

In the same way a topographic survey was carried out that allowed the detailed knowledge of the surface under study, proceeding to characterize the tailings and apply with exactness the taking of samples of the same ones, determining the main metals that contaminate the Environment.

Once the main pollutants were identified, it proceeds to realize a technological proposal for the management, treatment and disposal of the tailings.

The results of this research will be very useful for future projects requiring continue the investigations that allow the sustainable management of the Environment.

Keywords:

Tailings

Mining

Management

Treatment



1. INTRODUCCIÓN

La importancia de la minería es lo suficientemente relevante para considerar que todas las civilizaciones han dependido en mayor o menor grado de esta actividad. Soto (2014) afirma que el desarrollo de la ciencia y el acelerado crecimiento demográfico, llegan en algunos casos a atentar contra el equilibrio biológico de la tierra, es importante que el hombre sepa armonizarlos y lo mantenga a buen recaudo para las futuras generaciones.

Para el aprovechamiento de la minería se han propuesto numerosas estrategias para que esta fuente de trabajo y riqueza no se convierta en una peligrosa forma de destrucción al medio ambiente. Carrión (2010) afirma que los distritos mineros ubicados al sur del país como el de Portovelo, han venido utilizando técnicas poco eficientes y de muy bajo rendimiento para la recuperación de metales, más aún si la mineralogía permite suponer la necesidad de aplicación de tecnologías limpias de esta manera Medina (2016) señala que el operar en las actividades minero-metalúrgicas en el sector de Portovelo han generado cantidades importantes de roca chancada, conocidas como colas o relaves mineros que después de la separación de las partículas de mineral valioso mediante los procesos de tratamiento y beneficio, los remanentes tienen una disposición final inadecuada.

El sector minero del Pache, cantón Portovelo en la que se ubica la Planta de Beneficio Reina del Cisne II, se encuentra inmersa en el problema descrito y generan grandes cantidades de arenas de relaves, lo cual se constituye en un serio problema ambiental sin resolver, que pone en riesgo a la población que habita el lugar y a su ecosistema, para lo cual se propuso un objetivo general y tres específicos, planteados en los siguientes términos, que orientaron la investigación.



2. OBJETIVOS

Objetivo General:

Desarrollar un proceso tecnológico que permita determinar el manejo sustentable de los relaves generados en la planta de beneficio Reina del Cisne II, determinando la presencia de metales peligrosos y contaminantes al medio.

Objetivos Específicos:

- Analizar el proceso industrial de la planta de beneficio Reina del Cisne como generadora de relaves.
- Caracterizar el principal contaminante presente en los relaves de la planta de beneficio Reina del Cisne II.
- Determinar una propuesta tecnológica para la mitigación del principal elemento contaminante conforme lo establece el Tulsma, en los relaves de la planta de beneficio Reina del Cisne II.



3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Minería

La minería es el conjunto de actividades referentes al descubrimiento y la extracción de minerales que se encuentran debajo de la superficie de la tierra. Los minerales pueden ser metales (como oro y cobre) y no metales (como carbón, amianto, grava (Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales, 2004).

Las zonas mineralizadas de la Tierra han sido generadas por procesos geológicos a lo largo de la historia. Pérez (2008) hace referencia a la edad de la Tierra, aproximadamente 4 500 millones de años, y su importancia en la formación de yacimientos minerales en contraste con el consumo por parte de las sociedades en poco tiempo (unas cuantas decenas de años).

Pérez (2008) agrega que no de todos los yacimientos minerales se pueden extraer las sustancias útiles para el hombre, el material es extraído cuando es económicamente rentable, es decir que los ingresos por venta de un mineral o metal sean superiores a los costos de extracción del mismo, sin embargo hay que considerar que los precios de las materias primas no son constantes sino que cambian diariamente, de acuerdo a la ley de la oferta y la demanda.

3.2. Yacimientos metálicos

Los yacimientos minerales por su forma se pueden dividir en líquidos, gaseosos y sólidos; los metálicos se presentan en forma sólida. Los Yacimientos Minerales se forman durante los procesos de formación de las rocas, tanto ígneas, sedimentarias y metamórficas; hay depósitos minerales relacionados con procesos ígneos, conocidos como endógenos o magmáticos; otros relacionados con procesos sedimentarios y reciben el nombre de exógenos o sedimentogénicos y otros relacionados con procesos metamórficos que reciben el nombre de metamorfogénicos (Vassallo, 2008).

3.3. Procesamiento de minerales metálicos

En el marco de la minería aurífera el procesamiento del material de interés depende del origen del yacimiento. Durán (2008), señala que para yacimientos aluviales se emplean métodos como: manual (batea), canaletas, amalgamación, quema de la amalgama;

mientras que para yacimientos primarios (Minas): manual, chancadora/trituradora, molinos (a bolas), centrífugas rústicas, amalgamación o lixiviación por cianuro, flotación, quema de la amalgama o fundición. La Figura 1 muestra la secuencia de procesos generales que se puede emplear en la recuperación de un mineral metálico.

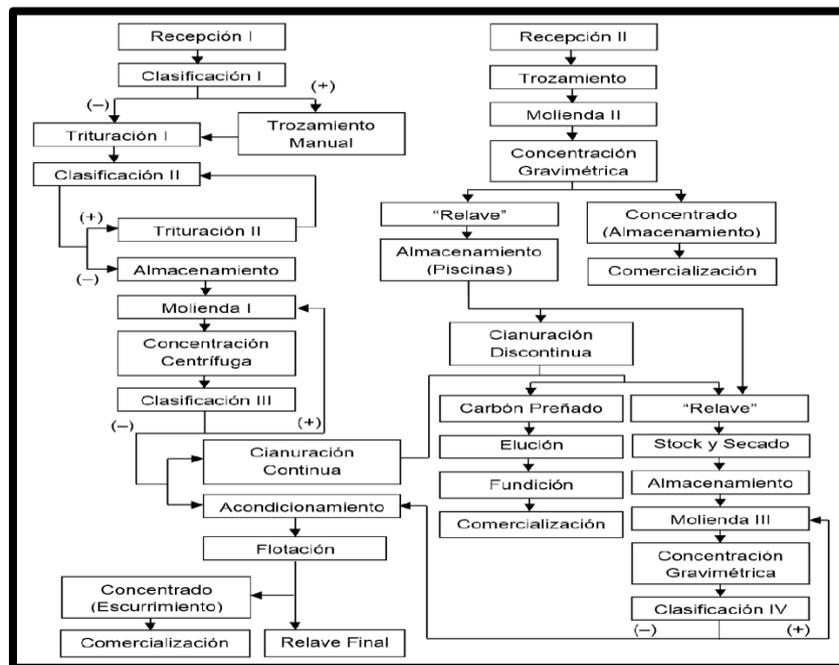


Figura 1. Procesos de separación y concentración de un mineral.

Fuente: Medina (2017)

3.3.1. Trituración y molienda

La desintegración se realiza en distintas etapas y en una gran diversidad de máquinas. Se identifica como etapa de trituración primaria cuando el material extraído de la cantera se trata en una trituradora. Si de allí el material producido pasa a una segunda trituradora, en esta se efectuará la trituración secundaria.

Si sigue triturándose en otra máquina, la terciaria, y así sucesivamente (Bueno, 2017).

Armijos (2011), indica que la trituración de sustancias sólidas transforma un determinado material en trozos de menor tamaño. Para la trituración de los materiales se incrementa su superficie libre según las propiedades físicas de una sustancia, su dureza, su fragilidad, se emplean métodos distintos de trituración que pueden ser: por presión o impacto fractura o corte, se realiza en una trituradora de mandíbulas cuyas ventajas permiten la



manipulación adecuada del material así como también obtener un tamaño de partícula adecuado.

3.3.2. Proceso de cianuración

El cianuro de hidrógeno (HCN) es un gas y las sales simples de cianuro (cianuro de sodio y cianuro de potasio) son sólidos blancos y “entra al aire, al agua y al suelo como consecuencia de procesos naturales y de actividades industriales” por lo que los seres humanos y animales pueden estar expuestos mediante inhalación, ingestión o absorción y una vez que está en los pulmones o el estómago, puede pasar rápidamente a la corriente sanguínea, de la cual cierta porción es transformada a tiocianato, sustancia que es menos peligrosa, y abandona el cuerpo en la orina y una pequeña cantidad es convertida en el cuerpo a anhídrido carbónico, que se elimina en el aliento. El cianuro produce efectos tóxicos a niveles de 0.05 miligramos de cianuro por decilitro de sangre (mg/dL) o mayores y casos fatales han ocurrido a niveles de 0.3 mg/dL o mayores. En casos de exposición a niveles bajos, la mayor parte del cianuro y sus productos abandonan el cuerpo durante las 24 horas después de la exposición (ATSDR, 2016).

Logsdon, Hagelstein y Mudder (2001) señalan que “La forma más tóxica del cianuro es el HCN gaseoso. La Conferencia Norteamericana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) establece el límite de umbral tope de HCN en 4.7 ppm. En concentraciones de 20 a 40 ppm de HCN en el aire, se puede observar cierto malestar respiratorio después de varias horas. La muerte ocurre en pocos minutos con concentraciones de HCN por encima de aproximadamente 250 ppm en el aire. Para el cianuro libre, la dosis letal en humanos por ingestión o inhalación varía entre 50 y 200 mg (1 a 3 mg de cianuro libre por kg. de masa corporal). La dosis letal por absorción dérmica es considerablemente mayor, alrededor de 100 mg por kg de peso corporal.”

Las formas generales de tratamiento para la solución de cianuro de acuerdo con Logsdon, Hagelstein y Mudder (2001), son:

- Degradación natural: El principal mecanismo es la volatilización con posteriores transformaciones atmosféricas a sustancias químicas menos tóxicas. Otros factores como la oxidación biológica, la precipitación y los efectos de la luz solar también contribuyen.
- Oxidación química: incluye el proceso con SO_2 /Aire y el proceso de tratamiento con H_2O_2 .



-Precipitación: de cianuros estables se puede obtener mediante el agregado deliberado de complejantes tales como el hierro. Esto reduce la concentración de cianuro libre y también es eficaz para controlar los elevados niveles de otros metales presentes.

-Biodegradación: estos sistemas remueven el cianuro empleando microorganismos aeróbicos o anaeróbicos.

-Reciclado: El reciclado reduce las concentraciones de cianuro en las soluciones residuales y disminuye el costo de la destrucción del cianuro

Logsdon, Hagelstein y Mudder (2001), mencionan que “la minería es una actividad industrial que utiliza una cantidad significativa de cianuro, aproximadamente un 20 % de la producción tal. Desde 1887, las soluciones de cianuro se han utilizado principalmente para extraer oro y plata de material mineral, que de otro modo no podrían extraerse fácilmente. Además, el cianuro se utiliza en concentraciones bajas como un reactivo de flotación para ayudar a recuperar metales base como el plomo, el cobre y el zinc”.

Luzuriaga (2001), observa que el proceso de cianuración comprende la “disolución de metales preciosos como el oro y la plata en una solución alcalina, requiere básicamente, de un agente complejante que en este caso es el Cianuro de Sodio (NaCN) y un agente oxidante que es el Oxígeno suministrado por el aire”. El mismo autor señala que las sales de cianuro (Tabla 1) se ionizan en el agua, resultando en el catión del metal correspondiente y el ion cianuro libre.

Tabla 1. *Cianuro aprovechable y solubilidades de las sales de cianuro.*

Sal de cianuro	Cianuro Aprovechable (%)	Solubilidad en agua a 25°C (g/100ml)
NaCN	53.1	48
KCN	10.0	50
Ca(CN) ₂	56.5	Se descompone

Fuente: Luzuriaga (2001)

Los valores de la Tabla 1, muestran que el cianuro de calcio posee fácil descomposición con el agua y que el de potasio posee baja cantidad aprovechable, por tal razón el uso de cianuro de sodio es preferencial.

Velasco C. (2015) citando a Lara (2005), destaca que “la velocidad de disolución del oro nativo depende entre otros factores, del tamaño de la partícula, grado de liberación, contenido de plata. Es la práctica común, remover el oro grueso (partículas de tamaño



mayores a 150 mallas o 0,105 mm), tanto como sea posible, mediante concentración gravitacional antes de la cianuración, de manera de evitar la segregación y pérdida del mismo en varias partes del circuito”.

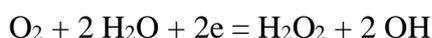
3.3.3. Mecanismo de lixiviación

Logsdon, Hagelstein y Mudder (2001), mencionan que el proceso de disolución de metales se denomina lixiviación. El cianuro de sodio se disuelve en agua donde, en condiciones ligeramente oxidantes, disuelve el oro contenido en el mineral. Las operaciones de minería del oro utilizan soluciones muy diluidas de cianuro de sodio (NaCN), típicamente entre 0.01% y 0.05% de cianuro (100 a 500 partes por millón).

Luzuriaga (2001), afirma que “la Teoría de Elsner, la de mayor aceptabilidad, dio a conocer por primera vez la importancia del oxígeno en el proceso de disolución de oro y plata, su ecuación es correcta estequiométricamente pero no describe completamente las reacciones catódicas en el proceso de disolución”, dicha ecuación se muestra a continuación:



Además el mismo autor señala las reacciones catódicas en la siguiente ecuación



En donde en la segunda parte de la ecuación anterior el peróxido de hidrógeno formado puede reaccionar de dos formas:



Sin embargo, Luzuriaga (2001), resalta que “la reacción (b) se produce en una pequeña proporción, y que el peróxido de hidrógeno no es un agente oxidante eficiente, puesto que a pesar de producir un incremento ligero en la disolución de oro en un inicio, (debido al incremento en la concentración de oxígeno), su adición en grandes cantidades puede producir la pasivación de la superficie del oro por la formación de una capa de óxido”.

Mientras que por otro lado, Luzuriaga (2001), señala las reacciones anódicas como:



El autor en mención destaca que “en la solución alcalina de cianuro, en medio acuoso, se produce la disolución de oro, cuyo complejo aurocianurado es: Au (CN)_2^- ”. A su vez Luzuriaga (2001), menciona que “la plata metálica reacciona de manera similar.



3.3.4. Degradación Natural

Mamani (2007), señala que en los relaves el principal mecanismo de degradación natural del cianuro (CN^-) es la volatilización de ácido cianhídrico o (HCN), donde “El pH se rebaja por la absorción natural de bióxido de carbono del aire y por la adición de agua de lluvia de bajo pH que está relativamente saturada de bióxido de carbono. Este descenso del pH determina un cambio en el equilibrio CN^-/HCN incrementando la volatilización de HCN ”.

Además Fernández (2007), resalta que “debido a su baja temperatura de volatilización (en torno a los $26\text{ }^\circ\text{C}$) y a su elevada presión de vapor (100 KPa a dicha temperatura), el ácido cianhídrico se volatiliza desde la solución, diluyéndose en la atmósfera en fase gaseosa”. Dicho autor también señala que la tasa de volatilización del ácido cianhídrico de la solución se incrementa con:

- Descenso del pH.
- Aumento de la Temperatura.
- Incremento de la aireación o agitación de la solución.
- Incremento del área de exposición de la solución (relaveras de gran superficie y poca profundidad).
- Presencia de catalizadores como el cobre o el carbón activado (generalmente presentes, el cobre por aparecer de forma generalizada en menas auríferas y el carbón activado por formar parte del proceso de recuperación del oro).

3.3.5. Flotación

Es utilizado ampliamente en el enriquecimiento de minerales y otros procesos de separación. Este método involucra fenómenos variados entre los cuales existe uno de primera importancia en cuanto a los resultados: la hidrofobación de una superficie por adsorción de sustancias surfactantes.

Primero y para fijar las ideas conviene explicar brevemente el proceso de separación por flotación. El caso típico consiste en separar un mineral valioso, por ejemplo un sulfuro de plomo de tipo galena, de los aluminio-silicatos que lo acompañan referidos como tierra o ganga en términos metalúrgicos (Salager y Forgiarini, 2007).

Después de moler el mineral se tiene un polvo que contiene partículas de galena y partículas de ganga; se desea separarlas mediante un proceso físico, ya que un ataque químico resultaría muy costoso. Para eso se usa el hecho de que la superficie de las partículas de galena es diferente de aquella de las partículas de ganga. Como se muestra en la Figura 2, la galena puede cubrirse con sustancias hidrofobantes (en este caso xantatos que producen una superficie no mojable al agua), mientras que la ganga permanece mojable al agua (Salager y Forgiarini, 2007).

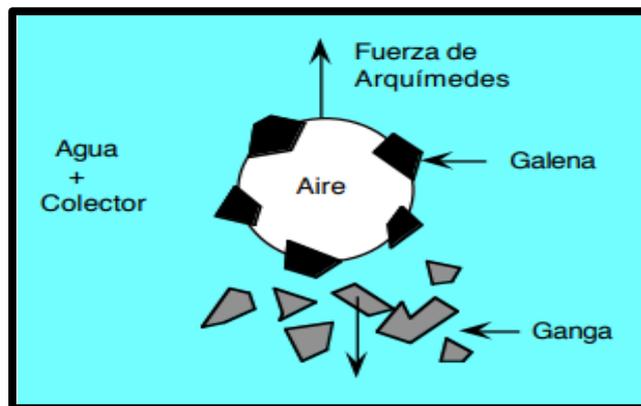


Figura 2. Principio de separación por flotación.

Fuente: Salager y Forgiarini (2007)

3.4. Relaves.

García y Tongombol (2014), señala que la actividad minera implica la extracción física de grandes cantidades de materiales, para recuperar sólo pequeños volúmenes de producto deseado” y sostienen que “el chancado y molienda de minerales genera un volumen de relaves que es aproximadamente dos tercios más grande que el volumen original del mineral “in situ” », convirtiéndose, en el “mayor problema ambiental asociado con el desarrollo minero”.

Adicionalmente, a la cantidad de relave producido se han identificado dos problemas: la contaminación con cianuro producto del método de lixiviación utilizado comúnmente para la extracción del oro y la presencia de metales pesados, que al decir de Romero, Flores y Medina (2008) “la liberación de metales de los lugares mineros ocurre principalmente a través de drenaje ácido de mina y erosión de desechos en pilas y depósitos de relaves. Cuando estos depósitos contienen sulfuros (pirita) y hay acceso de oxígeno, se obtienen resultados de drenaje ácido de mina (DAM). Dependiendo de la



naturaleza de los desechos de rocas y depósitos de relaves, este DAM contendrá elevados niveles de metales pesados.”

3.4.1. Estudio del relave minero

De acuerdo con el Ministerio de Minería de la República de Chile (2007) los relaves mineros se consideran como una “suspensión de sólidos en líquidos formando una pulpa, que se generan y desechan en plantas de concentración húmeda de especies minerales que han experimentado una o varias etapas en circuito de molienda fina”, es decir las partículas minerales de roca que no poseen interés económico en una fase acuosa.

Debido a que los relaves poseen cierto contenido de agua, la cual les confiere fluidez, haciendo posible el movimiento de los mismos por efectos de la gravedad, se requiere depositarlos o almacenarlos, generalmente en estanques o tranques. Ramírez (2007), señala que “las alternativas a utilizar en la depositación de un material de relaves, dependerá de las características de los relaves que produce la planta (cantidad suficiente de material tamaño arena), del costo del agua (si es escasa, se justifican inversiones en equipos para optimizar su recuperación) y, de las características del lugar de emplazamiento del depósito de relaves”

En este contexto Marín (2011), menciona que de manera general “los residuos de los procesos mineros pueden ser vertidos en las relaveras o depósitos de tres formas fundamentales: húmedos, secos y lodos; siendo este último el más utilizado actualmente y el más ampliamente conocido”.

Según Romero y Flores (2010), reconocen que los relaves mineros existen en “dos modalidades, como pasivos mineros y activos mineros”, los primeros involucran “botaderos (escombreras) y los relaves (presas de colas) de minas que dejaron de operar o en abandono” y los segundos corresponden a los “relaves del proceso de flotación de minerales polimetálicos, que corresponden a los “relaves mineros de minas en operación” En el grupo de los depósitos superficiales destacan las relaveras como uno de los métodos más empleados en los proyectos mineros, las cuales consisten en áreas de disposición para los desechos sólidos con cierto porcentaje de humedad Marín (2011), destaca que consisten en excavaciones de forma trapezoidal con 3 a 8 metros de profundidad y de 10 a 50 metros de longitud aproximadamente, además señala que para su construcción se requiere de una gran extensión de suelo con una topografía plana. A pesar de su



confinamiento, los relaves son una carga contaminante y las relaveras eminentemente implican un riesgo de acuerdo a sus condiciones de emplazamiento, adecuación, mantenimiento, entre otros factores, como se demostró al producirse la tragedia provocada por la rotura de dos diques de contención de relaves de la mina Samarco, minera de Manriana en Minas Gerais en Brasil, distrito de Bento Rodríguez.

El informe de la Cámara de Diputados de Chile (2011), clasifica a los relaves en tres tipos de acuerdo a su contenido de agua, de la siguiente manera:

-Relaves espesados, son aquellos que tienen mayor contenido de agua y en los que, generalmente, mediante un proceso de sedimentación, se separa parte del agua que se recupera y el resto se deposita en el tranque o embalse.

-Relaves filtrados, en estos se trata de recuperar la mayor cantidad de agua para reutilizarla en los procesamientos de minerales. En este caso el contenido de agua no supera el 20 por ciento de humedad.

-Relaves en pasta, que es una situación intermedia entre relaves espesados y filtrados los cuales se acumulan generalmente en depósitos de pasta, constituyéndose en una técnica distinta de los embalses y de los tranques

3.4.2. Disposición final de los relaves

Ramírez (2007), señala que “las alternativas a utilizar en la depositación de un material de relaves, dependerá de las características de los relaves que produce la planta (cantidad suficiente de material tamaño arena), del costo del agua (si es escasa, se justifican inversiones en equipos para optimizar su recuperación) y, de las características del lugar de emplazamiento del depósito de relaves”.

En este contexto Marín (2011), menciona que de manera general “los residuos de los procesos mineros pueden ser vertidos en las relaveras o depósitos de tres formas fundamentales: húmedos, secos y lodos; siendo este último el más utilizado actualmente y el más ampliamente conocido”



3.5. Normativa vigente.

3.5.1. Libro VI, anexo I, del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes del recurso agua.

La norma tiene como objetivo la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en lo relativo al recurso agua. El objetivo principal de la presente norma es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general. Las acciones tendientes a preservar, conservar o recuperar la calidad del recurso agua deberán realizarse en los términos de la presente Norma.

3.5.2. Libro VI, anexo I, tabla 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Dentro del límite de actuación, los municipios tendrán la facultad de definir las cargas máximas permisibles a los cuerpos receptores de los sujetos de control, como resultado del balance de masas para cumplir con los criterios de calidad para defensa de los usos asignados en condiciones de caudal crítico y cargas contaminantes futuras. Estas cargas máximas serán aprobadas y validadas por la Autoridad Ambiental Nacional y estarán consignadas en los permisos de descarga.

Si el sujeto de control es un municipio, este podrá proponer las cargas máximas permisibles para sus descargas, las cuales deben estar justificadas técnicamente; y serán revisadas y aprobadas por la Autoridad Ambiental Nacional (Ver Anexo 1, Tabla 2).

3.5.3. Libro VI, anexo II, del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados.

La norma tiene como objetivo la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en lo relativo al recurso suelo. El objetivo principal de la presente norma es preservar o conservar la calidad del recurso suelo para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general. Las acciones



tendientes a preservar, conservar o recuperar la calidad del recurso suelo deberán realizarse en los términos de la presente Norma Técnica Ambiental

3.5.4. Libro VI, anexo 2, tabla 1, Criterios de calidad del suelo.

Los criterios de calidad, son valores de fondo aproximados o límites analíticos de detección para un contaminante en el suelo. Para los propósitos de esta Norma, los valores de fondo se refieren a los niveles ambientales representativos para un contaminante en el suelo. Los valores pueden reflejar las variaciones geológicas naturales de áreas no desarrolladas o libres de la influencia de actividades industriales o urbanas generalizadas (Ver Anexo 2, Tabla 3).

3.5.5. Libro VI, anexo 2, tabla 2, Criterios para la remediación del Suelo

Los criterios de Remediación o Restauración se establecen de acuerdo al uso que del suelo (agrícola, comercial, residencial e industrial), tienen el propósito de establecer los niveles máximos de concentración de contaminantes de un suelo en proceso de remediación o restauración (Ver Anexo 3, Tabla 4).

3.6. Generalidades de los metales pesados

Los metales se definen en base a sus propiedades físicas en el estado sólido como son: alta reflectividad, alta conductividad eléctrica, alta conductividad térmica, propiedades mecánicas como fuerza y ductilidad. Otra definición más práctica, desde el punto de vista de la toxicidad, se basa en sus propiedades cuando están en solución: “metal es un elemento que bajo condiciones biológicas puede reaccionar perdiendo uno o más electrones para formar un catión” (Cornelis y Nordberg, 2007). Son elementos que tienen pesos atómicos entre 63.546 y 299.590 con una gravedad específica mayor a 4.0 (Ramírez, 1999).

Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse. Lo cual significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración del producto químico en el ambiente. Lo que hace tóxicos a los metales pesados no son en general sus características esenciales, sino las concentraciones en las que pueden presentarse, y casi más importante aún, el tipo de especie que forman en un determinado medio.



Metales pesados más frecuentes en los suelos: Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni y Zn

Micronutrientes: As, B, Co, Cr, Mo, Mn, Ni, Se, Zn

Grupo tóxico: As, Hg, Cd, Zn, Pb, Tl, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Se, Sn

Los metales pesados, potencialmente tóxicos, pueden ser subdivididos en dos categorías:

1) Metales de transición: Co, Fe, Cu, Mn y Zn, los cuales son esenciales para el metabolismo en bajas concentraciones, pero que pueden ser tóxicos en concentraciones elevadas.

2) Metales o metaloides: Pb, Cd, Hg, As, Cr, Se y Sn, los cuales no son requeridos para el metabolismo y son potencialmente tóxicos aun en concentraciones bajas (Páez-Osuna, 2005).

3.6.1. Propiedades de algunos metales

-Plomo: Proviene de fuentes naturales y antropogénicas. Puede ingresar al organismo por el agua, alimentos, tierra y polvillo desprendido de viejas pinturas que contienen plomo. Es maleable, dúctil y se le puede dar forma con facilidad. Asimismo, es uno de los metales no ferrosos que más se recicla. Se le emplea en aleaciones, baterías, compuestos y pigmentos, revestimiento para cables, proyectiles y municiones. La exposición puede tener diversos efectos en humanos. Los niveles altos de exposición pueden afectar la síntesis de hemoglobina, la función renal, el tracto gastrointestinal, las articulaciones y el sistema nervioso (Duffus, 2002).

-Cadmio: Es un micronutriente esencial para los humanos, animales y plantas. Sus propiedades tóxicas son similares a las del zinc, ya que proviene principalmente de la refinación del zinc. Es persistente en el ambiente y es absorbido por el organismo humano puede persistir por décadas antes de ser excretado. En humanos, la exposición prolongada se relaciona con la disfunción renal. También puede llevar a enfermedades pulmonares, se le ha relacionado con el cáncer de pulmón y puede provocar osteoporosis en humanos y animales. El ingreso medio diario, para humanos se estima en 0.15 µg proveniente del aire y 1 µg del agua (Duffus, 2002).



3.7. Efecto de los metales pesados sobre la salud.

3.7.1. Cadmio

El cadmio es ampliamente distribuido en niveles muy bajos en el medio ambiente. Hasta donde se sabe se considera un metal no esencial para los humanos, plantas y animales. El cadmio se acumula principalmente en el hígado y riñón de los organismos y se tiene conocimiento que lesiona principalmente los mecanismos de regulación de los iones, más que afectar las funciones respiratorias nerviosas (Hellawell, 1989).

El cadmio es absorbido por el cuerpo humano lentamente, con un tiempo de vida medio estimado de 10-30 años.

3.7.2. Cromo

La toxicidad asociada con el cromo se debe principalmente a una exposición industrial a los compuestos de cromo hexavalente. Esta forma irrita la piel y la sensibiliza. Cuando los trabajadores en la producción de cromatos y de pigmentos con cromo se exponen a concentraciones de 0.1 mg/m³ en el aire, pueden desarrollar cierta incidencia de cáncer en la piel.

La estimación diaria de ingreso de cromo en humanos es de 0.03 a 0.1 mg/persona/día. El cromo trivalente es esencial para los seres humanos y se requiere de tal elemento para tener un balance normal en el metabolismo del colesterol, la insulina y la homeostasis de la glucosa. La deficiencia de cromo está asociada con el decremento a la tolerancia a la glucosa, en algunas formas de diabetes y en decesos cardiovasculares (Páez-Osuna, 2005).

3.7.3. Plomo

El plomo ingresa al organismo principalmente por vía respiratoria y gastrointestinal. Una vez en el torrente sanguíneo, se acumula dentro de los glóbulos rojos, donde interfiere en la síntesis del grupo hemo, ocasionando anemia. Luego de aproximadamente un mes se redistribuye a diferentes órganos y tejidos, generando alteraciones en el sistema nervioso, hematopoyético, cardiovascular, reproductivo y renal. Finalmente, se deposita en tejidos duros como huesos, uñas y dientes, donde puede permanecer acumulado durante toda la vida. Cabe destacar que el plomo es teratógeno, porque atraviesa con facilidad la barrera



placentaria, encontrándose concentraciones comparables del metal en la sangre de la madre y del recién nacido (Fontana, 2013).

3.7.4. Arsénico

El arsénico es un metaloide presente como compuestos inorgánicos (arsenitos y arseniatos), compuestos orgánicos (compuestos metilados, arsenolípidos, arsenoazúcars). Se encuentra en la naturaleza principalmente en minerales sulfurosos, siendo la arsenopirita (FeAsS) la forma más abundante. El efecto más característico de la exposición prolongada a arsénico inorgánico es un cuadro de alteraciones de la piel tales como la hiper-pigmentación y queratosis. Estas incluyen un oscurecimiento de la piel y la aparición de pequeños callos o verrugas en la palma de las manos, la planta de los pies y el torso, a menudo asociados con alteraciones en los vasos sanguíneos de la piel. Un número pequeño de callos puede en el largo plazo transformarse en cáncer de piel. La exposición más prolongada a niveles más bajos puede producir efectos en la piel y también desórdenes circulatorios y de los nervios periféricos. Si la piel entra en contacto directo con compuestos inorgánicos de arsénico, esta puede sufrir irritación, enrojecimiento e hinchazón. La ingestión de arsénico en agua o en alimento y la exposición a emisiones atmosféricas de compuestos de arsénico produce cáncer pulmonar y cáncer de vejiga. El arsénico presenta generalmente una mayor toxicidad en su estado de oxidación +3 que en el estado de oxidación +5 (Alcaino, 2012).

3.7.5. Cobre

El cobre es un metal maleable y dúctil, esencial en el metabolismo humano. Se encuentra principalmente en minerales en forma de sulfuros y de óxidos. La ingestión de sulfato de cobre en altas cantidades (gramos) produce náuseas, vómitos, calambres estomacales, diarrea, sudoración, hemólisis intravascular y posible falla renal; en raras ocasiones convulsiones, coma y muerte. La ingestión intencional de niveles altos de cobre puede producir daño del hígado y los riñones y puede causar la muerte. La ingestión de agua en contacto con recipientes de cobre puede producir irritación del tracto gastrointestinal. La inhalación de polvos, humos o nieblas de sales de Cu puede causar congestión nasal y de las mucosas y ulceración con perforación del tabique nasal. Los efectos tóxicos tras exposición a largo plazo (intoxicación crónica) sólo parecen existir en personas que



padecen la enfermedad de Wilson (heredada genéticamente) manifestando en casos de intoxicación lesiones en el hígado, riñones, sistema nervioso central, huesos y ojos. La exposición prolongada a polvos de cobre puede irritar la nariz, la boca, los ojos y causar dolores de cabeza, mareo, náusea y diarrea (Alcaino, 2012).

3.8. Efecto de los metales pesados en el Ambiente

Los efectos de los metales pesados son bastante graves contaminan el agua y los cultivos. En los cuales si hay presencia de una cantidad excesiva de plomo se pueden producir algunas alteraciones en las plantas, también degrada el suelo, lo cual disminuye su productividad. A nivel de los ríos y lagos, también afecta principalmente la fauna.

- 1.- Los metales pesados entran en la cadena alimenticia y se acumulan en los tejidos grasos de los organismos vivos incluyendo al ser humano.
- 2.- Son altamente tóxicos.
- 3.- Se evaporan y viajan grandes distancias en el aire y en el agua lo que hace más difícil controlar y determinar las áreas contaminadas con precisión.
- 4.- Son persistentes, es decir, duran varios años o décadas antes en degradarse a formas menos dañinas (Yarto, 2005).

3.8.1. Metales pesados en agua y sedimentos

Los sedimentos son un componente ecológicamente importante en el hábitat acuático, es un reservorio natural de contaminación (Chapman, 1989). La presencia de sedimentos contaminados en ambientes acuáticos, ya sea en aguas continentales o en aguas marinas, es un hecho constatado a nivel mundial, sobre todo a partir de la segunda mitad del siglo XX. La existencia de estos sedimentos es debido tanto a los vertidos incontrolados desde industrias como a la utilización de productos químicos tales como los pesticidas que van a parar a los sedimentos una vez que son transportados desde zonas agrícolas por las aguas. En otros casos, éstos son debido a los vertidos "controlados" tales como emisores submarinos que vierten aguas residuales principalmente domésticas, aunque en aquellas zonas donde no existe separación de tratamiento y "conducción", se mezclan las aguas residuales industriales con las domésticas, aumentando la carga contaminante y el nivel de toxicidad (Jiménez, 2001).



La presencia de elementos metálicos en sistemas acuáticos fluviales y costeros se origina por las interacciones del agua con los sedimentos y la atmósfera con la que está en contacto, produciéndose fluctuaciones en las concentraciones en el agua, como resultado de las fuerzas hidrodinámicas naturales, biológicas y químicas (Rainbow, 1995).

Los efectos en los sistemas acuáticos de los metales pesados, su biodisponibilidad y toxicidad están estrechamente relacionados con la distribución de las especies en las fases sólida y líquida de las masas de agua. Por ejemplo, la liberación de metales pesados de los sedimentos promueve, un déficit de oxígeno disuelto, una disminución en el pH y potencial redox (Eh), un aumento en la mineralización y en la concentración de materia orgánica disuelta (DOM) (Linnik y Zubenko, 2000). Este fenómeno es uno de los problemas más graves que los metales pesados presentan como contaminantes del medio acuático (Mandelli, 1979).

3.8.2. Tecnologías de Remediación de Suelos

En términos generales las tecnologías de remediación de suelos y/o aguas subterráneas abarcan todas aquellas operaciones que tienen por objetivo reducir la toxicidad, movilidad o concentración del contaminante presente en el medio, mediante la alteración de la composición de la sustancia peligrosa o del medio, a través de acciones químicas, físicas o biológicas. La elección de cada tecnología depende de las características del suelo y del contaminante, de la eficacia esperada y por supuesto de la factibilidad técnico-económica y el tiempo requerido para su ejecución.

Existe una gran variedad de tecnologías de remediación, las cuales se pueden clasificar bajo distintos criterios: objetivo de la remediación, lugar en que se aplica el proceso de remediación y tipo de tratamiento utilizado. Además de los criterios anteriores, también pueden clasificarse en base al grado de desarrollo técnico en el que se encuentran. A continuación en la Figura 3, se muestra el resumen para la clasificación de las tecnologías de remediación:

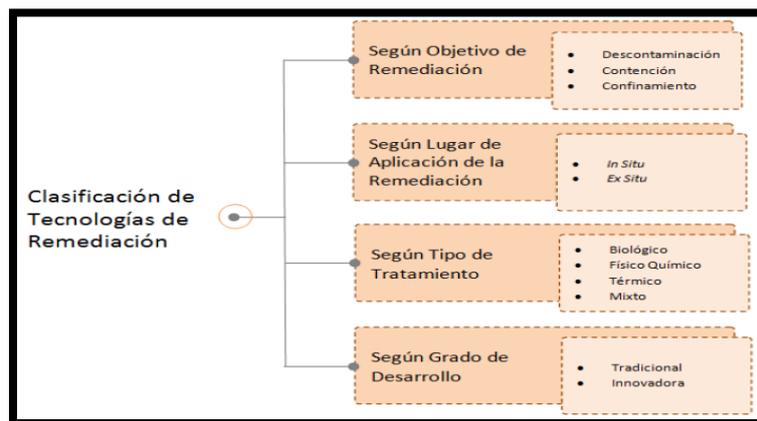


Figura 3. Clasificación de las tecnologías de Remediación

Fuente: Alcaino (2012)

Según el objetivo de remediación, las técnicas de descontaminación se enfocan en la disminución o eliminación de la concentración de los contaminantes del medio, las técnicas de contención son las que aíslan los contaminantes del medio sin tener que actuar en él, y las técnicas de confinamiento alteran las condiciones fisicoquímicas del medio consiguiendo la reducción de la movilidad de los contaminantes. Si se considera el lugar de aplicación, las técnicas *In Situ* son las que se aplican directamente en el sitio contaminado y las técnicas *Ex Situ* son aquellas en que se requiere de la extracción del medio contaminado para poder ser tratado.

3.8.3. Fitorremediación

La fitorremediación es un proceso que utiliza plantas para remover, transferir, estabilizar, concentrar y/o destruir contaminantes (orgánicos e inorgánicos) en suelos, lodos y sedimentos, y puede aplicarse tanto *in situ* como *ex situ*. Los mecanismos de fitorremediación incluyen la rizodegradación, la fitoextracción, la fitodegradación y la fitoestabilización (Volke, 2002). En contraste con otras tecnologías, es poco costosa, estéticamente agradable y requiere de pocos recursos (Glass, 1999).

Los contaminantes se incorporan a la planta en su forma disuelta, y favorece este proceso de asimilación la acción de las raíces a partir de sus exudaciones que modifican condiciones ambientales en la rizósfera, como el pH y el potencial redox y la actividad microbiana (Doménech, Peral, 2006).

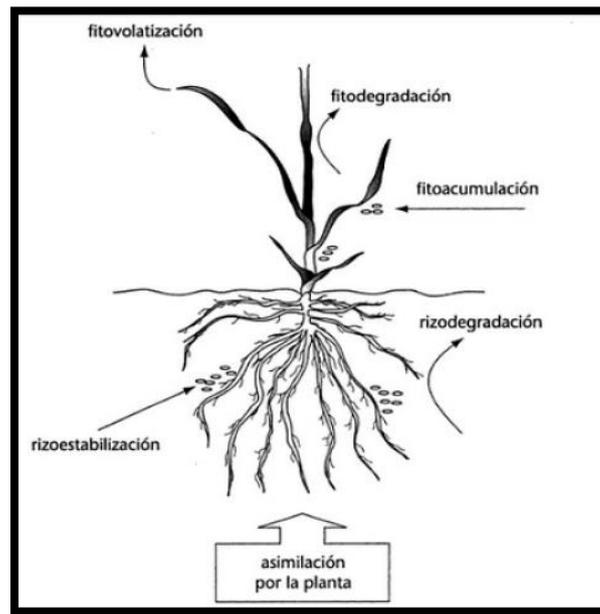


Figura 4. Proceso de Fitoremediación

Fuente: Callirgos (2014)

3.8.3.1. Fitoacumulación

La fitoacumulación es la absorción de los contaminantes a través de las raíces y su posterior acumulación en tallos y hojas (Bureau Veritas, 2008).

3.8.3.2. Rizodegradación

La rizodegradación se lleva a cabo en el suelo que rodea a las raíces, las sustancias excretadas naturalmente por éstas, suministran nutrientes para los microorganismos, mejorando así su actividad biológica (Volke, 2002).

3.8.3.3. Fitoextracción

La fitoextracción es la eliminación del contaminante del suelo y acumulación en el tejido de la planta (Calvelo, Monterroso, Camps, Macías, 2008). La fitoextracción de metales pesados se basa en el uso de plantas que poseen una capacidad natural por encima de lo usual para absorber y concentrar en sus partes aéreas determinados metales pesados (principalmente As, Cd, Co, Ni, Se o Zn) sin desarrollar síntomas de toxicidad (Diez, 2008).



3.8.3.4. Fitodegradación

La fitodegradación consiste en el metabolismo de contaminantes dentro de los tejidos de la planta, a través de enzimas que catalizan su degradación (Volke, 2002).

3.8.3.5. Fitoestabilización

En la fitoestabilización, las plantas limitan la movilidad y biodisponibilidad de los contaminantes en el suelo, debido a la producción en las raíces de compuestos químicos que pueden adsorber y/o formar complejos con los contaminantes, inmovilizándolos así en la interfase raíces-suelo (Sellers, 1999). Se basa en que las plantas, o los compuestos que estas secretan, estabilizan niveles bajos de contaminantes presentes en el suelo, por ejemplo por absorción o por precipitación, para evitar que se movilizan o se lixivien de modo que pudieran llegar a afectar la salud pública (Salt, 1995; Cunningham, 1995). Mecanismos posibles podrían incluir el secuestro del contaminante en la pared celular mediante ligninas (lignificación), la absorción de contaminantes por el humus, vía enzimas de las plantas o de microbios, o por otros mecanismos en los que el contaminante es secuestrado en el propio suelo, por ejemplo ligándolo a la materia orgánica.

3.8.3.6. Fitovolatilización

Implica la captación de contaminantes volátiles (Hg y Se) por plantas y su posterior volatilización o liberación (en su forma original o modificada) a la atmósfera (Volke, Velásco y De la Rosa Pérez, 2005).



4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. MATERIALES

Los materiales empleados en el presente trabajo investigativo se dividen en 3 categorías:

- Materiales de campo: Necesarios para recopilar la información en el lugar de estudio.
- Materiales de oficina: Empleados en el análisis y generación de datos e información.
- Materiales de laboratorio: Utilizados al realizar los diferentes ensayos y pruebas químicas, físicas y mecánicas

En la Tabla 5, se muestran los principales materiales empleados en la presente investigación de acuerdo a las categorías señaladas.

Tabla 5. Principales materiales empleados en el desarrollo de la investigación

MATERIALES DE CAMPO	MATERIALES DE OFICINA
GPS	Computadora
Estación Total	Impresora
Guantes	Programa Arcgis 10.3
Cámara Fotográfica	Documentos Bibliográficos
Libreta de campo	
Cinta métrica	
Fundas plásticas	
Baldes	
EPP (mascarillas, casco y botas)	

Fuente: El autor (2018)



4.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio de la “Caracterización ambiental del manejo de relaves mineros en la planta de beneficio Reina del Cisne II” desarrollado en la carrera de Manejo y Conservación del Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Loja y de acuerdo con la estructura de la investigación y los objetivos propuestos se ejecutaran dos tipos de investigación no experimental, pues en esta fase del estudio se buscara describir situaciones presentes en el área de estudio.

El diseño metodológico de la investigación no experimental conllevara a la realización de investigación de campo, se realizara directamente en la planta de tratamiento y beneficio “Reina del Cisne II”, estableciendo un contacto directo con su realidad y los problemas, para lo cual fue necesario la aplicación de métodos y técnicas para la recolección de información directa y describir los procesos, siendo necesario utilizar la investigación no experimental transversal que se centró en analizar cuál es la relación entre un conjunto de variables en un punto en el tiempo, por lo que se recolectaron datos en un periodo único para describir la naturaleza actual de la disposición de los equipos, materiales y los procesos, dentro del sitio de trabajo.

Por otra parte, la Investigación Experimental se empleó debido a que se ajusta a las exigencias del proyecto, ya que permite analizar las características del relave minero, constituyéndose en la variable a manipular de acuerdo a los análisis de las diferentes muestras en puntos específicos del mismo, siendo de esta manera variables dependientes el mayor contaminante presente y el impacto ambiental que este genera, que fueron evaluadas al someter a análisis de laboratorio y verificados de acuerdo a los límites permisibles que establece el Tulsma.

4.3. Metodología para el primer objetivo “Analizar el proceso industrial de la planta de beneficio Reina del Cisne como generadora de relaves”

4.3.1. Revisión de información.

Se revisó información secundaria existente respecto al proceso industrial como generadora del relave minero de la Planta de Beneficio “Reina del Cisne II”, conociendo de esta manera los métodos utilizados a través de:

- Informes auditados de producción, mantenimiento y otros.

4.3.2. Visita a la Planta de Beneficio y Tratamiento “Reina del Cisne II”

Se efectuó la visita a la planta de Beneficio “Reina del Cisne II” con el fin de verificar el método de extracción de los minerales, donde se precedió a realizar la caracterización de procesos como trituración, molienda, lixiviación y flotación, cabe indicar que para el mejor entendimiento del mismo se solicitó colaboración del técnico encargado y de un registro fotográfico.

4.3.3. Levantamiento Topográfico

Se procedió a realizar el levantamiento topográfico de la planta de beneficio Reina del Cisne II, con el fin de conocer de manera detallada las particularidades naturales y superficiales que constituyen la zona de estudio y de esta manera facilite la ubicación para el proceso de toma de muestras referente a los relaves mineros ahí presentes; es necesario mencionar que los equipos utilizados fueron adquiridos de la facultad agropecuaria de la Universidad Nacional de Loja como apoyo al proyecto de titulación.

En la realización del levantamiento topográfico se utilizó una estación Trimble S5, la cual incorpora codificadores absolutos para optimizar su funcionamiento (Fotografía 1).



Fotografía 1. Estación Trimble s5.

Fuente: El Autor (2018)

El propósito del levantamiento fue abarcar toda la superficie del terreno perteneciente a la planta de beneficio permitiendo usarlo posteriormente al mismo como mapa base.

Terminando el levantamiento topográfico se procedió a la descarga de información con la ayuda de un computador a través de una tabla Excel, la cual seguidamente fue insertada



al Software Arcgis 10.3 permitiendo aplicar todas las herramientas de caracterización que ofrece el mismo.

Finalmente el resultado generado por el software se lo verifico en campo, obteniendo de esta manera el mapa topográfico diseñado a Escala 1:500 con Datum WGS 84 zona 17 Sur, con distancias de curvas de nivel de 1 metro y una Escala gráfica de 20 m (Ver mapa Anexo 4).

4.3.3.1. Puntos de control.

Tabla 6. *Puntos de control - UTM/WGS 84*

N ^a	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN	UBICACIÓN
1	9590131	651694	625	Piscina de Sedimentación 7
109	9590195.23	651699.909	627.679	Piscina de Sedimentación 1
214	9590255.69	651661.733	628.107	Área de Cianuración
224	9590262.48	651665.311	628.467	Molinos de Trituración
230	9590277.7	651672.172	628.819	Acopio de Minerales/Trituración
247	9590279.47	651679.2	29.414	Acceso 1/Acopio de Minerales/Trituración
255	9590247.05	651687.045	629.319	Acceso 5/Acopio de Minerales/Molinos Chilenos

Fuente: El Autor (2018)

4.4. Metodología para el segundo objetivo “Caracterizar los elementos contaminantes presentes en los relaves de la planta de beneficio Reina del Cisne II”

4.4.1. Ubicación de la zona de interés y muestreo

Se efectuó la ubicación de las zonas de interés In situ; determinando de esta manera 3 puntos en específico: una muestra de sedimentos perteneciente al relave 1 (Fotografía 2), una segunda muestra de sedimentos perteneciente al relave 3 (Fotografía 3) y una tercera muestra de agua perteneciente a la descarga final de las piscinas de sedimentación de la planta de beneficio hacia el Rio Calera (Fotografía 4).

Seguidamente cumpliendo un determinado protocolo se procedió a realizar el muestreo, con el fin de obtener una muestra representativa para los diferentes análisis y ensayos.



Fotografía 2. Relave 1/Descarga Principal

Fuente: El Autor (2018)



Fotografía 3. Relave 3/Disposición Final.

Fuente: El Autor (2018)



Fotografía 4. Punto de Descarga hacia el Rio Calera

Fuente: El Autor (2018)



4.4.2. Protocolo de muestreo de sedimentos para el Relave 1 y Relave 3 de Planta de Beneficio Reina de Cisne II.

Es muy importante el realizar correctamente el procedimiento de toma de muestra, pues de ello depende en gran parte la representatividad de los resultados analíticos que se obtienen. La recolección de las muestras de los relaves del sector se llevara a cabo bajo el siguiente protocolo:

Paso 1: Diferenciar áreas de muestreo

Se identificaron los lugares de recolección, estableciendo dos puntos en específico: Una muestra perteneciente a la descarga principal-Relave 1 y una segunda perteneciente a la Disposición Final-Relave 3

Paso 2: Método utilizado en la toma de muestras.

Para la toma de las muestras se obtuvo un solo fragmento de cada relave de una forma aleatoria; perteneciente a la Descarga Principal-Relave 1 y a la Disposición Final-Relave 3.

Paso 3: Herramientas y Materiales

Los recipientes de muestreo deben ser nuevos y perfectamente limpios, en la recolección se utilizó palas, fundas plásticas, libreta de campo, cámara de fotos y guates.

Paso 4: Colecta de la muestras

-Con una pala se procedió a limpiar y extraer aproximadamente 10 cm de profundidad, la capa superior que cubría el material a ser muestreado.

-Se procedió a llenar 1 bolsa con sedimentos del relave 1 y del relave 3 con unos 2 Kg cada una como se muestra en la Fotografía 5.



Fotografía 5. Colecta de la Muestras

Fuente: El Autor (2018)

Paso 5: Identificación de la muestras

A continuación con un lápiz indeleble se procedió a etiquetar las bolsas de las muestras detallando el lugar, número o código, la fecha y el responsable de la toma de la misma.



Fotografía 6. Etiqueta de las Muestras

Fuente: El Autor (2018)

Paso 6: Registro de las muestras

Una vez identificadas seguidamente se las procedió a registrar con los siguientes datos:



- Registro de la muestra del Relave 1

Tabla 7. *Datos de la Muestra de Sedimentos.*

Coordenadas UTM	X:651693
WGS 84 17 SUR	Y:9590163
ALTURA	625 msnm
HORA	14:30 PM
FECHA	17 de Marzo del 2018

Fuente: El Autor (2018)

-Registro de la muestra del Relave 3

Tabla 8. *Datos de la Muestra de Sedimentos.*

Coordenadas UTM	X:651713
WGS 84 17 SUR	Y:9590172
ALTURA	628 msnm
HORA	15:30 PM
FECHA	17 de Marzo del 2018

Fuente: El Autor (2018)

Paso 7: Transporte y parámetros a evaluar o analizar.

Las muestras de sedimentos se las procedió a enviar para su respectivo análisis a la Empresa ALS, laboratorio ambiental acreditado ubicado en la ciudad de Quito (Anexo 5), los cuales seguidamente fueron comparados con los máximos niveles permisibles del Libro VI, anexo 2, tabla 2, referente a la norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), los parámetros que se analizaron fueron de carácter físico-químico los cuales se los detallan a continuación:



Tabla 9. *Datos de Parámetros a ser analizados*

Parámetro	Unidad	Método de Referencia	LMP Anexo 2 Tabla 2 (TULSMA) Suelo Industrial
Conductividad Eléctrica	Us/cm	EPA 9050. Rev. 1, 1996	400
Potencial de Hidrogeno	U pH	EPA 9045 D. Rev. 04, 2004	6 a 8
Plomo	mg/kg	EPA 3010 A. Rev. 01, 1992.EPA 3050 B. Rev. 02, 1996	150
Arsénico	mg/kg	Standard Methods Ed. 22, 2012, 3114 B	12
Cadmio	mg/kg	EPA 3010 A. Rev. 01, 1992.EPA 3050 B. Rev. 02, 1996	10
Cobre	mg/kg	EPA 3010 A. Rev. 01, 1992.EPA 3050 B. Rev. 02, 1996 EPA 7210, Rev. 0, 1986	91

Fuente: El Autor (2018)



Fotografía 7. Muestras de los Relaves 1 y 3

Fuente: El Autor (2018)

4.4.3. Protocolo de muestreo de aguas residuales hacia el Rio Calera.

Paso 1: Determinación del sitio de muestreo

Con la verificación en campo y del levantamiento topográfico realizado se procedió a determinar el sitio exacto del vertimiento (Fotografía 8).



Fotografía 8. Punto de Descarga hacia el Rio Calera

Fuente: El Autor (2018)

Paso 2: Determinación del caudal a medir

Para medir el caudal del punto de descarga de la planta de beneficio se utilizó el método volumétrico (Fotografía 9), utilizando un cronómetro y un recipiente de 3 litros de capacidad.

Tabla 10. Datos para la medición del Caudal.

Fecha	Numero de Mediciones	Volumen del Recipiente (L)
17/03/2018	3	3

Fuente: El Autor (2018)

Lo cálculos se realizaron en base a la siguiente ecuación:

$$Q=v/t ; l/s$$

Donde:

Q= Caudal en Litros por Segundo

v= Volumen del Recipiente en Litros (3L)

t= Tiempo necesario para que se llene el recipiente de medición e segundos.



Fotografía 9. Medición de Caudal a través del Método Volumétrico

Fuente: El Autor (2018)

Paso 3: Tipo de muestreo

El tipo de muestreo que se efectuó en el vertido es simple ya que se obtuvo una sola vez en un sitio determinado (punto de descarga), determinando de esta forma el monitoreo de calidad de agua.

Paso 4: Recipientes empleados

Como se mencionó con anterioridad, la etapa de muestreo es la que mayor cuidado requiere, pues la eficacia y veracidad de un análisis, dependerá casi en su totalidad de este proceso; por lo que de esta manera se utilizaron envases nuevos, limpios y herméticos de constitución plástica los cuales no reaccionan con los componentes de la muestra.

Paso 5: Toma de muestra

-Primeramente se identificó y se solicitó la colaboración necesaria para efectuar el muestreo, dejando todo el material correspondiente y necesario en el sitio.

-Seguidamente se procedió a realizar la colecta de la muestra de agua del vertido (Fotografía 10), y se registraron datos como: coordenadas GPS, fecha, hora, responsable del muestreo y observaciones.



Fotografía 10. Colecta de muestra

Fuente: El Autor (2018)



Paso 6: Identificación de la muestra

A continuación con un lápiz indeleble se procedió a etiquetar el embace de la muestra detallando el lugar, número o código, la fecha y el responsable de la toma de la misma.

Paso 7: Registro de las muestras

Una vez identificadas seguidamente se las procedió a registrar con los siguientes datos:

-Registro de la muestra:

Tabla 11. *Datos de la Muestra de agua.*

Coordenadas UTM	X:651691
WGS 84 17 SUR	Y:9590199
ALTURA	621 msnm
HORA	11:29 AM
FECHA	17 de Marzo del 2018

Fuente: El Autor (2018)

Paso 8: Transporte y parámetros a evaluar o analizar.

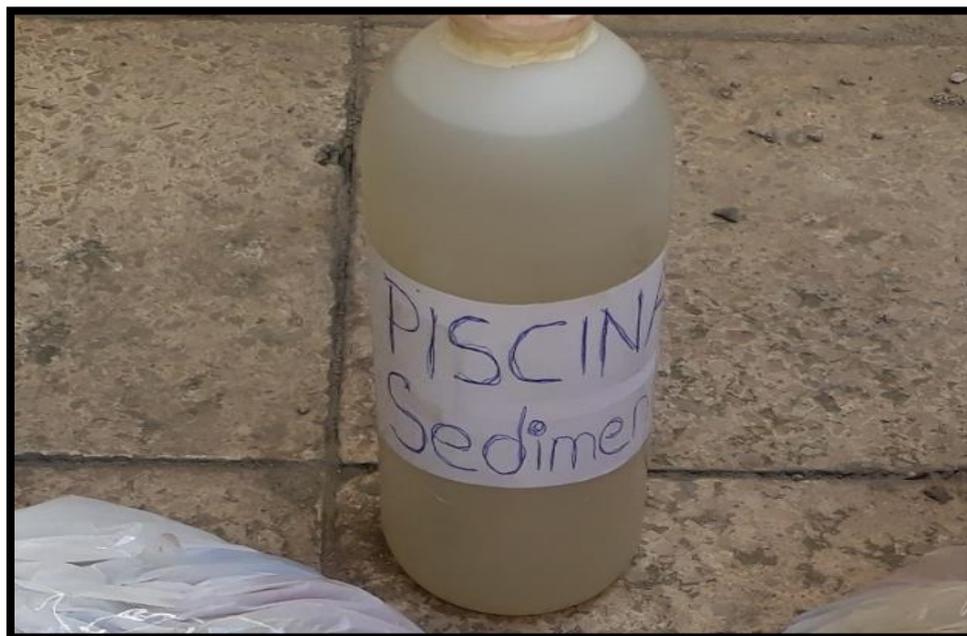
De la misma manera la muestra de agua se la procedió a enviar para su respectivo análisis a la Empresa ALS, laboratorio ambiental acreditado ubicado en la ciudad de Quito (Anexo 5), los cuales seguidamente fueron comparados con los máximos niveles permisibles del Anexo 1, tabla 9 referente a los límites de descarga a un cuerpo de Agua dulce establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), los parámetros que se analizaron fueron de carácter físico-químico los cuales se los detallan a continuación:



Tabla 12. Datos de Parámetros a ser analizados

Parámetro	Unidad	Método de Referencia	LMP Anexo 1 Tabla 9 (TULSMA)
Temperatura	°C	Standard Methods Ed 22, 2012, 2550 B	Condición Natural +- 3
Conductividad Eléctrica	Us/cm	Standard Methods Ed 22, 2012, 2510 A y 2510 B	No Aplica
Salinidad	UPS	Standard Methods Ed. 22, 2012, 2520 B	No Aplica
Potencial de Hidrogeno	U pH	Standard Methods Ed 22, 2012, 4500-H+ A y 4500- H+ B	6-9
Plomo	mg/l	EPA 3010 A. Rev. 01, 1992 Standard Methods Ed 22, 2012, 3111 B	0.2
Arsénico	mg/l	Standard Methods Ed. 22, 2012, 3114 B	0.1
Cadmio	mg/l	Standard Methods Ed. 22, 2012, 3114 B	0.02
Cobre	mg/l	Standard Methods Ed. 22, 2012, 3114 B	1.0

Fuente: El Autor (2018)



Fotografía 11. Muestra de Agua del Punto de Descarga hacia el Rio Calera
Fuente: El Autor (2018)

4.5. Metodología para el tercer objetivo “Establecer una propuesta tecnológica para la mitigación del principal elemento contaminante conforme lo establece el Tulsma, en los relaves de la planta de beneficio Reina del Cisne II”

Para el presente desarrollo de la propuesta tecnológica es importante mencionar que se consideraron trabajos, investigaciones académicas, experiencias, proyectos nacionales e internacionales dirigidos al ámbito ambiental y minero como respaldo técnico de la misma, determinado de esta forma la más adecuada y optima a la Planta de Beneficio.

La generación de relaves producidos en la Planta de Beneficio debe tener una eficiente gestión, manejo, tratamiento y disposición final para que de esta manera se cumplan las normativas y leyes ambientales establecidas en el Ecuador.

Los procedimientos que se proponen a ser utilizados se encuentran sujetos a la gestión, técnicas de manejo y tratamiento de los relaves, permitiendo desarrollar de esta manera una propuesta tecnológica la cual se encuentra dirigida a mitigar el principal contaminante presente en los mismos, de esta forma se plantea lo siguiente:



4.5.1. Gestión de los Relaves de la Planta de Beneficio

Se propone que exista una óptima utilización del agua en el proceso metalúrgico para la extracción o beneficio del mineral de interés.

4.5.2. Manejo de Relaves de la Planta de Beneficio

En cuanto al manejo se plantea lo siguiente:

- a) Comprobar la existencia de planes de las técnicas de sellado de las piscinas de relaves cuando termine su vida útil en la planta de beneficio.
- b) Establecer un plan de Monitoreo o Seguimiento para el transporte, almacenamiento, tratamiento y finalmente la disposición de los relaves como:
 - Muestreos periódicos de aguas residuales
 - Muestreos periódicos de sedimentos
 - Y verificación de la calidad y las condiciones técnicas de los depósitos de Relaves.

4.5.3. Tratamiento de Relaves en la Planta de Beneficio

Finalmente como tratamiento se propone:

- Una técnica dirigida a la mitigación de los Relaves, con la finalidad de retener el principal contaminante ahí presente que exceda los máximos niveles permisibles establecidos en el Tulsma.



5. RESULTADOS

5.1. DATOS GENERALES

Lo relaves mineros en la cual se fundamenta el presente proyecto investigativo son provenientes de la planta de beneficio y tratamiento Reina del Cisne II, la cual constituye varios procesos para la extracción de los minerales de interés, los cuales se encuentran establecidos de la siguiente manera: clasificación, trituración, molienda, fundición, flotación y finalmente la recepción hacia los relaves.

El proceso que se encuentra desarrollando en la planta en continuo, en este contexto es necesario mencionar que el tiempo de trabajo y de funcionamiento es de 24 horas.

La planta de beneficio Reina del Cisne II se encuentra determinada a la obtención de materiales, específicamente oro, plata y cobre, a través de procesos como: trituración, molienda, concentración gravimétrica, y flotación. Los datos generales de la planta se especifican en la siguiente tabla:

Tabla 13. *Datos Generales de la Planta de Beneficio*

Denominación	Detalle
Nombre de la planta	Reina del Cisne II
Código	390015
Categoría	Pequeña Minería
Fase minera	Tratamiento y beneficio de minerales metálicos
Superficie	6180.8 m ²
Ubicación	Sector: El Pache, cantón Portovelo, Provincia del Oro
Coordenadas: UTM WGS 84, Zona 17 Sur	X:651691.48 Y: 9590195.2
Representante legal	Pablo Oswaldo López Flores
Casillero judicial	No 063- Corte de Justicia de Machala
Trabajadores	33
Teléfono	099466696

Fuente: Gerencia (2018)

5.1.1. Ubicación geográfica.

La planta de beneficio “Reina del Cisne II” código 390015, se encuentra ubicada en el sector El Pache, cantón Zaruma, provincia de El Oro.

5.1.2. Acceso

El acceso a la planta de tratamiento y beneficio “Reina del Cisne II”, código 390015 se realiza por la vía de primer orden que comunica a la ciudad de Machala con las ciudades de Piñas, Zaruma y Portovelo (Fotografía 12), la planta se encuentra ubicada a 800 m del sector de Puente El Pache en dirección a Portovelo, diagonal a la estación de servicios El Pache.



Figura 5. Planta de “Beneficio Reina del Cisne II”

Fuente: Google Earth (2018)



Fotografía 12. Vías de acceso

Fuente: El Autor (2018)



5.1.3. Aspecto biofísico

5.1.3.1. Clima

De acuerdo con la información de la Agencia y Regulación y Control Minero del distrito Zaruma-Portovelo (2016), el sector dispone de un clima subtropical húmedo, dándose dos estaciones bien marcadas, el periodo invernal desde enero hasta abril y el verano desde mayo a diciembre. La humedad relativa del sector es del 84%, una temperatura media de 21.8 °C y una precipitación media de 102 mm.

5.1.3.2. Topografía

La planta de beneficio Reina del Cisne II se encuentra ubicada en una zona conformada por un relieve tipo V, formando un pequeño valle que se extiende en dirección Norte-Sur, este valle se encuentra constituido por terrazas formadas por material aluvial y que han sido aprovechadas para instalar plantas de beneficio, constituyen una pendiente de 1 al 5%, mientras que en sus alrededores se encuentran pendientes inclinadas entre el 20 y 50 %. (ARCOM, 2016).

5.1.3.3. Geología regional

De acuerdo con Medina (2017), se encuentra dentro de una zona de depósitos aluviales del cuaternario, situados a los márgenes del Río Calera además, dichos depósitos aluviales están principalmente sobre la Formación Célica y sobre la Serie Tahuín que corresponde a: los Gneises de San Roque y los Esquistos de Capiro, los cuales de acuerdo a la referencia citada consisten en:

- La Formación Celica se encuentra separada de las rocas metamórficas de la Serie Tahuín por la falla regional de Portovelo. Su litología predominante es de lava andesítica de color verde, exhibiendo una gran variedad de texturas y gran proporción de material afanítico. Material tobáceo se encuentra interestratificado.
- Los Gneises de San Roque consisten principalmente de gneises de grano fino que pasan paulatinamente a grano medio a grueso con desarrollo local de migmatitas. Dentro de esta unidad también se encuentra granito metasomático, incluye además cuarcitas y esquistos de cuarzo, feldespato y biotita.

- Los Esquistos de Capiro constan de rocas de muy bajo grado metamórfico a medio. Las rocas incluyen pizarras, cuarcitas, filitas y esquistos que son los que predominan dentro de esta serie. Es característico de los esquistos su grano fino y la prominencia de muscovita y sericita, notándose en ciertos lugares que estas rocas se hacen bien silíceas.

5.1.3.4. Hidrología

Según el Instituto Nacional de Meteorología (2016), menciona que la subcuenca del Río Calera donde se encuentra la planta de beneficio Reina del Cisne II, también pertenece a la cuenca del río Amarillo tal como se indica en la Figura 6, este río presenta un flujo de aguas de manera constante, el caudal promedio resultado de la unión de estos ríos es de 22,98 m³/s.

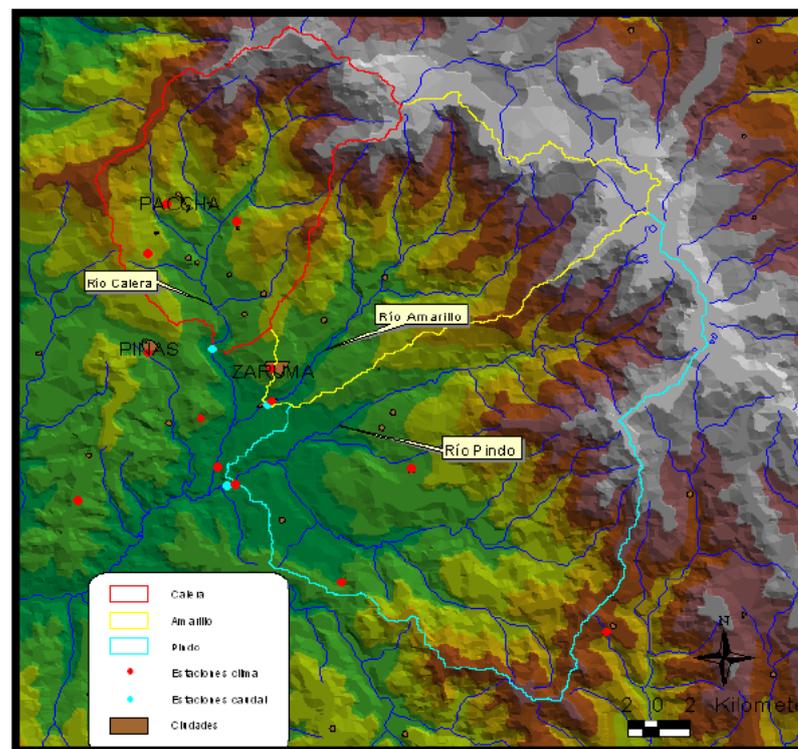


Figura 6. Río Calera Amarillo y Pindo

Fuente: ARCOM (2016)

El análisis de régimen consideró los caudales medios mensuales observados en las estaciones seleccionadas, con los cuales se elaboró la curva de duración general, que expresa la probabilidad de que un caudal sea igualado o superado y la curva de variación



estacional que permite conocer el régimen de un río según la probabilidad de ocurrencia de sus caudales, en cada una de las estaciones.

Tabla 14. Estaciones de precipitación consideradas

Cuenca	Área	Estación	X UTM	Y UTM	Periodo
Calera	234.1	Calera AJ	650643	9593371	1964-1990
		Amarillo			
Amarillo	262.0	Amarillo en Portovelo	654093	9589557	1964-1990

Fuente: ARCOM (2016)

5.1.4. Aspecto Sociocultural

5.1.4.1. Análisis demográfico

El Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Portovelo (2014), indica que movilidad humana en el cantón tienen una característica muy específica, en los 32 años de cantonización el censo de 1990 existían 10.257 habitantes, en el censo del 2001 tiene un crecimiento con una población de 11.024 habitantes, muchos de sus habitantes han migrado a las grandes urbes nacionales y al extranjero, entre otros motivos la falta de fuentes de trabajo o por estudio, la población proyectada para el año 2015, según el INEC es de:

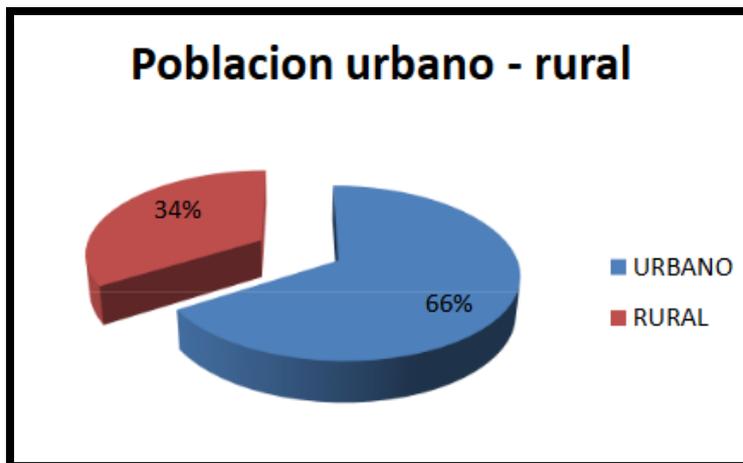


Figura 7. Población Portovelo

Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial Portovelo (2014)



La dinámica de los desplazamientos de la población hacia el cantón se ha caracterizado actualmente por la implantación de la actividad minera lo cual crea fuentes de trabajo y es una de las actividades que acapara la mano de obra y otras como la construcción tanto privada como estatal ; en cambio los desplazamientos hacia la cabecera cantonal realizados desde los barrios y parroquias, obedece a la falta de atención a las comunidades en lo que respecta a educación, dotación de servicio básicos, falta de apoyo a la agricultura, fuentes de trabajo, dejando abandonados sus tierras para servirse de las comodidades que le ofrece la ciudad; teniendo como necesidad de tener empleos más dignos y mejor remunerados para cumplir con sus expectativas de mejorar su calidad de vida, poder dar alimentación, educación, salud, vivienda. Convirtiéndose en la principal receptora de migrantes, y esa migración tuvo un rol importante y fundamental en el proceso de poblamiento y crecimiento, siendo vectores importantes del cambio social, económico y cultural.

5.1.4.2. Educación

El cantón Portovelo cuenta con 24 establecimientos educativos que cubren la demanda de la educación con 8 centros en el Área Urbana y los 16 restantes se encuentran localizados en la zona Rural, la educación superior tiene representación; La Extensión de la Universidad Técnica Particular de Loja con su modalidad a distancia (POT Portovelo, 2014).

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (2010), el nivel de educación aprobada por la población de 10 años y más (escolaridad media) para el Cantón Portovelo es de 6,1 años, para la población del área urbana es de 7,1 años y para el área rural 4,7 años. Para hombres 5,9 y para mujeres 6,3 años y en cuanto al analfabetismo como se puede observar en la figura 8, es del 4 %,por lo tanto ha disminuido este índice en comparación con el censo del 2001 donde existía un Porcentaje del 5,7%

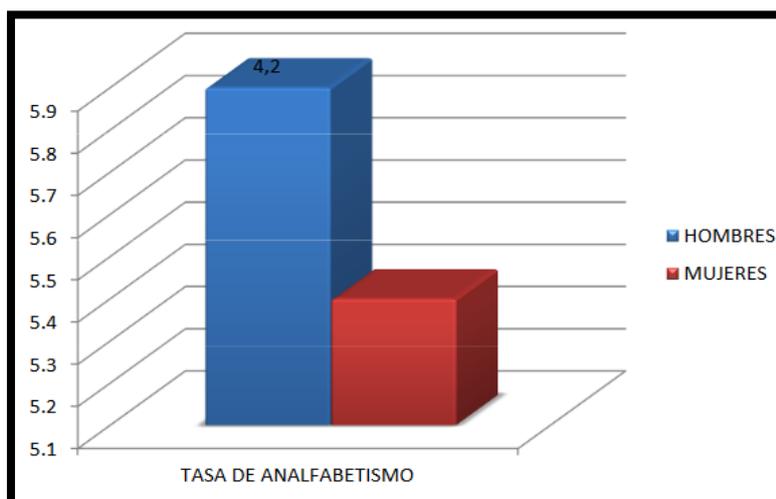


Figura 8. Tasa de Analfabetismo

Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial Portovelo (2014)

5.1.5. Aspecto Económico

5.1.5.1. Trabajo y empleo

Considerando las ramas de actividad se aprecia que la PEA se concentra principalmente en la agricultura/ ganadería y en la explotación de minas y a ellas se dedican principalmente los hombres, mientras que las mujeres tienen una apreciable participación en las actividades de enseñanza, servicio doméstico y comercio (POT Portovelo, 2014).

Así mismo según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Portovelo (2014), los grupos de ocupación de la población económicamente, en el sector urbano, son los operarios, y trabajadores que realizan sus labores en la explotación minera.

Si nos enfocamos a nivel rural podemos darnos cuenta que predomina el grupo de ocupación de trabajadores no calificados, seguido del grupo de agricultores, los que concentran más del 70% de la PEA rural.

Los grupos de ocupación de profesionales técnicos concentran escasa población económicamente activa y en las zonas rurales son muy escasos, por tal motivo se aprecia los bajos niveles de producción y eficiencia económica a nivel rural.

A continuación en la figura 9, se muestran el tipo de actividades económicas realizadas por la población.

5.2. RESULTADOS ESPECÍFICOS

5.2.1. Origen Mineral

Actualmente el mineral metálico que se procesa en la Planta de Beneficio proviene de las minas circunscritas en las áreas en concesión minera “Mimopi” código 264 y “Miranda Alto” código 481, prestando de esta manera servicio de recuperación mineral de los mismos.

5.2.1.1. Concesión minera “Mimopi” y “Miranda Alto”

a) Ubicación Geográfica

La concesión “Mimopi” con una superficie aproximada de 18.30 Ha y “Miranda Alto” con 18 Ha como se puede ver en la Figura 10, se encuentran ubicadas al Sur del Ecuador, sector Pillacela cantón Zaruma provincia del Oro

b) Acceso

El acceso se lo realiza partiendo desde la ciudad de Machala, capital de la provincia del Oro, por la Vía Panamericana la cual conduce hacia la ciudad de Zaruma, y de esta a continuación por una vía de segundo orden que conduce hacia el barrio Roma, la concesión se encuentra ubicada en el sector Pillacela.

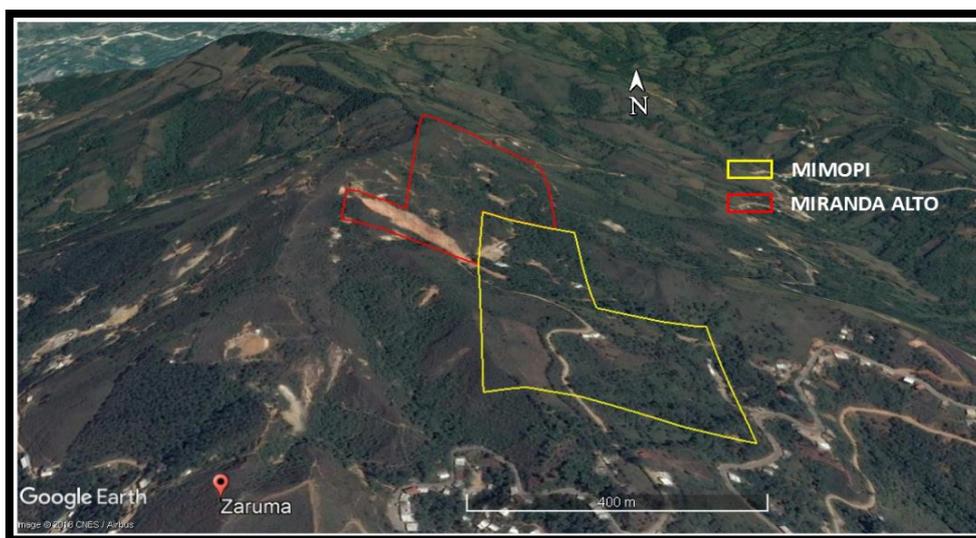


Figura 10. Concesiones Mineras “MIOPI” y “MIRANDA ALTO”

Fuente: Google Earth (2018)

5.2.2. Secuencia del proceso industrial de la planta de beneficio “Reina del Cisne II”

Los procesos que se llevan a cabo en la planta de beneficio “Reina del Cisne II” se resumen en la Figura 11, los cuales quedan establecidos de la siguiente manera:

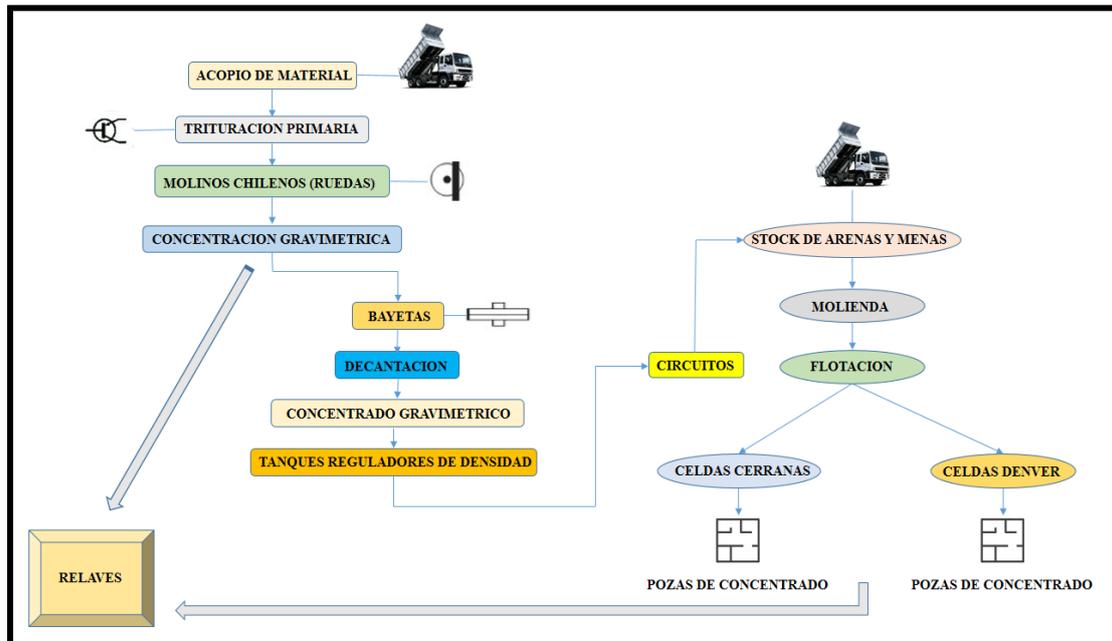


Figura 11. Secuencia de procesos de la Planta de Beneficio Reina del Cisne

Fuente: El autor (2018)

5.2.2.1. Recepción

El material que es transportado por volquetes desde las concesiones mineras “Miranda Alto” código 481 y “Mimopi” código 264, hasta la Planta de Beneficio es acopiado en el área de stock como se observa en la Fotografía 13, para luego ser depositado a la tola principal.



Fotografía 13. Área de stock

Fuente: El autor (2018)

5.2.2.2. Clasificación

La clasificación se realiza conjuntamente en la tolva principal de recepción de la misma, que cuenta con una criba de barrotes como se indica en la Fotografía 14, en donde seguidamente las rocas retenidas ahí son reducidas de tamaño. A su vez como se puede analizar en la Fotografía 15, la tolva cuenta en su parte inferior con un alimentador mecánico que suministra de manera continua el material.



Fotografía 14. Criba fija de barrotes

Fuente: El autor (2018)



Fotografía 15. Tolva alimentador mecánico

Fuente: El autor (2018)

5.2.2.3. Trituración

En la Fotografía 16, se puede verificar que esta etapa se realiza utilizando una trituradora de mandíbulas con una boca de entrada y de salida en donde el material triturado cae a la Banda 1, y luego a la banda 2, y finalmente a la Banda 3 tal y como se aprecia en la Fotografía 17.



Fotografía 16. Trituradora

Fuente: El autor (2018)



Fotografía 17. Bandas Módulo de trituración

Fuente: El autor (2018)

5.2.2.4. Molienda

El material que ha sido acondicionado en la etapa anterior es alimentado mediante palas a los molinos chilenos como se contempla en la Fotografía 18, y a su vez se les suministra agua continuamente. Esta fase cuenta con cuatro molinos chilenos, dos con capacidad de 10 toneladas y dos con capacidad de 8 toneladas, cada uno con bocas de salida que conducen la pulpa (material molido+agua), el cual a su vez alimenta el proceso de concentración gravimétrica.



Fotografía 18. Molino de rueda tipo trapiche Chilenos

Fuente: El autor (2018)

5.2.2.5. Concentración Gravimétrica

Cada tanque de recepción del área de molienda posee tuberías de descarga que suministran la pulpa a canaletas o bayetas como se registra en la Fotografía 19.

En dichas bayetas se colocan cobijas de lana y sobre estas se descarga la pulpa, donde los metales son retenidos; seguidamente las cobijas son lavadas y se deja reposar unos minutos hasta que sedimenten las partículas, luego el material resultante es colocado en costales para su posterior entrega y comercialización.



Fotografía 19. Bayetas

Fuente: El autor (2018)

5.2.2.6. Acumulación de colas-piscinas.

Esta etapa consiste en la acumulación de sedimentos o colas provenientes de los molinos chilenos, para la cual se encuentran establecidas piscinas de sedimentación como se muestra en la Fotografía 20, es necesario mencionar que las mismas cuentan en su parte más baja con una tubería que es abierta para descargar a un tanque de recepción con bomba y la cual finalmente después de su debido proceso es descargada al Río Calera como se registra en la Fotografía 21.



Fotografía 20. Piscinas de Sedimentación/Recirculación de agua

Fuente: El autor (2018)



Fotografía 21. Descarga de agua/Rio Calera

Fuente: El autor (2018)

5.2.2.7. Circuito de flotación.

Para realizar este proceso primeramente se prepara la pulpa suministrándole y mezclándole reactivos. Cabe indicar que en el proceso industrial de la flotación se utilizan celdas serranas y tipo Denver de acuerdo al material que va hacer procesado. El proceso

de flotación es una de las tecnologías más innovadoras y usadas ya que permite una recuperación de aproximadamente del 85% del mineral.

a) Molienda

El material seco transportado es descargado al molino de bolas (Fotografía 22), proveniente de una tolva con capacidad de 15 toneladas el mismo que realiza una molienda en húmedo con alimentación / descarga continua, permitiendo reducir el material a un material apropiado para el proceso de beneficio.



Fotografía 22. Molino de Bolas.

Fuente: El autor (2018)

b) Preparación de la pulpa.

En la Fotografía 23, se indica que la preparación de la pulpa se la realiza en tres tanques reguladores de densidad, en los cuales se suministra continuamente: espumantes, activadores, depresores y otros reactivos de acuerdo y en función al mineral a flotar; seguidamente a través de tuberías la pulpa ya acondicionada pasa al grupo de Celdas Serranas y al grupo de Celdas tipo Denver.



Fotografía 23. Tanques Reguladores de Densidad.

Fuente: El autor (2018)

c) Celdas Serranas

Una vez que se encuentra la pulpa ya preparada pasa directo a los tanques cilíndricos con agitación/aireación mecánica o celdas serranas como se aprecia en la Fotografía 24, en donde luego el concentrado que se encuentra en forma de espuma se recupera por rebose, el cual a continuación es captado y a la vez transportado de una celda a otra celda con ayuda de tuberías, la última celda posee en su boca de salida irrigación de agua que facilita el flujo del concentrado conduciendo el mismo a los tanques de escurrimiento o pozas.



Fotografía 24. Celdas Serranas

Fuente: El autor (2018)

d) Celdas tipo Denver

Por otro lado en la Fotografía 25, se puede ver que la pulpa acondicionada es captada por las Celdas tipo Denver, las cuales poseen agitación-aireación mecánica. Estas celdas permite recuperar el concentrado en forma de espuma, el cual a continuación es empujado por paletas giratorias a canales con irrigación de agua, de esta manera el concentrado se conduce a una tubería, el cual finalmente es descargado a los tanques o pozas de escurrimiento.



Fotografía 25. Celdas Tipo Denver

Fuente: El autor (2018)

e) Escurrimiento

A continuación el concentrado mineral resultante de los dos tipos de celdas utilizadas en el circuito de flotación, es almacenado por separado en tanques o pozas de escurrimiento, las cuales se encuentran divididas por secciones y estas permiten escurrir el concentrado por gravedad como se indica a continuación en la Fotografía 26.



Fotografía 26. Tanques o Pozas de escurrimiento del concentrado

Fuente: El autor (2018)

f) Comercialización

Una vez que ya finaliza la fase de escurrimiento del concentrado es almacenado en bolsas (Fotografía 27), para luego ser transportadas para su posterior comercialización. Es necesario mencionar que el precio en la “Planta de Beneficio Reina del Cisne II”, se lo establece de acuerdo a las concentraciones de mineral de interés.



Fotografía 27. Bolsas de concentrado

Fuente: El autor (2018)

5.2.2.8. Recepción Final

La Planta de Beneficio Reina del Cisne II cuenta con tres relaves, denominados para el siguiente estudio como: Relave 1-Descarga Principal, Relave 2 y Relave 3- Disposición Final, los cuales se encuentran situados en la parte central de la misma, cabe mencionar que fueron construidos cumpliendo todos los requerimiento técnicos de diseño.

a) Relave 1

Con una área de 252.13 m², este es el resultado de los dos tipos de celdas utilizadas en el proceso de flotación descrito anteriormente, el cual es conducido a una misma tubería, constituyéndose de esta manera en la Descarga Principal, llegando a un tanque receptor con bomba, que facilita su transporte para ser depositado en el Relave 1 como se indica a continuación en la Fotografía 28.



Fotografía 28. Tanque receptor con Bomba/Relave 1-Descarga Principal.

Fuente: El autor (2018)

b) Relave 2

Con una área de 228.23 m², es generado de la extracción por bombeo del material del Relave 1 (Fotografía 29), logrando de esta manera que la parte líquida pase a su vez directamente a las piscinas de sedimentación.



Fotografía 29. Relave Secundario

Fuente: El autor (2018)

c) Relave 3

Finalmente con una área de 174.52 m², como se puede analizar en la Fotografía 30, este resulta del material sedimentado del Relave 1 y Relave 2 así como también de las piscinas de sedimentación que es extraído por una excavadora y acopiado para su secado natural, para de esta manera luego ser cargado y transportado a la relavera comunitaria del cantón Portovelo.



Fotografía 30. Relave 3- Disposición Final

Fuente: El autor (2018)



5.2.2.9. Levantamiento topográfico de la planta de beneficio “Reina del Cisne II”

Con los datos obtenidos del levantamiento topográfico y la generación del mismo en el software Arcgis 10.3 se pudo realizar el diseño y el cálculo de los diferentes parámetros topográficos como: alturas, áreas, longitudes, perfiles, perímetros, efluentes, infraestructura y vías.

En cuanto a lo que se refiere a la infraestructura se la realizó a detalle especificando todas las áreas, procesos y accesos ahí presentes, permitiendo de esta forma que el levantamiento sirva como mapa base.

Finalmente se obtuvo el mapa topográfico diseñado a Escala 1:500 con Datum WGS 84 zona 17 Sur, con distancias de curvas de nivel de 1 metro y con una escala gráfica de 20 m (Ver mapa Anexo 4).

Siendo así la Planta de Beneficio Reina del Cisne II cuenta con una área total de 6180.8 m² los cuales se encuentran divididos de acuerdo a las actividades requeridas para el beneficio del mineral de interés ; iniciando por la preparación y distribución de insumos a cargo del departamento administrativo, incluyendo bodegas y laboratorios la cual constituye una área de 446.97 m², continuando con el proceso y abarcando una área de 151.36 m² se encuentra la Trituración primaria que se encarga de disminuir el tamaño de la roca proveniente de la concesiones mineras, seguidamente con una área de 52.44 m² en donde se establecen 4 molinos chilenos, pasa a un proceso de Molienda primaria y secundaria reduciendo el tamaño de las partículas precedentes de la trituración; una vez garantizado el tamaño deseado el material procede a los circuitos de concentración gravimétrica que cuenta con una área de 42.8 m² y presenta 4 bayetas en donde una proporción de mineral es recuperado por gravedad y las colas del circuito se recirculan en el mismo proceso a través de piscinas que cuentan con una área de 181.72 m².

Posteriormente ya en el circuito de flotación el cual se encuentra compuesto por un molino de bolas, celdas tipo Denver, celdas serranas y pozas de concentrado, con una área de 345.17 m² permiten extraer los minerales de interés y separar lo que no lo son; finalmente, el material residual de los procesos es transportado mediante bombas hacia los tres relaves denominados Relave 1/Descarga Principal, Relave 2 y Relave 3/Disposición Final que se encuentran distribuidos en la parte central de la Planta de Beneficio, los mismos que abarcan una superficie de 654.88 m² del área total, es necesario



mencionar que las aguas residuales que resultan de estos, son tratadas en piscinas sedimentación las cuales constituyen una área de 178.14 m², para luego ser depositadas en el Rio Calera.

Por otro lado, cabe indicar que se obtuvo solamente el perfil topográfico del Relave 2, ya que por cuestiones de Seguridad no se consiguió realizar en el Relave 1 y Relave3; de esta manera tal relave con perfil A-A' cuenta con una profundidad de 3 metros, un diámetro de 10 m y un volumen de 236m³, de la misma manera se obtuvo el perfil del Rio Celera B – B' el cual desde la superficie de la Planta de Beneficio cuenta con una profundidad de 5m y con un ancho de 14 m, tal Rio se encuentra delimitado por muros de contención, como medida preventiva ante sucesos que afecten la infraestructura y la seguridad de las personas que laboran en la Planta de Beneficio Reina del Cisne II.

5.2.3. Elementos contaminantes presentes en los relaves de la planta de beneficio “Reina del Cisne II”

Una vez que se enviaron las muestras para su respectivo análisis a cargo de la empresa ALS una de la mayores redes de laboratorios ambientales presentes en el país con acreditación N^o OAE LE 2C 05-005, se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto a la presencia de metales pesados como Plomo (Pb), Arsénico (As), Cadmio (Cd) y Cobre (Cu), además de parámetros como pH y conductividad eléctrica, los cuales fueron comparados con los máximos niveles permisibles del **Libro VI, anexo 2, tabla 2, referente a la norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados establecidos en el TULSMA**, esto referente a las muestras de sedimentos de los Relaves 1- Descarga Principal y Relave 3 - Disposición Final; en cuanto a las Aguas residuales se procedió a comparar con los máximos niveles permisibles del Anexo 1, tabla 9 referente a los límites de descarga a un cuerpo de Agua dulce.



5.2.3.1. Relave 1-Descarga Principal.

- **Coordenadas UTM:**

X: 65169

Y: 9590163

- **Código:** 13649-1

Tabla 15. Resultados de los análisis de Sedimentos.

Parámetros Analizados (Acreditados)	Metodología de Referencia	Unidad	Resultado	LMP Anexo 2 Tabla 2 (TULSMA)	Criterio de Resultados
Conductividad Electrica	EPA 9050. Rev. 1, 1996	Us/cm	181.2	400	CUMPLE
Potencial de Hidrogeno	EPA 9045 D. Rev. 04, 2004	U pH	9.90	6 a 8	NO CUMPLE
Plomo	EPA 3010 A. Rev. 01, 1992 EPA 3050 B. Rev. 02, 1996	mg/kg	374.2	150	NO CUMPLE
Arsénico	Standard Methods Ed. 22, 2012, 3114 B	mg/kg	67.29	12	NO CUMPLE
Cadmio	EPA 3010 A. Rev. 01, 1992 EPA 3050 B. Rev. 02, 1996	mg/kg	3.49	10	CUMPLE
Cobre	EPA 3010 A. Rev. 01, 1992 EPA 3050 B. Rev. 02, 1996 EPA 7210, Rev. 0, 1986	mg/kg	1921	91	NO CUMPLE

Fuente: El autor (2018)



5.2.3.2. Relave 3- Disposición Final

- **Coordenadas UTM:**

X: 651713

Y: 9590172

- **Código:** 13649-2

Tabla 16. Resultados de los análisis de Sedimentos.

Parámetros Analizados (Acreditados)	Metodología de Referencia	Unidad	Resultado	LMP Anexo 2 Tabla 2 (TULSMA)	Criterio de Resultados
Conductividad Eléctrica	EPA 9050. Rev. 1, 1996	Us/cm	122.8	400	CUMPLE
Potencial de Hidrogeno	EPA 9045 D. Rev. 04, 2004	U pH	9.60	6 a 8	NO CUMPLE
Plomo	EPA 3010 A. Rev. 01, 1992 EPA 3050 B. Rev. 02, 1996	mg/kg	235.3	150	NO CUMPLE
Arsénico	Standard Methods Ed. 22, 2012, 3114 B	mg/kg	54.83	12	NO CUMPLE
Cadmio	EPA 3010 A. Rev. 01, 1992 EPA 3050 B. Rev. 02, 1996	mg/kg	2.48	10	CUMPLE
Cobre	EPA 3010 A. Rev. 01, 1992 EPA 3050 B. Rev. 02, 1996 EPA 7210, Rev. 0, 1986	mg/kg	460.7	91	NO CUMPLE

Fuente: El autor (2018)



5.2.3.3. Punto de Descarga de agua.

- **Coordenadas UTM:**

X: 651691

Y: 9590199

- **Código:** 13649-3

➤ **Caudal**

De acuerdo con las mediciones realizadas en el punto de descarga de aguas residuales hacia el Rio Calera, se obtienen los resultados de caudal que se han resumido en la siguiente tabla:

Tabla 17. *Datos del Caudal en el Punto de Descarga de aguas.*

Fecha	L/ s	Caudal L/h
17/02/2018	7.48	1443.85
17/02/2018	7.44	1451.61
17/02/2018	7.46	1447.72

Fuente: El autor (2018)

Tabla 18. *Resultados de los análisis de Aguas Residuales.*

Parámetros Analizados (Acreditados)	Metodología de Referencia	Unidad	Resultado	LMP Anexo 1 Tabla 9 (TULSMA)	Criterio de Resultados
Temperatura	Standard Methods Ed 22, 2012, 2550 B	°C	17,0	Condición Natural +/- 3	CUMPLE
Conductividad Electica	Standard Methods Ed 22, 2012, 2510 A y 2510 B	Us/cm	305,0	NO APLICA	NO APLICA
Salinidad	Standard Methods Ed.	UPS	2.49	NO APLICA	NO APLICA



“UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”
 Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
 Carrera de Manejo y Conservación del Medio Ambiente

	22, 2012, 2520 B				
Potencial de Hidrogeno	Standard Methods Ed 22, 2012, 4500-H+ A y 4500- H+ B	U pH	5.97	6 - 9	NO CUMPLE
Plomo	EPA 3010 A. Rev. 01, 1992 Standard Methods Ed 22, 2012, 3111 B	mg/l	1.14	0,2	NO CUMPLE
Arsénico	Standard Methods Ed. 22, 2012, 3114 B	mg/l	< 0,002	0,1	CUMPLE
Cadmio	Standard Methods Ed. 22, 2012, 3114 B	mg/l	0,02	0,02	CUMPLE
Cobre	Standard Methods Ed. 22, 2012, 3114 B	mg/l	1,60	1,0	NO CUMPLE

Fuente: El autor (2018).

Siendo así y una vez comparados con las LMP establecidos en el Tulsma, en lo referente al Relave1/ Descarga Principal los elementos como el Plomo (Pb) sobrepasa dos veces más el límite de la norma, al igual que el Arsénico (As) que se presenta cinco veces más de lo establecido, y el Cobre (Cu) rebasa veinte veces el límite señalado, de la misma manera parámetros como el potencial de hidrogeno no se encuentra dentro de lo adecuado, en cuanto al Cadmio (Cd) y a la Conductividad eléctrica si cumplen con el límite normado.



Seguidamente referente al Relave 3/ Disposición Final los resultados indican una breve disminución en la cantidad de presencia de metales, pero al igual que el Relave 1 los elementos como el Plomo (Pb) sobrepasa una vez el límite señalado, así mismo el Arsénico (As) se presenta cuatro veces más de lo establecido y el Cobre (Cu) supera cinco veces el límite indicado y en cuanto al pH rebasa también la cantidad apropiada, finalmente como en el Relave 1 la Conductividad eléctrica y el Cadmio (Cd) si cumplen con el limite normado.

Finalmente en los resultados de las aguas residuales los metales como el Plomo (Pb), el Cobre (Cu) y parámetros como el Potencial de Hidrogeno al igual que el Relave 1 y el Relave 3 se encuentran fuera de los límites máximos permisibles, por otro lado el Arsénico (As), el Cadmio (Cd) y la Temperatura presentan cantidades optimas establecidas en la normativa vigente del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Medio Ambiente.

De esta manera una vez relacionados los resultados de las muestras de sedimentos y de aguas residuales como se puede observar en la Figura 12 , se demuestra que el principal contaminante presente en los Relaves de la Planta de Beneficio Reina del Cisne II, es el Cobre (Cu), ya que cuenta con mayor cantidad de presencia en los tres puntos de muestreo, por lo cual seguidamente se propone tratarlo ya que por concentraciones en altas cantidades o niveles según Alcaino (2012), produce daños severos a la salud humana.

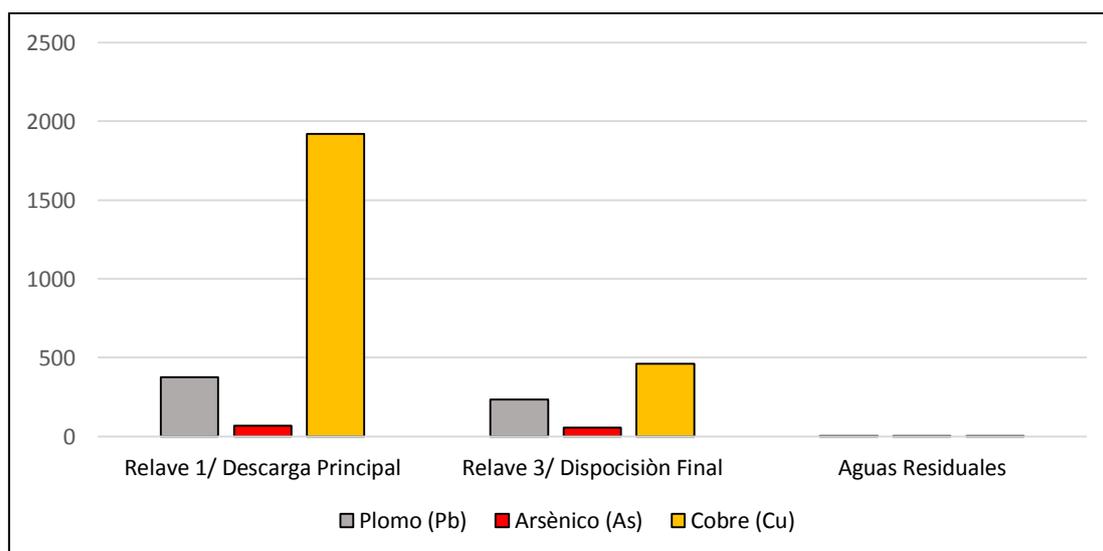


Figura 12. Relación de contaminantes presentes en relaves y aguas residuales

Fuente: El autor (2018)



5.2.4. Propuesta tecnológica para la mitigación del principal elemento contaminante en la planta de beneficio “Reina del Cisne II”

La generación de relaves producidos en la planta de beneficio debe tener una eficiente gestión, tratamiento y disposición final en cumplimiento de la normativa ambiental minera vigente en el país.

Cabe mencionar que todos los procedimientos sistemas y técnicas que se consideraron para la propuesta se la realizo basándose en la verificación de la infraestructura instalada y además del resultados del análisis físico-químico realizados a los sedimentos y a las aguas residuales de los relaves.

De esta manera dentro del desarrollo de la presente propuesta se tiene como referencia la implementación de los siguientes criterios:

5.2.4.1. Gestión de los Relaves.

La gestión ambiental se refiere a todos los aspectos de la función gerencial y de planificación que desarrollen, implementen y mantengan la política ambiental, entendiéndose que la política es el conjunto de directrices que debe adoptar la empresa para consolidar la integración y sustentabilidad del proceso productivo para con el ambiente, sin perjuicio de ninguna de la partes involucradas (Espín, 2018).

En la Planta de Beneficio y Tratamiento de minerales “Reina del Cisne II”, es su intención establecer procedimientos que permitan garantizar el adecuado funcionamiento y mantenimiento de las actividades que se desarrollan o realizan en los Relaves ahí presentes.

a) Óptima utilización del agua en el proceso metalúrgico para la extracción o beneficio del mineral de interés.

Primeramente en el proceso industrial como generadora de relaves, la adecuada utilización del agua como el reúso y la recirculación de aguas residuales debe estar contemplada en los instrumentos de gestión ambiental implementada por la planta de beneficio, de esta manera las autoridades competentes de control debe otorgar el respectivo permiso para la captación y el uso de la misma y por consiguiente verificar que



la reutilización del recurso se encuentre de acuerdo con las normativa vigente en el TULSMA.

- **Base de Diseño**

Los aspectos de mayor importancia que se debe tener en cuenta para establecer una base de diseño referente al suministro, utilización y la reutilización del recurso agua son los siguientes:

- Datos técnicos del proceso metalúrgico adaptado a la planta de beneficio.
- Especificaciones del diseño técnico del suministro de agua
- Especificaciones del diseño técnico del drenaje del agua
- De la misma manera especificaciones del diseño de construcción del sistema de suministro de agua y de drenaje
- Normas y especificaciones de diseño vigentes.

5.2.4.2. Manejo de Relaves

En cuanto al manejo de relaves genera un problema ambiental debido a la contaminación potencial de agua superficial y subterránea, siendo importante implementar técnicas de manejo adecuadas que permitan principalmente reducir las infiltraciones del material contaminado por Cobre (Cu) y otros mediante obras civiles como recubrimientos para rellenos de tierra.

En Planta de Beneficio “Reina del Cisne II” se encuentran implementados tres piscinas de relaves, de los cuales dos si cuentan con geomenbranas y un tercero carece de ésta, siendo de vital importancia adaptar una al mismo, en lo referente a los dos primeros relaves impermeabilizados a pesar que la técnica sea ahora satisfactoria, no se puede dejar de lado los efectos a largo plazo que se generara en contra del ambiente, salud, seguridad y bienestar para los operadores y la población circundante.



a) Comprobar la existencia de planes de las técnicas de sellado de las piscinas de Relaves cuando termine su vida útil en la planta de beneficio.

La planta de beneficio debe contar con un diseño establecido del depósito de relaves que permita ejecutar un cierre técnico una vez concluida su vida útil considerando procesos como el monitoreo y control del mismo.

- **Diseño del cierre de Relaves.**

La finalidad y la importancia al cerrar los depósitos de relave es recuperar el sistema ecológico y el paisaje natural, determinando sistemas y actividades de reforestación que posibiliten una recuperación sustentable con el medio ambiente, de esta manera se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Al ser cerrado el depósito de relave, a futuro no puede de ninguna manera ser nuevamente utilizado, ni tampoco servir para otra actividad diferente al de la recuperación del paisaje natural.
- La empresa será la principal responsable de la gestión del depósito de relave cerrado, encargándose de la seguridad y del cumplimiento de los trámites legales dirigidos al cumplimiento de la normativa vigente a cargo de las autoridades del ramo.
- Debe existir señalética que se encuentre rodeando en su totalidad el área de los tres relaves presentes en la planta de beneficio, prohibiendo de esta manera la entrada a personal no autorizado.
- Asegurar un mantenimiento adecuado de los drenajes del relave ya que existen temporadas de precipitación verificando que no intervenga ninguna clase de obstrucción en el proceso que pueda afectar al mismo.

b) Establecer un plan de monitoreo para el transporte, almacenamiento, tratamiento y finalmente la disposición de los relaves.

Se determinarán muestreos periódicos semestrales y anuales con el fin de determinar las características físico-químicas de sedimentos y aguas residuales conociendo de esta forma la concentración de metales contaminantes que excedan los máximos niveles permisibles establecidos en el TULSMA.



- **Etapas para el Monitoreo y Seguimiento**

a) Preparación de trabajo.

- Establecer un cronograma a realizar en el campo
- Ubicar los puntos de muestreo para el monitoreo de las aguas residuales y de los sedimentos que constituyen los relaves
- Determinar una red de trabajo con laboratorios especializados y acreditados para los respectivos análisis.
- Finalmente es de vital importancia que se encuentren presentes siguiendo el procedimiento las principales instituciones ministeriales con el fin de hacer cumplir la normativa vigente como: ARCOM, MAE y Gobiernos Autónomos Descentralizados.

b) Trabajo de Campo

- Inspección del área que conforma la planta de beneficio y seguidamente proceder a la toma de muestras.

- **Caracterización y análisis**

- Análisis de la muestras
- Interpretación de la información obtenida
- Identificación de los puntos o áreas críticas presentes en la planta de beneficio
- Finalmente presentación del informe final determinando los respectivos planes de acción.

La gestión de los relaves de la Planta de Beneficio Reina del Cisne II, en cuanto a la óptima utilización del agua si cuenta con un diseño técnico apropiado referente al suministro, reutilización y drenaje de este recurso, por otra parte el manejo si genera un problema ambiental, como se menciona anteriormente de los tres relaves implementados, dos si cuentan con geomebranas y un tercero denominado Relave 3/Disposición Final carece de esta, además es importante indicar que no existen estudios técnicos que



permitan atenuar efectos a largo plazo de los mismos, por otro lado la planta también carece de planes de técnicas de sellado que permitan ejecutar un cierre adecuado una vez que estos concluyan su vida útil; finalmente al tampoco existir un tratamiento dirigido a los relaves, se ha planteado una propuesta que se adapta a la zona de estudio la cual se la procede a describir a continuación.

5.2.4.3. Tratamiento de relaves

Las tecnologías de remediación de suelos y/o aguas abarcan todas aquellas operaciones que tienen por objetivo reducir la toxicidad, movilidad o concentración del contaminante presente en el medio mediante la alteración de la composición de la sustancia peligrosa, a través de acciones químicas, físicas o biológicas. La elección de cada tecnología depende de las características del contaminante, de la eficacia esperada y por supuesto de la factibilidad técnico-económica y el tiempo requerido para su ejecución (Alcaino, 2012). De esta manera y una vez ya determinado a través de los análisis físicos – químicos realizados a los sedimentos de los relaves y a las aguas residuales, se dio a conocer que el Cobre (Cu) presenta una importante presencia como metal contaminante en los mismos, es así que se plantea dos propuestas de retención y estabilización como son: Lavados de suelos y Fitorremediación aplicados a los relaves de la planta de beneficio Reina del Cisne II.

a) Lavado de Suelos

La Universidad de Chile a través de un estudio realizado por Alcaino (2012), sobre “Análisis de tecnologías de remediación para suelos contaminados por metales” propuso estabilizar y remover el Cobre (Cu) y otros metales a través del Lavado de Suelos Ex Situ aplicado a los relaves el cual se detalla a continuación:

El lavado de suelos es una tecnología de remediación de descontaminación, Ex Situ y de tratamiento fisicoquímico; esta tecnología consiste básicamente en la desorción o solubilización de los metales para transferirlos desde el suelo a una solución acuosa, usando algún agente químico (ácidos, bases, surfactantes, agentes quelantes, sales, o agente redox). Estos agentes pueden tener acción por medio de la lixiviación, en la cual



los metales son disueltos, convirtiendo los compuestos metálicos en formas que son más solubles, o también cambiando las condiciones química del medio.

La eficiencia de remoción de los metales en esta tecnología depende de varios factores, tales como las características físicas y química del suelo, es decir, su textura, su capacidad de intercambio catiónico, su capacidad buffer, y su contenido de materia orgánica. Otros factores relevantes son las características de la contaminación del suelo, que se refiere al tipo, concentración, fraccionamiento y especiación de los metales presentes; en la tecnología del lavado de suelo se pueden utilizar una gran variedad de extractantes químicos, cuya elección, entre otros, depende del tipo de contaminante objetivo. Para el caso del cobre, se tiene que el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) ha reportado buenos resultados de extracción, por ejemplo para los estudios realizados por Moutsatsou (2006), se obtuvo una eficiencia de remoción de 41% de cobre usando EDTA ese caso se usó una razón solido/liquido=30 g/L, un tiempo de lavado de 1 hora.

Esta técnica posee algunas ventajas que cabe destacar. Por ejemplo, permite tratar una amplia variedad de contaminantes, tales como: compuestos orgánicos, semivolátiles, hidrocarburos, cianuros y por supuesto, metales. Es eficiente en la extracción de compuestos inorgánicos como el arsénico. Otra ventaja que se puede mencionar es que esta tecnología permite tratar formas absorbidas de los metales y que puede ser aplicada In Situ.

b) Fitorremediación de los relaves presentes en la Planta de Beneficio “Reina del Cisne II” para estabilizar y retener el Cobre (Cu)

Según Espín (2018), menciona que estudios realizados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) han logrado identificar la factibilidad de las técnicas de fitorremediación de metales pesados para lo cual se deben considerar cuatro mecanismos de absorción de metales en plantas como son: fitoextracción, fitovolatilización, fitoestabilización, fitoinmovilización, fitodegradación y rizofiltración como se indica en la siguiente tabla:



Tabla 19. *Mecanismos de absorción de Metales*

Proceso	Mecanismo	Contaminantes
Fitoestabilización	Complejacion	Orgánicos e Inorgánicos
Fitoextracción,	Hiperacumulacion de metales pesados	Inorgánicos
Fitovolatilización	Volatilización a través de hojas	Orgánicos e Inorgánicos
Fitoimmobilización	Acumulación de la Rizosfera	Orgánicos e Inorgánicos
Fitodegradación	Uso de plantas y microorganismo asociados para degradar contaminantes	Orgánicos
Rizofiltración	Uso de raíces y microorganismos para absorber y adsorber contaminantes del agua	Orgánicos e Inorgánicos

Fuente: Espín (2018)

Siendo así la industria minera en Perú y proyectos como Rio Blanco del Grupo JUNEFIELD ECUADOR dedicada a la exploración y explotación de minerales metálicos, ubicada en la provincia del Azuay, específicamente en los cantones Chaucha y Molleturo, mediante una investigación experimental realizada por Espin, (2018), de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), han visto factible y viable la aplicación de la técnica de fitorremediación para el tratamiento de los relaves que genera su empresa como alternativa para depurar y tratar los contaminantes presentes en los relaves mineros. Como resultado el estudio evaluó el uso de especies forestales de la sierra peruana determinando las más eficientes entre ellas las siguientes:

➤ ***Myoporum laetum***

Es originaria de Nueva Zelanda, en Perú se la conoce como *Miosporo*, como se la puede observar en la Figura 13, es muy resistente, aguanta muy bien la proximidad del mar, el viento, terrenos arenosos y áreas costeras (Manzanera, 2005).



Figura 13. *Myoporum laetum*.

Fuente: Manzanera (2005)

➤ *Polylepis racemosa*

Esta especie también llamada *Quinual* (Figura 14), tolera diversos tipos de suelo aunque crece con mayor rapidez en aquellos con texturas francas: franco-arcillosas y franco arenosas; crece bien en suelos pocos profundos con altos porcentajes de pedregosidad. Requiere medios a altos y constantes niveles de humedad, la *Polylepis racemosa* es posiblemente la especie del género con más rápido ritmo de crecimiento en la Sierra Central y Sur del Perú (Reynel y León, 1990).



Figura 14. *Polylepis racemosa*

Fuente: Arica (2003)

➤ ***Buddleja coriácea***

Es un arbusto también conocido como *Kishuara* de 2 a 8 m de altura con buen diámetro recto y de buena ramificación, reconocible por su copa globosa y plena de follaje color verde oscuro. Las láminas tienen el envés pubescente y blanquecino. Las flores son pequeñas pero abundantes y de vivo color anaranjado o amarillento, se encuentra en la sierra central y sur del Perú, prefiere los suelos francos o franco-arenosos y con buena profundidad; sin embargo es una especie plástica. Se adapta bien en suelos con pedregosidad media; es utilizado como muros de contención en contorno y con obras mecánicas de conservación y recuperación de suelos como se puede ver en la figura 15, y frecuentemente esta especie y la especie *polylepis racemosa* la asocian con obras mecánicas de conservación y recuperación de suelos (Arica, 2003).



Figura 15. *Buddleja coriácea*

Fuente: Arica (2003)

De esta manera las dos tecnologías fueron seleccionadas bajo el contexto de la estrategia de remediación del Cobre (Cu), si procedemos a comparar estas técnicas a través de sus ventajas y desventajas se dice que el lavado de suelos tiene la ventaja de tener la opción de tratar una alta gama de contaminantes tales como hidrocarburos, cianuros y los metales; y la desventaja más relevante es en el aspecto económico ya que se necesita de un debido protocolo, personal especializado e infraestructura para su tratamiento.

La fitorremediación es una tecnología muy interesante en cuanto a la utilización de especies forestales para estabilizar y retener el Cobre (Cu), las ventajas de esta técnica son muy relevantes, empezando que se la puede aplicar in situ y ex situ, se la realiza sin

necesidad de transportar el material contaminado, es de bajo costo, no requiere personal especializado para su manejo, tiene un alta probabilidad de ser aceptada por el público ya que es estéticamente agradable y evita la excavación y el tráfico pesado; y la desventaja es que es un proceso relativamente lento y que no todas las plantas son tolerantes o acumuladoras.

La Planta de Beneficio Reina del Cisne II, cuenta con una área limitada y con presupuesto ajustado solamente dirigido al mantenimiento de los procesos industriales de beneficio antes mencionados y a los tres relaves que constituye la misma; por tal motivo si ha visto factible por razones técnicas y económicas proponer la tecnología de fitorremediación ya que se ajusta en todos los aspectos al área de estudio.

Con el cobre (Cu) como principal contaminante presente en los relaves de la planta de beneficio, se propone aplicar la técnica de fitorremediación, en donde según el estudio realizado por Espin (2018), menciona la utilización de tres especies forestales denominadas: *Myoporum laetum*, *Polylepis racemosa* y *Buddleja coriácea*; en donde de acuerdo con los resultados de los análisis obtenidos la especie forestal que mejor resultado generó es la denominada *Myoporum laetum*, ya que de 5460.5 mg/kg de cobre (Cu), tal especie logro retener 864.86 mg/kg, más que la *Polylepis racemosa* que obtuvo 723.52 mg/kg y la *Buddleja coriácea* que alcanzo 741.54 mg/kg tal y como se muestra en la Figura 16.

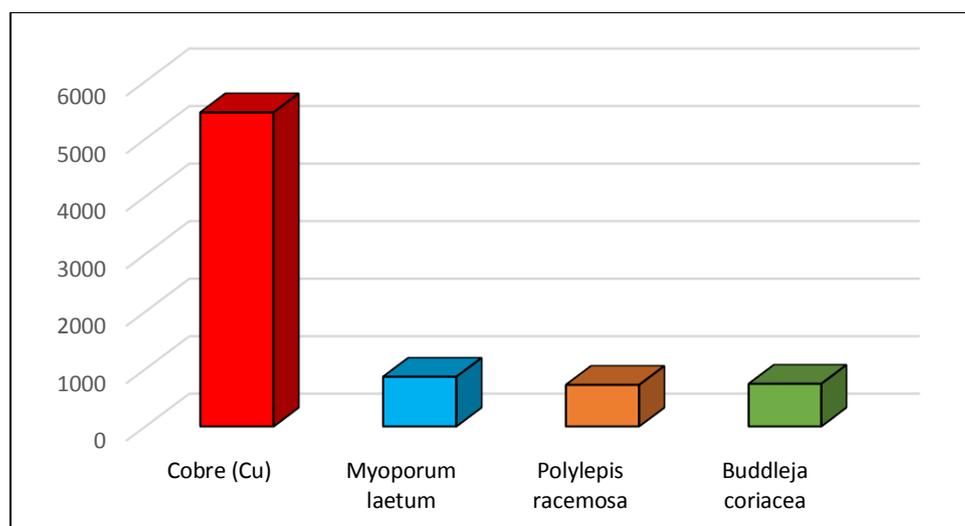


Figura 16. Remoción del Cobre (Cu) por las especies forestales.

Fuente: El autor (2018)



La especie *Myoporum laetum* es originaria de Nueva Zelanda, en Perú se la conoce como *Miosporo*, es muy resistente, aguanta muy bien la proximidad del mar, el viento, terrenos arenosos y áreas costeras; llega a una altura de 4 a 6 metros, es de porte abierto y con las hojas agrupadas hacia el final de ramas como se puede observar en la Figura 17, florece de marzo a mayo, soporta muy bien el recorte y las podas, se multiplican con facilidad por esquejes y por semillas. Toxico por ingestión de animales de las especies ovina, bovina, porcina y equina; y finalmente las especies de mayor porte se suelen utilizar para formar setos y barreras contravientos (Manzanera, 2005).



Figura 17. Especie *Myoporum laetum*.

Fuente: Manzanera (2005)

Los tres relaves que forman parte de la planta procesadora de minerales se encuentran constituidos por una importante cantidad de cobre (Cu), pero cabe mencionar que de acuerdo al proceso ahí establecido, cada uno de ellos presenta cantidades diferentes ya que el material se encuentra sometido constantemente a una reutilización con la finalidad de extraer la mayor parte posible del mineral de interés; siendo de vital importancia indicar que la técnica de fitorremediación con la aplicación de la especie forestal *Myoporum Laetum* se la propone realizar exclusivamente al Relave 3, el cual constituye el material final que es transportado a la relavera municipal sin antes aplicarle su debido tratamiento.

Es de carácter indispensable controlar las altas concentraciones de Cu, ya que Alcaino (2012), indica que la ingestión de mismo en altas cantidades produce náuseas, vómitos, calambres estomacales, sudoración, hemólisis intravascular y posible falla renal; en raras ocasiones convulsiones, coma y muerte. La inhalación de polvos de Cu, puede causar congestión nasal y de las mucosas y ulceración con perforación del tabique y la exposición prolongada a estos puede irritar la nariz, la boca, los ojos y causar dolores de cabeza, mareo, y nauseas.

En el estudio realizado por Espín (2018), la especie forestal *Myoporum Laetum*, en un periodo de 27 semanas retiene 864.86 mg/kg de una concentración de Cu de 5460.5 mg/kg, lo que muestra que aplicado al contenido de Cobre del Relave 3 de la Planta de Beneficio Reina del Cisne II que cuenta con una cantidad de 460.7 mg/kg (Cu), el resultado sería la estabilización y la remoción completa, ya que la capacidad extractiva de la especie forestal es superior a la cantidad del contaminante (Cu) presente en tal relave como se indica la Figura 18, por tal razón es una propuesta factible y viable que permitirá cumplir con la normativa vigente y principalmente con los valores de los límites máximos permisibles establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA).

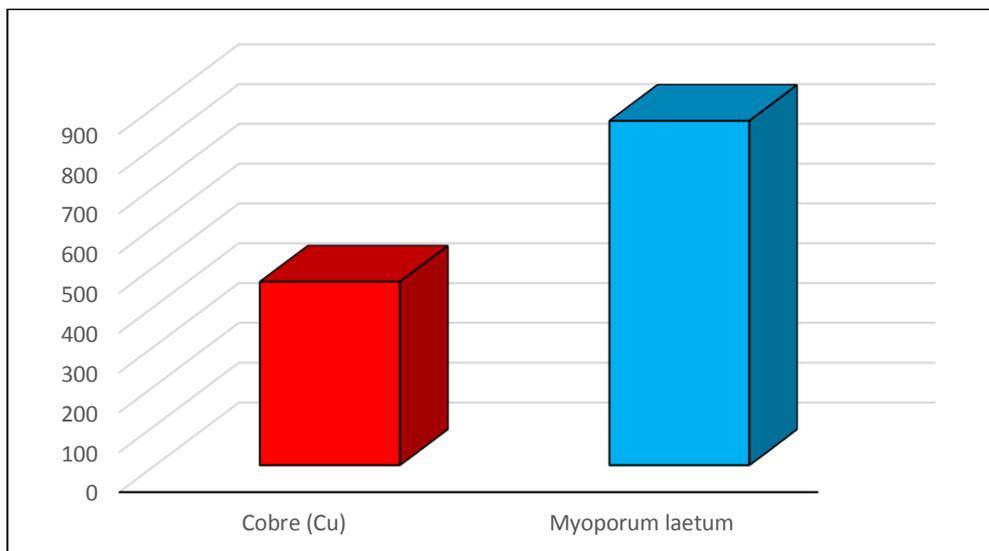


Figura 18. Remoción de Cu del Relave 3 por la especie *Myoporum laetum*.

Fuente: El autor (2005)

Finalmente, una vez analizados todos los procesos, técnicas, aspectos y factores, se ha dispuesto para la aplicación de la propuesta de fitorremediación una área de 273 m², la cual como se observa en la Figura 19 y en el mapa topográfico (Anexo 4), se encuentra ubicada estratégicamente de acuerdo con todos los requerimientos que exige la ley, además de proporcionar un ambiente estético con el paisaje que rodea la planta de beneficio al encontrarse delimitada por el Rio Calera del cantón Portovelo provincia del Oro.

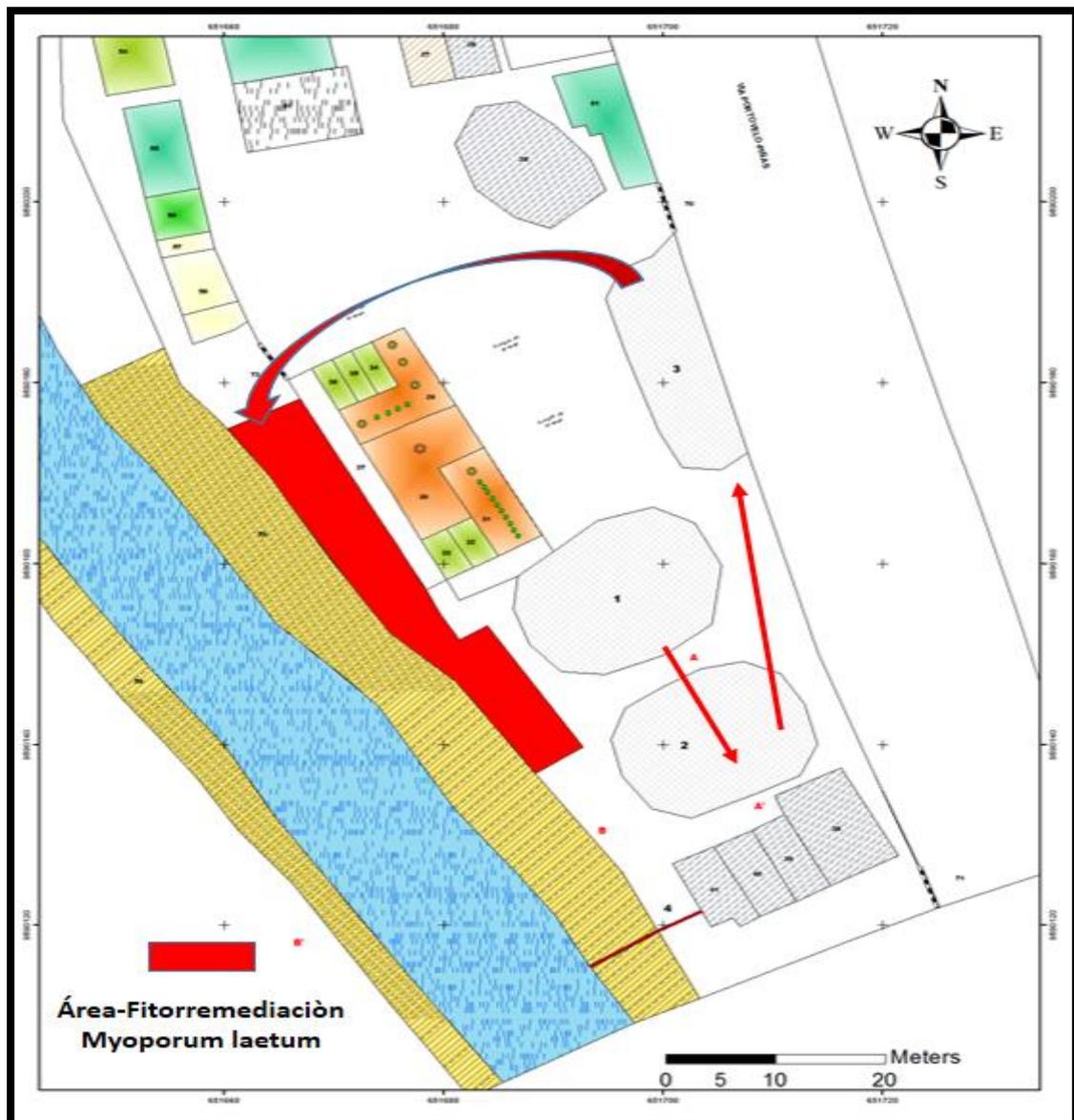


Figura 19. Área dispuesta para la aplicación de la técnica de Fitorremediación en la planta de beneficio Reina del Cisne II.

Fuente: El autor (2018)



6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El origen del material que se encuentra procesando en la Planta de Beneficio “Reina del Cisne II” código 390015 es proveniente de las áreas mineras adjuntas a las concesiones “Miopi” código 264 y “Miranda Alto” código 481 las cuales se encuentran ubicadas en el cantón Zaruma provincia del Oro, en donde seguidamente se procede a realizar el proceso industrial para el beneficio de mineral de interés de una forma adecuada que permite la obtención de aproximadamente el 85% de su concentración, a través de la aplicación de procesos como: trituración, clasificación, molienda, concentración gravimétrica y flotación; por otro lado, existen equipos sin funcionamiento como los que se utilizan para la ciunarición, cabe señalar que por el momento no se encuentran realizado tal procedimiento.

Es así que finalmente el material residual resultado del beneficio del mineral se llega a depositar en los relaves; la planta de beneficio actualmente cuenta con tres, los cuales se encuentran ubicados en la parte central; así mismo, existe un punto de descarga de aguas residuales que desemboca hacia el Rio Calera ya que este se encuentra delimitando un extremo de la superficie en estudio.

La topografía influyó para la interpretación y conocimiento a detalle de las áreas que conforman la superficie de la Planta de Beneficio, la cual cuenta con una área de 6180.8 m² y con un perímetro de 395.6m, así mismo, permitió la ubicación exacta de los puntos de muestreo como en el Relave uno que cuenta con una área de 252.13 m², el Relave 3 con 174.52 m², de igual manera con el punto de descarga de aguas residuales hacia el rio Calera que genera un caudal diario de 1447.72 L/h.

De lo analizado en el campo y de los resultados de los análisis físicos- químicos realizados a los sedimentos de los relaves y a las aguas residuales de los mismos indicaron que el Relave 1 perteneciente a la descarga principal se encuentra contaminado por Plomo (Pb) 374.2 mg/kg, Arsénico (As) 67.29 mg/kg, Cadmio (Cd) 3.49 mg/kg y Cobre (Cu) 1921, así mismo el Relave tres establecido como la Disposición Final se encuentra constituido por cantidades de Plomo (Pb) 235.3 mg/kg, Arsénico (As) 58.3 mg/kg, Cadmio (Cd) 2.48 mg/kg y Cobre (Cu) 460.7, finalmente el agua residual se encuentra compuesta por Plomo (Pb) 1.14 mg/kg, Arsénico (As) <0.002 mg/kg, Cadmio (Cd) 0.02 mg/kg y Cobre



(Cu) 1.0 mg/kg; con estos resultados y comparados con el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), indican que el principal contaminante presente en las tres muestras y que sobrepasan en mayores cantidades los límites máximos permisibles establecidos en la normativa vigente es el Cobre (Cu).

Con el Cobre (Cu) definido como el principal contaminante presente en los relaves de la planta de beneficio se ha propuesto dos tecnologías: el lavado de suelos y la fitorremediación; de las cuales a través de su análisis técnico y económico se ha visto factible y viable aplicar la fitorremediación; existen proyectos como Rio Blanco del grupo JUNEFIELD ECUADOR dedicada a la exploración y explotación de minerales metálicos, ubicada en la provincia del Azuay, específicamente en los cantones Chaucha y Molleturo, que mediante una investigación experimental realizada por Espín (2018), utilizaron tres especies forestales denominadas *Myoporum laetum*, *Polylepis racemosa* y *Buddleja coriácea*. El resultado de estas especies plantadas en los relaves mineros durante 27 semanas demostraron presentar una gran tolerancia a suelos contaminados por metales y se obtuvo una perfecta remoción no solamente del Cobre el cual es el mayor elemento perjudicial presente en los relaves de la Planta de beneficio, sino también a otros asociados al mismo como el Arsénico (As), Cadmio (Cd) Plomo (Pb), Antimonio (Sb) y Plata (Ag). Tal como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 20. Resultados del análisis de metales pesados.

Parámetro	Calidad de Relave Minero (Mg / Kg)	Valoración de Calidad de Relave una vez aplicada la Técnica de Fitorremediación		
		<i>Myoporum laetum</i>	<i>Polylepis racemosa</i>	<i>Buddleja coriácea</i>
Cobre	5460.5	864.86	723.52	741.54
Arsénico	2202.0	1348.9	999.71	1344.98
Cadmio	36.52	32.80	31.96	32.15
Plomo	2933.5	1081.87	938.72	946.79
Antimonio	298.1	89.54	73.48	74.85
Plata	61.6	45.95	30.43	38.192
pH	2.50	6.58	6.55	6.63

Fuente: Espín (2018)

Por otro lado Medina (2017), propone la elaboración de bloques utilizando como agregado de construcción los relaves mineros como se puede observar en la Figura 20, la cual es una tecnología que en el Ecuador no ha sido utilizada; esta técnica permite generar recursos económicos proporcionando ingresos adicionales ya que será comercializado como material de construcción para edificaciones requeridas.



Figura 20. Bloques elaborados con agregados de relaves mineros

Fuente: El autor (2018)

En la planta de beneficio Reina del Cisne II se propone utilizar la especie forestal *Myoporum laetum* ya que como se observa en la tabla 20 es la que mayor capacidad de retención presenta, de esta forma se prevé estabilizar y obtener una reducción total, dejando la valoración del Cobre dentro de los límite máximos permisibles normados en la ley.



7. CONCLUSIONES

- El material que es procesado en la Planta “Reina del Cisne II” proviene de las minas adjuntas a las concesiones “Miopi” código 264 y “Miranda Alto” código 481.

- El proceso Industrial aplicado para la recuperación del mineral en la Planta de Beneficio consiste en: Trituración, clasificación, molienda, concentración gravimétrica y flotación, los cuales permiten una recuperación estimada del 80% de metales, empleando así mismo colectores, espumantes, depresores y activadores.

- El levantamiento topográfico permitió determinar y conocer a detalle todas las áreas que constituye la superficie de Planta de Beneficio “Reina del Cisne II”, principalmente la ubicación de los puntos de muestreo de los relaves y de las aguas residuales a ser analizadas.

- La Planta de Beneficio cuenta con tres Relaves Mineros ubicados en la parte central, por lo cual como base de estudio para el presente proyecto se han tomado dos denominados Relave uno que constituye la Descarga Principal y Relave tres como la Disposición Final, como también las aguas residuales provenientes de las piscinas de sedimentación que se vierten hacia el Rio Calera.

- En los Relaves y en las aguas residuales de la Planta de Beneficio de acuerdo con los resultados de los análisis el elemento que mayor presencia constituye excediendo de esta forma los máximos niveles permisibles establecidos en el TULSMA es el Cobre (Cu).

- La técnica propuesta a ser aplicada para la mitigación del principal contaminante como es el Cobre (Cu), es la de Fitorremediación en donde se utilizaran especies endémicas del Perú, específicamente la *Myoporum laetum*, la cual presenta la mayor extracción y estabilización al mismo.



8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con las investigaciones implementado tecnologías renovadoras que permitan la protección del medio ambiente tanto en el canton Portovelo como en el país en general

-Incentivar el Desarrollo de proyectos de Investigación que permitan resolver diversos problemas ambientales producidos por la minería en coordinación con Universidades y empresas Particulares.

-Profundizar conocimientos acerca de composición de los relaves mineros que permitan establecer alternativas eficientes para el control y estabilización de los mismos, ya que el país se encuentra económicamente sujeto a la explotación minera, resultando de esta manera varios riesgos ambientales que perjudican la ecología y el buen vivir de la ciudadanía.



9. BIBLIOGRAFÍA

- **Agencia de Regulacion y Control Minero.2016.** Proyecto de seguimiento, control y evaluación de labores mineras en el distrito Zaruma – Portovelo
- **Alcaino Cocha. 2012.** Análisis y Comparación de Tecnologías de Remediación para suelos contaminados con Metales. Santiago de Chile.
- **Andrea Beltrán Loyola, 2010.** Políticas públicas municipales como herramientas de control socio-ambiental en las actividades de explotación minera de la provincia de Zamora Chinchipe. Loja
- **Armijos (2011).** Comportamiento del mineral skarn aurífero del yacimiento Fortuna I, ensayos de lixiviación con cianuro de la compañía minera Fortuna Gold Mining Corporation. UTPL.
- **Arica Dennis (2003).** Algunas Especies Forestales Nativas Para la Zona Altoandina, Peru.
- **Bueno (2017).** Fundamentos de Minería. Universidad Nacional de Loja. Loja
- **Bureau Veritas, 2008.** Manual para la formación en el Medio Ambiente. ISBN: España.
- **Calligos Rodriguez.2014.** Evaluación de la capacidad Fitorremediadora de la especie chrysopogon zizanioides mediante la incorporación de enmiendas en Relaves minero. Peru
- **Calvelo, Monterroso, Camps, Macías, 2008.** Estudio del Comportamiento del hexaclorociclohexano en el Sistema Suelo-Planta para su aplicación en Técnicas de Fitorremediación. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Biología.
- **Carrión Gonza, 2010.** Estudio mineralógico para la determinación de oro refractorio en los distritos mineros de Portovelo, Bella Rica y San Gerardo, Ed UTPL, Loja. Ecuador.
- **Castañeda S., Lezama J. y Ampuero J. (2015).** Sistema de relleno con mortero de relave para mejorar la confiabilidad del sostenimiento en la minería subterránea. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima-Perú.
- **Chapman, P. M. 1989.** Review: current approaches to developing sediment quality criteria. Environmental toxicology and chemistry. 8(7): 589-599.



- **Chapman, P.M. 1989.** Review: current approaches to developing sediment quality criteria. Environmental toxicology and chemistry.
- **Cornelis, R. y Nordberg, M. 2007.** General Chemistry, Sampling, Analytical Methods, and Speciation. pp. 11-38. En: Handbook on the toxicology of metals. Gunnar, F., Nordberg, B. A., Norberg, M y Lars T. F. (eds.). Ed. Elsevier. San Diego, CA.
- **Córtex J. y Guillén A. (2010).** Segunda unidad del curso de química III. Industria Minero-Metalúrgica Procesos de extracción y concentración de Minerales. Universidad Autónoma de México
- **CRomero A., Medina R., Puente L., Flores S., Guadalupe E., De La Cruz E., Ramírez V. (2007).** Los residuos sólidos mineros del proceso de flotación de minerales en la cuenca del río Santa – Áncash. Perú
- **Cunningham, SD; Anderson, TA; Schwab, AP; Hsu, F.C. 1996.** Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants p 55-114, In Donald I., Sparks (ed.) Advances in agronomy, Academic Press.
- **Diez Lázaro, J. 2008.** Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados: Evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas, Universidad De Santiago de Compostela Departamento De Edafología y Química Agrícola. Tesis Doctoral.
- **Doménech, Xavier; Peral José. 2006.** Química ambiental de sistemas terrestres
- **Duffus, J. H. 2002.** Heavy metals a meaningless term. Pure and applied chemistry. 74(5): 793-807.
- **Durán J. (2008).** Diagnóstico de la contaminación por mercurio en aguas y sedimentos de ríos que reciben efluentes de la minería de oro en los sectores de Nambija, Ponce Enríquez y Portovelo. Escuela Superior Politécnica Equinoccial, Quito-Ecuador.
- **Espin Pacheco. 2018.** Manejo ,gestión ,Tratamiento y Disposición Final por los Relaves Generados del Beneficio del mineral obtenido de la explotación del Río Blanco.Sangolqui.
- **Fernández B. (2007).** Desarrollo de un nuevo método para la eliminación de cianuro de aguas residuales de mina. Universidad de Oviedo-España. Recuperado de: <http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/31849/UOV00>



- **Fernando Enrique Toledo Garay, 2006.** Reducción del impacto Ambiental en minas con la disposición de residuos en subsuelo. Lima- Perú
- **Fontana, D., Lascano, V., Solá, N., Virgolini, M. y Mazziari, M. 2013.** Intoxicación por plomo y su tratamiento farmacológico. Revista de salud pública. 17(1): 49-59.
- **Galeano E. (1971).** Las venas abiertas de America Latina. Primera edición. ISBN: 968-23-2557-9. México.
- **Glass, D. 1999.** U.S. and international activities in phytoremediation: industry and market overview.
- **Gobierno Descentralizado. 2014-2019.** Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Paroquia. Sinsao
- **Guadalupe Hernández. 2015.** Determinación de metales pesados (Pb, Cd, Cr) en agua y sedimentos de la zona estuarina del río Tuxpan, Veracruz. Tuxpan, Veracruz
- **Hellawell, J. M. 1989.** Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management. Ed. Elsevier Applied Science, Londres. 546 pp.
- **Jiménez, J. A. 2001.** Sedimentos marinos contaminados y alternativas de actuación con énfasis en la técnica de recubrimiento. Ed. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. 322 pp.
- **Jiménez, J.A. 2001.** Sedimentos marinos contaminados y alternativas de actuación con énfasis en la técnica de recubrimiento. Ed. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España
- **Lenin Paspuel Revelo, 2002.** La conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad en el Ecuador. Quito
- **Linnik, M. y Zubenko, I. 2000.** Role of bottom sediments in the secondary pollution of aquatic environments by heavy metal compounds. Lakes & Reservoirs: Research and Management 5(1):11-21.
- **Linnik, M. y Zubenko, I. 2000.** Role of bottom sediments in the secondary pollution of aquatic environments by heavy metal compounds. Lakes & Reservoirs
- **Logsdon, Hagelstein y Mudder (2001).** El manejo del cianuro en la extracción de oro. Ottawa-Canadá. ISBN 1-895720-35-4



- **Luz Sánchez Soto, 2014.** Efectos de la contaminación producida por relaves de la minería informal en la Región Puno-Perú
- **Luzuriaga K. (2001).** Procesamiento a nivel piloto de un mineral aurífero por el Sistema Cianuración-CIP. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.
- **Magné L. (s.f.).** Introducción a la Metalurgia: Capítulo 12. Procesamiento de Minerales. Universidad de Santiago de Chile.
- **Mamani O. (2007).** Implementación de procesos de destrucción de cianuro con sulfato ferroso y peróxido de hidrógeno. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú.
- **Mandelli, E. F. 1979.** Contaminación por metales pesados. Rev. Com. Perm. Pacífico Sur. 10: 209-228.
- **Mandelli, E. F. 1979.** Contaminación por metales pesados. Rev. Com. Perm. Pacífico Sur
- **Marín S. (2011).** Aporte dinámico de cianuro, mercurio, plomo y arsénico en los cauces naturales de los ríos Calera y Amarillo en el distrito minero Portovelo-Zaruma. Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.
- **Mark J. Logsdon, MSc Karen Hagelstein, PhD, CIH y Terry I. Mudder, PhD (2001).** El manejo del cianuro en la extracción del oro. Consejo internacional de metales y medio ambientes, canada k1p 6e6
- **Medina (2017).** Comportamiento físico-mecánico del hormigón simple fabricado con arenas de relave de la planta de tratamiento y beneficio “reina del cisne”, código 390354, del cantón portovelo, provincia de el oro, Universidad Nacional de Loja, Loja.
- **Ministerio de Minería de la República de Chile (2007).** Decreto Supremo No. 248: Reglamento para la aprobación de proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de los Depósitos de Relaves.
- **Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales (2004).** Minería: Impactos sociales y ambientales
- **Manzanera José (2005).** Flora Ornamental del Centro Urbano de Cabezo de Torres, Cartagena.
- **Páez-Osuna, F., 2005.** Efectos de los metales, pp. 343-360. En: Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Botello, V. A.,



- Rendón-von Osten, J., Gold-Bouchot, G. y Agraz-Hernández, C. (eds.). Ed. Universidad Autónoma de Campeche, Univ. Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología, México
- **Paladines Agustín, 2010.** Geología y Yacimientos Minerales del Ecuador, Ed. UTPL, Loja, Ecuador.
 - **Paladines. (2009).** Informe Auditado de Producción Planta de Tratamiento Reina del Cisne II, Zaruma. Junio
 - **Patricia Guadalupe Macías Hernández. 2015.** Determinación de metales pesados (Pb, Cd, Cr) en agua y sedimentos de la zona estuarina del río Tuxpan, Veracruz. UNIVERSIDAD VERACRUZANA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS Campus TUXPAN
 - **Pérez E (2008).** Tiempo y espacio en geología económica, Universidad de Sonora, Revista Número 21: Abril-Junio.
 - **Rainbow, P. S., Huang, Z. G., Yan, S. K, y Smith, B. D. 1993.** Barnacles as biomonitors of trace metals in the coastal water near Xiamen, China. Asian Marine Biology. 10: 109-121.
 - **Rainbow, P.S.1995.** Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. Mar. Poll. Bull.
 - **Ramírez N. (2007).** Guía Técnica de operación y control de depósitos de relaves. Servicio de Geología y Minería. Chile.
 - **Ramírez, M. W. 1999.** Diseño de un modelo de saneamiento de suelos contaminados con metales pesados derivados de la explotación minera. Tesis de Maestría. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco. México.
 - **Reynel Carlos. y León J.1990.** Árboles y arbustos andinos para agroforestería conservación de suelos, Lima, Perú, Proyecto FAO/Holanda/DGFF
 - **Romero, A. Flores, S. y Medina, R. (2008).** Estudio de los metales pesado en el relave abandonado de Ticapamba. Revista del Instituto de investigaciones FIGMMG
 - **Salager y Forgiarini (2007).** Fundamentos de la Flotación, Laboratorio de formulación, interfaces, reología y procesos, Meridia-Venezuela



- **Sellers, K. 1999.** Fundamentals of hazardous waste site remediation. Lewis Publishers, 326 pp.
- **Vasallo (2008).** Yacimientos de minerales metálicos. Querétaro, MEXICO. 4ta. edición
- **Vela M. 201).** Giro tributario para atraer la inversión minera. Revista Gestión No. 268. Ecuador.
- **Velasco C. (2015).** Contaminantes generados en la exploración y explotación minera, métodos de análisis y sus efectos ambientales. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Escuela de Ciencias Químicas. Quito-Ecuador
- **Volke, T; Velásco, J. 2002.** Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Instituto nacional de Ecología.
- **Volke, T; Velásco, J.; de la Rosa Pérez, D. 2005.** Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología.
- **Yarto, M. 2005.** Las sustancias tóxicas en México. Instituto Nacional de Ecología. México. [Actualizado al 15 de noviembre de 2007]. Página electrónica (<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/467/yarto.html>).



“UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”
 Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
 Carrera de Manejo y Conservación del Medio Ambiente

ANEXO 1

Tabla 2. Libro VI, anexo I, tabla 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

TABLA 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE			
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN"	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real 1	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr6	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Mangane so total	Mn	mg/l	2,0
Mate ri a flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Niquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjedahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO4 2	mg/l	1000
Sulfuros	S 2	mg/l	0,5
Temperatura	oC		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
1 La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida			



ANEXO 2

Tabla 3. Libro VI, anexo 2, tabla 1, Criterios de calidad del suelo.

Parámetro	Unidades*	Valor
Parámetros Generales		
Conductividad	uS/cm	200
pH		6 a 8
Relación de adsorción de Sodio (Índice SAR)		4*
Parámetros inorgánicos		
Arsénico	mg/kg	12
Azufre (elemental)	mg/kg	250
Bario	mg/kg	200
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	1
Cadmio	mg/kg	0.5
Cobalto	mg/kg	10
Cobre	mg/kg	25
Cromo Total	mg/kg	54
Cromo VI	mg/kg	0.4
Cianuro	mg/kg	0.9
Estaño	mg/kg	5
Fluoruros	mg/kg	200
Mercurio	mg/kg	0.1
Molibdeno	mg/kg	5
Plomo	mg/kg	19
Selenio	mg/kg	1
Vanadio	mg/kg	76
Zinc	mg/kg	60
Parámetros orgánicos		
Benceno	mg/kg	0.03
Clorobenceno	mg/kg	0.1
Etilbenceno	mg/kg	0.1
Estireno	mg/kg	0.1
Tolueno	mg/kg	0.1
Xileno	mg/kg	0.1
PCBs	mg/kg	0.1
Clorinados Alifáticos (cada tipo)	mg/kg	0.1
Clorobencenos (cada tipo)	mg/kg	0.05
Hexaclorobenceno	mg/kg	0.05
Hexaclorociclohexano	mg/kg	0.01
Fenólicos no clorinados (cada tipo)	mg/kg	0.1
Clorofenoles (cada tipo)	mg/kg	0.05
Hidrocarburos totales (TPH)	mg/kg	150
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) cada tipo	mg/kg	0.1



ANEXO 3

Tabla 4. Libro VI, anexo 2, tabla 2, Criterios para la remediación del Suelo

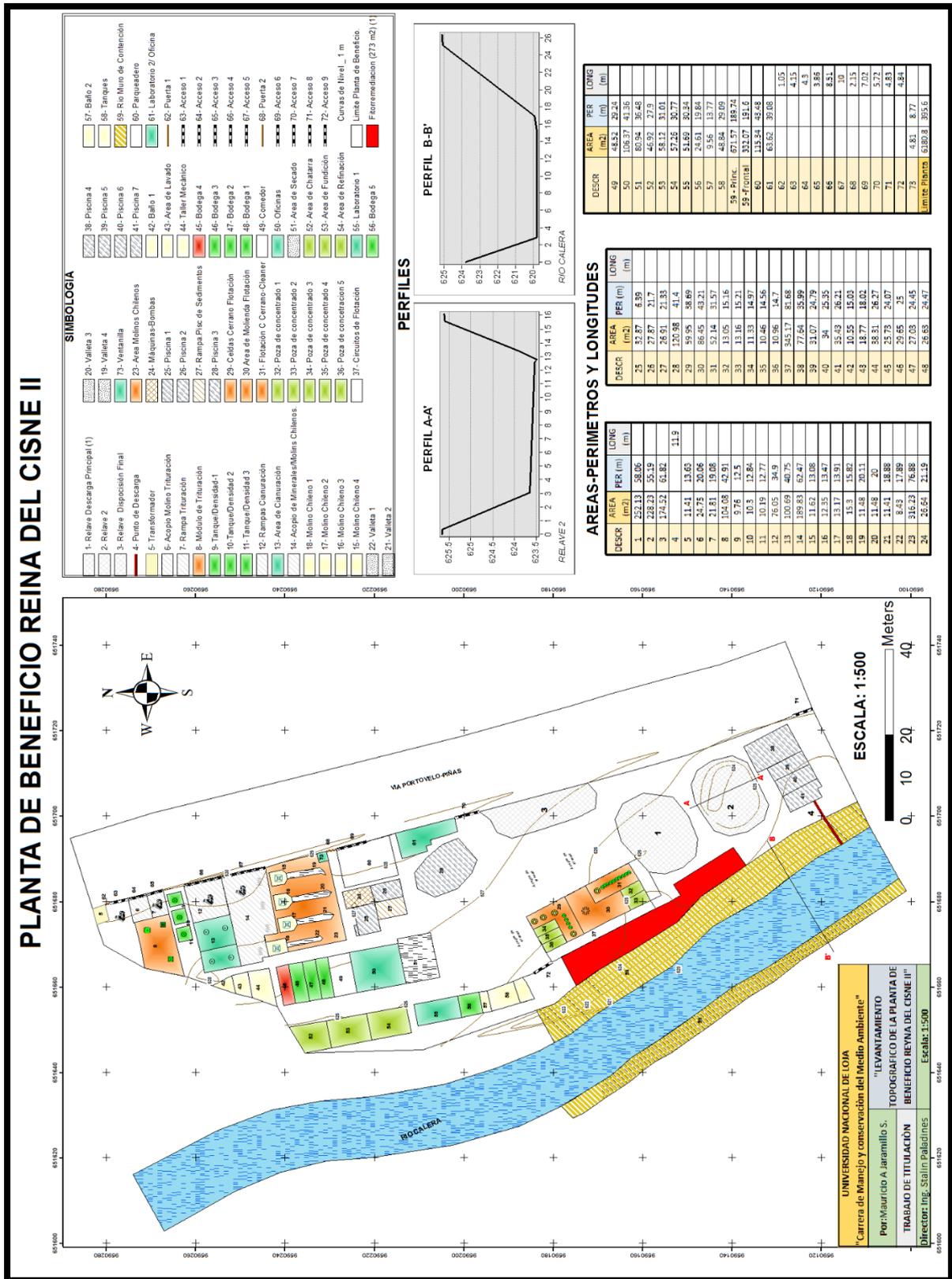
Parámetro	Unidades*	USO DEL SUELO			
		Residencial	Comercial	Industrial	Agrícola
Parámetros Generales					
Conductividad	uS/cm	200	400	400	200
pH	-	6 a 8	6 a 8	6 a 8	6 a 8
Relación de adsorción de Sodio (Índice SAR)	-	5	12	12	5
Parámetros inorgánicos					
Arsénico	mg/kg	12	12	12	12
Sulfuro	mg/kg	-	-	-	500
Bario	mg/kg	500	2000	2000	750
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	-	-	-	2
Cadmio	mg/kg	4	10	10	2
Cobalto	mg/kg	50	300	300	40
Cobre	mg/kg	63	91	91	63
Cromo Total	mg/kg	64	87	87	65
Cromo VI	mg/kg	0.4	1.4	1.4	0.4
Cianuro	mg/kg	0.9	8	8	0.9
Estaño	mg/kg	50	300	300	5
Fluoruros	mg/kg	400	2000	2000	200
Mercurio	mg/kg	1	10	10	0.8
Molibdeno	mg/kg	5	40	40	5
Níquel	mg/kg	100	100	50	50
Plomo	mg/kg	140	150	150	60

Selenio	mg/kg	5	10	10	2
Talio	mg/kg	1	1	1	1
Vanadio	mg/kg	130	130	130	130
Zinc	mg/kg	200	380	360	200

Parámetros orgánicos

Aceites y grasas	mg/kg	500	2500	4000	4000
Benceno	mg/kg	0.08	5	5	0.03
Etilbenceno	mg/kg	0.1	20	20	0.1
Estireno	mg/kg	5	50	50	0.1
Tolueno	mg/kg	0.37	0.8	0.8	0.08
Xileno	mg/kg	2.4	11	20	0.1
PCBs	mg/kg	1.3	33	33	0.5
Clorofenoles (cada tipo)	mg/kg	0.5	5	5	0.05
Fenoles (total)	mg/kg	3.8	3.8	5	3.8
Clorinados alifáticos (cada tipo)	mg/kg	5	50	50	0.1
Hidrocarburos totales (TPH)	mg/kg	230	620	620	150
Clorobencenos (cada tipo)	mg/kg	2	10	10	0.05
Tetracloroetilenos	mg/kg	0.2	0.5	0.6	0.1
Tricloroetileno	mg/kg	3	30	30	0.1
Atrazina	mg/kg	0.005	0.005	0.005	0.005
Carbofuran	mg/kg	0.01	0.01	0.01	0.01
Alifáticos no clorinados (cada tipo)	mg/kg	-	-	-	0.3

ANEXO 4





“UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”
Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
Carrera de Manejo y Conservación del Medio Ambiente

ANEXO 5



ALS Ecuador
 Rigoberto Heredia Oe6-157 y Huachi
 Quito, Ecuador
 T: +59 3 2341 4080

PROTOCOLO N°: 123315/2018-1.0	RU-49
	Revisión: 10
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Página 1 de 3

NOMBRE DEL CLIENTE: INGENIERO MAURICIO JARAMILLO
 DIRIGIDO EN ATENCIÓN A: INGENIERO MAURICIO JARAMILLO
 NOMBRE DEL PROYECTO: MONITOREO DE SUELO
 DIRECCIÓN DEL PROYECTO: LOJA
 MUESTREO REALIZADO POR: EL CLIENTE
 PROCEDIMIENTO MUESTREO: NO REPORTADO POR EL CLIENTE
 FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS: MARZO, 19 DEL 2018 / 12:23 / N° CADENA DE CUSTODIA: 0019784
 LUGAR DE ANÁLISIS: CORPLABEC S.A. / QUITO - RIGOBERTO HEREDIA OEB-157 Y HUACHI
 FECHA DE ANÁLISIS: MARZO 19 AL 29 DEL 2018
 FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 29 DE MARZO DEL 2018

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MATRIZ	SUELO					
	CÓDIGO DE LABORATORIO	CÓDIGO DE MUESTREO	REFERENCIA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	COORDENADAS UTM WGS 84
13649-1	Rela 1-Descarga Principal	Rela 1-Descarga Principal	No reportado por el cliente	No reportado por el cliente	No reportado por el cliente	Ninguna Observación

REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

Laboratorio de Ensayo ALS acreditado por el SAE con Acreditación N° OAE LE 2C 05-005.
 Los ítems marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.

SM - Standard Methods

EPA - Environmental Protection Agency

Los resultados solo se refieren a las muestras analizadas. ALS declina toda responsabilidad por el uso de los resultados aquí presentados.

Si las condiciones de muestreo fueron controladas según los Procedimientos Correspondientes establecidos por ALS, éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de ALS.

Sin la firma del Responsable Técnico y el sello de ALS, este informe no es válido.



Químico Miguel Maliza
 Gerencia Técnica ALS



“UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”
Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
Carrera de Manejo y Conservación del Medio Ambiente



ALS Ecuador
 Rigoberto Heredia Oe6-157 y Huachi
 Quito, Ecuador
 T: +59 3 2341 4080

PROTOCOLO N°: 123315/2018-1.0	RU-49
	Revisión: 10
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Página 2 de 3

RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO ALS	UNIDAD	13649-1	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽²⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				Rela 1-Descarga Principal		
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	EPA 9050 A, Rev. 1, 1996	PA - 06.00	uS/cm	181,2	400	CUMPLE
POTENCIAL HIDRÓGENO	EPA 9045 D, Rev. 04, 2004	PA - 05.00	U pH	9,90	6 a 8	NO CUMPLE
PLOMO	EPA 3010 A, Rev. 01, 1992 EPA 3050 B, Rev. 02, 1996	PA - 09.00	mg/kg	374,2 ⁽³⁾	150	NO CUMPLE
ARSÉNICO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 3114 B	PA - 87.00	mg/kg	67,29 ⁽³⁾	12	NO CUMPLE
CADMIO	EPA 3010 A, Rev. 01, 1992 EPA 3050 B, Rev. 02, 1996	PA - 07.00	mg/kg	3,49	10	CUMPLE
COBRE	EPA 3010 A, Rev. 01, 1992 EPA 3050 B, Rev. 02, 1996 EPA 7210, Rev. 0, 1986	PA - 25.00	mg/kg	1921 ⁽³⁾	91	NO CUMPLE



REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

La información (1), (2) que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del SAE.

⁽¹⁾ Acuerdo Ministerial N° 097-A. TU.SMA. Libro VI. Anexo 2. Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados. Tabla 2. Criterios de remediación (Valores Máximos Permisibles) Uso de suelo: Industrial

⁽²⁾ Criterio de resultados.

⁽³⁾ Los valores reportados se encuentran fuera del rango de acreditación del SAE para Plomo de 5,0 a 125 mg/kg, Cobre de 5,0 a 125 mg/kg, Arsénico de 0,1 a 12,5 mg/kg.



“UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”
Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
Carrera de Manejo y Conservación del Medio Ambiente

	PROTOCOLO N°: 123315/2018-1.0	RU-49
	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 10
		Página 3 de 3

VALORES DE INCERTIDUMBRE (K=2) - MATRIZ SUELOS

ENSAYO	LÍMITE DE REPORTE	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5	NIVEL 6
TPH	150 mg/kg	150 mg/kg±17.49%	1250 mg/kg±12.94%	3750 mg/kg±3.46%	5000 - 100000 mg/kg±6.48%		
PLOMO	5.0 mg/kg	5.0 mg/kg±19.52%	25.0 mg/kg±17.22%	50.0 mg/kg±10.63%	125.0 mg/kg±12.33%		
NIQUEL	2.5 mg/kg	2.5mg/kg±18.87%	25.0 mg/kg±8.70%	50.0 mg/kg±15.85%	125.0 mg/kg±3.88%		
CADMIO	1.0 mg/kg	1.0 mg/kg±11.64%	12.5 mg/kg±13.43%	25.0 mg/kg±6.89%	45.0 mg/kg±7.68%		
BORO	1.67 mg/kg	1.67 mg/kg±15.86%	2.56 mg/kg±6.71%	11.11 mg/kg±12.13%	16.67-222.222 mg/kg±8.18%		
BARIO	25 mg/kg	25.0 mg/kg±15.76%	125.0 mg/kg±13.04%	250.0 mg/kg±1.96%	500.0 mg/kg±14.27%		
YODIO	50 mg/kg	50.0 mg/kg±13.49%	250.0 mg/kg±9.84%	500.0 mg/kg±5.74%	750.0 mg/kg±9.60%		
ZINC	2.5 mg/kg	2.5mg/kg±9.06%	12.5mg/kg±10.24%	50.0 mg/kg±1.11%	125.0 mg/kg±6.20%		
CROMO	2.5 mg/kg	2.5mg/kg±15.81%	50.0 mg/kg±17.02%	125.0 mg/kg±6.81%	250.0 mg/kg±1.76%		
HIERRO	10 mg/kg	10.0 mg/kg±15.59%	25.0 mg/kg±13.21%	50.0 mg/kg±8.51%	125.0 mg/kg±4.25%		
ALUMINIO	12.5 mg/kg	12.5mg/kg±18.94%	50.0 mg/kg±19.36%	125.0 mg/kg±9.04%	250.0 mg/kg±8.33%		
COBRE	5.0 mg/kg	5.0 mg/kg±16.25%	25.0 mg/kg±10.00%	50.0 mg/kg±15.53%	125.0 mg/kg±1.90%		
PLATA	2.5 mg/kg	2.5mg/kg±14.28%	12.5mg/kg±17.75%	25.0 mg/kg±13.15%	50.0 mg/kg±14.41%		
POTASIO	2.5 mg/kg	2.5mg/kg±17.19%	12.5 mg/kg±8.57%	25.0 mg/kg±16.36%	45.0 mg/kg±2.85%		
CORBALTO	5.0 mg/kg	5.0 mg/kg±8.32%	12.5mg/kg±5.54%	25.0 mg/kg±13.67%	50.0 mg/kg±11.02%		
NAFTALENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±28.87%	1.25 mg/kg±27.80%	2.5 mg/kg±26.70%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±22.10%		
ACENAFTILENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±25.72%	1.25 mg/kg±22.41%	2.5 mg/kg±27.88%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±21.18%		
ACENAFTENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±25.10%	1.25 mg/kg±27.43%	2.5 mg/kg±26.84%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±23.48%		
FLUORENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±28.96%	1.25 mg/kg±26.31%	2.5 mg/kg±23.15%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±22.78%		
FENANTRENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±24.77%	1.25 mg/kg±26.05%	2.5 mg/kg±22.93%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±18.20%		
ANTRACENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±21.32%	1.25 mg/kg±23.13%	2.5 mg/kg±26.55%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±24.81%		
FLUORANTENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±29.05%	1.25 mg/kg±23.21%	2.5 mg/kg±26.76%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±24.78%		
PIRENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±27.58%	1.25 mg/kg±25.39%	2.5 mg/kg±26.11%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±24.51%		
BENZO (a) ANTRACENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±5.25%	1.25 mg/kg±21.93%	2.5 mg/kg±27.07%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±23.00%		
CRISENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±29.49%	1.25 mg/kg±25.17%	2.5 mg/kg±28.42%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±22.99%		
BENZO (b) FLUORANTENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±18.39%	1.25 mg/kg±24.93%	2.5 mg/kg±23.41%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±26.20%		
BENZO (k) FLUORANTENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±22.36%	1.25 mg/kg±23.64%	2.5 mg/kg±24.54%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±25.02%		
BENZO (a) PIRENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±16.35%	1.25 mg/kg±24.74%	2.5 mg/kg±23.99%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±23.31%		
INDENO (1,2,3-cd) PIRENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±16.42%	1.25 mg/kg±25.55%	2.5 mg/kg±26.20%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±25.78%		
DIBENZO (a,h) ANTRACENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±26.20%	1.25 mg/kg±26.80%	2.5 mg/kg±24.71%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±25.38%		
BENZO (g,h,i) PERILENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±24.43%	1.25 mg/kg±24.23%	2.5 mg/kg±27.65%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±26.21%		
CARBONO ORGÁNICO FÁCILMENTE OXIDABLE	0.10%	0.1 %±20.13%	0.22 %±10.72%	3.0 %±18.93%	5.0 %±1.31%		
MERCURIO	0.1 mg/kg	0.1mg/kg±2.09%	3.0mg/kg±1.74%	5.0mg/kg±1.47%	7.0mg/kg±1.15%		
PLATA	1.0 mg/kg	1.0 mg/kg±10.49%	12.5mg/kg±17.33%	25.0mg/kg±4.87%	45.0 mg/kg±4.42%		
NITROGENO TOTAL KJELDAHL	62.52 mg/kg	62.50 mg/kg±17.09%	125 mg/kg±14.16%	187.5 mg/kg±5.07%	250-3125 mg/kg±9.95%		
pH	2.0 upH	2.0 upH±2.88%	8.0 upH±0.88%	10.0 upH±0.88%	14.0 upH±0.60%		
CONDUCTIVIDAD	6 us/cm	6-114 us/cm±6.71%	114-700 us/cm±11.11%	10600-40000 us/cm±12.89%			
ARSENICO	0.25 mg/kg	0.25 mg/kg±15.92%	0.50 mg/kg±11.91%	0.75 mg/kg±9.30%	1.0 mg/kg±9.38%	1.25 mg/kg±9.46%	12.5mg/kg±2.90%
ESTAÑO	50 mg/kg	50 mg/kg±12.90%	125 mg/kg±5.18%	250 mg/kg±1.85%	500 mg/kg±4.23%		
MANGANESO	2.5 mg/kg	2.5 mg/kg±25.7%	12.5 mg/kg±18.6%	25.0 mg/kg±16.4%	50.0 mg/kg±2.3%		
ACEITES Y GRASAS	400 mg/kg	400 mg/kg±19.19%	1000 mg/kg±7.88%	5000 mg/kg±17.07%	10000 mg/kg±16.50%	20000 mg/kg±9.28%	
CIANURO TOTAL	0.10 mg/kg	0.10 mg/kg±22.84%	0.50 mg/kg±16.71%	1.0 mg/kg±14.53%	1.5 mg/kg±13.86%	2.0 mg/kg±12.46%	

CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:

ÁREA	TEMPERATURA	HUMEDAD
QUÍMICA CLÁSICA	16 a 23°C	27 a 69%
ABSORCIÓN ATÓMICA	17 a 25°C	20 a 57%
CROMATOGRAFÍA	16 a 27°C	20 a 62%
MICROBIOLOGÍA	15 a 28.5°C	26 a 78.3%
PREPARACIÓN DE MUESTRAS (DIGESTIÓN)	14 a 23°C	20 a 69%
PREPARACIÓN DE MUESTRAS (EXTRACCIÓN)	14 a 28°C	20 a 80%



“UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”
Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
Carrera de Manejo y Conservación del Medio Ambiente



ALS Ecuador
 Rigoberto Heredia Oe6-157 y Huachi
 Quito, Ecuador
 T: +59 3 2341 4080

PROTOCOLO N°: 123316/2018-1.0	RJ-49
	Revisión: 10
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Página 1 de 3

NOMBRE DEL CLIENTE: INGENIERO MAURICIO JARAMILLO
 DIRIGIDO EN ATENCIÓN A: INGENIERO MAURICIO JARAMILLO
 NOMBRE DEL PROYECTO: MONITOREO DE SUELO
 DIRECCIÓN DEL PROYECTO: LOJA
 MUESTREO REALIZADO POR: EL CLIENTE
 PROCEDIMIENTO MUESTREO: NO REPORTADO POR EL CLIENTE
 FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS: MARZO, 19 DEL 2018 / 12:23 / N° CADENA DE CUSTODIA: 0019784
 LUGAR DE ANÁLISIS: CORPLABEC S.A. / QUITO - RIGOBERTO HEREDIA OE6-157 Y HUACHI
 FECHA DE ANÁLISIS: MARZO 19 AL 29 DEL 2018
 FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 29 DE MARZO DEL 2018

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MATRIZ	SUELO					
	CÓDIGO DE LABORATORIO	CÓDIGO DE MUESTREO	REFERENCIA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	COORDENADAS UTM WGS 84
13649-2	Relav. 3-Dispo. Final	Relav. 3-Disposición Final	No reportado por el cliente	No reportado por el cliente	No reportado por el cliente	Ninguna Observación

REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

Laboratorio de Ensayo ALS acreditado por el SAE con Acreditación N° OAE LE 2C 05-005.
 Los ítems marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.
 SM - Standard Methods
 EPA - Environmental Protection Agency
 Los resultados solo se refieren a las muestras analizadas. ALS declina toda responsabilidad por el uso de los resultados aquí presentados.
 *Si las condiciones de muestreo fueron controladas según los Procedimientos Correspondientes establecidos por ALS, éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe.
 Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de ALS.
Sin la firma del Responsable Técnico y el sello de ALS, este informe no es válido.



Químico Miguel Maliza
 Gerencia Técnica ALS



“UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”
Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
Carrera de Manejo y Conservación del Medio Ambiente



ALS Ecuador
 Rigoberto Heredia Oe6-157 y Huachi
 Quito, Ecuador
 T: +59 3 2341 4080

PROTOCOLO N°: 123316/2018-1.0	RU-49
	Revisión: 10
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Página 2 de 3

RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO ALS	UNIDAD	13649-2	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽²⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				Relav. 3-Dispo. Final		
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	EPA 9050 A, Rev. 1, 1996	PA - 06.00	uS/cm	122,8	400	CUMPLE
POTENCIAL HIDRÓGENO	EPA 9045 D, Rev. 04, 2004	PA - 05.00	U pH	9,60	6 a 8	NO CUMPLE
PLOMO	EPA 3010 A, Rev. 01, 1992 EPA 3050 B, Rev. 02, 1996	PA - 09.00	mg/kg	235,3 ⁽³⁾	150	NO CUMPLE
ARSENICO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 3114 B	PA - 87.00	mg/kg	54,83 ⁽³⁾	12	NO CUMPLE
CADMIO	EPA 3010 A, Rev. 01, 1992 EPA 3050 B, Rev. 02, 1996	PA - 07.00	mg/kg	2,48	10	CUMPLE
COBRE	EPA 3010 A, Rev. 01, 1992 EPA 3050 B, Rev. 02, 1996 EPA 7210, Rev. 0, 1986	PA - 25.00	mg/kg	460,7 ⁽³⁾	91	NO CUMPLE



REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

La información (1), (2) que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del SAE

⁽¹⁾ Acuerdo Ministerial N° 097-A, T.U.S.M.A. Libro VI, Anexo 2, Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados. Tabla 2: Criterios de remediación (Valores Máximos Permisibles). Uso de suelo: Industrial

⁽²⁾ Criterio de resultados:

⁽³⁾ Los valores reportados se encuentran fuera del rango de acreditación del SAE para Plomo de 5,0 a 125 mg/kg, Cobre de 5,0 a 125 mg/kg, Arsénico de 0,1 a 12,5 mg/kg.



“UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”
Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
Carrera de Manejo y Conservación del Medio Ambiente

	PROTOCOLO N°: 123316/2018-1.0	RU-49
	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 10
		Página 3 de 3

VALORES DE INCERTIDUMBRE (K=2) - MATRIZ SUELOS

ENSAYO	LÍMITE DE REPORTE	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5	NIVEL 6
TPH	150 mg/kg	150 mg/kg±17.49%	1250 mg/kg±12.94%	3750 mg/kg±3.46%	5000 - 100000 mg/kg±6.48%		
PLOMO	5.0 mg/kg	5.0 mg/kg±19.52%	25.0 mg/kg±17.22%	50.0 mg/kg±10.83%	125.0 mg/kg±12.33%		
NIQUEL	2.5 mg/kg	2.5 mg/kg±18.87%	25.0 mg/kg±8.70%	50.0 mg/kg±15.85%	125.0 mg/kg±3.68%		
CADMIO	1.0 mg/kg	1.0 mg/kg±11.64%	12.5 mg/kg±13.43%	25.0 mg/kg±6.69%	45.0 mg/kg±7.68%		
BORO	1.67 mg/kg	1.67 mg/kg±15.66%	2.56 mg/kg±6.71%	11.11 mg/kg±12.13%	16.67-222.222 mg/kg±8.18%		
BARIO	25 mg/kg	25.0 mg/kg±15.76%	125.0 mg/kg±13.04%	250.0 mg/kg±1.96%	500.0 mg/kg±14.27%		
VANADIO	50 mg/kg	50.0 mg/kg±13.49%	250.0 mg/kg±9.84%	500.0 mg/kg±5.74%	750.0 mg/kg±9.60%		
ZINC	2.5 mg/kg	2.5 mg/kg±9.06%	12.5 mg/kg±10.24%	50.0 mg/kg±1.11%	125.0 mg/kg±6.20%		
CROMO	2.5 mg/kg	2.5 mg/kg±15.61%	50.0 mg/kg±17.02%	125.0 mg/kg±8.81%	250.0 mg/kg±1.76%		
HIERRO	10 mg/kg	10.0 mg/kg±15.59%	25.0 mg/kg±13.21%	50.0 mg/kg±8.51%	125.0 mg/kg±4.25%		
ALUMINIO	12.5 mg/kg	12.5 mg/kg±18.94%	50.0 mg/kg±19.36%	125.0 mg/kg±9.04%	250.0 mg/kg±8.33%		
COBRE	5.0 mg/kg	5.0 mg/kg±16.25%	25.0 mg/kg±10.00%	50.0 mg/kg±15.53%	125.0 mg/kg±1.80%		
PLATA	2.5 mg/kg	2.5 mg/kg±14.28%	12.5 mg/kg±17.75%	25.0 mg/kg±13.15%	50.0 mg/kg±14.41%		
POTASIO	2.5 mg/kg	2.5 mg/kg±17.19%	12.5 mg/kg±8.57%	25.0 mg/kg±16.36%	45.0 mg/kg±2.85%		
COBALTO	5.0 mg/kg	5.0 mg/kg±8.32%	12.5 mg/kg±5.54%	25.0 mg/kg±13.67%	50.0 mg/kg±11.02%		
NAFTALENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±28.87%	1.25 mg/kg±27.80%	2.5 mg/kg±26.70%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±22.10%		
ACENAFTILENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±25.72%	1.25 mg/kg±22.41%	2.5 mg/kg±27.88%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±21.18%		
ACENAFTENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±25.10%	1.25 mg/kg±27.43%	2.5 mg/kg±26.84%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±23.48%		
FLUORENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±28.96%	1.25 mg/kg±26.31%	2.5 mg/kg±23.15%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±22.78%		
FENANTRENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±24.77%	1.25 mg/kg±26.05%	2.5 mg/kg±22.93%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±18.20%		
ANTRACENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±21.32%	1.25 mg/kg±23.13%	2.5 mg/kg±26.55%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±24.61%		
FLUORANTENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±29.05%	1.25 mg/kg±23.21%	2.5 mg/kg±26.76%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±24.78%		
PIRENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±27.58%	1.25 mg/kg±25.39%	2.5 mg/kg±26.11%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±24.51%		
BENZO (a) ANTRACENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±5.25%	1.25 mg/kg±21.93%	2.5 mg/kg±27.07%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±23.00%		
CRISENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±29.49%	1.25 mg/kg±25.17%	2.5 mg/kg±28.42%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±22.99%		
BENZO (b) FLUORANTENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±18.39%	1.25 mg/kg±24.93%	2.5 mg/kg±23.41%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±26.20%		
BENZO (k) FLUORANTENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±22.36%	1.25 mg/kg±23.64%	2.5 mg/kg±24.54%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±25.02%		
BENZO (a) PIRENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±16.35%	1.25 mg/kg±24.74%	2.5 mg/kg±23.99%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±23.31%		
INDENO (1,2,3-cd) PIRENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±18.42%	1.25 mg/kg±25.55%	2.5 mg/kg±26.20%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±25.78%		
DIBENZO (a,h) ANTRACENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±26.20%	1.25 mg/kg±26.80%	2.5 mg/kg±24.71%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±25.38%		
BENZO (g,h,i) PERILENO	0.625 mg/kg	0.625 mg/kg±24.43%	1.25 mg/kg±24.23%	2.5 mg/kg±27.65%	5.0 mg/kg-6.25 mg/kg±26.21%		
CARBONO ORGÁNICO FÁCILMENTE OXIDABLE	0.10%	0.1 %±20.13%	0.22 %±10.72%	3.0 %±18.93%	5.0 %±1.31%		
MERCURIO	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg±2.09%	3.0 mg/kg±1.74%	5.0 mg/kg±1.47%	7.0 mg/kg±1.15%		
PLATA	1.0 mg/kg	1.0 mg/kg±10.49%	12.5 mg/kg±17.33%	25.0 mg/kg±4.87%	45.0 mg/kg±4.42%		
NITROGENO TOTAL KJELDAHL	62.52 mg/kg	62.50 mg/kg±17.09%	125 mg/kg±14.16%	187.5 mg/kg±5.07%	250-3125 mg/kg±9.95%		
pH	2.0 uPH	2.0 uPH±2.88%	8.0 uPH±0.88%	10.0 uPH±0.86%	14.0 uPH±0.80%		
CONDUCTIVIDAD	6 us/cm	6-114 us/cm±6.71%	114-700 us/cm±11.11%	10600-40000 us/cm±12.89%			
ARSENICO	0.25 mg/kg	0.25 mg/kg±15.92%	0.50 mg/kg±11.91%	0.75 mg/kg±9.30%	1.0 mg/kg±9.38%	1.25 mg/kg±9.49%	12.5 mg/kg±2.90%
ESTAÑO	50 mg/kg	50 mg/kg±12.90%	125 mg/kg±5.18%	250 mg/kg±1.85%	500 mg/kg±4.23%		
MANGANESO	2.5 mg/kg	2.5 mg/kg±25.7%	12.5 mg/kg±18.6%	25.0 mg/kg±16.4%	50.0 mg/kg±2.3%		
ACEITES Y GRASAS	400 mg/kg	400 mg/kg±19.19%	1000 mg/kg±7.98%	5000 mg/kg±17.07%	10000 mg/kg±16.50%	20000 mg/kg±9.28%	
CIANURO TOTAL	0.10 mg/kg	0.10 mg/kg±22.84%	0.50 mg/kg±16.71%	1.0 mg/kg±14.53%	1.5 mg/kg±13.86%	2.0 mg/kg±12.46%	

CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:

ÁREA	TEMPERATURA	HUMEDAD
QUÍMICA CLÁSICA	16 a 23°C	27 a 69%
ABSORCIÓN ATÓMICA	17 a 25°C	20 a 57%
CRÓMATOGRAFÍA	16 a 27°C	20 a 62%
MICROBIOLOGÍA	15 a 28.5°C	26 a 78.3%
PREPARACIÓN DE MUESTRAS (DIGESTIÓN)	14 a 23°C	20 a 69%
PREPARACIÓN DE MUESTRAS (EXTRACCIÓN)	14 a 28°C	20 a 80%



“UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”
Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
Carrera de Manejo y Conservación del Medio Ambiente



ALS Ecuador
 Rigoberto Heredia Oe6-157 y Huachi
 Quito, Ecuador
 T: +59 3 2341 4080

PROTOCOLO N°: 123317/2018-1.0	RJ-49
	Revisión: 10
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Página 1 de 4

NOMBRE DEL CLIENTE: INGENIERO MAURICIO JARAMILLO
DIRIGIDO EN ATENCIÓN A: INGENIERO MAURICIO JARAMILLO
NOMBRE DEL PROYECTO: MONITOREO DE AGUA
DIRECCIÓN DEL PROYECTO: LOJA
MUESTREO REALIZADO POR: EL CLIENTE
PROCEDIMIENTO MUESTREO: NO REPORTADO POR EL CLIENTE
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS: MARZO, 19 DEL 2018 / 12:23 / N° CADENA DE CUSTODIA: 0019784
LUGAR DE ANÁLISIS: CORPLABEC S.A. / QUITO - RIGOBERTO HEREDIA OE6-157 Y HUACHI
FECHA DE ANÁLISIS: MARZO 19 AL 02 DE ABRIL DEL 2018
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 02 DE ABRIL DEL 2018

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

MATRIZ		AGUA				
CÓDIGO DE LABORATORIO	CÓDIGO DE MUESTREO	REFERENCIA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	COORDENADAS UTM WGS 84	OBSERVACIONES
13649-3	Piscina Sedimentación	Piscina Sedimentación	No reportado por el cliente	No reportado por el cliente	No reportado por el cliente	Ninguna Observación

REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

Laboratorio de Ensayo ALS acreditado por el SAE con Acreditación N° OAE LE 2C 05-005.
 Los ítems marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.
 SM - Standard Methods
 EPA - Environmental Protection Agency
 Los resultados solo se refieren a las muestras analizadas. ALS declina toda responsabilidad por el uso de los resultados aquí presentados.
 Si las condiciones de muestreo fueron controladas según los Procedimientos Correspondientes establecidos por ALS, éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe
 Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de ALS.
Sin la firma del Responsable Técnico y el sello de ALS, este informe no es válido.



Químico Miguel Maliza
 Gerencia Técnica ALS



“UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”
Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
Carrera de Manejo y Conservación del Medio Ambiente



ALS Ecuador
 Rigoberto Heredia Oe6-157 y Huachi
 Quito, Ecuador
 T: +59 3 2341 4080

PROTOCOLO N°: 123317/2018-1.0	RU-49
	Revisión: 10
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Página 2 de 4

RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO ALS	UNIDAD	13849-3	⁽¹⁾ LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	⁽²⁾ CRITERIO DE RESULTADOS
				Piscina Sedimentación		
TEMPERATURA	Standard Methods Ed. 22, 2012, 2550 B	PA - 47.00	°C	17,0	Condición natural ± 3	CUMPLE
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	Standard Methods Ed. 22, 2012, 2510 A y 2510 B	PA - 06.00	uS/cm	305,0	NO APLICA	NO APLICA
SALINIDAD(*)	Standard Methods Ed. 22, 2012, 2520 B	PA - 89.00	UPS	2,49	NO APLICA	NO APLICA
POTENCIAL HIDRÓGENO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 4500-H+ A y 4500-H+ B	PA - 05.00	U pH	5,97	6 - 9	NO CUMPLE
PLOMO	EPA 3010 A, Rev. 01, 1992 Standard Methods Ed. 22, 2012, 3111 B	PA - 09.00	mg/l	1,14	0,2	NO CUMPLE
ARSENICO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 3114 B	PA - 87.00	mg/l	<0,002	0,1	CUMPLE
CADMIO	EPA 3010 A, Rev. 01, 1992 Standard Methods Ed. 22, 2012, 3111 B	PA - 07.00	mg/l	0,02	0,02	CUMPLE
COBRE	EPA 3010 A, Rev. 01, 1992 Standard Methods Ed. 22, 2012, 3111 B	PA - 25.00	mg/l	1,60	1,0	NO CUMPLE



Acreditación N° OAE LE 20 05-005
 LABORATORIO DE ENSAYOS

REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

La información (1), (2) que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del SAE.

⁽¹⁾ Acuerdo Ministerial N° 097-A, TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua - Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

⁽²⁾ Criterio de resultados.



“UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”
Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
Carrera de Manejo y Conservación del Medio Ambiente

	PROTOCOLO N°: 123317/2018-1.0	RU-49
	SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 10
		Página 3 de 4

VALORES DE INCERTIDUMBRE (K=2) - MATRIZ AGUAS

ENSAYO	LÍMITE DE REPORTE	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5
pH LABORATORIO	4.00 upH	4.00 upH±5.00%	7.00 upH±2.78%	10.00 upH±1.59%		
pH IN SITU	4.00 upH	4.00 upH±2.24%	7.00 upH±1.18%	10.00 upH±1.49%		
CONDUCTIVIDAD LABORATORIO	20 us/cm	20-100 us/cm±5.75%	100-1413 us/cm±1.83%	1413-12900 us/cm±2.01%	12900 us/cm±7.00%	
CONDUCTIVIDAD IN SITU	20 us/cm	20-100 us/cm±7.28%	100-1413 us/cm±0.46%	1413-12900 us/cm±2.13%	12900 us/cm±8.03%	
TPH	0.15 mg/l	0.15 mg/l±26.58%	0.5 mg/l±15.20%	1.5 mg/l±5.46%	2.0 mg/l±6.33%	4.0 - 40 mg/l±5.24%
CLORO LIBRE LABORATORIO	0.05 mg/l	0.05 mg/l±23.72%	0.10 mg/l±11.86%	0.20 mg/l±6.51%	0.40 mg/l±4.45%	0.80 - 16 mg/l±3.24%
CLORO LIBRE IN SITU	0.50 mg/l	0.50 mg/l±11.51%	1.0 mg/l±5.34%	2.0 mg/l±2.38%	4.0 mg/l±1.86%	
SÓLIDOS TOTALES	20 mg/l	20 mg/l±16.81%	500 mg/l±0.81%	1000 mg/l±0.68%	10000 mg/l±0.10%	40000 mg/l±0.35%
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	20 mg/l	20 mg/l±16.58%	500 mg/l±4.71%	1000 mg/l±2.55%	10000 mg/l±5.01%	40000 mg/l±7.79%
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	10 mg/l	10 mg/l±16.49%	100 mg/l±3.90%	500 mg/l±3.66%	800 mg/l±1.59%	1000 mg/l±1.28%
TENSOACTIVOS	0.10 mg/l	0.10 mg/l±16.97%	0.25 mg/l±9.96%	0.52 mg/l±3.28%	0.75 mg/l±2.98%	1.00 mg/l±4.58%
CROMO HEXAVALENTE	0.05 mg/l	0.05 mg/l±21.69%	0.10 mg/l±9.78%	0.15 mg/l±4.07%	0.50 mg/l±2.80%	1.00 mg/l±2.66%
NITRITOS	0.01 mg/l	0.01 mg/l±18.01%	0.026 mg/l±8.35%	0.055 mg/l±12.21%	0.073 mg/l±6.48%	0.11 mg/l±2.73%
SULFATOS	5.0 mg/l	5.0 mg/l±21.40%	10 mg/l±8.92%	15 mg/l±7.88%	20 mg/l±4.40%	25 - 500 mg/l±6.05%
BORO	0.3 mg/l	0.3 mg/l±19.84%	1 mg/l±11.43%	2 mg/l±4.60%	3 mg/l±7.92%	4-80 mg/l±6.56%
BARIO	0.5 mg/l	0.5 mg/l±24.24%	2.5 mg/l±16.92%	5.0 mg/l±4.23%	10 mg/l±5.52%	
VANADIO	0.5 mg/l	0.5 - 1.00 mg/l±21.76%	1.0 mg/l±13.75%	5.0 mg/l±16.88%	10.0 mg/l±2.77%	15.0 mg/l±1.44%
ZINC	0.05 mg/l	0.10 mg/l±25.42%	0.10 mg/l±19.76%	0.3 mg/l±13.15%	0.5 mg/l±11.64%	
CROMO	0.05 mg/l	0.05 mg/l±21.67%	1.0 mg/l±10.30%	2.5 mg/l±2.90%	5.0 mg/l±3.70%	
hierro	0.2 mg/l	0.2 mg/l±22.97%	0.5 mg/l±8.32%	1.0 mg/l±15.45%	2.5 mg/l±11.81%	
PLOMO	0.10 mg/l	0.10 mg/l±19.04%	0.50 mg/l±14.16%	1.0 mg/l±2.51%	2.5 mg/l±1.57%	
NIQUEL	0.05 mg/l	0.05 mg/l±9.54%	0.50 mg/l±7.25%	1.0 mg/l±2.03%	2.5 mg/l±1.33%	
CADMIO	0.02 mg/l	0.02 mg/l±16.06%	1.0 mg/l±16.43%	1.0 mg/l±8.58%	45 mg/l±3.69%	
ALUMINIO	0.25 mg/l	0.25 mg/l±26.63%	1.0 mg/l±9.53%	2.5 mg/l±5.00%	5.0 mg/l±3.18%	
COBRE	0.10 mg/l	0.10 mg/l±22.00%	0.50 mg/l±5.02%	1.0 mg/l±4.41%	2.5 mg/l±3.06%	
COBALTO	0.10 mg/l	0.10 mg/l±28.47%	0.25 mg/l±10.42%	0.50 mg/l±4.93%	1.00 mg/l±5.27%	
NAFTALENO	0.00025 mg/l	0.00025 mg/l±19.97%	0.00050 mg/l±16.70%	0.00100 mg/l±24.08%	0.00200 mg/l±14.48%	0.00250 mg/l±16.25%
ACENAFLENO	0.00025 mg/l	0.00025 mg/l±26.11%	0.00050 mg/l±26.97%	0.00100 mg/l±27.57%	0.00200 mg/l±23.87%	0.00250 mg/l±27.75%
ACENAFANTENO	0.00025 mg/l	0.00025 mg/l±27.14%	0.00050 mg/l±26.38%	0.00100 mg/l±20.81%	0.00200 mg/l±19.84%	0.00250 mg/l±20.77%
FLUORENO	0.00025 mg/l	0.00025 mg/l±21.61%	0.00050 mg/l±17.14%	0.00100 mg/l±18.30%	0.00200 mg/l±16.39%	0.00250 mg/l±23.93%
FENANTRENO	0.00025 mg/l	0.00025 mg/l±22.78%	0.00050 mg/l±17.32%	0.00100 mg/l±19.19%	0.00200 mg/l±10.90%	0.00250 mg/l±24.56%
ANTRACENO	0.00025 mg/l	0.00025 mg/l±24.28%	0.00050 mg/l±19.37%	0.00100 mg/l±19.41%	0.00200 mg/l±12.12%	0.00250 mg/l±25.34%
FLUORANTENO	0.00025 mg/l	0.00025 mg/l±21.39%	0.00050 mg/l±16.47%	0.00100 mg/l±19.26%	0.00200 mg/l±11.69%	0.00250 mg/l±24.30%
PIRENO	0.00025 mg/l	0.00025 mg/l±23.83%	0.00050 mg/l±22.58%	0.00100 mg/l±23.67%	0.00200 mg/l±16.51%	0.00250 mg/l±19.51%
BENZO (a) ANTRACENO	0.00025 mg/l	0.00025 mg/l±11.55%	0.00050 mg/l±18.70%	0.00100 mg/l±16.11%	0.00200 mg/l±12.97%	0.00250 mg/l±20.72%
CRISENO	0.00025 mg/l	0.00025 mg/l±23.18%	0.00050 mg/l±16.26%	0.00100 mg/l±18.99%	0.00200 mg/l±16.41%	0.00250 mg/l±24.39%
BENZO (b) FLUORANTENO	0.00025 mg/l	0.00025 mg/l±19.48%	0.00050 mg/l±17.92%	0.00100 mg/l±28.62%	0.00200 mg/l±13.59%	0.00250 mg/l±24.32%
BENZO (h) FLUORANTENO	0.00025 mg/l	0.00025 mg/l±18.92%	0.00050 mg/l±19.97%	0.00100 mg/l±19.68%	0.00200 mg/l±13.73%	0.00250 mg/l±24.46%
BENZO (a) PIRENO	0.00025 mg/l	0.00025 mg/l±16.55%	0.00050 mg/l±17.84%	0.00100 mg/l±18.76%	0.00200 mg/l±13.14%	0.00250 mg/l±23.19%
INDENO (1,2,3-cd) PIRENO	0.00025 mg/l	0.00025 mg/l±16.06%	0.00050 mg/l±16.13%	0.00100 mg/l±15.20%	0.00200 mg/l±12.97%	0.00250 mg/l±21.36%
DIBENZO (a, h) ANTRACENO	0.00025 mg/l	0.00025 mg/l±18.61%	0.00050 mg/l±15.00%	0.00100 mg/l±14.67%	0.00200 mg/l±16.29%	0.00250 mg/l±20.21%
BENZO (g, h, i) PERILENO	0.00025 mg/l	0.00025 mg/l±15.55%	0.00050 mg/l±16.41%	0.00100 mg/l±17.44%	0.00200 mg/l±13.74%	0.00250 mg/l±23.78%
NITROGENO TOTAL KJELDAHL	1.25 mg/l	1.25 mg/l±7.35%	2.5 mg/l±5.93%	3.75 mg/l±8.93%	5 mg/l±11.11%	8.25-250 mg/l±8.70%
NITROGENO AMONACAL	0.25 mg/l	0.25 mg/l±14.83%	0.50 mg/l±14.83%	0.75 mg/l±7.75%	1.00 mg/l±6.23%	1.25 - 25 mg/l±3.29%
OXIGENO DISUELTO LABORATORIO	1.0 mg/l	1.00 mg/l±25.00%	2.00 mg/l±11.52%	4.00 mg/l±5.89%	6.00 mg/l±4.51%	8.00 mg/l±3.85%

CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:

ÁREA	TEMPERATURA	HUMEDAD
QUÍMICA CLÁSICA	16 a 23°C	27 a 69%
ABSORCIÓN ATÓMICA	17 a 25°C	20 a 57%
CROMATOGRAFÍA	16 a 27°C	20 a 62%
MICROBIOLOGÍA	15 a 28.5°C	26 a 78.3%
PREPARACIÓN DE MUESTRAS (DIGESTIÓN)	14 a 23°C	20 a 69%
PREPARACIÓN DE MUESTRAS (EXTRACCIÓN)	14 a 28°C	20 a 80%