

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL



**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO
“ARQ. GUILLERMO CUBILLO RENELLA”**

MAESTRÍA EN IMPACTOS AMBIENTALES

“EL IMPACTO DE LA MINERÍA EN EL DISTRITO MINERO
ZARUMA-PORTOVELO, Y EL MANEJO DE LOS RELAVES
PRODUCIDOS EN LAS PLANTAS DE BENEFICIO, UBICADAS
A LO LARGO DE LOS RÍOS CALERA Y AMARILLO DE LA
CUENCA BINACIONAL PUYANGO - TUMBES”

AUTOR

Biól. Arturo Sánchez Asanza.

ASESOR

Ing. Colón Velásquez López, Ph.D.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2015

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Biol. Arturo Widberto Sánchez Asanza, estudiante de la Maestría en Impactos Ambientales de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Guayaquil, bajo mi supervisión.

Ing. Acuacultor Colón Velásquez López, PhD.


ASESOR DEL PROYECTO

CERTIFICADO DE GRAMATÓLOGO

Quien suscribe el presente certificado, se permite informar que después de haber leído y revisado gramaticalmente el contenido de la tesis de grado de: **ARTURO WIDBERTO SÁNCHEZ ASANZA**, con C.I. **0702056599** cuyo tema es:

“EL IMPACTO DE LA MINERÍA EN EL DISTRITO MINERO ZARUMA-PORTOVELO, Y EL MANEJO DE LOS RELAVES PRODUCIDOS EN LAS PLANTAS DE BENEFICIO, UBICADAS A LO LARGO DE LOS RÍOS CALERA Y AMARILLO DE LA CUENCA BINACIONAL PUYANGO – TUMBES”

CERTIFICO COMO ESPECIALISTA DE LITERATURA Y ESPAÑOL, QUE ES UN TRABAJO DE ACUERDO A LAS NORMAS MORFOLÓGICAS, SINTÁCTICAS Y SIMÉTRICAS VIGENTES.


MSc. Susana Chang Yáñez
Prof. Facultad de Ciencias
Especialidad: Lengua y Literatura
Registro: 1006-10-711960
C.C 0905483608

Registro: 1006-10-711960

Teléfono: 2401506 – 099786932

DEDICATORIA

Con todo mi cariño y amor a la memoria de mi padre; a mi madre, mi esposa, mis hijos, mis hermanas; por su paciencia, comprensión, bondad y sacrificio que me inspiraron a ser mejor; para ustedes, esta tesis en agradecimiento por todo su amor.

El Autor.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por bendecirme día a día para llegar a culminar este proyecto. A mis padres Arturo Amable Sánchez y Virginia Asanza Piedra, como un testimonio de cariño y agradecimiento eterno por mi existencia, valores morales y formación, porque sin escatimar esfuerzo alguno han sacrificado gran parte de su vida para mi superación. A mi esposa e hijos, por la lucha perseverante de ayudarme a seguir adelante, por el tiempo que nunca podré devolverles pero si agradecerles. Al Lcdo. Danilo Castillo, Lcda. Kimberly Prieto, y un especial agradecimiento al Ing. Colón Velásquez López, Ph.D., Director de la tesis, por su contribución y aporte.

El Autor.

DECLARACIÓN

Yo, Arturo Sánchez Asanza de profesión Biólogo, declaro que el trabajo descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para algún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad de Guayaquil puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por la normatividad institucional vigente.

Biólogo Arturo Sánchez Asanza.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	II
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
DECLARACIÓN.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE ANEXOS.....	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT.....	XV
INTRODUCCIÓN	16
CAPÍTULO I.....	19
1 EL PROBLEMA	19
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.2 UBICACIÓN DEL PROBLEMA.	21
1.3 SITUACIÓN CONFLICTO	21
1.4 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	24
1.5 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	24
1.6 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
1.6.1 Objetivo general	24
1.6.2 Objetivos específicos	25
1.7 JUSTIFICACIÓN	25
2 MARCO TEÓRICO.	31
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	31
2.1.1 Beneficio de minerales	31
2.1.2 Procesos para la obtención del mineral.....	31
2.1.3 Manejo de relaves	34
2.1.4 Residuos mineros	37
2.1.5 Encapsulamiento de relaves.....	38
2.2 MARCO CONTEXTUAL.....	39
2.2.1 Zona de influencia directa	39
2.2.2 Datos históricos de los cantones.	39

2.2.3	Población de los cantones.	41
2.2.4	Educación	42
2.2.5	Salud	43
2.2.6	Comportamiento demográfico	44
2.2.7	Productividad	45
2.2.8	Situación económica.....	46
2.3	FUNDAMENTACIÓN LEGAL E INSTITUCIONAL.	47
2.3.1	Marco legal.....	47
2.3.2	Marco institucional.....	51
2.4	HIPÓTESIS.....	55
2.5	VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	55
3	METODOLOGÍA.	57
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.	57
3.2	METODOLOGÍA.....	57
3.3	MÉTODOS.....	58
3.3.1	Recopilación y análisis de datos.	58
3.3.2	Caracterización ambiental.....	59
3.3.3	Preparación de información.	60
3.3.4	Resultados.....	60
3.4	INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.....	61
4	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.	62
4.1	PLANTAS DE BENEFICIO MINERAL.	62
4.1.1	Plantas por sectores.	65
4.1.2	Capacidad de procesamiento mineral o producción de las plantas de beneficio.	66
4.1.3	Producción diaria por sectores.	70
4.1.4	Procesos de beneficio mineral.....	71
4.1.5	Número de plantas según procesos metalúrgicos.....	74
4.1.6	Insumos	75
4.2	CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS MINEROS.....	79
4.2.1	Análisis granulométrico de los relaves.	79
4.2.2	Composición química de los relaves.....	80

4.3	PASIVOS AMBIENTALES DEL ÁREA DE ESTUDIO	81
4.4	CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DEL DISTRITO MINERO ZARUMA – PORTOVELO.	83
4.4.1	Recurso agua.	83
4.4.2	Suelo.....	91
4.4.3	Calidad del aire.	94
4.4.4	Ruido.	95
4.4.5	Paisaje.	96
4.4.6	Medio biótico.	97
4.5	DIAGNÓSTICO DEL DISTRITO MINERO ZARUMA - PORTOVELO	106
4.6	IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR LAS PLANTAS DE BENEFICIO.	110
4.7	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.	120
5	PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.	121
5.1	TÍTULO.....	121
5.2	UBICACIÓN Y BENEFICIARIOS	121
5.3	JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA.	122
5.4	OBJETIVOS DE LA PROPUESTA.....	122
5.4.1	OBJETIVO GENERAL	123
5.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	123
5.5	DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.....	123
5.5.1	Modelo de gestión administrativa.....	125
5.5.2	Transporte y conducción de los relaves.....	127
5.5.3	Manejo de relaves.	130
5.5.4	Sistema de disposición final de relaves.	137
5.5.5	Sistema de control y monitoreo ambiental de la cuenca	140
5.5.6	Restauración ambiental.....	147
5.5.7	Reubicación de las plantas de beneficio.....	148
5.6	PRESUPUESTO.	149
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	151
6.1	CONCLUSIONES.	151
6.2	RECOMENDACIONES	153

BIBLIOGRAFÍA.

ÍNDICE DE TABLAS.

	Págs.
Tabla N° 2.1. Proyección de la población.	42
Tabla N° 2.2. Variables e indicadores del estudio.	56
Tabla N° 4.1. Establecimiento de plantas de beneficio	62
Tabla N° 4.2. Número de plantas de beneficio por sectores.	66
Tabla N° 4.3. Resumen de producción de las plantas de beneficio.	67
Tabla N°4.4. Rangos de producción.	69
Tabla N°4.5. Producción diaria de mineral por sectores.	70
Tabla N° 4.6. Procesos Metalúrgicos utilizados en las plantas de beneficio.	72
Tabla N°4.7. Plantas de beneficio según procesos metalúrgicos.	74
Tabla N°4.8. Composición química de los relaves	81
Tabla N°4.9. Pasivos ambientales representativos.	82
Tabla N° 4.10. Resultado de parámetros físicos de aguas superficiales.	85
Tabla N° 4.11. Resultado de parámetros químicos de aguas superficiales recolectadas en la microcuenca	87
Tabla N° 4.12. Análisis químico en muestras de sedimento.	90
Tabla N° 4.13 Calidad del aire en el sitio El Salado	94
Tabla N° 4.14. Muestreo de ruido.	95

Tabla N° 4.15. Transectos para el estudio de la composición florística.	98
Tabla N° 4.16. Lista de especies florísticas identificadas.	100
Tabla N° 4.17. Registro de especies de fauna.	101
Tabla N° 4.18. Lista de especies de macro invertebrados identificados.	106
Tabla N° 4.19. Análisis P.E.R. impactos ambientales presentes en el distrito Zaruma – Portovelo.	111
Tabla N° 4.20. Relación respuesta – resultados esperados	115
Tabla 5.1. Localización del distrito en coordenadas UTM PASAD-56.	121
Tabla N° 5.2. Actores involucrados en la actividad minera.	129
Tabla N° 5.3. Presupuesto de la propuesta.	150

ÍNDICE DE FIGURAS.

	Págs.
Figura N° 1.1. Localización del área de estudio.	21
Figura N° 4.1. Imagen hidrológica del área de estudio.	84
Figura N° 4.2. Imagen del relieve tipo U y tipo V del río Calera	92
Figura N° 4.3. Imagen del relieve tipo U y tipo V del río Amarillo.	93
Figura N° 4.4. Imagen que muestra el paisaje del sitio El Salado.	96

Figura N° 4.5. Fotografías de especies faunísticas del área de estudio.	105
Figura N° 4.6. Fotografía de descarga clandestina en El Pache.	108
Figura N° 4.7. Pasivos ambientales en la vía Buza.	109
Figura N° 5.1. Diagrama de gestión de residuos mineros.	124
Figura N° 5.2. Organigrama de la gestión administrativa.	126
Figura N° 5.3. Diagrama de beneficios comunitarios por gestión participativa.	127
Figura N° 5.4. Diagrama de transporte hidráulico.	128
Figura N° 5.5. Esquema del sistema de alimentación de las bombas	129
Figura N° 5.6. Diagrama de tratamiento de sólidos.	131
Figura N° 5.7. Diagrama de tratamiento de efluentes	135
Figura N° 5.8. Diagrama de planta de encapsulamiento.	136
Figura N° 5.9. Imagen del sitio de construcción de la relavera comunitaria.	139
Figura N° 5.10. Imágenes de la construcción de la relavera comunitaria.	143

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Ubicación de las plantas de beneficio
- Anexo 2. Modelo de ficha de registro de las plantas
- Anexo 3. Diagrama de flujo de los procesos minerales.
- Anexo 4. Diagrama de la propuesta de Intervención.
- Anexo 5 Registro fotográfico de la Investigación.
- Anexo 6. Glosario de términos.
- Anexo 7. Siglas y acrónimos

RESUMEN

El estudio presente determina el impacto ambiental ocasionado por la actividad minera en el beneficio de los minerales en el distrito minero Zaruma - Portovelo, para ello se realizó el análisis situacional del establecimiento de las plantas de beneficio mineral situadas en las riberas de los ríos Calera y Amarillo, la caracterización de los relaves, la localización de los pasivos ambientales y determinaron las características ambientales de la cuenca alta del río Puyango. Mediante la aplicación de fichas, se levantó información de cada una de las 71 plantas de beneficio asociadas, pertenecientes al distrito minero Zaruma – Portovelo, y utilizando procesos analíticos, se determinó la composición química de los relaves, los que dieron como resultado la presencia de elementos contaminantes y minerales con valor económico como el oro, la plata, el cobre, representativos para ser concentrados y comercializados; se caracterizó aproximadamente la existencia de 1 000 000 de metros cúbicos de relaves abandonados como pasivos ambientales. Con el fin de mejorar la calidad socio – ambiental del área de estudio, la presente propuesta de manejo integral de relaves, genera los lineamientos para un modelo de gestión técnico - administrativo, el transporte, el manejo de los sólidos y efluentes, y la disposición final de los relaves producidos por las plantas identificadas; además, se incluye un programa de monitoreo y control ambiental para la cuenca estudiada. Se recomienda la implementación de la propuesta con la participación consensuada de las instituciones competentes, los pequeños mineros asociados y la comunidad de los cantones Zaruma y Portovelo.

Palabras clave: cuenca hidrológica, impacto, minería, relaves, plantas de beneficio.

ABSTRACT

This study determines the environmental impact caused by mining activities in the beneficiation of minerals in the mining district of Zaruma - Portovelo, to do situational analysis of the establishment of mineral processing plants along the banks of rivers was made and Calera Amarillo, characterization of the tailings, the location of environmental liabilities and determined environmental characteristics of the upper basin of the Puyango River. By applying records, information of each of the 71 plants associated profit rose belonging to Zaruma Mining District - Portovelo, and using analytical processes, the chemical composition of the tailings was determined, which resulted in the presence of pollutants and economically valuable minerals such as gold, silver, copper concentrates and representative to be marketed; It characterized about the existence of one million cubic meters of tailings abandoned as environmental liabilities. In order to improve the quality socio - environmental study area, this proposal for comprehensive management of tailings generates a model guidelines for technical management - administrative, transportation, handling and solid effluents and disposal end of the tailings produced by the identified plants; in addition, a program of environmental monitoring and control for the basin studied is included. Implementation of the proposal is recommended to the joint participation of relevant institutions, small miners and the community partners of Zaruma and Portovelo cantons.

Keywords : watershed , impact , mining, tailings, processing plants

INTRODUCCIÓN

A nivel nacional y en la provincia de El Oro, los cantones de Portovelo y Zaruma han sido reconocidos por su potencial minero. Aproximadamente, el 80 % de la población de Portovelo y Zaruma depende de la minería.

Las primeras plantas de beneficio mineral fueron implementadas con sistemas rudimentarios; sin embargo, la actividad emprendedora de los mineros pequeños ha permitido mejorar los procesos tecnológicos con sistemas modernos para la recuperación del oro.

Aunque los procesos tecnológicos mejoraron, el crecimiento y la intensidad de la producción aumentaron como consecuencia del incremento del precio del oro en los últimos 10 años. Consecuentemente, los problemas ambientales han crecido por la capacidad de producción de las plantas, falta de tratamiento de desechos, control escaso y principalmente, por la falta de espacios donde ubicar los desechos sólidos conocidos como relaves.

Los problemas ambientales en el distrito minero Zaruma-Portovelo han sido reportados por diversos trabajos de investigación a nivel nacional e internacional. Todos los estudios coinciden en apuntar la existencia de metales pesados en cantidades superiores a las limitaciones de las normas ambientales locales e internacionales.

La presencia de metales pesados está acompañada de una gran cantidad de sólidos en suspensión que han eliminado la vida acuática en el río Calera cerca a la ubicación de las plantas de beneficio. Esto, a la vez, constituye un riesgo alto para la salud humana en especial de aquellos que dependen del agua de la cuenca Puyango-Tumbes.

Con este antecedente, la presente tesis, se desarrolla en la cuenca alta del Puyango – Tumbes, y tiene como finalidad determinar el impacto ambiental ocasionado por las actividades de beneficio mineral a lo largo de los ríos Calera y Amarillo, y proponer un modelo conceptual de gestión de los residuos mineros.

La investigación identifica el establecimiento de las plantas de beneficio, la caracterización de los relaves de cada planta, la existencia de pasivos ambientales, las características ambientales del distrito minero Zaruma – Portovelo, los impactos ambientales con la aplicación del modelo presión – estado – respuesta.

En el primer capítulo; se enuncia el problema de la investigación, los objetivos propuestos y el planteamiento de la hipótesis.

El capítulo segundo; describe el marco referencial, conceptual y contextual en el que se incluyen las instituciones y organizaciones involucradas con el problema de estudio.

La metodología utilizada para la investigación, se describe en el capítulo tercero.

Seguidamente, se presenta el análisis y la discusión de los resultados obtenidos durante la investigación, que sirven para la identificación de los impactos ambientales negativos generados por la actividad de beneficio mineral.

Al final de la Investigación se genera la propuesta “Modelo conceptual para el manejo integral de los relaves producidos por las plantas de beneficio del distrito minero Zaruma – Portovelo”, aplicable para recuperar las riberas de

los ríos Calera y Amarillo como afluentes de la cuenca binacional Puyango
– Tumbes.

CAPÍTULO I

1 EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La actividad minera aurífera en el distrito minero Zaruma – Portovelo ha originado varios impactos ambientales negativos, en su mayor parte, relacionados con el control deficiente o inexistente de la disposición de las colas o relaves.

Como producto de la falta de tecnología y dirección técnica, se ha ocasionado la contaminación de las subcuencas y microcuencas pertenecientes al sistema hídrico Puyango-Tumbes, con alrededor de 3 000 t/d de relaves, consistentes en sólidos en suspensión, metales pesados y reactivos químicos. Este material es producido por alrededor de 71 plantas de beneficio que laboran en el sector recientemente regulándose.

Es evidente la contaminación ambiental en las cuencas de los ríos Calera y Amarillo, por la presencia de metales pesados y complejos cianurados. La presencia de mercurio en el aire es otro elemento que deteriora la salud del ser humano y los ecosistemas.

La mayor cantidad de plantas de beneficio mineral, se encuentran a lo largo del río Calera, cuyos desechos son descargados en el río.

El problema del manejo de relaves de las plantas de beneficio es crítico por la falta de espacios para su disposición. Ante la necesidad de solucionar

sus problemas, los propietarios de plantas han acudido a buscar espacios cerca de la cuenca.

Gran parte del territorio de la zona, se encuentra rodeada de relaves abandonados, los cuales se convierten en productos de peligro alto por sus características fisicoquímicas. En gran medida, hacia la parte alta sobre el Puente Buza, Arcapamba y Muluncay, se encuentran dispersos los residuos mineros, en presas de relaves construidas inadecuadamente y con deficiencias enormes, estructurales y técnicas, .

Las plantas de beneficio, se encuentran dispuestas de forma aleatoria y arbitraria, concentradas mayormente en la zona de El Pache, El Salado y dispersas a lo largo del río Calera. Junto a las plantas, se encuentran molinos, depósitos de arenas, obras de infraestructuras, que causan deterioro del paisaje

Otro de los problemas importantes que debe soportar el sistema hídrico de la cuenca alta del Puyango – Tumbes, es la causada por el beneficio de los minerales, principalmente cuando la materia prima no tiene características similares, provienen no sólo del distrito minero Zaruma Portovelo, sino que procesan materiales de la zona minera del cantón Ponce Enríquez, Santa Isabel de las provincias del Azuay, Zamora hasta del país vecino del Perú; que dificulta el tratamiento de los relaves por sus características diferentes. Entre los puntos que generalmente han causado alarma entre la población, se encuentran los efectos drásticos en salud humana, causados por los usos de mercurio y cianuro.

La afectación es tan grave que incluso el Perú, por medio del gobierno del Departamento de Tumbes, ha iniciado reclamos formales en relación a la contaminación a la que están expuestos los cultivos y la población que se desarrolla en el parte baja del sistema hídrico.

1.2 UBICACIÓN DEL PROBLEMA.

La investigación involucra a los cantones de Zaruma y Portovelo, ubicados en la parte suroriental de la provincia de El Oro. El área de estudio corresponde a 4 400 ha. Aproximadamente, tal como se puede observar en la figura N° 1.1

Figura N° 1.1. Localización del área de estudio.



Fuente: FUNSDAD, 2011.

1.3 SITUACIÓN CONFLICTO

El distrito minero de Zaruma – Portovelo, motivo de la presente tesis de investigación, es explotado desde 1904 por la South American Development Company (SADCO), que ejecutó la prospección, la exploración, el desarrollo y la producción de la mina hasta 1950; a partir de dicha fecha la compañía CIMA y la intervención de los mineros artesanales han sido protagonistas en el manejo del distrito.

En el distrito existen aproximadamente 71 plantas de tratamiento de minerales, de mineros pequeños, que generan, más de 500 000 toneladas de residuos o relaves mineros por año.

Éstas, se encuentran, en su mayoría, al borde de los ríos, cuya morfología limita los espacios inadecuados para la construcción de relaveras técnicamente diseñadas, obligan a la acumulación parcial y temporal de dichos residuos, que sucesivamente son vertidos por el socavamiento debido a la temporada lluviosa, por lo que, ésta es una fuente de contaminación con metales pesados, sólidos en suspensión y reactivos químicos.

Han habido varios intentos gubernamentales para controlar las actividades de las plantas de beneficio, llevarlas a la regularización y el cumplimiento de la normativa legal ambiental. Uno de los problemas más acuciantes es el manejo de relaves que surgen de los procesos en las plantas de beneficio. Ante el desorden de las plantas de beneficio ubicadas a lo largo de los ríos Calera y Amarillo, los relaves son permanentemente lanzados a los alrededores afectando, por ende, los cuerpos circundantes de agua.

Los ríos Calera y Amarillo forman la cuenca binacional Puyango-Tumbes, compartida con el pueblo Peruano. Precisamente, las acciones para la disposición de los relaves de las plantas de beneficio son necesarias para minimizar los impactos ambientales negativos a esta cuenca hidrográfica de gran importancia para ambas naciones.

Instituciones gubernamentales, a niveles nacional y regional, así como comunidades ubicadas en el sector de las operaciones de la minería pequeña expresan preocupación indicando la necesidad urgente de disponer de un sistema de disposición de relaves.

Anteriormente, se han evidenciado algunos procesos de consulta y autorización para la construcción y operación de la presa de relaves; acciones de instituciones gubernamentales para reducir impactos de las operaciones mineras. Dentro de este proceso, acciones emprendidas por el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de El Oro en coordinación con el Ministerio del Ambiente del Ecuador han llevado a cabo varias tareas para definir las alternativas de cómo manejar este problema.

El Gobierno Provincial Autónomo de El Oro ha trazado planes previos con estudios que permiten identificar y manejar los problemas en cada una de las fases de operaciones mineras. Por ejemplo una fase es la del diálogo y trabajo conjunto con los propietarios de las plantas de beneficio; así mismo, se lleva, a cabo, la implementación de un sistema de monitoreo ambiental para la zona en referencia.

Por otro lado, lidera un grupo intersectorial con la participación de varias instituciones gubernamentales para analizar de manera permanente la situación y ejecutar un plan adaptativo de manejo de todo el sistema. Finalmente, como acción adicional, el Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincial de El Oro, emprende un plan para la disposición de relaves para evitar que los mismos sean descargados a los ríos del sector y mitigar la contaminación ambiental.

Para la disposición de relaves, se han realizado estudios previos que determinaron que el sitio El Tablón es el idóneo para esta acción. Un estudio, es el que se llevó a cabo a través del Gobierno ecuatoriano con la participación de científicos suecos e ingleses a través del proyecto PRODEMINCA (2002).

1.4 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.

El proyecto de investigación tiene como finalidad identificar y caracterizar las plantas de beneficio ubicadas en el distrito minero Zaruma-Portovelo, sus procesos, generación de desechos y los pasivos ambientales ubicados en las orillas de los ríos Calera y Amarillo pertenecientes a la cuenca Puyango-Tumbes; además, identificar los impactos ambientales negativos generados por la actividad minera, para elaborar una propuesta de manejo integral de los relaves generados por las plantas de beneficio que operan en el distrito.

1.5 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Cuáles son los impactos negativos generados hacia los recursos, agua, suelo, y biota que se producen en el distrito minero Zaruma – Portovelo, por la actividad de beneficio mineral y la producción de residuos metalúrgicos?

1.6 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.6.1 Objetivo general

Identificar los impactos ambientales negativos generados por la actividad minera en el beneficio de los minerales en el Distrito Zaruma – Portovelo para proponer un modelo conceptual de gestión integral cuya aplicación permita el mejoramiento de la calidad de vida de la población afectada.

1.6.2 Objetivos específicos

1. Elaborar un diagnóstico ambiental de la actividad de beneficio mineral en el distrito minero Zaruma – Portovelo.
2. Identificar los impactos ambientales generados por la actividad minera, mediante la aplicación del método presión – estado – respuesta, para establecer medidas ambientales.
3. Proponer un modelo conceptual de gestión para el manejo integral de los residuos mineros generados en el distrito minero Zaruma - Portovelo.

1.7 JUSTIFICACIÓN

La minería es una de las actividades productivas más polémicas, debido al grado alto de afectación sobre el medio donde opera, pero también genera grandes beneficios para la población. Esta dualidad representa la realidad minera del distrito; por un lado, revelan la riqueza de la zona y, por otro lado, las amenazas de la minería, como la contaminación de los cuerpos hídricos, el impacto paisajístico, la inestabilidad de los terrenos, entre otros, que reflejan la afección a los ecosistemas y la salud humana.

“En la región de Zaruma-Portovelo en el sur del Ecuador, alrededor de 10.000 personas se dedican a la actividad minera en forma directa (exclusiva o parcial) o indirecta, produciendo unos 9 toneladas de oro anualmente”. (CENDA, 1999).

Aguilar, (2012) indica que *“más de cinco millones de niños mueren cada año en diferentes partes del mundo a causa de enfermedades directamente*

relacionadas con el deterioro del medioambiente en el que viven”.

La revista Vistazo, el 20 de septiembre de 2010, en su artículo, señala que en las poblaciones de Zaruma y Portovelo, *“hay un alto índice de discapacidades debido al uso de mercurio, cianuro, y plomo, empleados para procesar el oro”.* *“Según el reporte de Ecuavisa, la minería artesanal ha causado discapacidades. En Zaruma, de 23.407 habitantes, 733 tienen algún tipo de discapacidad; y en Portovelo, de 11.024 personas, 388 personas están con alguna discapacidad”.*

El tema ambiental está entre las prioridades del ser humano; en la actualidad, se ha convertido en un *“aspecto que viene generando posiciones antagónicas en unos temas y unanimidad en su tratamiento en otros”.* (Suárez, 1998).

La actividad minera en su fase de beneficio del mineral genera gran cantidad de residuos que generan contaminación alta al ambiente, y *“la disposición de los relaves suele ser uno de los componentes más críticos de un proyecto minero”* (Martínez 2014).

Entre todos los impactos ambientales negativos generados por la actividad minera *“se mencionan 400.000 toneladas de relaves (también llamados colas o sobras) arrojadas directamente en los ríos. En esos relaves hay metales pesados y productos peligrosos en una proporción superior a las normas vigentes”.* (ISCH. 2012).

La Subsecretaría de Protección Ambiental del Ministerio de Energía y Minas realizó el monitoreo ambiental de las áreas mineras en el sur del Ecuador y concluyó que *“la mayor parte de las actividades de extracción y procesamiento de minerales descargan las colas directa o indirectamente a los ríos de la Cuenca del Río Puyango. Las descargas han tenido un*

impacto negativo a gran escala en el sistema fluvial”.

La mayor cantidad de estudios realizados en la cuenca alta del río Puyango, evidencian contaminación por metales:

Vinoot (1993) “se detectó arsénico, cadmio, cobre, zinc, mercurio y plomo, en algunos casos, por encima de lo permisible ... el arsénico y el cadmio superan el límite permisible tanto en época de estiaje (caudal mínimo) como en la de caudales normales”.

“Las aguas del río Puyango contienen altos niveles de contaminación por la presencia de metales pesados”. (Jiménez, 1999).

“El agua del río Puyango presenta concentraciones considerables de arsénico, mercurio y cianuro”. SENAGUA (2012).

“El aumento de la concentración de metales pesados arsénico, cadmio y mercurio en sedimentos analizados por tramo de río, están relacionados a la actividad minera que se desarrolla en las riberas de los Ríos Calera y Amarillo”. SENAGUA (2012)

Estudios efectuados por PRODEMINCA (1996-1998), Fundación Salud Ambiente y Desarrollo FUNSAD, (1999-2001), Proyecto Binacional Puyango-Tumbes, PEBPT (2007-2009) y SENAGUA (2011- 2012) han evidenciado la presencia de metales como arsénico, aluminio, mercurio, cadmio, demostrando que la calidad del agua y los sedimentos es tan deteriorada que se ha erradicado toda forma de vida superior y es imposible el uso benéfico y racional del agua para consumo humano o irrigación.

Referencias internacionales indican que los sedimentos del río Amarillo tienen cantidad alta de metales pesados. Por citar algunos de estos

documentos, Tarras Wahlberg y colaboradores (2000) determinaron la existencia de contaminación por cadmio, cobre, zinc, arsénico, plomo y cobre. Por otro lado Appleton y colaboradores (2001) también encontraron la presencia de varios metales pesados, pero, principalmente, mercurio fue el ámbito de estudio de estos investigadores. En otro estudio, a través de la Fundación para la Salud, ONG ecuatoriana, encontró varios metales pesados; llamó la atención de concentraciones altas de plomo en los sólidos suspendidos del agua. Betancourt y colaboradores (2005) confirmaron la contaminación del río Amarillo, especialmente, por metales pesados en los sedimentos.

Estudios realizados, Velásquez – López, 2007 – 2009 - 2010, concluyen que las concentraciones de cianuro determinadas están sobre el límite permisible; por lo tanto, no es posible la existencia de vida animal y vegetal. Concentraciones de cianuro sobre 0,04 mg/l pueden eliminar la vida acuática. Otros componentes químicos, subproducto del cianuro, pueden ser altamente tóxicos.

Frente a todos los problemas de contaminación de la cuenca binacional del Puyango, el Estado ecuatoriano ha emprendido acciones articuladas con el gobierno del Perú para implementar convenios y proyectos de prioridad que conlleven al mejoramiento ambiental y social de las poblaciones asentadas en el área de la cuenca.

El Ecuador y Perú dentro de la visión de los recursos hídricos compartidos, están identificando toda la gama de beneficios potenciales, ambientales, económicos y políticos que motivan a la cooperación.

El Gobierno Autónomo Descentralizado de El Oro, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y Ministerio de Recursos Naturales no Renovables, firmó un convenio para financiar, ejecutar y fiscalizar el proyecto

“Construcción de la Primera Fase de la Relavera Comunitaria” que es parte del proyecto de ordenamiento técnico ambiental minero del distrito Zaruma-Portovelo, que, según los estudios, se desarrollará en la hacienda El Tablón.

El INIGEMM, ha realizado estudios geofísicos, geotécnicos, mineralógicos e hidrogeológicos necesarios para impulsar el proyecto de la relavera comunitaria.

El Ing. Jorge Glas Espinel, Ministro de Sectores Estratégicos, en cuanto a la firma del convenio de construcción de la relavera comunitaria, en agosto de 2012, manifestó: *“ahora con la relavera empieza la era de tener un ambiente sin contaminación; es un proyecto que no se va a detener hasta que se resuelva el problema de la contaminación que generó la mala minería que se realizaba cuando no existía la ley, cuando no existía un control correcto que apoye a la legalización de mineros”*, dando inicio a una etapa en la que el gobierno central apoya a la rehabilitación de las áreas degradadas en el sur del país.

La contaminación de los ríos Calera y Amarillo, evaluada desde el año 1996 por PRODEMINCA, seguida por varios estudios hasta la actualidad, no han variado en cuanto a la presencia de metales pesados, coliformes fecales, complejos cianurados, *“evidenciando un inadecuado control por parte de las Instituciones del Estado a la actividad minera”*. SENAGUA (2012).

Si las colas o los relaves son transportados, tratados y confinados en diques adecuados de retención, se podrían, solucionar esencialmente los problemas referentes a la contaminación con metales pesados, mercurio, cianuro y otros. Además, debido a las condiciones naturales benéficas, la rehabilitación de los ríos muy afectados puede ser de plazos corto y mediano.

La generación, el transporte, el tratamiento y la disposición adecuada de las colas es un aspecto clave para lograr el uso prudente y racional de los recursos naturales de esta cuenca.

Experiencias mineras en otros países han demostrado que *“no es posible solucionar los problemas ambientales solamente con medidas unilaterales como las jurídico-administrativas”*. (CENDA, 1999); sino que hay que articular acciones para encontrar soluciones integrales de desarrollo con la conservación del ambiente.

Una de las soluciones al problema ambiental de la cuenca sería cuando se *“clausure minas y socavones antitécnicos y traslade las plantas y molinos que están ubicados a orillas de los ríos y quebradas, y los concentre en un área industrial determinada”*. (VALAREZO 2010)

Frente a la contaminación ambiental que genera la actividad minera de beneficio de minerales, que se ha venido manteniendo o aumentando en el tiempo, citados en párrafos anteriores, la tesis presente plantea la investigación de las fuentes de dicha contaminación, el análisis de los impactos ambientales negativos ocasionados por la actividad y la realización de un modelo de manejo integral de los residuos mineros, en busca del ordenamiento de la actividad minera.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO.

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

2.1.1 Beneficio de minerales

El beneficio del mineral, hace referencia a los procesos utilizados para la obtención del mineral (oro, plata, cobre, y otros.); el desarrollo de estas técnicas es de acuerdo al lugar en la que se desarrolla: en el río o la superficie terrestre. (Muro, 2005)

2.1.2 Procesos para la obtención del mineral.

2.1.2.1 Trituración

Es el inicio del proceso de obtención del mineral; a éste llega la roca extraída de la mina subterránea a través de vagones; este proceso cumple la función de reducir el tamaño de la roca por medio de la trituradora con el fin de separar el oro de otros metales y ser trasladada al área de molienda (Muro, 2005).

2.1.2.2 Molienda

En la molienda por medio de molinos de gran capacidad, se reduce el material a medidas considerables; se utiliza la ley de la gravedad; después de la reducción de la roca por los molinos pasa por canaletas; a este

proceso, se le denomina **concentración gravimétrica**; el oro, por su densidad se precipita en el fondo de las canaletas; a partir de esta etapa, se inicia el uso de químicos a fin de atrapar el mineral liberado en la mezcla de agua y roca fina. (Muro, 2005)

2.1.2.3 Cianuración

En el proceso de cianuración, la pulpa restante ingresa de la concentración gravimétrica; la pulpa es un compuesto de rocas pequeñas, agua y mineral. En esta etapa ingresa el cianuro que se puede utilizar de forma estática o agitación. En Ecuador, mayormente, se usa la agitación que se efectúa a través de tanques, en los cuales, se realiza un movimiento permanente para que el cianuro, se disuelva de forma más rápida y encapsule el mineral.

2.1.2.4 Flotación

La flotación es un proceso netamente químico, en el cual se utilizan precisamente reactivos colectores y espumantes; su objetivo principal es obtener toda la concentración rica que ha quedado en la mezcla de agua y material de los procesos de gravimetría y cianuración.

Básicamente, el proceso consiste en ingresar aire a la mezcla para que los materiales encapsulados por los colectores lleguen a la superficie a través de la espuma.

Dentro de los reactivos utilizados para la recuperación de los minerales en la etapa de flotación son los siguientes:

- **Depresores:** sirven para impedir que ciertos elementos y minerales, se mantengan bajo la línea de espuma y no floten elementos innecesarios durante este proceso.
- **Colectores:** éstos cumplen la función de juntar los elementos valiosos para que llegue a la superficie de las burbujas, de tal forma, asegurando la colección de los minerales deseados para la industria.
- **Espumantes:** como su nombre lo dice la reacción que éstos provocan en el tanque es crear burbujas suficientemente espesas y estables para subir los minerales encapsulados por los colectores en el reactivo anterior aplicado.

La dosificación de los reactivos en la actividad minera depende de la cantidad de material procesado y la tecnología utilizada en la industria.

2.1.2.5 Fundición

Este proceso, se lo utiliza con la finalidad de obtener los metales nobles con el mayor grado de pureza, con los concentrados derivados de la amalgamación y cianuración, con tetraborato de sodio a altas temperaturas.

2.1.2.6 Refinación

Para obtener el oro y la plata por separado con alto grado de pureza; se utiliza ácido nítrico para disolver los metales, paralelamente se utiliza agua regia para separar el oro de la plata. Estos metales se disuelven en el compuesto; en la primera fase, se precipita el oro a través de sulfito de sodio (NaSO_3), se filtra y se funde para obtener el oro de alta ley; de la

solución restante, se precipita la plata con cloruro de sodio y, luego se funde con tetraborato de sodio.

2.1.3 Manejo de relaves

Los programas sistemáticos para el manejo de relaves deben fijarse objetivos claros y definir la secuencia de las fases de tiempo que se aplicarán durante la vida de la instalación de las plantas de beneficio mineral.

2.1.3.1 Fases en el manejo de relaves:

Construcción. El desarrollo de un depósito de relave implica, por lo general, una etapa importante de construcción refiriéndose a las actividades iniciales anteriores al arranque de la planta concentradora. Los impactos ambientales negativos durante este tiempo pueden incluir calidad del aire (polvo) y calidad del agua (derrames de sedimentos), pero, éstos son de una naturaleza común y pueden ser tratados mediante medidas de rutina.

Operación. El período de operación comienza y termina con la descarga de los relaves en las instalaciones. Esta duración es usualmente determinada por la vida de la planta, que, a su vez, es gobernada por factores económicos, precios de los metales, y reservas geológicas. Los períodos típicos de operación de un depósito van de 10 a 20 años, aunque algunos están aún operando después de 90 años. El planeamiento operacional para relaves debe considerar como volumen mínimo, la cantidad total de relaves obtenibles con las reservas económicamente minables al momento de la iniciación del proyecto. Es deseable, en lo posible, incorporar una provisión para contingencias

causadas por extensión de las reservas de mineral.

Cierre. El período de cierre comienza al término de las operaciones de la planta concentradora y descarga de los relaves. Durante este tiempo, se construyen las instalaciones adicionales que puedan ser requeridas para alcanzar la estabilidad física o química a plazo largo (por ejemplo, zanjas y conductos permanentes de derivación del agua); y, se inicia la rehabilitación. El período de cierre requiere el monitoreo de estos parámetros adicionales por el período de tiempo necesario para asegurar su funcionamiento adecuado y realizar cualquier modificación necesaria. En el caso que se proporcionen fianzas, garantías, bonos u otros documentos financieros para garantizar el cumplimiento exitoso de las medidas de cierre; entonces, el fin del periodo de cierre coincidirá con la devolución de los bonos fianzas, y otros de la compañía minera.

En general, el tiempo de cierre puede tomar de 20 a 30 años, aunque es típico el lapso de 5 a 10 años; depende de la complejidad y los requerimientos técnicos de las medidas de cierre y el monitoreo pertinente. Las medidas de cierre deberán ser tales que su implementación sea, también, factible en la eventualidad del cese prematuro de las operaciones, debiendo incluirse, también, en el planeamiento de cierre, las condiciones de contingencia para la suspensión temporal de las operaciones.

Post-cierre. El post-cierre o abandono comienza a continuación de la terminación exitosa de las medidas de cierre; se extiende tanto como se requiera para que la estabilidad física y química del depósito de los relaves quede asegurada. Una implicancia importante es que las consideraciones de diseño para casos extremos tales como inundaciones y terremotos deben ser capaces de acomodar los eventos más grandes que puedan ocurrir, potencialmente, mucho más grandes que aquellos requeridos para el diseño durante el período de operación.

Con estas etapas, los objetivos del manejo de relaves pueden ser establecidos simplemente de la siguiente manera:

La estabilidad física de los depósitos de relaves debe estar asegurada durante la operación, cierre y período de post-cierre. La seguridad de las poblaciones afectadas, contra los efectos físicos de una falla en el depósito, debe ser considerada siempre en primer lugar. Aunque ciertas medidas de mitigación ambiental pueden entrar a menudo en conflicto con los requerimientos de la estabilidad física, este objetivo no puede ser comprometido. No hay mitigación ambiental posible por mucho tiempo, a menos que los depósitos permanezcan estables.

La migración de contaminantes a través del aire, agua superficial o subterránea debe ser minimizada. Durante el período de operación podrían requerirse medidas estructurales; en otras circunstancias operacionales, podría autorizarse la consideración de los procesos naturales de mitigación de contaminantes conjuntamente con la capacidad de asimilación del ambiente natural.

No es recomendable considerar el monitoreo o mantenimiento a largo plazo para satisfacer los dos objetivos anteriores durante el período de post-cierre. Esto significa que los depósitos de relaves deben alcanzar un status de salida a través del período de post-cierre, sin la necesidad anticipada o pronosticada de mantenimiento, reparación o intervención. Por último, alguna institución gubernamental debe ser responsable de conducir y controlar tales requerimientos.

Los objetivos para el manejo de relaves son metas deseables que pueden ser imposibles de satisfacer íntegramente en cualquier circunstancia dada. Sin embargo, ellas forman un conjunto de criterios consistentes, por medio

del cual, las alternativas, los métodos y los planes específicos pueden ser evaluados.

Varias observaciones importantes surgen directamente de estos objetivos. Primero, la descarga directa de los relaves a los riachuelos y ríos no puede alcanzar los objetivos de estabilidad física o minimización de la migración de los contaminantes. La deposición y el transporte de los relaves y contaminantes correspondientes continuarán ocurriendo indefinidamente, por la acción de los procesos fluviales naturales que no pueden ser pronosticados o controlados confiablemente. Segundo, la recirculación del agua de proceso de la planta concentradora debe ser maximizada a fin de lograr el objetivo de minimizar la contaminación. Es, casi siempre posible, y económicamente aceptable, capturar y recircular la mayor parte del agua de proceso de la concentradora, excepto en climas húmedos en donde la precipitación es tan alta que la descarga directa de las escorrentías acumuladas no pueda ser evitada.

Finalmente, no habrá introducción completa al tópico del manejo de relaves si no se indica que la dificultad en alcanzar los objetivos para el manejo de relaves, requiere un esfuerzo coordinado entre los titulares de las plantas y el personal de operaciones. Es esencial que todas las fases del manejo de relaves sean conducidos bajo la supervisión directa de especialistas, no únicamente bien entrenados y competentes en estos campos, sino que también con experiencia en el tema de relaves.

2.1.4 Residuos mineros

Los residuos minerales surgen principalmente como resultado del proceso de flotación y cianuración; a éste se le denomina *Suspensión fina de sólidos en líquidos* y, se debe principalmente a que la pulpa tratada, en esta fase,

es el compuesto del agua y material que llega del proceso de concentración gravimétrica.

A estos residuos, también, se les denominan colas; su denominación se origina por el valor en los minerales que éstas poseen o asumen; las colas son el resultante de todo el proceso para obtener la concentración rica de minerales desde la extracción de la mina; al ser el resultado del proceso productivo éstos, se encuentran compuestos no sólo de agua y mineral en su composición; se encuentran los reactivos ingresados en las fases de cianuración y flotación.

2.1.5 Encapsulamiento de relaves.

El encapsulamiento surge como alternativa para el manejo de los relaves o también denominados colas que son el resultado del proceso productivo desarrollado en la obtención del beneficio del mineral; el encapsulamiento es *“fijación química, es un proceso a través del cual se inmoviliza e insolubiliza los metales pesados, logrado a través de una reacción química entre los componentes de los metales pesados en la matriz del relave”* (Romero, 2010, pág. 77). Resultado de esta fijación, se elaboran ladrillos y baldosas.

Para desarrollar la fijación química existen dos teorías de hidratación, Chatelier y Micaselis, que básicamente deberían ser empleadas de acuerdo al tipo de relave y contenido químico compuesto para evaluar las posibilidades de uso de los mencionados. (Romero, 2010, págs. 77-78)

2.2 MARCO CONTEXTUAL

2.2.1 Zona de influencia directa

El área de influencia directa, se define por los asentamientos humanos ubicados dentro de la zona del proyecto de investigación; para este caso, la zona donde, se lo desarrollará, se encuentra rodeada de terrenos y viviendas de los cantones Portovelo y Zaruma. Es una zona donde las condiciones socioeconómicas continúan siendo afectadas de manera drástica.

2.2.2 Datos históricos de los cantones.

Cantón Portovelo

El cantón Portovelo, se encuentra localizado en la parte alta de la provincia de El Oro, entre los cantones Piñas y Zaruma; posee tres parroquias rurales; Salati, Curtincapac y Morales. Tienen una superficie de 286,20 km², y limita: al norte con el cantón Zaruma, al sur y este con la provincia de Loja y al oeste con el cantón Piñas.

Su historia nace con el asentamiento de un campamento español de mineros en el año 1549 a orillas del río Amarillo, sector que fue denominado Curipamba o Pampa de Oro.

Debido a las condiciones políticas y sociales adversas para la compañía SADCO, decide dejar el país en 1950, creándose, en ese mismo año, la Compañía Industrial Minera Asociada (CIMA), con capital social local. En el año 1.977, deja de funcionar la compañía CIMA, con lo cual surge el auge

de la minería artesanal o informal, la cual existe hasta la actualidad, constituyéndose en la actividad económica principal del cantón.

Cantón Zaruma

El cantón Zaruma, se encuentra localizado en la parte alta de la provincia de El Oro, cuyo nombre descende del quechua, que significa “cabeza de maíz” (*sara* = maíz y *uma* = cabeza). El cantón está compuesto por la parroquia urbana Zaruma y las parroquias rurales Abañín, Guanazán, Guizhaguiña, Sinsao, Salvias, Malvas, Arcapamba, Muluncay Grande y Huertas. Con una superficie de 643.5 Km², y limita al norte con la provincia del Azuay, al sur con el cantón Piñas, al este con el cantón Portovelo y al oeste con los cantones Chilla y Atahualpa.

Su fundación data en 1549 por el español Alonso de Mercadillo, dando inicio al periodo colonial, basándose, básicamente, en la explotación minera. Debido a la insuficiencia productiva, mano de obra y costos altos de producción, se disminuye la explotación minera, llevando, a los locales, a la diversificación de las actividades laborales, generando en incremento de la producción agrícola y ganadera.

Debido a la diversificación de la economía del cantón, se deja de lado la extracción a gran escala, para convertirse en minería pequeña, que en unión de la empresas que quedaron en el sector lograron nuevos procesos técnicos para obtención de oro, mejorando las condiciones productivas y generando el fortalecimiento de las empresas medianas con procesos especializados.

2.2.3 Población de los cantones.

Según el censo realizado, en el año 2010, por el INEC, el cantón Portovelo tiene una población de 12 200 habitantes, que corresponde al 1,96 % del total de la provincia de El Oro y 0,08 % del total nacional, con una proyección estimada, en el año 2015, a un total de 12 865 habitantes, proyección basada al crecimiento histórico otorgado por el INEC. La mayoría de los habitantes del cantón Portovelo en el área urbana 64,25 %, teniendo el mismo porcentaje a nivel de la provincia de El Oro y Ecuador.

En el cantón Portovelo, la población por género está dividida en el 51,84% que corresponde a hombres y el restante 48,16% son mujeres. La población es joven; la mayoría se encuentra en el grupo cuya edad oscila entre 0 a 44 años, el 74,2% aproximadamente.

El cantón Zaruma tiene una población de 24 097 habitantes, según el censo realizado en el 2010, cuyas proyecciones asciende a 24 454 habitantes, que corresponde al 3,59 % de la Provincia de El Oro y el 0,14% del total del país. La población, según su ubicación, la mayor parte, se encuentra ubicada en el área rural con un 59,84 %, aproximadamente, a diferencia del cantón Portovelo tanto como en la provincia y el País, donde se presenta una concentración mayoritaria en el área urbana.

En el cantón Zaruma, la población, 50,97 % corresponde a hombres y el restante 49,03 % a mujeres. Asimismo, se muestra una mayor agrupación de la población joven; las personas hasta los 29 años de edad representan el 51,55% de la población, el resto son adultos mayores a los 30 años.

La tabla No. 2.1 muestra la proyección de la población de los cantones Portovelo y Zaruma, como un indicador para proyectos de desarrollo socio - económicos del sector de estudio.

Tabla N°2.1. Proyección de la población.

PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN 2010-2020				
AÑO	Ecuador	Provincia El Oro	Portovelo	Zaruma
2010	14.483.499	600.659	12.200	24.097
2011	14.760.727	609.216	12.330	24.168
2012	15.043.261	617.894	12.462	24.239
2013	15.331.204	626.696	12.595	24.311
2014	15.624.658	635.623	12.729	24.382
2015	15.923.729	644.678	12.865	24.454
2016	16.228.524	653.861	13.002	24.526
2017	16.539.153	663.176	13.141	24.599
2018	16.855.729	672.623	13.281	24.671
2019	17.178.363	682.205	13.423	24.744
2020	17.507.174	691.923	13.566	24.817

Fuente: INEC 2010.

2.2.4 Educación

Según datos otorgados por el INEC, el índice de analfabetismo en el cantón Portovelo es de 4.59%, de los cuales se divide en zona urbana y rural, con el 2,58 y 8,21%, respectivamente. En lo que respecta al nivel de educación en el cantón, se evidencian tres tipos de niveles: primario, secundario y superior.

El 36,8 % de la población tiene un nivel de educación primaria, con un mayor porcentaje los habitantes que tienen educación secundaria de un 55,3 %; el 5,3 % de la población tiene educación superior universitaria, y el restante 2,6 % no tiene un nivel de educación.

Así mismo, según datos del último censo de población y vivienda realizado por el INEC, el índice de analfabetismo en el cantón Zaruma es 6,89 %, siendo este mayor que del cantón Portovelo; de igual manera, la mayor cantidad de personas con analfabetismo, se encuentran en las parroquias rurales, debido, esencialmente, a la distancia y escasos de centros educativos en el área rural.

De la misma forma, en Zaruma se destacan tres niveles educativos: primario, secundario y superior, en el cantón el 60,3 % posee un nivel de instrucción primaria, el 29,3 % posee una educación secundaria y el 8,6 % de la población tiene un nivel de instrucción superior universitaria, el restante 1.7 % no tiene un nivel de educación.

2.2.5 Salud

En un estudio realizado en el cantón Portovelo por la Fundación Salud Ambiente y Desarrollo (FUNSAD) en el año 2001, examinaron a 200 personas, para comprobar el impacto de los metales, como el mercurio en la salud, el 52,4 % de la personas examinadas, la mayoría, trabajaba en la minería, mostraban pruebas de intoxicación por mercurio, alterando entre los niveles de impregnación e intoxicación efectiva.

Además, el INEC, en su último censo, muestra que las enfermedades cardiacas, cerebro vascular, tumores malignos de estómago, además de los accidentes de tránsito, son las causas principales de muerte en el cantón.

Asimismo en el estudio realizado, en el año 2001, por la Fundación Salud Ambiente y Desarrollo (FUNSAD), en el cantón Zaruma, se examinaron a 200 personas; se determinó que el 57,1 % de la muestra presentaba

síntomas de intoxicación por mercurio al igual que en el cantón Portovelo, de igual manera variando entre impregnación e intoxicación efectiva; la mayoría de la personas examinadas trabajaban en el sector minero. Este tipo de similitud en el estudio de los dos cantones, se produce la ocupación económica ya que ambos son mayormente mineros.

De igual manera el INEC en su censo del 2010, indica que las causas principales de muerte son las enfermedades cardiacas, cerebro vascular, tumores malignos de estómago, además de los accidentes de tránsito.

2.2.6 Comportamiento demográfico

La tasa de natalidad en el cantón Portovelo es negativa, lo que indica que la cantidad de nacidos vivos tiene una tendencia a contraerse, eso quiere decir que cada vez nacen menos personas en el cantón, esto puede tener muchas razones tales como: migración, educación y cultura. En Portovelo la tasa de natalidad es de -7,32 % en el área urbana y -1,6 % en el área rural.

Otro indicador a analizar en la tasa de mortalidad en el cantón Portovelo, ya que este sirve también para poder expresar el comportamiento demográfico, con lo cual se puede evidenciar un incremento de la tasa de mortalidad según el censo del año 2010, en el área urbana es de 2,36 % mientras que en el área rural es de 0,62 %.

De igual manera según datos proporcionados por el último censo de población y vivienda en el año 2010, en el cantón Zaruma existe una Tasa de Natalidad negativa, tal como en el cantón Portovelo, demostrando una disminución en la tendencia de los nacimientos con el transcurso del

tiempo. En el área rural se muestra una mayor tasa de natalidad mayor de -5,4%, en relación al sector urbano cuya tasa es de -1,42 %.

En cambio la Tasa de Mortalidad a diferencia del cantón Portovelo, existe una disminución de las mismas, mostrando también tasas negativas, las cuales nos indican que la cantidad de personas que perecen disminuyen, esto puede ser asimismo por educación y cultura. En el sector rural la Tasa de Mortalidad es de -2,47% y en el sector urbano de -0,75 %, según los datos del INEC.

2.2.7 Productividad

Según datos del año 2003, proporcionados por el Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca (MAGAP), en el cantón Portovelo existen 817 Unidades de Producción Agrícola (UPAs), que representan 24 880 hectáreas, de las cuales 20 550, es decir el 82,60 %, las personas poseen títulos de propiedad, y 4 330 corresponden al 17,40 % de las hectáreas totales son ocupadas sin título legalizado de propiedad.

La gran producción ganadera en el cantón Portovelo corresponde al ganado vacuno; además, son importantes las aves de corral. También, se observan productos como café, caña de azúcar y piña.

Al ser el cantón Portovelo el primer centro minero del país, cada año, se realiza la feria nacional de la minería, en donde se expone todo lo concerniente a la actividad minera en el país. La producción en el cantón es de aproximadamente 25 kg. de oro semanal.

Con datos contribuidos por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, MAGAP, en el año 2003, se reportaron en el cantón

Zaruma 2 949 unidades de producción agrícola, las cuales representan 49.606 hectáreas; la mayoría de las UPAs tienen títulos de propiedad. La producción de animales de granja más representativa es las aves, superando los noventa millones de dólares al año.

La actividad agrícola en Zaruma es muy diversa; se producen productos como: fréjol seco, maíz, café, caña de azúcar, entre otros; su producto principal es el maíz suave seco que representa ingresos por más de un millón de dólares, seguido de la caña de azúcar por alrededor de medio millón de dólares anuales.

La producción minera corresponde a las parroquias Zaruma, Malvas y Muluncay, debido, esencialmente a las plantas de beneficio, mientras que las otras parroquias, se dedican, básicamente, a la producción agrícola.

2.2.8 Situación económica

Con base a estudios realizados, para la tesis presente, en el cantón Portovelo, la mayor cantidad de personas perciben ingresos que oscilan entre los 300 a 600 dólares mensuales; el 52 % de la población de Portovelo no alcanza a cubrir el costo de la canasta básica y, por tal razón, no cubren sus necesidades básicas de subsistencia, ya que según datos proporcionados por el INEC, en abril de 2015, la canasta básica está valorada en 660,85 dólares mensuales.

Según estudio realizado por el autor de la tesis presente, se determinó, que la población económicamente activa del cantón Zaruma, en su mayoría, posee ingresos que superan los seiscientos dólares, que representan el 86%; posiblemente, se origine por las condiciones diferentes de vida y productividad que se evidencian en comparación al cantón Portovelo. Se

pudo comprobar mediante la aplicación de encuestas a la población, que la capacidad de gasto de los habitantes de Zaruma, en algunas situaciones, sobrepasa los seiscientos dólares, evidenciando la falta de ahorro y por ende inversión.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL E INSTITUCIONAL.

2.3.1 Marco legal.

El marco legal aplicable al sector minero en lo referente al ambiente tiene cinco niveles:

- La Constitución Política de la República del Ecuador, como máxima ley rectora del sistema jurídico del Estado ecuatoriano.
- Los convenios internacionales, que una vez aprobados por la Asamblea Nacional y ratificados por el Presidente de la República se convierten en leyes nacionales.
- Leyes que son aprobadas por el Poder Legislativo.
- Reglamentos dictados por el Poder Ejecutivo y contienen normas y procedimientos detallados.
- Ordenanzas de Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales y Cantonales dictadas con base a sus autonomías en la medida que no sean contrarias a leyes y reglamentos nacionales.

El Ecuador tiene una normativa que controla el establecimiento y funcionamiento de las actividades mineras en el país, así como también existe una normativa de salud pública y ambiental que vela por la conservación de recursos naturales que pudieran verse afectados por estas actividades y, por consiguiente, implicarán la afectación de la salud del ecosistema y los ciudadanos.

La Constitución Política de la República del Ecuador contempla el derecho humano al buen vivir, el derecho al agua, los derechos de la naturaleza, como los ejes principales a tomar en cuenta en el presente estudio.

En cuanto a las leyes específicas relacionadas al sector minero son la **Ley de Minería y la Ley de Gestión Ambiental**, esta última establece mecanismos generales y específicos de gestión ambiental y crea la figura de la licencia ambiental como requisito previo a la iniciación de cualquier actividad de riesgo que pueda causar impactos ambientales.

Los procedimientos y las normas técnicas aplicables a la Evaluación de Impacto Ambiental en el sector minero están contenidos en el **Reglamento Ambiental para Actividades Mineras en la República del Ecuador; el Libro VI del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)** que es el referido al Sistema Único de Manejo Ambiental (SUMA), y en el **Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental**.

El Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD), establece la organización político-administrativa del Estado ecuatoriano en el territorio; el régimen de los diferentes niveles de gobiernos autónomos descentralizados y los

regímenes especiales, con el fin de garantizar su autonomía política, administrativa y financiera.

En el artículo 136 del COOTAD, se dispone que la tutela sobre el ambiente y corresponsabilidad ciudadana en la preservación, se articulará a través de un sistema nacional descentralizado de gestión ambiental, que velará por la defensa del ambiente.

La gestión de riesgos que incluye las acciones de prevención, reacción, mitigación, reconstrucción y transferencia, para enfrentar todas las amenazas de origen natural o antrópico que afecten al cantón, serán de forma articulada con las políticas y los planes emitidos por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos; tal como lo establece, el artículo 140 del código.

La ley Orgánica de la Salud, en cuanto a Salud y Seguridad Ambiental en el artículo 95, dispone que la autoridad sanitaria nacional en coordinación con el ministerio del ambiente, establecerá las normas básicas para la preservación del ambiente en materias relacionadas con la salud humana.

La **Ley de Recursos Hídricos, Usos y aprovechamiento del Agua**, promulgada en el Registro Oficial No. 305 el 06 de agosto de 2014, garantiza el derecho de las personas a disponer de agua limpia, suficiente en cantidad y calidad.

Publicada en el Registro Oficial No. 418 el 10 de septiembre de 2004; la **Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre**, establece el patrimonio forestal del Estado en su delimitación, administración, conservación y aprovechamiento racional de los recursos forestales y naturales.

El **Acuerdo Ministerial 061 del MAE** de 4 de mayo de 2015; reforma el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, establece los procedimientos y regula las actividades públicas y privadas en calidad ambiental; considerando, las características del ambiente, en relación a la ausencia o presencia de agentes nocivos que afecten los ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos de la naturaleza.

Acuerdos Internacionales

Convenio Sobre Biodiversidad Biológica (Entró en vigor el 29 de diciembre de 1993); tiene como objetivos conservar la biodiversidad, mejorar su utilización sostenible y garantizar la participación equitativa de los beneficios derivados de su utilización.

Declaración de Río Sobre El Medio Ambiente y El Desarrollo (Río de Janeiro, 14 de junio de 1992), en cuyo principio 17 indica que deberá emprenderse una evaluación del impacto ambiental a las actividades que produzcan impactos negativos al ambiente.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, ratificado por Ecuador en 1993, permite entre otras cosas, reforzar la conciencia pública a escala mundial, de los problemas relacionados con el cambio climático.

Convenio sobre la protección de flora, fauna, bellezas escénicas y naturales de América

Este Convenio, ratificado por el Ecuador el 15 de mayo de 1998; responsabiliza al Estado ecuatoriano para adoptar medidas de protección, para la conservación de la flora y fauna existente en sus territorios y en la adopción de medidas que aseguren la protección y conservación de los paisajes y regiones naturales.

2.3.2 Marco institucional.

El marco institucional está representado por el Ministerio de Ambiente, Ministerio de Recursos Naturales No Renovables, Ministerio de Salud Pública, la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales y Cantonales, y las asociaciones de los mineros pequeños.

Ministerio del ambiente

El Ministerio del Ambiente es la autoridad ambiental nacional rectora, coordinadora y reguladora del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental, sin perjuicio de otras competencias de las demás instituciones del Estado.

Al Ministerio del Ambiente le corresponde dictar las políticas, normas e instrumentos de fomento y control, a fin de lograr el uso sustentable y la conservación de los recursos naturales encaminados a asegurar el derecho de los habitantes a vivir en un ambiente sano y apoyar el desarrollo del país.

De acuerdo al Art. 78 de la Ley de Minería vigente, la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable para el sector minero es el Ministerio del Ambiente, debiendo éste adoptar las medidas oportunas que eviten los

daños ambientales cuando exista certidumbre científica de los mismos, resultante de las actividades mineras.

En el año 2008, se crea el **Programa de Reparación Ambiental y Social (PRAS)**, como una iniciativa del Ministerio del Ambiente dirigida a promover la gestión integral de los pasivos ambientales y sociales provocados por el desarrollo de actividades económicas generadas por actores públicos y privados.

El PRAS, ha dividido su intervención en varias etapas según las actividades económicas desarrolladas en el país. La primera fase trabaja sobre la gestión adecuada de los pasivos socio-ambientales producidos por la actividad petrolera y se está iniciando en temas de minería.

En caso de duda sobre el daño ambiental resultante de alguna acción u omisión, el Ministerio del Ambiente, en coordinación con la Agencia de Regulación y Control Minero (adscrita al Ministerio de Recursos Naturales No Renovables), adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas, las que en forma simultánea y en la misma providencia, ordenarán la práctica de acciones mediante las cuales se compruebe el daño.

Ministerio de recursos naturales no renovables

El Ministerio de Recursos Naturales No Renovables es el órgano rector y planificador del sector minero. A dicho órgano le corresponde la aplicación de políticas, directrices y planes aplicables en las áreas correspondientes para el desarrollo del sector, de conformidad con lo dispuesto en la Constitución, las leyes aplicables, sus reglamentos y los planes de desarrollo que se establezcan a nivel nacional.

El Estado determinará, de acuerdo a lo prescrito en el artículo 279 de la Constitución Política del Ecuador, y en función de los principios del buen vivir, así como de sus necesidades económicas, ambientales, sociales y culturales, las áreas susceptibles de exploración y explotación minera.

La Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM) es el organismo técnico-administrativo encargado del ejercicio de la potestad estatal de vigilancia, auditoría, intervención y control de las fases de la actividad minera que realicen la Empresa Nacional Minera, las empresas mixtas mineras, la iniciativa privada, la pequeña minería y minería artesanal y de sustento, de conformidad con las regulaciones de la Ley de Minería y sus reglamentos.

La Agencia de Regulación y Control Minero está adscrita al Ministerio de Recursos Naturales No Renovables y tiene competencia para supervisar y adoptar acciones administrativas que coadyuven al aprovechamiento racional y técnico del recurso minero, y al cumplimiento de las obligaciones de responsabilidad social y ambiental que asuman los titulares de derechos mineros.

El INIGEMM (Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico), es el organismo técnico y científico responsable de generar y administrar la información geológica minera y metalúrgica del país, para contribuir al ordenamiento territorial orientado al desarrollo sostenido y sustentable de los recursos minerales, así como a la gestión preventiva ante las amenazas geológicas en las actividades de la comunidad.

Tiene personería jurídica, autonomía administrativa, técnica, económica, financiera y patrimonio propio; y, está adscrito al Ministerio de Recursos Naturales No Renovables.

Secretaría nacional del agua (SENAGUA)

La Secretaría Nacional del Agua tiene la finalidad de conducir y regir los procesos de gestión de los recursos hídricos nacionales de una manera integrada y sustentable en los ámbitos de cuencas hidrográficas. Es la encargada de otorgar las concesiones de agua a los titulares de las plantas de beneficio.

La Secretaría Nacional, creada a nivel ministerial, reemplaza al ex Consejo Nacional de Recursos Hídricos, pero a partir de los principios modernos de la gestión que requieren establecer sistemas que separen las competencias que se refieren a la rectoría y formulación de políticas, de aquellas de investigación y participación social.

Gobierno autónomo descentralizado de la provincia de El Oro.

Por mandato constitucional y legal es la institución encargada de la gestión ambiental provincial. Por competencias otorgadas por el Ministerio del Ambiente es, a partir del año 2002, Autoridad Ambiental de Aplicación responsable.

Asociación de propietarios de plantas de beneficio, fundición y refinación. (APROPLASMIN).

Es la asociación que reúne a los propietarios de las plantas de beneficio mineral del distrito minero Zaruma – Portovelo, tiene 58 asociados regularizados; su presidente es el Lcdo. Danilo Castillo Aguilar.

Las metas propuestas por APROPLASMIN son:

- Incrementar la **conciencia ambiental** entre los mineros y la población en general
- Introducir las **tecnologías y técnicas** que permitan una mejora en la explotación y el beneficio mineral, que no tengan consecuencias negativas en el medio ambiente y la salud de la población
- **Capacitación y concientización** del minero pequeño en temas ambientales y tecnologías limpias.
- **Promover y ejecutar proyectos** que reduzcan el impacto ambiental de la minería en la región y mejoren la calidad de vida de la población.

2.4 HIPÓTESIS

Las plantas de beneficio mineral del Distrito Minero Zaruma – Portovelo, causan impactos al ambiente por la generación de residuos manejados inadecuadamente, y vertidos a los cuerpos de agua superficiales de los ríos Calera y Amarillo.

2.5 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.

La presente investigación, destinada a determinar los impactos ambientales ocasionados por los residuos metalúrgicos provenientes de las plantas de beneficio del distrito minero Zaruma – Portovelo, analiza variables, dependientes e independientes; además, determina los indicadores verificables, los que se muestran en la tabla 2.2

Tabla 2.2. Variables e indicadores del estudio.

VARIBLES	INDICADORES
Plantas de beneficio del distrito minero Zaruma-Portovelo,	<ul style="list-style-type: none">• Establecimiento de las plantas de beneficio.• Procesos de las plantas de beneficio
Relaves producidos en las plantas de beneficio	<ul style="list-style-type: none">• Capacidad de producción de relaves• Características de los relaves
Pasivos ambientales (relaves) existentes en las riberas de los ríos.	<ul style="list-style-type: none">• Ubicación y volumen de pasivos ambientales.
Caracterización ambiental de la cuenca del río Calera y río Amarillo.	<ul style="list-style-type: none">• Factores ambientales:• Agua• Aire• Suelo• Biodiversidad• Paisaje
Impacto de la actividad minera	<ul style="list-style-type: none">• Análisis presión – estado – respuesta. (PER).

Fuente: Arturo Sánchez. 2014.

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA.

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.

La tesis se encuentra enmarcada en una investigación explicativa, descriptiva y proyectista; esto, se refiere al registro, la observación, el estudio y la descripción del objeto de estudio, en cómo afecta, con qué elementos se relaciona para a través del diagnóstico los resultados obtenidos generar una propuesta como solución viable para el problema objeto de estudio.

3.2 METODOLOGÍA.

La elaboración del presente estudio contempla el proceso metodológico como se describe a continuación:

Diagnóstico preliminar.- Se procedió al levantamiento de la información de diferentes fuentes: bibliografías, instituciones, internet, información de campo, revisión de estadísticas y entrevistas informales con expertos internacionales y nacionales en temas mineros, que se requieren para enfrentar el problema de la contaminación de la cuenca hidrográfica Puyango-Tumbes, y la clasificación de la información obtenida.

La información fue obtenida de datos, registros y notas recogidas en los sitios donde se genera el problema ambiental de la cuenca, con lo cual queda establecida la necesidad de los trabajos de campo.

Proceso de investigación.- Se procedió a realizar la formulación de la hipótesis, el diseño de la investigación, la toma de datos, la interpretación y el análisis de resultados, llegándose a determinar el diagnóstico que refleja el estado potencial del problema.

Resultados.- Se planteó la propuesta de solución al problema ambiental ocasionado por los relaves producidos por las plantas de beneficio del distrito minero Zaruma-Portovelo, y se delineó un modelo conceptual de gestión integral de los residuos mineros.

3.3 MÉTODOS.

3.3.1 Recopilación y análisis de datos.

Los métodos utilizados para la recopilación de datos, tuvieron doble propósito a mencionar; para la presente tesis, y, el Estudio de Impacto Ambiental del Mineraducto del distrito minero Zaruma - Portovelo

- **Plantas de beneficio.-** Se recopilaron datos del establecimiento de las plantas de beneficio mineral con sus procesos metalúrgicos y la capacidad de producción de los datos otorgados por los titulares de las plantas de beneficio.
- **Residuos mineros.-** Se realizaron análisis de granulometría y composición química de los relaves de cada una de las plantas, en el laboratorio Inspectorate, solicitados por el Grupo Iteico Euroamericano. Los resultados sirven para el diseño del mineraducto del Distrito Minero Zaruma – Portovelo y la tesis presente.

Los pasivos ambientales, se cuantificaron con el uso de cintas de mediciones y ubicaron con la ayuda del GPS Garmin Etrex.

3.3.2 Caracterización ambiental.

Medio físico:

Los datos de fisiografía, geología, geomorfología, hidrología, obras de infraestructura, calidad del recurso aire, paisaje; se tomaron de revisiones bibliográficas y de estudios, realizados en el sector de la cuenca hidrográfica del río Amarillo y río Calera.

Durante el muestreo del agua, “in situ”, se determinó el pH por medio de un papel indicador, determinación de temperatura, ubicación del sitio de muestreo con coordenadas UTM utilizando el GPS Garmin Etrex.

Las muestras del agua y los sedimentos fueron enviadas a los laboratorios del Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico para los análisis físico - químico, en donde se determinaron, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales y disueltos, sulfatos, complejos cianurados y algunos metales de importancia en la calidad del recurso.

Medio biótico

Flora: se realizaron 2 transectos en sitios estratégicos del distrito, con observación directa de la flora existente para su inventario, midiendo abundancia y diversidad. Se recopiló, además, la información sobre el tema, de fuentes bibliográficas.

Fauna: al igual que la flora, la fauna ha disminuido notablemente y el inventario, se realizó mediante entrevistas a los moradores de la zona, y revisión bibliográfica a nivel del piso zoogeográfico subtropical, complementando con el trabajo de campo para determinar la presencia de especies y el estado actual de conservación.

3.3.3 Preparación de información.

Se elaboraron mapas, con base a la recopilación de los datos de las plantas de beneficio, con registros fotográficos que ayudan a su comprensión. Se utilizó un computador para la digitalización de datos.

Con los datos obtenidos se procedió a la interpretación y el análisis de la información, llegando a determinar el diagnóstico que refleja el estado del problema de la contaminación de la cuenca del río Puyango – Tumbes.

Seguidamente con el análisis obtenido, se procedió a la aplicación del Modelo P.E.R. (presión – estado – respuesta), con el fin de identificar, las causas que originan los impactos ambientales producto de la actividad minera, sugerir medidas ambientales, enunciar los resultados esperados y los responsables de llevar a cabo la implementación de las acciones.

3.3.4 Resultados.

Para cumplir con los objetivos propuestos en la tesis presente, la investigación, se centra en generar una propuesta de solución al problema de contaminación y mal manejo de los relaves en la cuenca de los ríos Calera y Amarillo.

3.4 INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.

- **Entrevista:** se elaboró un cuestionario de entrevista dirigido a los titulares de las plantas de beneficio para indagar sobre los datos de las plantas, los procesos, los reactivos utilizados y los residuos generados en el proceso metalúrgico. Entrevistas informales y comunicación personal con expertos forma parte de esta metodología.
- **Ficha de Registro:** utilizada para la verificación de los procesos, los reactivos y los residuos utilizados o generados en las diferentes plantas de beneficio.
- **Muestreos:** se identificaron los sitios y colectaron muestras de agua y sedimentos en la cuenca y los relaves de cada una de las plantas para su análisis.
- **Observación:** para la verificación “in situ” de los datos de las revisiones bibliográficas y resultados de las entrevistas.

CAPÍTULO IV

4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

4.1 PLANTAS DE BENEFICIO MINERAL.

El Estudio consideró trabajar con las plantas de beneficio pertenecientes a los mineros pequeños del distrito asociados en su mayoría a APROPLASMIN, distribuidas a lo largo de las riberas de los ríos Calera y Amarillo (Anexo 1), sin considerar las plantas de beneficio de mineros medianos que relativamente no representan un agente negativo en la calidad ambiental de su área de implantación y áreas circundantes, por contar con la infraestructura y la tecnología adecuada para el tratamiento y disposición final de los desechos mineros generados por su actividad.

Mediante encuestas, con la ayuda de fichas (modelo en Anexo 2), se obtuvo la información de las plantas de beneficio, en cuanto a su ubicación, códigos de regularización minera, propietarios o representantes legales, y se determinó el número de plantas participantes en el presente estudio. El resumen se presenta en la Tabla N° 4.1

Tabla N° 4.1. Establecimiento de plantas de beneficio.

PLANTAS DE BENEFICIO, UBICACIÓN Y PROPIETARIOS				
Numeral	Código	Nombres	Sector	Propietario
1	390051	Israel	Curipamba	Vicente Ortega
2	390383	Juan Espinoza I	El Salado	Juan Espinoza
3	390361	San José	El Salado	Jorge Blacio
4	390118	Oromet	El Salado	Noel Hernán Cabrera
5	390405	Paraíso I	El Salado	José Gerardo Camacho
				Continúa....

PLANTAS DE BENEFICIO, UBICACIÓN Y PROPIETARIOS				
Numeral	Código	Nombres	Sector	Propietario
6	390192	Totys	El Salado	Tito Peñaherrera
7	390058	León	El Salado	Jorge Alfredo León
8	390403	Israel I	El Salado	Vicente Rodríguez
9	390354	Reina Del Cisne	El Salado	Juvito Belduma
10	390388	Virgen De La Nube	El Salado	George Humberto Vázquez
11	390368	Portovelo 1	El Salado	Andrés Porfirio
12	390379	Mafre	El Salado	Segundo Marín
13	390011	Gavior	El Salado	Galo Ortiz Peñafiel
14	390384	Espinoza	La Florida	Juan Espinoza Macas
15	390362	San Antonio De Padua	Portovelo	Miguel Ángel Espinoza
16	390382	Chilingos	La Florida	Juan Espinoza Macas
17	390376	Molinos De Portovelo	La Florida	Andrés Flores Rojas
18	390298	Minanca	Puente Negro	Co. Janio Piedrahita
19	390407	Prosares	Puente Negro	Marlon García
20	390366	Jesús Del Gran Poder	Puente Negro	Franklin Motoche
21	390059	Misoro	El Pache	Johana Chuico
22	390055	San Antonio	El Pache	Jorge Tutiven
23	390012	Hermanos Franco	El Pache	Rutilo Franco Torres
24	390396	Jesús Del Gran Poder	El Pache	José Guido Feijoo
25	390024	Matamoros	El Pache	Wilson Cristóbal Torres
26	390364	Tocadolomo	El Pache	Walter Loayza
27	390372	Feijo	El Pache	Guido Feijo
28	390395	Lui Kar	El Pache	Luis Atiencia
29	390347	Romero Guzmán	El Pache	Jose Miguel Romero
30	390005	Santa Marianita	El Pache	Carlos Buele
31	390027	Agapito	El Pache	José Gerardo Valarezo
32	390232	El Brillante	El Pache	José Orlando Romero
33	390014	Vivanco	El Pache	José María Vivanco
34	390050	Coronel Herrera	El Pache	Diario Francelin Coronel
35	390009	Gerais	El Pache	Olga Del Carmen Buele
Continúa.....				

PLANTAS DE BENEFICIO, UBICACIÓN Y PROPIETARIOS				
Numeral	Código	Nombres	Sector	Propietario
36	390025	Señor De La Divina Justicia	El Pache	José María López
37	390056	Fayuma	El Pache	Juan José Tinoco
38	390007	La Orquídea	El Pache	Nery Granda Jaramillo
39	390369	La Fortuna II	El Pache	Luis Felipe Quezada
40	390016	Orquídea De Los Andes	El Pache	Compañía Minedesaco
41	390183	Jesús Del Gran Poder II	El Pache	Plutarco Tinoco Izquierdo
42	390020	La Fortuna	El Pache	Luis Felipe Quezada
43	390108	Emicor	El Pache	Vicente Coronel Urgiles
44	390015	Reina Del Cisne II	El Pache	Pablo Oswaldo López
45	390391	Pillacela	El Pache	Clotario De Jesús Aguilar
46	390390	San Luis	El Pache	Segundo Manuel Zhingue
47	390003	El Carmelo	El Pache	Fausto Matamoros
48	390022	Torata	El Pache	Clotario Aguilar
49	390370	Miranda I	El Pache	Irlanda Sarmiento
50	390060	El Puma	El Pache	Enrique Portón Jaramillo
51	390008	Santa Mónica	El Pache	Miguel Ángel Abad
52	390058	Guillermo Romero	El Pache	Ángel Aguilar Atience
53	390102	Cazaderos	Vía Buza	Enrique Gilberto Cabrera
54	390356	Alto Vizcaya	Santa Marianita	Carrión Jordy Pesantes
55	390365	Reina Del Cisne III	Santa Marianita	Rolando De Jesús Blacio
56	390199	Buele	Vía Buza	Oswaldo Juvenal
57	390357	Célica	Botoneros	Eduardo Loayza Espinoza
58	390399	Muluncay	Botoneros	Hugo Bayacela
59	En Tramite	Virgen Del Fátima	Botoneros	Asoc. Jaime Oswaldo Armijos
60	390371	Jesús De Gran Poder	Botoneros	Erika Carrión
61	390349	Amerland	Botoneros	Patricio Maura
62	390358	Botoneros	Botoneros	Ángel Vicente Gaona
Continúa.....				

PLANTAS DE BENEFICIO, UBICACIÓN Y PROPIETARIOS				
Numeral	Código	Nombres	Sector	Propietario
63	390359	Sagrado Corazón De Jesús	Arcapamba	Milton Aguilar Loayza
64	390360	La Fortuna	Arcapamba	José Fernández Días
65	390298	Minalta	Buza	Eddy Feijoo
66	390006	Pitaya	Buza	Cosme De Jesús Apolo
67	390342	Planta Santa Fe (Buza).	Buza	Hugo Benavidez
68	390377	Muluncay	Muluncay	Miguel Espinoza
69	390197	Minas Nuevas	Minas Nuevas	Ernesto Castillo Aguilar
70	390018	Reina Del Cisne	Huertas	José Espinoza Maldonado
71	390301	Velásquez	Huertas	Norma Velázquez

Fuente: Encuesta 2013.

Elaboración: Arturo Sánchez.

La tabla N°4.1 indica que 71 plantas de beneficio son consideradas para el presente estudio, ubicadas de sur a norte, desde el sector El Salado en Portovelo hasta la parroquia Huertas en Zaruma.

4.1.1 Plantas por sectores.

Del cuadro anterior, se visualiza el número de plantas de beneficio mineral por sectores, considerándose principalmente el sector de El Pache, El Salado y Portovelo en el cantón Portovelo y cantón Zaruma que abarca sectores como Huertas, Arcapamba, Botoneros, Buza, Santa Marianita, donde se encuentra el menor número de plantas pero por su distribución geográfica dispersa ocupan mayor parte del territorio.

Tabla N° 4.2. Número de plantas de beneficio por sectores.

SECTOR	No. PLANTAS	PORCENTAJE
El Salado	12	17 %
Portovelo	8	11 %
El Pache	32	45 %
Zaruma	19	27 %
Total	71	100 %

Fuente: Encuesta 2013.

Elaboración: Arturo Sánchez.

La tabla N°4.2, indica que el número mayor de plantas de beneficio, se encuentra en el sector El Pache con el 45%; en todo el territorio de Zaruma, se concentra el 27%; en el sector El Salado hay el 17 % y, finalmente, en la parroquia Portovelo, el 11%.

Geográficamente, el 73 % de las plantas de beneficio, se encuentra concentrada dentro del cantón Portovelo, cercano a la hacienda El Tablón, lo que indica que cualquier propuesta de manejo de residuos mineros de las plantas debe considerarse, con mayor énfasis, hacia este sector.

4.1.2 Capacidad de procesamiento mineral o producción de las plantas de beneficio.

La producción de las plantas depende, en algunos casos, por la máxima capacidad de procesamiento del mineral proveniente de las minas para el beneficio y obtención de minerales con valor económico principalmente de oro, plata y cobre, y en otras situaciones por el procesamiento en el momento de la encuesta, tal como lo demuestra la tabla N° 4.3 del resumen de la producción.

Tabla N° 4.3. Resumen de producción de las plantas de beneficio.

Nº	CODIGO	PLANTA DE BENEFICIO	PRODUCCIÓN t/d
1	390051	Israel	40
2	390383	Espinoza 1	60
3	390361	San José	210
4	390118	Oromet	80
5	390192	Paraiso 1	200
6	390192	Totys	80
7	390058	León	200
8	390403	Israel 1	40
9	390354	Reina Del Cisne	150
10	390388	Virgen De La Nube	110
11	390368	Portovelo I	46
12	390379	Mafre	4
13	390011	Gavior	80
14	390384	Espinoza	40
15	390362	San Antonio De Padua	10
16	390382	Chilingos	40
17	390376	Portovelo	30
18	390298	Minanca	100
19	390407	Prosaresa S.A.	90
20	390366	Jesus Del Gran Poder	50
21	390059	Misoro	40
22	390055	San Antonio	41
23	390012	Hermanos Franco	14
24	390396	Jesús Del Gran Poder	60
25	390024	Matamoros	35
26	390364	Tocadolomo	5
27	390372	Feijoo	40
28	390395	Luikar	90
29	390347	Romero Guzmán	100
30	390005	Santa Marianita	40
31	390027	Los Agapitos	180
32	390232	El Brillante	40
33	390014	Vivanco	180
			Continúa.....

Nº	CODIGO	PLANTA DE BENEFICIO	PRODUCCIÓN t/d
34	390050	Coronel Herrera	6
35	390009	Gerai	12
36	390025	Señor De La Divina Justicia	20
37	390056	Fayuma	90
38	390007	La Orquidea	60
39	390020	La Fortuna 2	60
40	390016	Orquidea De Los Andes (Minesadco)	150
41	390183	Jesus Del Gran Poder	40
42	390369	La Fortuna	120
43	390108	Emicor	280
44	390015	Reina Del Cisne li	80
45	390391	Pillacela	81
46	390390	San Luis	5
47	390003	El Carmelo	50
48	390022	Torata	120
49	390370	Miranda 1	80
50	390060	El Puma	160
51	390399	Santa Mónica	200
52	390058	Guillermo Romero	7
53	390102	Cazaderos	60
54	390356	Alto Vizcaya	120
55	390365	Reina Del Cisne lii	15
56	390199	Buele	35
57	390357	Célica	8
58	390399	Muluncay	120
59	En tramite	Virgen De Fatima	112
60	390371	Jesus Del Gran Poder	5
61	390349	Amerland	3,33
62	390358	Botoneros	30
63	390359	Sagrado De Corazón De Jesus	5
64	390360	La Fortuna	0,2
65	390298	Minalta	135
66	390006	Pitaya	8
67	390342	Buza	150
			Continúa.....

Nº	CODIGO	PLANTA DE BENEFICIO	PRODUCCIÓN t/d
68	390377	Muluncay	6
69	390197	Minas Nuevas 1	100
70	390018	Reina Del Cisne	12
71	390301	Velázquez	8
Total			5078,53

Fuente: Encuesta 2013.

Elaboración: Arturo Sánchez.

El resumen de producción indica que las 71 plantas de beneficio procesan 5 078,53 toneladas diarias de material de minas. Partiendo de esta información, se determinó el número de plantas por rangos de producción y la producción diaria por sectores, según indica la tabla N°4.4.

Tabla N°4.4. Rangos de producción.

RANGO	No. PLANTAS	PORCENTAJE, %
≤ 50	36	51
51 - 100	17	24
101 - 150	10	14

Fuente: Encuesta 2013.

Elaboración: Arturo Sánchez.

El 51 % de las plantas de beneficio corresponden a mineros pequeños, cuya producción es menor o igual a 50 t/d; el 24% de las plantas producen entre 51 y 100 t/d; es decir el 75% de las plantas en estudio estaría cumpliendo la normativa minera que indica que no deben pasar de 100 t/d de producción para mineros pequeños. El 25% de las plantas restantes está estimada su producción a más de 100 t/d, lo que indica que éstas deben ajustarse en su producción a la capacidad estipulada por la Ley.

4.1.3 Producción diaria por sectores.

Por ubicación geográfica, se determinaron cuatro sectores para el análisis de producción de las plantas de beneficio. En el cantón Portovelo los sectores El Pache, El Salado y Portovelo mismo; en el cantón Zaruma están agrupadas las plantas de beneficio ubicadas en la ribera del río Calera. La producción diaria de mineral por sectores, se presenta en la tabla N°4.5.

Tabla N°4.5. Producción diaria de mineral por sectores.

SECTOR	PRODUCCIÓN t/d	PORCENTAJE, %
El Salado	1260	25
Portovelo	400	8
El Pache	2486	49
Zaruma	932,53	18
Total	5078,53	100

Fuente: Encuesta 2013.

Elaboración: Arturo Sánchez.

El 49 % del total de la producción diaria de minerales está concentrada en el sector minero El Pache, convirtiéndose en el lugar de mayor atención por la actividad minera presente; seguidamente, las plantas del sector El Salado cercano a la hacienda el Tablón producen el 25 % de minerales. Las plantas ubicadas en el sector correspondiente al cantón Zaruma producen el 18 %; finalmente, en la parroquia Portovelo, se encuentra concentrado el 8 % de la producción minera de las plantas de beneficio.

La mayor concentración del número de plantas de beneficio y la capacidad de producción, se encuentra geográficamente en un área que no supera los 6 km de diámetro, lo que facilitaría para la determinación de propuestas de manejo ambiental minero.

4.1.4 Procesos de beneficio mineral

La información obtenida en las plantas de beneficio mineral, permitió el diseño de un diagrama de flujo de los procesos identificados (anexo 3), basándose en las particularidades de cada planta, reconociéndose dos sistemas de procesamiento del mineral, el sistema Batch y Continuo.

El procesamiento Batch o en lote se aplica a la molienda en trapiches, con molinos de ruedas o chilenos, cuyos concentrados se someten a recuperación con mercurio; y las arenas restantes, son cianuradas en agitadores o piscinas percoladoras. El sistema se caracteriza por ser independiente en sus procesos, permitiendo que se generen salidas de efluentes por separado de la molienda y la cianuración. Este sistema permite bajos rendimientos en la recuperación mineral.

El sistema Continuo, se caracteriza, por sus procesos dependientes, es común el uso de molinos de bolas e hidrociclones de rendimiento mejor para la liberación de partículas de oro, y permite que los efluentes de la molienda sean directamente cargados al proceso de cianuración en agitadores. Este sistema se ajusta al proceso de flotación colectiva y selectiva de sulfuros de minerales.

Cada una de las plantas ha sido identificada según los procesos metalúrgicos que utilizan para el beneficio de los minerales tal como lo indica la tabla N°4.6.

Tabla N° 4.6. Procesos metalúrgicos utilizados en las plantas de beneficio.

Nº	PLANTA DE BENEFICIO	PROCESOS METALÚRGICOS
1	Israel	Cianuración
2	Espinoza 1	Cianuración
3	San José	Molienda y Cianuración
4	Oromet	Molienda y Cianuración
5	Paraiso 1	Molienda y Cianuración
6	Totys	Molienda y Cianuración
7	León	Molienda y Cianuración
8	Israel 1	Cianuración
9	Reina Del Cisne	Cianuración
10	Virgen De La Nube	Molienda y Cianuración
11	Portovelo I	Molienda y Cianuración
12	Mafre	Cianuración
13	Gavior	Molienda y Cianuración
14	Espinoza	Molienda
15	San Antonio De Padua	Molienda
16	Chilingos	Molienda
17	Portovelo	Molienda
18	Minanca	Flotación
19	Prosaresa S.A.	Flotación
20	Jesus Del Gran Poder I	Molienda y Cianuración
21	Misoro	Cianuración
22	San Antonio	Molienda y Cianuración
23	Hermanos Franco	Cianuración
24	Jesus Del Gran Poder II	Molienda y Cianuración
25	Matamoros	Cianuración
26	Tocadolomo	Cianuración
27	Feijoo	Molienda y Cianuración
28	Luikar	Cianuración
29	Romero Guzmán	Cianuración
30	Santa Marianita	Cianuración
Continúa.....		

Nº	PLANTA DE BENEFICIO	PROCESOS METALÚRGICOS
31	Los Agapitos	Cianuración y Flotación
32	El Brillante	Cianuración
33	Vivanco	Cianuración y Flotación
34	Coronel Herrera	Cianuración
35	Gerais	Cianuración
36	Señor De La Divina Justicia	Molienda
37	Fayuma	Cianuración y Flotación
38	La Orquidea	Cianuración
39	La Fortuna 2	Molienda
40	Orquidea De Los Andes (Minesadco)	Cianuración
41	Jesus Del Gran Poder Iii	Molienda y Cianuración
42	La Fortuna	Molienda y Cianuración
43	Emicor	Cianuración y Flotación
44	Reina Del Cisne li	Flotación
45	Pillacela	Molienda y Cianuración
46	San Luis	Cianuración
47	El Carmelo	Molienda y Cianuración
48	Torata	Molienda y Cianuración
49	Miranda 1	Molienda y Cianuración
50	El Puma	Molienda y Cianuración
51	Santa Mónica	Cianuración
52	Guillermo Romero	Cianuración
53	Cazaderos	Flotación
54	Alto Vizcaya	Cianuración y Flotación
55	Reina Del Cisne lii	Molienda
56	Buele	Cianuración y Flotación
57	Célica	Molienda
58	Muluncay	Flotación
59	Virgen De Fatima	Cianuración y Flotación
60	Jesus Del Gran Poder Iv	Molienda
61	Amerland	Flotación
62	Botoneros	Cianuración
Continúa.....		

Nº	PLANTA DE BENEFICIO	PROCESOS METALÚRGICOS
63	Sagrado De Corazón De Jesus	Molienda
64	La Fortuna 3	Molienda
65	Minalta	Flotación
66	Pitaya	Molienda
67	Buza (Santa Fé)	Flotación
68	Muluncay II	Flotación
69	Minas Nuevas 1	Flotación
70	Reina Del Cisne I	Cianuración y Flotación
71	Velázquez	Molienda

Fuente: Encuesta 2013.

Elaboración: Arturo Sánchez.

Cabe señalar que el procedimiento del beneficio de los minerales en el distrito Zaruma - Portovelo es un sistema complejo por la variabilidad en los tipos de procesos, la capacidad de producción y el mineral a obtener.

4.1.5 Número de plantas según procesos metalúrgicos.

Se determina el número de plantas de beneficio según los procesos identificados en el beneficio de minerales, como lo indica la tabla N°4.7, para entender de forma global cuáles son los más utilizados.

Tabla N°4.7. Plantas de beneficio según procesos metalúrgicos.

PROCESOS METALÚRGICOS	No. PLANTAS DE BENEFICIO	PORCENTAJE, %
Molienda	13	18
Cianuración	21	30
Flotación	10	14
Molienda y cianuración	19	27
Cianuración y flotación	8	11
Total	71	100

Fuente: Encuesta 2013.

Elaboración: Arturo Sánchez.

El proceso de beneficio de minerales mayoritariamente presente en el distrito minero Zaruma – Portovelo corresponde al de cianuración con el 30% de las plantas que lo utilizan; se debe sumar, también, las plantas con molienda y cianuración (27 %) y las que implementan cianuración y flotación (11 %); es decir, que un total del 68 % de las plantas utilizan, en sus procesos, la cianuración para la obtención de los minerales.

El 14 % de las plantas de beneficio tiene procesos de flotación con tecnologías limpias. Existen plantas que sólo tienen procesos de molienda (18 %). Siendo importante señalar que las plantas que solo tienen molienda, los concentrados los comercializan de tal manera o son transportados mediante vehículos a otras plantas que tienen procesos de cianuración y/o flotación para concentrar los minerales antes de su comercialización.

La cianuración es el proceso más utilizado en el beneficio de minerales es importante tomar en cuenta para el manejo de los relaves que se producen residuos cianurados tanto sólidos como líquidos.

4.1.6 Insumos

El levantamiento de información de las plantas generó un listado de los insumos químicos con las cantidades requeridas, para el proceso metalúrgico utilizado en las plantas de beneficio.

Cal (óxido de calcio, CaO): se utiliza durante el proceso de cianuración, con la finalidad de establecer una alcalinidad de la solución de pH =11, para evitar pérdidas de cianuro. El consumo de cal está en un rango de 0.85 – 1.0 kg/t de mineral.

Cianuro de sodio (NaCN): en forma de pelets, es adicionado directamente en los tanques dosificadores, en cantidades de 1.5 – 2.0 kg/t de mineral. En las plantas, los recipientes de cianuro permanecen herméticamente cerrados y almacenados en lugares secos fuera del alcance del personal no autorizado, por su peligrosidad.

Carbón activado: producido a partir del cuesco de palmiste, se usa en la recuperación de oro durante la adsorción en columna. A la vez que absorbe iones de oro, paralelamente, permite degradar los compuestos de cianuro y sales disueltas, lo que hace que la solución de cianuro pueda ser utilizada en nuevos ciclos de cianuración. Se requiere 1 kg de carbón para recuperar 5 g de oro; por lo general, se cosecha 4 g Au por kg de carbón.

Hidróxido de sodio (soda cáustica, NaOH): son cristales o escama higroscópicas de color blanco, fuertemente corrosivo e irritante para los ojos y la piel. En la preparación es disolución acuosa, base fuerte que reacciona violentamente con ácidos. Se disuelve en agua generando grandes cantidades de vapores corrosivos y calor.

En las plantas de beneficio, se utiliza en escamas al 98 % de concentración para diluirlo con agua a una solución al 2 % para proporcionar el electrolito Na^+ requerido para la elusión del oro y la plata del carbón activado; se utiliza, también, para mantener una alcalinidad pH 12 – 14 en la solución de elución para mejorar la desorción del oro del carbón cosechado, durante cada elusión, el consumo aproximado es de 300 – 500 kg.

Etanol (alcohol etílico): se utiliza para mejorar el proceso de desorción en una cantidad de 5 000 litros por proceso de elusión.

Ácido clorhídrico (HCl): líquido incoloro muy tóxico por ingestión e inhalación, fuertemente irritante para los ojos y la piel. Es un producto

fuertemente corrosivo. Su almacenaje debe ser en cilindros de PVC duro o polietileno de densidad alta.

Este reactivo se utiliza para lavar el carbón, luego de ser cosechado de los tanques CIP para facilitar el proceso de desorción del carbón en las columnas de elusión. El lavado de carbón, se realiza con una concentración del 5 %. La cantidad de carbón, a lavar por caneca de 250 kg de ácido clorhídrico es de 4 a 4.5 toneladas. Una vez lavado el carbón, la solución es desechada cuando, se encuentra a pH 7.

También, se utiliza el ácido clorhídrico para refinar el oro y la plata dependiendo de la contaminación con otros metales.

Ácido sulfúrico (H_2SO_4): líquido incoloro muy tóxico por ingestión e inhalación, fuertemente irritante para los ojos y la piel; altamente corrosivo. Su almacenaje debe ser en cilindros de PVC duro o polietileno de densidad alta.

Este ácido, se utiliza para lavar el oro y la plata, y eliminar impurezas por la presencia de otros metales; se utiliza en las plantas que tienen procesos de refinación.

Ácido nítrico (HNO_3): es un líquido incoloro o color amarillo cuando se adiciona agua y olor penetrante. Se utiliza para la refinación de la barra metálica obtenida en la fundición del cemento calcinado de zinc-oro. Su consumo estimado es de 20,0 – 30,0 kg/mes a razón de 0,1 – 0,15 kg / t mineral cianurado.

Peróxido de hidrógeno (H_2O_2): es utilizado para el tratamiento de los efluentes líquidos de cianuración y desechos de refinación ácida, con la finalidad de neutralizar o degradar cianuro libre y complejos cianurados, y

sales disueltas de metales pesados. Se aplica en cantidades de 3,0 – 3,5 galones por metro cúbico de efluente a tratar. La adición de peróxido de hidrógeno hace que precipiten todas las impurezas disueltas.

Acetato de plomo: es una sal de plomo de solubilidad baja en el agua, que se utiliza en el proceso de cementación para evitar la oxidación superficial del zinc, y mejorar la precipitación del oro. Su consumo, se estima en 50 g / m³ de solución rica.

Zinc metálico: en forma de polvo, que se utiliza como precipitante del oro en el proceso de cementación. Su consumo aproximado, se estima a razón de 2.0 kg zinc / kg. Au.

Agua: es el elemento principal en los procesos metalúrgicos de beneficio mineral; el consumo, depende de la capacidad de producción y los procesos de recuperación mineral. Se utiliza el agua de las vertientes naturales que, al ser mezclada con reactivos químicos y acondicionantes, generan aguas residuales con sólidos en suspensión y soluciones cianuradas temporalmente almacenados en piscinas, para finalmente, ser descargadas a los ríos y las quebradas.

En la actualidad, los titulares de las plantas están regularizándose ante la SENAGUA para obtener las autorizaciones de uso de agua correspondientes; que son concedidas, según, la solicitud de requerimiento y la disponibilidad de las vertientes.

Uso de energía.

Diésel: derivado de petróleo que se utiliza para generadores, calentadores de solución y hornos de fundición. El consumo depende de la capacidad de producción de cada planta y los equipos que posean.

Electricidad: las plantas utilizan energía eléctrica para el funcionamiento de los equipos dispuestos en las áreas de trituración, molienda y cianuración. El consumo es variable y discontinuo para cada planta porque no tienen un régimen de producción estable.

4.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS MINEROS.

La caracterización de los residuos mineros, se realiza en base a información secundaria obtenida de plantas de beneficio y entrevistas con los propietarios de las plantas de beneficio de análisis y resultados de la localidad.

4.2.1 Análisis granulométrico de los relaves.

En el distrito minero Zaruma – Portovelo, las plantas de beneficio producen una disolución de pulpa que contiene el 23 % de sólidos en peso, con una fracción fina (limos debajo de la malla # 200) que alcanza el 86 % y un 14% corresponde a relave grueso (arenas finas con limos retenidas en la malla # 200).

Según Cháves (2013). La granulometría de los relaves por procesos de recuperación, indica, que la densidad aparente de los sólidos alcanza un valor promedio de $1,73 \text{ g/cm}^3$, es decir, la producción diaria en las plantas

de beneficio (5 079 t/d) corresponde a 2934 m³ de pulpa de relaves; el valor, a considerar, para el manejo integral de los mismos.

Se asume que los relaves producidos en las plantas de beneficio del distrito minero Zaruma – Portovelo poseen un coeficiente de uniformidad que va desde ser un relave uniforme 10 % hasta muy uniforme (90 %), característica que facilita el diseño del transporte, el manejo y la disposición final de los residuos mineros, que conlleva a la minimización de los impactos ambientales ocasionados por la actividad minera. La uniformidad del relave tiene su base en que la aplicación del proceso de trituración y molienda es similar en las plantas de beneficio.

4.2.2 Composición química de los relaves.

Se conoce, que los resultados de la composición química de los relaves fueron analizados por, ICP (Multielementos / Plasma Inductivamente Acoplado), para la caracterización química y mineralógica de los relaves. Habiéndose obtenidos esta información de Aproplasmin.

El resumen de los resultados presentados en la tabla 4.8 indica la presencia de minerales con valor económico, como, la plata, el cobre, el cromo, el aluminio, el hierro, y el níquel, en la mayoría de las plantas de beneficio que deben ser recuperados en la planta de tratamiento de sólidos antes de su disposición final, con el fin de obtener réditos económicos que sirven para hacer sustentable la operación del manejo integral de los relaves.

Tabla N° 4.8. Composición química de los relaves.

Elemento	Ag	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg
concentración	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm
Promedio	28,1	0,9	962,4	31,1	40,2	48,6	2401,5	6,5	1,0
Elemento	Mg	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
concentración	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	Ppm
Promedio	0,5	1384	90,6	9,4	1971,9	15,0	23,2	38,7	2754,5

Fuente: Aproplasmin 2013.

Elaboración: Arturo Sánchez

4.3 PASIVOS AMBIENTALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

Los residuos mineros dispuestos en las riberas de los ríos Calera y Amarillo, en terrenos aledaños a las plantas de beneficio, convertidos en pasivos ambientales, principalmente en los sectores de Buza en el cantón Zaruma y El Pache y El Salado en el cantón Portovelo, fueron cuantificados, los más representativos; los resultados se presentan en la tabla N°4.9.

Tabla N° 4.9. Pasivos ambientales representativos.

LUGAR	COORDENADAS		SUPERFICIE	ALTURA	VOLUMEN
	X	Y			TOTAL
			m ²	m	m ³
Huertas-Zaruma	652686	9603463	260	7	1820
			148	5	740
Buza-Zaruma	650125	9597505	4200	10	42000
Buza-Zaruma	650221	9596926	22000	3	66000
Buza-Zaruma	650624	9593810	5600	8	44800
El Pache- Portovelo			6400	5	32000
	652030	9590841	3850	9	34650
			3120	7	21840
El Pache- Portovelo			3040	10	30400
	651865	9590370	3600	10	36000
			2170	6	13020
		2640	10	26400	
El Pache- Portovelo	651516	9587500	2600	8	20800
El Pache- Portovelo	651169	9586837	10378	6	62268
El Salado- Portovelo	651158	9586719	3685	12	44220
El Salado- Portovelo	651138	9586432	2700	15	40500
El Salado- Portovelo	651148	9586276	1500	10	15000
El Salado- Portovelo	650986	9585890	2405	12	28860
			TOTAL		561 318

Fuente: Mediciones de campo. 2013.

Elaboración: Arturo Sánchez

Se registran 561 318 metros cúbicos de pasivos ambientales, en todo el distrito minero de los cuales se desconoce la procedencia y los dueños. Estos resultados corresponden a los pasivos más representativos, existiendo otros menos importantes que no fueron registrados por su

monitoreo difícil; en total, deben existir alrededor 1 000 000 de metros cúbicos de relaves dispersos en cantidades pequeñas.

Es preciso señalar que todos los depósitos clandestinos, en la mayoría de casos, no tienen alguna norma de seguridad geotécnica y control ambiental, constituyéndose en un foco de constante contaminación.

Para el manejo integral de los relaves es preciso considerar, también, estos pasivos ambientales con el fin de descontaminar los lugares afectados.

4.4 CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DEL DISTRITO MINERO ZARUMA – PORTOVELO.

Cumpliendo con los objetivos propuestos en la investigación, se determinaron las características ambientales del área de estudio, en lo que respecta a los recursos agua, suelo, aire, biodiversidad y paisaje.

4.4.1 Recurso agua.

Red hidrográfica.

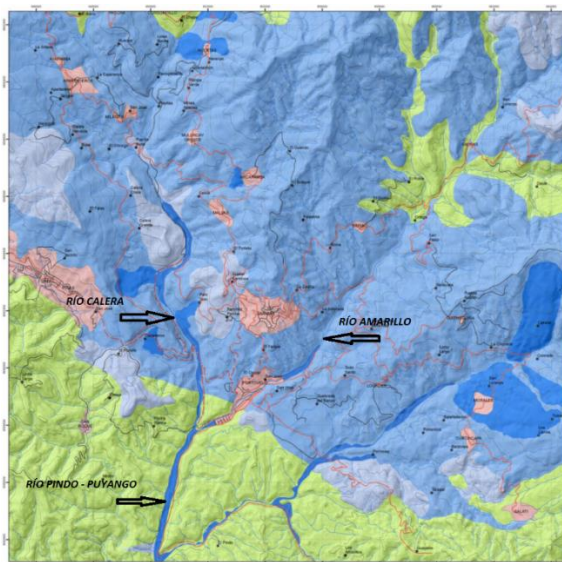
La subcuenca del río Calera y la subcuenca del río Amarillo son las más importantes del sector de estudio y forman parte de la cuenca hidrográfica Puyango – Tumbes que desemboca en el océano Pacífico.

El río Calera se forma de la confluencia de los ríos Salado y Palta, fluye en sentido norte – sur. Es de origen montañoso y se caracteriza por ser de flujo turbulento, con una longitud de cauce de 29 km. La cuenca del río tiene un área de drenaje de 266 km², el caudal promedio máximo del río Calera es de 21 m³/s en el mes de marzo, y el caudal promedio mínimo es de 2 m³/s que se presenta en el mes de noviembre.

El río Amarillo abarca un área de drenaje de 252 km² con un caudal promedio de 14.3 m³/s, recorre en sentido noreste – suroeste. La cuenca es bastante accidentada con pendientes fuertes motivo por el cual tiene un flujo turbulento y torrencioso; pasa por la población de Portovelo para unirse al río Pindo y formar el río Puyango.

Las condiciones a las cuales, se ha sometido el sistema fluvial de los ríos Calera y Amarillo, debido a las actividades mineras e infraestructura diversa han ocasionado un deterioro grave en el ecosistema.

Figura No 4.1. Imagen hidrológica del área de estudio.



Fuente: Proyecto de investigación hidrogeológica e hidrogeoquímica en zonas mineras del Ecuador (2013).

Calidad del agua.

Las características físico – químicas de los cuerpos de agua superficiales permite comparar los efectos de las actividades mineras sobre la calidad de las aguas del entorno que representa la cuenca alta del Puyango – Tumbes, sobre todo si existen elementos disueltos en ella.

La tabla N° 4.10 muestra los resultados de los parámetros físicos en algunos de los lugares más representativos de la cuenca del río Calera y del río Amarillo.

Tabla N° 4.10. Resultado de parámetros físicos de aguas superficiales.

Muestra	X	Y	UBICACIÓN	Temperatura	pH	Conductividad Eléctrica.	Sólidos Totales	Caudal
				°C		uS/cm		
1	651550	9587846	Río La Calera antes de la confluencia con el río Amarillo.	21,7	9,11	222	110	2,32
2	649501	9597391	Quebrada Busa, sector El Shiringo	22,5	7,14	-	-	0,04
3	649624	9597305	Río La Calera después de la junta de la quebrada Busa	22,1	8,1	-	-	2,05
4	650441	9595037	Quebrada Arcapamba afluente del río La Calera	21,6	7,03	-	-	0,10
5	650459	9595696	Río La Calera después de la confluencia con la quebrada Arcapamba	21,9	7,11	-	-	1,90
6	652519	9603247	Río Amarillo	21,3	8,56	-	-	1,97
7	650403	9595019	Río La Calera, agua arriba de la zona de plantas de beneficio.	22,1	8,62	-	-	-
8	656404	9608499	Río Amarillo	21,7	8,1	-	-	0,32
9	650369	9595832	Piscina de almacenamiento para desfogue a drenaje de la planta de beneficio de AMLATMINAS	20,8	7,76	56	28	-
10	651687	9589791	Piscina de almacenamiento para desfogue a drenaje de la planta de beneficio de MINESADCO	22,8	7,67	141	71	-
Valor de Norma					6 -9	3000	1600	

Fuente: Proyecto de investigación hidrogeológica e hidrogeoquímica en zonas mineras del Ecuador (2013).

Las muestras analizadas indican que el pH varía entre 7,03 y 9.11; comparando estos valores con los establecidos en las normas de calidad ambiental para las descargas en los cuerpos de agua, estipulados en la legislación nacional, se observa que, la mayoría de las muestras, se encuentra en el rango normado, una sobrepasa el límite superior, debido al uso de cal para el proceso de cianuración.

En la legislación ambiental nacional, la conductividad eléctrica, se encuentra regulado únicamente para aguas de riego, menor a 3000 uS/cm; con este antecedente, se observa que los valores, se encuentran bajo el límite permisible; indicativo de valores bajos de concentración de sulfato en el agua, producto de la oxidación de los minerales sulfurosos que provienen de las plantas de beneficio.

Los sólidos totales disueltos, en el Ecuador, según el Texto Unificado de la Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA), el límite máximo permisible es de 3000 mg/l, regulado únicamente para aguas de riego; la OMS regula este parámetro para aguas de consumo humano en 1000 mg/l, los valores registrados en la tabla N° 4.12 indica que se encuentran bajo el límite máximo admisible.

La tabla N° 4.11 muestra los resultados de los análisis químicos realizados en las muestras de agua superficiales de los sectores más representativos e importantes de la cuenca de los ríos Calera y Amarillo comparados con la norma estipulada en el TULSMA.

Tabla N° 4.11 Parámetros químicos de las aguas superficiales en la cuenca de los ríos Calera y Amarillo

Muestra	X	Y	Localización	CN WAD	SO4-	As	Cd	Cu	Hg	Fe	Pb	Zn
				mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1	651550	9587846	Río La Calera antes de la junta con el río Amarillo	3,148	857,000	0,1	<0,002	1,846	0,001	0,215	0,07	0,132
2	649501	9597391	Quebrada Busa sector El Shiringo	<0,05 0	25,55	0,037	<0,002	0,002	0,001	<0,20	0,002	0,002
3	649624	9597305	Río La Calera después de la junta de la quebrada Busa	<0,05 0	1,569	<0,010	<0,002	0,002	0,001	<0,20	0,002	0,002
4	650441	9595037	Quebrada Arcapamba afluente del río La Calera	1,275	78,693	0,026	<0,002	0,65	0,001	<0,20	0,011	0,002
5	650459	9595696	Río La Calera después de la confluencia con la quebrada Arcapamba.	0,169	19,006	0,094	<0,002	0,064	0,001	<0,20	0,002	0,002
6	652519	9603247	Río Amarillo	<0,05 0	7,466	<0,010	<0,002	0,002	<0,001	<0,20	0,002	0,002
Continúa.....												
7	650403	9595019	Río Calera, aguas arriba de la zona de plantas de beneficio.	<0,05	16,814	<0,010	<0,002	0,002	<0,001	<0,20	0,002	0,003
8	656404	9608499	Río Amarillo	<0,05	5,044	<0,010	<0,002	0,002	<0,001	<0,20	0,002	0,002

Muestra	X	Y	Localización	CN WAD	SO4-	As	Cd	Cu	Hg	Fe	Pb	Zn
				mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
9	650369	9595832	drenaje de la planta de beneficio AMLATMINAS	<0,05	8,753	0,005	0,001	0,031	<0,0001	0,578	0,006	0,091
10	651687	9589791	drenaje de la planta de beneficio de MINESADCO	<0,05	40,781	0,006	0,001	0,003	<0,0001	<0,02	0,001	0,05
Valor de norma				0,1	1000	0,1	0,02	1,000	0,005	10,000	0.2	5,000

Fuente: Proyecto de investigación hidrogeológica e hidrogeoquímica en zonas mineras del Ecuador (2013).

Elaboración: Arturo Sánchez.

Los complejos de cianuros presentes en los muestreos cercanos a las plantas de beneficio, indican que en tres puntos sobrepasan los límites máximos permisibles estipulados en el TULSMA (0,1 mg/l), deduciendo que este parámetro es indicativo de que, en la zona, las plantas de beneficio para recuperación del oro usan procesos de cianuración que desfogan a los drenajes aledaños.

En el río Calera antes de la junta con el río Amarillo, se determinó que la presencia de Cu sobrepasa el límite permisible según el TULSMA, lo cual demuestra que los sulfuros de Cu y Fe que al ser expuestos al agua y aire, se oxidan produciendo la lixiviación de elementos metálicos y disolución de carbonatos de Cu, presentes en las rocas del sector; fenómeno que ocurre comúnmente en las colas de relaves almacenados al entrar en contacto con factores ambientales.

Los valores de concentración de Hg, se encuentran bajo 0,001 mg/l que al ser comparados con el límite establecido en el TULSMA; se observa que las muestras analizadas están bajo el límite; lo cual puede ser un indicador que las plantas de beneficio del sector han disminuido notablemente el uso de Hg en la recuperación de Au.

Los metales analizados, se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles estipulados por el TULSMA.

Sedimentos

En los sistemas acuáticos, los sedimentos de fondo son importantes captadores de elementos como el Cd, Co, Cu, Pb y Zn, presentes en el medio hídrico, pudiendo acumularse a través de procesos físico-químicos, o biológicos.

La captación de elementos, traza, depende de varios factores entre ellos, las propiedades de los elementos, traza, entre las que se pueden citar la solubilidad, reactividad frente a la formación de complejos y capacidad de absorción; y las características presentes de las superficies bióticas y abióticas.

La valoración del potencial de los sedimentos en el ambiente acuático, como sumideros de metales y elementos traza, es necesaria. En la tabla N° 4.12, se resume el análisis químico de las muestras de los sedimentos tomadas en el área de influencia del estudio.

Tabla N° 4.12. Análisis químico en muestras de sedimento.

Muestra	X	Y	LOCALIZACION	As	Cd	Cu	Pb	Zn
				mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
1	650700	9584992	Rio Amarillo, 300 metros abajo de la confluencia con la quebrada El Salado.	6125	184,80	4642,0	2370	4908
2	651949	9588188	Rio Amarillo, 500 metros arriba de la confluencia con el rio La Calera.	158	6,40	94,0	400	253
3	651837	9588230	Rio La Calera, 500 metros arriba de la confluencia con el rio Amarillo.	3245	99,30	1511,0	956	3047
Lfmite Permisible TULSMA (mg/ kg)				5,0	0,5	30	25	60

Fuente: Proyecto de investigación hidrogeológica e hidrogeoquímica en zonas mineras del Ecuador (2013).

Elaboración: Arturo Sánchez.

La concentración de metales en sedimentos fluviales, en su totalidad, sobrepasa la normativa nacional vigente en cuanto a límites máximos permisibles estipulados en el libro VI (Anexo 2), de la normativa de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados. Lo que indica que la presencia de metales y elementos

trazas sigue en aumento desde los reportados por PRODEMINCA en el año 1996, verificando la contaminación existente provocada por el beneficio de los minerales.

4.4.2 Suelo

Geología regional

Regionalmente, en el área afloran rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias de edad Paleozoica hasta cuaternaria. Estructuralmente, el rasgo más importante lo constituye la falla regional Piñas-Portovelo; ésta falla importante de cabalgamiento este-sureste, separa dos unidades geológicas importantes entre el grupo Saraguro y complejo metamórfico El Oro, constituyéndose el límite septentrional del sistema de vetas auríferas.

Geomorfología

Su extensión, se centra en la zona donde se ubican las plantas procesadoras de mineral; presenta un relieve tipo V en referencia agua arriba del río Calera desde el puente de Buza; agua abajo presenta un relieve tipo U, hasta la unión con el río Amarillo formando un valle pequeño que se extiende en dirección norte-sur.

La extensión desde la margen del río sobrepasan los 80 m, donde se localizan pequeñas terrazas por acumulación de material aluvial y que han sido aprovechadas para instalar las plantas de beneficio de minerales y algunas piscinas para acumulación de relaves; tiene una pendiente entre 1 y 5% en El Pache, mientras que a sus alrededores existen pendientes inclinadas entre el 20 al 50%, y pendientes fuertes mayores al 50% que es

más evidente hacia la margen derecha del río donde se notan fuertes escarpes, frente al puente El Pache, y cerca de la unión con el río Amarillo, en el, Puente Negro, donde el valle, se cierra, con colinas de montañas redondeadas (figura N° 4.2). Las alturas del valle del río Calera están entre 586 y 1549 msnm.

En el río Amarillo agua arriba, desde el sector Agua Caliente, el relieve es tipo V; agua abajo, se ubica, otro grupo de plantas procesadoras conocido como los sectores Curipamba, La Florida y El Salado. Aquí, el curso del río Amarillo, se vuelve a ensanchar formando un valle tipo U donde su mayor extensión, se encuentra hacia el sector El Salado, en este sector, las terrazas aluviales tienen una pendiente entre el 1 al 4 %, con una extensión cerca de los 100 m. Hacia los costados de la planicie hay pendientes moderadas con inclinaciones entre el 10 al 30 % con lomas redondeadas cuyos rasgos geomorfológicos hacen referencia al tipo de rocas presentes. La altitud en esta zona va desde los 556 a 586 metros sobre el nivel del mar (figura N°4.3).



Figura N°4.2. Imagen del relieve tipo U y tipo V del Río Calera



Figura N°4.3. Imagen del relieve tipo U y tipo V del Río Amarillo.

El área correspondiente al estudio está situada en la cordillera oriental de los Andes al sur del Ecuador. El relieve presenta una superficie ondulada con pendientes moderadas a fuertes, debido a la composición litológica del área. Presenta una topografía semi-accidentada en la cual discurren ríos que conforman la cuenca hidrográfica Puyango-Tumbes.

Uso de suelo.

El sector de estudio tiene una extensión aproximada de 4 400 ha, está cubierto en el 65% con pastizales utilizados como follaje para la actividad ganadera del sector. En los lugares de pendientes fuertes, se observan remanentes de vegetación secundaria fuertemente intervenida y en proceso de recuperación natural con especies arbustivas y herbáceas ocupando el 25 % del área de estudio.

Se observa que los pobladores de los sectores rurales pertenecientes al cantón Zaruma utilizan parte de sus terrenos para cultivos pequeños de maíz, plátanos, hortalizas y frutales.

La infraestructura para la actividad de beneficio de minerales hace uso del suelo a la ribera del río especialmente en el sector El Pache y El Salado. El

uso potencial del suelo en el área de estudio, se define como áreas destinadas a la ganadería extensiva y semi extensiva, y minería.

4.4.3 Calidad del aire.

Para conocer y caracterizar la calidad del aire, se tomó las mediciones “in situ”, empleando equipos portátiles de monitoreo, en el sitio cercano a la Hacienda El Tablón, durante la realización del proyecto de la Universidad Técnica Particular de Loja y el gobierno autónomo descentralizado de El Oro (Evaluación de impacto ambiental, plan de manejo de las plantas de beneficio en el sector minero, Portovelo-Zaruma y diseño definitivo del sistema de manejo de relaves de las plantas de beneficio). La tabla N° 4.13 describe los resultados de estos compuestos y elementos, comparados con la norma ambiental.

Tabla N° 4.13. Calidad del aire en el sitio El Salado

	CO	NOx	SO ₂	O ₃	PM10	PM2.5	Hg
Unidad	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³
Valor	180	2	53	20	36	17	5
Norma	10000	150	350	120	150	65	1

Fuente: UTPL. Evaluación de impacto ambiental, plan de manejo de las plantas de beneficio en el sector minero, Portovelo-Zaruma y diseño definitivo del sistema de manejo de relaves de las plantas de beneficio. (2009).

Elaboración: Arturo Sánchez.

Según los resultados presentados, los parámetros cumplen los límites establecidos en el TULSMA, a excepción del mercurio en el aire 5 ug/m³ que pasa los límites máximos permisibles de la norma, a pocos kilómetros de la población de Portovelo, lo que indica que el ambiente, se encuentra contaminado altamente por este elemento.

4.4.4 Ruido.

A fin de determinar el ruido existente a lo largo del trayecto donde se encuentran localizadas las plantas de beneficio, se tomaron 10 puntos de muestreo para determinar el ruido ambiente y comparar con los límites permisibles según uso de suelo contemplado en el TULSMA; el resumen, se presenta en la tabla N° 4.14.

Tabla N° 4.14. Muestreo de Ruido.

Muestra	Coordenadas de mediciones		Mediciones de ruido. dBA	Límites permisibles dBA	Observaciones
	X	Y			
1	651550	9587846	81	70	no cumple
2	649501	9597391	63	70	cumple
3	649624	9597305	65	70	cumple
4	650441	9595037	69	70	cumple
5	650459	9595696	64	70	cumple
6	652519	9603247	81	70	no cumple
7	650403	9595019	82	70	no cumple
8	656404	9608499	79	70	no cumple
9	650369	9595832	75	70	no cumple
10	651687	9589791	78	70	no cumple

Fuente: Mediciones en campo.

Elaboración: Arturo Sánchez.

Las mediciones de ruido que reportan valores sobre los límites permisibles y no cumplen con la norma ambiental vigente, se deben a actividades propias de las plantas de beneficio o por la circulación permanente de transporte, público o privado.

4.4.5 Paisaje.

El paisaje del sector ha sido modificado significativamente por efectos de las actividades de deforestación para la utilización de la madera en la minería; y la quema de vegetación para la ganadería, la presencia de residuos sólidos de las ciudades, y la actividad minera y de beneficio de minerales, causando detrimento visual.

Gran parte del distrito minero Zaruma – Portovelo, corresponde a zonas industriales con la implementación de infraestructuras propias de la extracción mineral, plantas de beneficio, sitios de almacenamiento y disposición de relaves; factores que predominan en el paisaje.

La vegetación predominante está compuesta por pastizales extensos para forraje del ganado, cultivos pequeños, especies vegetales como matapalo, pomarrosas, guayabas silvestres, guabas; y, algunas especies arbustivas propias del ecosistema.

En general, el paisaje, se presenta alterado con grandes contrastes biofísicos y socioeconómicos. La calidad y sensibilidad del paisaje, se consideran baja y media en función de los elementos constitutivos y el estado de conservación de los mismos.



Figura N°4.4. Imagen que muestra el paisaje del sitio El Salado.

4.4.6 Medio biótico.

Región bioclimática.

El área de estudio, según la clasificación de Cañadas (1983), se encuentra en la región sub húmedo sub tropical, que cubre parte de las estribaciones de la cordillera de Chilla, Piñas, Zaruma, Salatí, Balsas y Marcabelí en la provincia de el Oro; entre altitudes de 300 y 1900 msnm, con temperaturas medias anuales de 18 a 22°C, y precipitaciones medias anuales de 1000 y 1500 mm.

Zona de vida.

Según Sierra et-al (1999), el área de estudio forma parte de la formación vegetal bosque siempre verde piemontano, ubicada dentro del sector de las estribaciones de la cordillera Occidental, de la subregión meridional de las formaciones naturales de la costa del Ecuador. Se encuentra en la cuenca baja del río Amarillo, cuenca del río Pindo y cuenca alta del río Puyango en la provincia El Oro.

Piso Zoogeográfico.

Albuja et-al (1980), ubica el área de estudio en el piso zoogeográfico subtropical, el cual considera a las estribaciones o declives externos de las cordilleras oriental y occidental comprendidas entre los 800 y 1000 msnm.

Biodiversidad

La caracterización del medio biótico, se basó en la observación de campo y análisis de la información en gabinete. Los resultados, se presentan a continuación.

Flora

Se establecieron 2 transectos de 200 metros de longitud por 2 metros de ancho ubicados en las coordenadas descritas en la tabla N° 4.15.

Tabla N° 4.15. Transectos para el estudio de la composición florística.

Transecto	Coordenadas UTM		Altura (msnm)
	Inicio transecto	Fin transecto	
1	650516	650320	1130
	9599300	9599100	
2	651492	651403	653
	9586465	9586271	

Fuente y Elaboración: Arturo Sánchez.

Las condiciones de la cobertura vegetal del área de estudio favorecieron la ejecución de los transectos con la finalidad de conocer la flora existente, que se resume en la tabla N° 4.16.

Tabla N° 4.16. Lista de especies florísticas identificadas.

N°	FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	USO	HÁBITO
1	Annonaceae	<i>Annona muricata</i>	guanábana	alimenticio	árbol
2	Araceae	<i>Philodendron alliodorum</i>	--	--	hierba
3	Arecaceae	<i>Cocos nucifera</i>	Coco	alimenticio-fores	árbol
4	Asteraceae	<i>Vernonia cf.patens</i>	laritaco	forraje	hierba
5		<i>Baccharis</i>	chilca	leña	arbusto
6	Bombacaceae	<i>Ochroma pyramidale</i>	Boya	artesanal	árbol
7	Cecropiaceae	<i>Cecropia hispidissima</i>	guarumo	zoo uso	árbol
8		<i>Pourouma sp.</i>	guarumo	zoo uso	árbol
9	Denstaedtiaceae	<i>Denstaedria sp.</i>	yashipa	--	hierba
10	Fabaceae	<i>Erythrina smithiana</i>	--	cercas vivas	árbol
11	Heliconiaceae	<i>Heliconia latispatha</i>	platanillo	ornamental	Arbusto
12	Mimosaceae	<i>Acacia macracantha</i>	Acacia	forestación	árbol
13		<i>Inga bourgonii</i>	guabilla	zoo-uso	árbol
14		<i>inga sp.</i>	Guaba mono	zoo-uso	árbol
15	Moraceae	<i>Ficus dendrocida</i>	matapalo	maderable	árbol
16	Musaceae	<i>Musa ensete</i>	guineo	alimenticio	arbusto
17	Myrsinaceae	<i>Rapanea sodiroana</i>	maco maco	--	árbol
18	Piperaceae	<i>Piper marginatum</i>	cordoncillo	--	arbusto
19	Poaceae	<i>Axonopus afinis</i>	gramalote	forraje	hierba
20		<i>Arundo donax</i>	carrizo	artesanal	arbusto
21		<i>Poa sp.</i>	Hierba cuy	forraje	hierba

Continúa.....

N°	FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	USO	HÁBITO
22	Polypodiaceae	<i>Polypodium levigatum</i>	helecho	--	hierba
23	Rutaceae	<i>Citrus aurantifolia</i>	naranja	alimenticio	arbusto
24	Selaginellaceae	<i>Selaginella anceps</i>	Hierba cuy	--	hierba
25	Sterculiaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i>	guásimo	--	árbol
26	Verbenaceae	<i>Lantana camara</i>	--	--	arbusto
TOTAL ESPECIES		26			
TOTAL FAMILIAS		20			

Fuente: Observación de Campo. Bibliografía.

Elaboración: Arturo Sánchez.

Se caracterizaron 26 especies y 20 familias en los lugares estudiados; ninguna especie, se encuentra en la categoría endémica o en peligro de extinción; la cobertura vegetal tiene diversidad florística mediana, característica del ecosistema estudiado.

Fauna.

El estudio de la fauna, implicó la revisión bibliográfica existente a nivel del piso zoogeográfico subtropical, con base en los estudios realizados en el área de estudio, complementando con el trabajo de campo para determinar la presencia de especies y el estado actual de conservación del área de estudio.

En la tabla N° 4.17., se presentan los resultados de la lista de especies registradas en el área de estudio, en la que se consideran las familias, nombre científico, nombre común y estatus.

Tabla N° 4.17. Registro de especies de fauna.

N°	FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	TIPO DE REGISTRO	ESTATUS
	Mastofauna				
1	Cricetidae	<i>Oryzomys albigularis</i>	Ratón	encuesta	Común
2	Dasypodidae	<i>Dasypus novemcintus</i>	Armadillo	encuesta	Escaso
3	Didelphidae	<i>Marmosa robinsoni</i>	Raposa	encuesta	Raro
4	Leporidae	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>	Conejo	visual	Escaso
5	Phyllostomidae	<i>Desmodus rotundus</i>	vampiro común	visual	Común
6	Sciuridae	<i>Sciurus granetensis</i>	Ardilla	visual	Común

Avifauna

1	Accipitridae	<i>Buteo magnirostris</i>	Gavilán campestre	Encuesta	Común
2	Apodidae	<i>Streptoprocne zonaris</i>	Vencejo cueliblanco	Visual	Común
3	Cathartidae	<i>Coragyps atrus</i>	Ganillazo cabeza negra	visual	Común
4		<i>Cathartes aurea</i>	Gallinazo cebecirrojo	visual	Común
5	Columbidae	<i>Leptotila verreauxi</i>	Paloma	visual	Escaso
6		<i>Columbina cruziana</i>	Tortolita croante	visual	Común
7	Cuculidae	<i>Crotophaga sulcirostris</i>	Garrapatero	visual	Común
8	Emberizidae	<i>Tiaris obscura</i>	Semillero	visual	Común
9		<i>Sicalis luteola</i>	Pinzón	visual	Común
					Continúa...

N°	FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	TIPO DE REGISTRO	ESTATUS
10	Furnaridae	<i>Furnarius cinnamomeus</i>	Hornero	visual	Abundante
11	Hirundinidae	<i>Stelgidopteryx ruficollis</i>	Golondrina alirrasposa	visual	Común
12	Icteridae	<i>Psaracolius angustifrons</i>	Oropéndola dorsirrojiza	visual	Abundante
13	Thraupidae	<i>Ramphocelus icteronotus</i>	Tangara lomilimón	visual	Escaso
14		<i>Tyrannus melancholicus</i>	Tirano tropical	visual	Abundante
15		<i>Contopus sordidulus</i>	Pibi occidental	visual	Común
16		<i>Sayornis nigricans</i>	Febe guardarríos	visual	Escaso
17		<i>Thraupis episcopus</i>	Tangara azuleja	visual	Común
18		<i>Thraupis palmarum</i>	Tangara palmera	visual	Común
19	Turdidae	<i>Turdus maculirostris</i>	Mirlo	visual	Escaso

Herpetofauna

1	Bufonidae	<i>Bufo marinus</i>	Bufo	Visual	Abundante
2		<i>Rhinella marina</i>	Sapo común	visual	Común
3	Hylidae	<i>Trachycephalus jordani</i>	Rana Arborícola	encuesta	Poco común
4	Iguanidae	<i>Iguaba iguana</i>	Iguana	visual	Común
5		<i>Stenocercus humeralis</i>	Guagsa	visual	Común
					Continúa...

N°	FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	TIPO DE REGISTRO	ESTATUS
----	---------	-------------------	--------------	------------------	---------

Ictiofauna

1	Characidae	<i>Brycon atrocaudatus</i>	Sábalo	Captura c	Escaso
2		<i>Hyphessobrycon ecuadoriensis</i>	Sardinita	Captura c	Escaso
3	Loricaridae	<i>Chaetostoma microps</i>	Raspa balsa	Captura c	Común
4		<i>Chaetostoma sp</i>	Carachaza	Captura c	Común

Fuente: Observación de Campo. Bibliografía.

Elaboración: Arturo Sánchez.

La caracterización de la fauna presente en el área de estudio, reportó lo siguiente:

Mastofauna.

Se registró, en total, 6 especies correspondientes a 6 familias; ninguna especie resultó ser abundante; los más comunes de observar fueron ratones y murciélagos en la noche, y durante el día se registró la presencia de ardillas. Los ejemplares mayormente identificados, se encontraron en los remanentes de la vegetación secundaria del sector.

Avifauna.

Se reportó, en total, 19 especies en 11 familias, de los cuales, el pinzón sabanero, hornero y tirano tropical, resultaron los más comunes de observar, por lo que, se consideran abundantes en el sector. La gran mayoría de especies registradas presentan un grado de tolerancia al ser humano en su hábitat.

Herpetofauna.

La presencia de anfibios es escasa, ya que requieren de ambientes en buen estado, y principalmente, con fuentes de agua limpia. En el estudio, se registraron 3 familias con 5 especies; los más comunes de observar son los ejemplares de bufo y las iguanas.

Ictiofauna.

La quebrada muestreada presenta una calidad regular de agua, lo cual ha favorecido la permanencia de 4 especies de peces pertenecientes a 2 familias; sin embargo, si la calidad disminuye, éstos, se pierden, como sucede en la cuenca baja del río Calera y río Amarillo.

Por tratarse de un sector fuertemente intervenido, la fauna nativa ha recibido gran presión antrópica, por la destrucción de sus hábitats naturales e índices altos de contaminación de los recursos por la actividad minera anti técnica y sin medidas ambientales que se realizan en el sector. Todo esto ha llevado a que los ejemplares existentes, se aíslen o migren a lugares con vegetación secundaria que ofrezcan protección.



Figura N° 4.5. Fotografías de especies faunísticas del área de estudio.

Macro invertebrados acuáticos.

Para determinar la calidad de las aguas superficiales del área de estudio, se caracterizaron a los macro invertebrados en el río Calera y río Amarillo, que permiten estimar el efecto de las intervenciones humanas.

En la tabla N° 4.18., se registra el resumen de las especies de macro invertebrados encontrados, con su abundancia, para determinar la calidad del ambiente acuático.

Tabla N° 4.18. Lista de especies de macro invertebrados identificados.

No.	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	# ESPECIES (ABUNDANCIA)
1	Odonata	Coenagrionidae	<i>Argia</i>	1
2	Diptera	Blepharoceridae	<i>Limnocola</i>	1
3		Muscidae	<i>Limnophora</i>	1
4		Chironomidae	<i>Sub. Tanyponidae</i>	1
5			<i>Stenelmis</i>	1
6			<i>Heterelmis</i>	2
7			<i>Microcylloepus</i>	1
8		Coleoptera	Elmidae	<i>Cylloepus</i>
9	<i>Stenelmis</i>			4
10	<i>Heterelmis</i>			1
11	<i>Macrelmis</i>			2
12	<i>Morfo1</i>			2
13	<i>Morfo2</i>			1
14	Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Smicridea</i>	1
TOTAL ESPECIES				21

Fuente: Observación de Campo. Bibliografía.

Elaboración: Arturo Sánchez.

Se registraron, un total de 21 individuos agrupados en 4 órdenes, 6 familias y 14 géneros. Según la diversidad, se trata de un ambiente moderadamente alterado; mientras que según el índice EPT, se trata de un ambiente severamente alterado, por la no presencia de ejemplares de Ephemeroptera y Plecoptera.

4.5 DIAGNÓSTICO DEL DISTRITO MINERO ZARUMA - PORTOVELO

El distrito, se caracteriza por el desarrollo de la minería pequeña para la explotación y el beneficio de los minerales, donde la mayor concentración

de actividades, se encuentran localizadas en sector El Pache y El Salado, en el cantón Portovelo, con el 73% de las plantas de beneficio.

La cuenca hidrográfica Puyango – Tumbes desemboca en el océano Pacífico, y, tiene como aportantes las subcuencas de los ríos Calera y Amarillo, objetos del estudio presente.

Se encuentran, 71 plantas de beneficio de mineros pequeños, en las riberas de los ríos Calera y Amarillo, que procesan 5078,53 toneladas diarias de material de minas. De las cuales, 25% exceden el límite normado que alcanza a 100 t/d para pequeños mineros.

El procedimiento de beneficio de los minerales es un sistema complejo por la ubicación de las plantas, variabilidad en el uso de procesos, capacidad de producción y el mineral a obtener.

Los minerales se procesan pasando por una etapa de molienda, cianuración y/o flotación, los cuales utilizan agua en todos los casos; en otros, usan reactivos químicos y acondicionantes, generando soluciones contaminantes.

Las actividades de molienda, utilizan agua limpia y forman sólidos suspendidos que son evacuados directamente a los ríos y quebradas, con un caudal que varía de 2 a 4 L/s.



Figura N°4.6. Fotografía de Descarga Clandestina en El Pache.

Los procesos de cianuración en las plantas pueden alcanzar consumos de 6720 Kg de NaCN al día, generando efluentes a la descarga con un caudal de 5 l/s y una concentración de cianuro libre que varía de 225 a 7000 ppm, según el caso.

Las plantas de beneficio producen diariamente 2 934 m³ de pulpa de relaves que en su gran mayoría son evacuados directamente a los ríos o las quebradas.

Los relaves en su composición química indican la presencia de minerales con valor económico, como el oro, plata, cobre, platino, cromo, aluminio, hierro, níquel, entre otros, que deben ser recuperados antes de su disposición final.

En las riberas de los ríos Calera y Amarillo, se han dispuestos los relaves que alcanzan alrededor de 1 000 000 de metros cúbicos dispersos en cantidades pequeñas y grandes en terrenos aledaños a las plantas de beneficio, y de forma clandestina, los que se convierten en los primeros residuos a ser tratados.



Figura N° 4.7. Pasivos ambientales en la vía Buza.

Las aguas superficiales de los ríos Calera y amarillo, presentan complejos cianurados y de cobre que sobrepasan los límites máximos permisibles normados, por la presencia de colas de relaves que entran en contacto con el aire y agua.

La concentración de Hg se encuentra bajo el límite establecido; lo cual indica que las plantas de beneficio del sector han disminuido notablemente el uso de Hg en la recuperación de Au. Sin desechar que en algunas plantas aún es utilizado como lo demuestra el análisis químico de los relaves.

En la población de Portovelo, la presencia de mercurio en el aire 5 ug/m^3 pasa los límites máximos permisibles de la norma, lo que indica que el ambiente, se encuentra contaminado altamente por este elemento.

La geomorfología de las cuencas de los ríos Calera y Amarillo, no permite la construcción de relaveras suficientemente grandes para almacenar los residuos; cuyos volúmenes acumulados, representan dos décadas de procesamiento de minerales por parte de la pequeña minería.

El paisaje del sector ha sido significativamente modificado por efectos de las actividades antrópicas, relacionadas con la actividad minera; causando, detrimento visual, pérdida de la vegetación y pérdida o migración de la fauna.

Por las condiciones geográficas, geológicas, geomorfológicas y geotécnicas para el tratamiento y la disposición final de los relaves el mejor lugar es el sector Hacienda El Tablón, de propiedad del Ministerio del Ambiente, quien mediante Resolución No. 171 de marzo de 2011, declara de utilidad pública con fines de expropiación, de carácter urgente y ocupación inmediata, a su favor, el inmueble con una superficie de 814,49 hectáreas.

4.6 IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR LAS PLANTAS DE BENEFICIO.

Con el fin de tener un mejor análisis de los problemas ambientales existentes que influyen directamente en la contaminación de los ríos Calera y Amarillo en la cuenca alta del Puyango – Tumbes, y emitir soluciones ambientales, se ha optado por la aplicación metodológica del modelo P.E.R. (presión – estado - respuesta).

Con base a la problemática analizada en el presente estudio, se muestra la tabla N° 4.19., en la que, se analizan las causas que originan o generan los impactos ambientales, los indicadores de calidad ambiental como objetivos verificables y las medidas ambientales o acciones tomadas por los actores involucrados, corregir daños ambientales o conservar los recursos naturales y culturales.

Tabla N° 4.19. Impactos ambientales en el distrito Zaruma–Portovelo.

TEMAS	INDICADORES AMBIENTALES		
	PRESIÓN	ESTADO	RESPUESTA
Contaminación de los ríos Calera y Amarillo por residuos de la actividad minera especialmente de las plantas de beneficio.	Tala indiscriminada de los árboles para ser usadas en la explotación minera.	Desaparición del bosque seco tropical, disminución de la capacidad de fijación del suelo, inestabilidad de las capas superiores, desaparición de la biodiversidad propia de este hábitat.	1. Restauración forestal (250 ha.) con especies propias del ecosistema, especialmente de hojas perennes.
Contaminación de los ríos Calera y Amarillo por residuos de la actividad minera especialmente de las plantas de beneficio.	Uso irracional de los recursos naturales no renovables, crecimiento de la minería pequeña sin tecnología y dirección técnica como única actividad productiva.	Afectación al ambiente. Centralización de la economía de la población de Portovelo y Zaruma en una sola actividad productiva. (minería).	2. Regulación y control de la actividad minera mediante la aplicación de las normas pertinentes. 3. Organización de los mineros pequeños para la utilización de tecnologías limpias. 4. Diversificación de las actividades productivas de la población.
	Planificación deficiente del uso de suelo para la	Crecimiento desordenado de las	5. Reubicación de las plantas de beneficio en un solo sitio

TEMAS	INDICADORES AMBIENTALES		
	PRESIÓN	ESTADO	RESPUESTA
	ubicación de las plantas de beneficio	plantas de beneficio en áreas sensibles.	técnicamente adecuado (parque industrial).
	Descargas de relaves en sitios inadecuados y anti técnicos; y los cuerpos de agua. Presencia de pasivos ambientales (relaves).	Contaminación al agua y suelo por productos químicos, metales pesados y sólidos en suspensión. Afectación al paisaje por la presencia de pequeñas relaveras.	6. Construcción y operación de un sistema de transporte, tratamiento y disposición final de los relaves.
	Descargas de los efluentes contaminados producidos en las plantas de beneficio directamente a los cuerpos de agua.	Contaminación al agua y suelo por metales pesados y sólidos en suspensión.	7. Implementación de proyectos de remediación ambiental aplicados especialmente a la descontaminación de los ríos Calera y Amarillo. 8. Aplicación de un sistema de monitoreo de la calidad ambiental de la cuenca del río Calera y Amarillo.
	Materia prima para la extracción de metales de interés provenientes de sectores fuera del	Generación de mayor cantidad de desechos mineros que	9. Regulación del ingreso de material extraído de minas fuera del distrito minero Zaruma -

TEMAS	INDICADORES AMBIENTALES		
	PRESIÓN	ESTADO	RESPUESTA
	distrito minero Zaruma – Portovelo.	finalmente terminan contaminando.	Portovelo mediante la aplicación de ordenanzas municipales u otros instrumentos legales.
	Uso excesivo de Mercurio y Cianuro en los procesos extractivos de metales de interés.	Contaminación al aire. Pérdida de la biodiversidad. Afectación a la salud humana.	10. Aplicación de tecnologías que eviten el uso de mercurio en las plantas de beneficio. 11. Reutilización de los efluentes con contenido de cianuro.
	Disposición de los desechos sólidos en los cauces de los ríos Amarillo y Caleras.	Contaminación al recurso agua.	12. Implementación de programas de manejo integral de desechos sólidos en los cantones Portovelo y Zaruma.
	Capacitación y educación ambiental deficiente de los pobladores de los cantones Zaruma y Portovelo.	Manejo inadecuado de los recursos naturales y los desechos. Desconocimiento de los problemas de exposición a elementos tóxicos	13. Implementación de programas de educación ambiental formal y no formal, cuyos procesos lleven a la formación de una cultura ambiental en el manejo de recursos naturales y los

TEMAS	INDICADORES AMBIENTALES		
	PRESIÓN	ESTADO	RESPUESTA
		que afectan a la salud de los habitantes	desechos generados por los mismos.
	Contaminación de la cuenca binacional Puyango – Tumbes.	Deterioro de la calidad ambiental de toda la cuenca. Conflictos socio ambientales con el gobierno de la república del Perú. Pérdidas económicas para las poblaciones usuarias de la cuenca Binacional.	14. A plazos corto y mediano aplicar los resultados del presente estudio.

Fuente y elaboración: Arturo Sánchez. 2014

Mediante la tabla N° 4.20., se presentan los resultados a obtenerse con la aplicación de este estudio, al tiempo que se determina quienes serán los responsables de llevar a la implementación de las acciones y recomendaciones a emprenderse para solucionar el problema de la contaminación de la cuenca en estudio.

Tabla N° 4.20. Relación Respuesta – Resultados Esperados

RESPUESTA	RESULTADOS ESPERADOS	RESPONSABLE
1. Restauración forestal con especies propias del ecosistema, especialmente de hojas perennes.	1.1. Recuperada la capacidad de fijación del suelo. 1.2. Disminuida la erosionabilidad del suelo. 1.3. Recuperada la biodiversidad del bosque seco tropical.	GPAO
2. Regulación y control de la actividad minera mediante la aplicación de las normas pertinentes.	2.1. Pequeña minería regulada. 2.2. Control permanente de las actividades mineras para el cumplimiento de las normas regulatorias.	ARCOM
3. Organización de los mineros pequeños para la utilización de tecnologías limpias.	Minería responsable en los mineros pequeños.	ARCOM GPAO
4. Diversificación de las actividades productivas de la población.	Las poblaciones de Zaruma y Portovelo diversifican las actividades productivas con especial énfasis en el turismo comunitario.	Gobierno nacional. Gobiernos locales de Zaruma y Portovelo.
5. Reubicación de las plantas de beneficio en un solo sitio técnicamente adecuado (parque industrial).	5.1. Definido el estudio para la ubicación y operación del parque industrial minero. 5.2. Reubicadas las plantas de beneficio El Pache y El Salado en el parque industrial minero.	Gobierno nacional. Gobiernos locales de Zaruma y Portovelo. GPAO

RESPUESTA	RESULTADOS ESPERADOS	RESPONSABLE
6. Construcción y operación de un sistema de transporte, tratamiento y disposición final de los relaves.	<p>6.1. Mejorado el paisaje y la contaminación del suelo y agua en el área de estudio sin la presencia de pasivos ambientales (relaves).</p> <p>6.2. Reducido los focos de contaminación producidos por químicos, metales pesados, sólidos en suspensión provenientes de las plantas de beneficio.</p> <p>6.3. Confinados técnicamente en un solo sitio los pasivos ambientales (relaves).</p>	<p>Gobierno nacional.</p> <p>Gobiernos locales de Zaruma y Portovelo.</p> <p>GPAO</p>
7. Implementación de proyectos de remediación ambiental aplicados especialmente a la descontaminación de los ríos Calera y Amarillo.	<p>7.1. Descontaminado el río Calera.</p> <p>7.2. Descontaminado el río Amarillo.</p>	<p>Gobierno nacional.</p> <p>Gobiernos locales de Zaruma y Portovelo.</p> <p>GPAO</p>
8. Aplicación de un sistema de monitoreo de la calidad ambiental de la cuenca del río Calera y Amarillo.	8.1. Controlada la calidad ambiental de la cuenca de los ríos Calera y Amarillo.	<p>Gobierno nacional.</p> <p>GPAO</p>
9. Regulación del ingreso de material extraído de minas fuera del distrito minero Zaruma - Portovelo mediante la aplicación de ordenanzas	9.1. Generados los instrumentos legales para el control de ingreso de material de minas que no pertenecen al distrito minero Zaruma - Portovelo.	<p>Gobiernos locales de Zaruma y Portovelo.</p> <p>GPAO.</p>

RESPUESTA	RESULTADOS ESPERADOS	RESPONSABLE
municipales u otros instrumentos legales.	9.2. Controlado el ingreso de material de minas al distrito minero Zaruma - Portovelo.	
10. Aplicación de tecnologías que eviten el uso de mercurio en las plantas de beneficio.	10.1. Plantas de beneficios aplican tecnologías que evitan el uso de mercurio.	Gobierno nacional. APROPLASMIN
11. Reutilización de los efluentes con contenido de cianuro.	11.1. Plantas de beneficios aplican tecnologías para la reutilización de efluentes con contenidos de cianuro. 11.2. Plantas de beneficios aplican tecnologías para el manejo adecuado de sus efluentes en general, antes de ser vertidas a los cuerpos de agua.	Gobierno nacional. APROPLASMIN
12. Implementación de programas de manejo integral de desechos sólidos en los cantones Portovelo y Zaruma.	12.1. Cantones Portovelo y Zaruma con programas de manejo de desechos sólidos implementados.	Gobiernos locales de Zaruma y Portovelo. GPAO.
13. Implementación de programas de educación ambiental formal y no formal, cuyos procesos lleven a la formación de una cultura ambiental en el manejo de recursos naturales y los desechos generados por los mismos.	13.1. Población de cantones Portovelo y Zaruma capacitados para el manejo de recursos naturales y desechos. 13.2. Población de cantones Portovelo y Zaruma capacitada y educada sobre problemas de exposición a elementos tóxicos que afectan a su salud.	Gobierno nacional. Gobiernos locales de Zaruma y Portovelo. GPAO

RESPUESTA	RESULTADOS ESPERADOS	RESPONSABLE
14. A plazos corto y mediano aplicar los resultados del presente estudio.	14.1. Evitada la contaminación por residuos de las plantas de beneficio ubicadas en El Pache y El Salado. 14.2. Mejorada la calidad ambiental de la cuenca del río Calera y Amarillo. 14.3. Superado el conflicto socio – ambiental con el Perú. 14.4. Mejorada la economía de las poblaciones usuarias de la cuenca binacional del Puyango – Tumbes.	Gobierno nacional. Gobiernos locales de Zaruma y Portovelo. GPAO. APROPLASMIN.

Fuente y elaboración: Arturo Sánchez. 2014

La metodología P.E.R. aplicada mediante la elaboración de los cuadros analizados, permite visualizar los resultados ambientales a los que se ha llegado en el estudio, con el fin de evitar y mitigar los impactos negativos producidos por la actividad minera en particular con las plantas de beneficio presentes en el distrito minero Zaruma – Portovelo, en la subcuenca del río Calera y Amarillo.

Las medidas a tomar son una alternativa de ejecución a plazos corto, mediano y largo, para mejorar la calidad ambiental de la cuenca de los ríos Calera y Amarillo. Estas acciones deben estar fortalecidas por la implementación de proyectos que conllevan a la recuperación integral de la cuenca.

Las medidas a implementar según el tiempo de ejecución son:

A plazo corto:

- Aplicar los resultados del estudio presente.
- Regulación y control de la actividad minera mediante la aplicación de las normas pertinentes.
- Regulación del ingreso de material extraído de minas fuera del distrito minero Zaruma – Portovelo, mediante la aplicación de ordenanzas municipales u otros instrumentos legales.
- Organización de los mineros pequeños para la utilización de las tecnologías limpias que eviten el uso de mercurio y el alto contenido de cianuro en las plantas de beneficio.
- Implementación del programa de educación ambiental formal y no formal, cuyos procesos lleven a la formación de una cultura ambiental en el manejo de recursos naturales y los desechos generados por los mismos.

A plazo mediano:

- Construcción y operación de un sistema de transporte, tratamiento y disposición final de los relaves.
- Implementación de proyectos de remediación ambiental aplicados especialmente a la descontaminación de los ríos Calera y Amarillo.
- Aplicación de un sistema de monitoreo de la calidad ambiental de la cuenca del río Calera y Amarillo.
- Diversificación de las actividades productivas de la población.
- Implementación de programas de manejo integral de desechos sólidos en los cantones Atahualpa, Piñas, Portovelo y Zaruma.

A plazo largo:

- Restauración forestal del sitio El Tablón con especies propias del ecosistema, especialmente de hojas perennes.
- Reubicación de las plantas de beneficio en un solo sitio técnicamente adecuado (parque industrial).

4.7 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.

La hipótesis planteada previa a la investigación, se comprueba como verdadera, en relación con los resultados obtenidos durante el proceso investigativo.

Las observaciones y encuestas realizadas, demuestran que en el distrito minero Zaruma – Portovelo, se encuentran plantas de beneficio mineral distribuidas al azar, que utilizan diversos procesos metalúrgicos, generando residuos que generalmente son vertidos a los ríos Calera y Amarillo sin ser tratados previamente.

Los análisis realizados en el agua, los sedimentos y los relaves demuestran que la contaminación por metales y complejos cianurados aún continúan. Finalmente, las plantas de beneficio, generan impactos a todos los factores ambientales como lo demuestra el análisis presión – estado – respuesta, y la caracterización ambiental del área de estudio; por lo que la hipótesis queda comprobada como verdadera.

Una vez verificada la hipótesis se plantea la necesidad de formular una propuesta integral para el manejo y disposición final de relaves del distrito minero Zaruma – Portovelo.

CAPÍTULO V

5 PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.

5.1 TÍTULO

“MODELO CONCEPTUAL PARA EL MANEJO DE LOS RELAVES PRODUCIDOS POR LAS PLANTAS DE BENEFICIO DEL DISTRITO MINERO ZARUMA – PORTOVELO”.

5.2 UBICACIÓN Y BENEFICIARIOS

La propuesta de intervención, administrativamente está ubicada en la Provincia El Oro, al suroeste del Ecuador y abarca los cantones de Portovelo, Zaruma, Piñas y Atahualpa.

El área de intervención comprende aproximadamente 4.400 hectáreas circunscritas sobre altitudes que van desde los 540 hasta los 1550 msnm, la delimitación del distrito minero Zaruma- Portovelo declarado en el año 1992 como Zona Minera Especial, corresponde a las coordenadas indicadas en el tabla N° 5.1.

Tabla 5.1. Localización del distrito en coordenadas UTM PASAD-56.

No. Vértice	Coordenadas UTM PASAD-56		No. Vértice	Coordenadas UTM PASAD-56	
	X	Y		X	Y
A	656645.11	9597375.60	D	653139.99	9593602.51
B	651646.11	9597375.60	E	653139.99	9587629.54
C	651646.11	9593602.51	F	656645.11	9587629.54

Fuente: ARCOM, Catastro Minero Nacional

La propuesta tiene como beneficiarios a todas las poblaciones urbanas y rurales asentadas a lo largo de la cuenca del río Calera y río Amarillo; a los mineros pequeños asociados del distrito, el Estado ecuatoriano y el ambiente, como tal.

5.3 JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA.

La producción de los relaves y las soluciones que se generan en las plantas de beneficio, unida a la importancia de conservar la cuenca binacional Puyango-Tumbes, plantea la necesidad de un manejo y tratamiento correcto, mediante un sistema integrado de gestión de los relaves (sólidos y líquidos) con el fin de evitar la contaminación de los cuerpos de agua, y por consiguiente, el ambiente y las poblaciones tanto en el Ecuador como el Perú, ubicadas en la cuenca Puyango – Tumbes.

El planteamiento de la propuesta, se basa en el diagnóstico ambiental realizado a las plantas de beneficio y los resultados obtenidos del análisis P.E.R.; además de aprovechar las coyunturas institucionales entre el GAD de la provincia de El Oro, Ministerio del Ambiente, Ministerio de Recursos Naturales no Renovables, INIGEMM, GADs de los cantones Portovelo y Zaruma, y las políticas del gobierno central para llevar a cabo la implementación de proyectos incluidos en la presente.

5.4 OBJETIVOS DE LA PROPUESTA.

El criterio fundamental de la propuesta se basa en retirar los pasivos ambientales dispuestos a lo largo de las riberas de los ríos Calera y Amarillo, y conducir los relaves producidos por las plantas de beneficio para que sean debidamente tratados y posteriormente confinados en un solo sitio cuyas características técnicas y ambientales sean las más adecuadas.

5.4.1 OBJETIVO GENERAL.

Analizar la viabilidad ambiental y social de un sistema técnico que busca minimizar los impactos ambientales producidos por los relaves generados en las plantas de beneficio mineral en los ríos Calera y Amarillo, afluentes del río Puyango, para contar con una cuenca hidrográfica saludable.

5.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

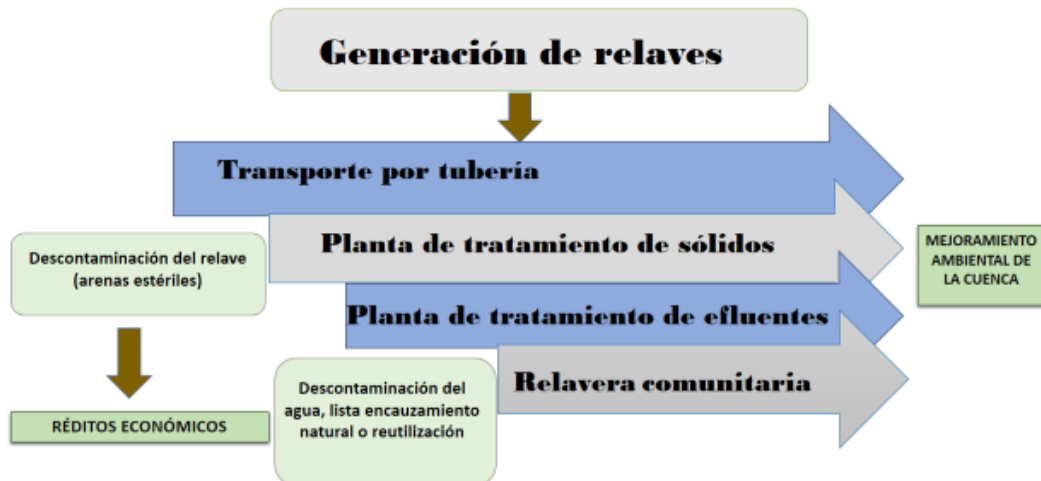
- Aportar con lineamientos para el modelo de gestión técnica administrativa, encargada de las operaciones del manejo integral de relaves y la recuperación ambiental de la subcuenca.
- Establecer las estrategias para el transporte, el tratamiento y la disposición final de los relaves producidos en las plantas de beneficio mineral del distrito Zaruma-Portovelo.
- Contribuir con los lineamientos básicos para: implementar un sistema de control y monitoreo ambiental; y, un programa de restauración ambiental en la cuenca alta del río Puyango.

5.5 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

La propuesta considera el manejo integral de los residuos mineros, desde su generación en las plantas de beneficio incluido los pasivos ambientales mineros, pasando por el transporte, el tratamiento de sólidos o aprovechamiento de residuos minerales, el tratamiento de los líquidos y la disposición final en una gran relavera comunitaria; con la finalidad del

mejoramiento ambiental de la cuenca de los ríos Calera y Amarillo, como lo muestra el diagrama de la figura N° 5.1. y el Anexo 4.

Figura N°5.1. Diagrama de gestión de residuos mineros.



Elaboración: Arturo Sánchez A.

La presente propuesta de tesis está conformada por los siguientes componentes a analizar:

- Modelo de gestión administrativa.
- Transporte y conducción de los relaves.
- Manejo de los relaves, en los que se incluyen planta de tratamiento de sólidos, planta de tratamiento de líquidos y planta de encapsulamiento.
- Sistema de disposición final de relaves.
- Sistema de control y monitoreo ambiental de la cuenca alta.

- Programa de recuperación ambiental.

5.5.1 Modelo de gestión administrativa.

La propuesta de mejoramiento ambiental de la cuenca de los ríos Calera y Amarillo, requiere de la aplicación de un modelo de gestión que incluya a los actores involucrados en la actividad minera según su participación y competencias, como se resume en la tabla N°. 5.2.

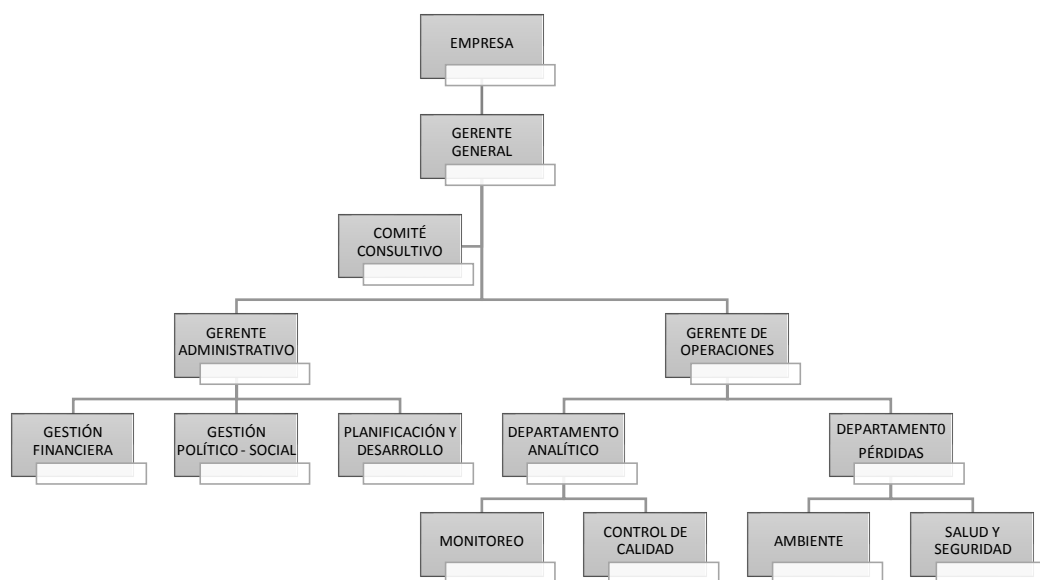
Tabla N° 5.2. Actores involucrados en la actividad minera.

ACTORES	COMPETENCIAS
MINISTERIO DEL AMBIENTE	Licenciamiento ambiental, control
MINISTERIO DE RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES	Políticas mineras
ECUADOR ESTRATÉGICO	Financiamiento
INIGEMM	Acompañamiento técnico
ARCOM	Control y regulación minera
SENAGUA	Concesiones de uso de Agua
GAD EL ORO	Financiamiento – gestión ambiental-vialidad.
GAD ZARUMA- PORTOVELO	Usos de suelo - desarrollo comunitario
APROPLASMIN	Gestión administrativa y financiera
COMUNIDAD	Beneficiarios y veedores del sistema

Elaboración: Arturo Sánchez. 2014

La gestión administrativa es concebida como una empresa que puede ser pública, privada, o un consorcio mixto, que considera la organización como se presenta en la figura N° 5.2.

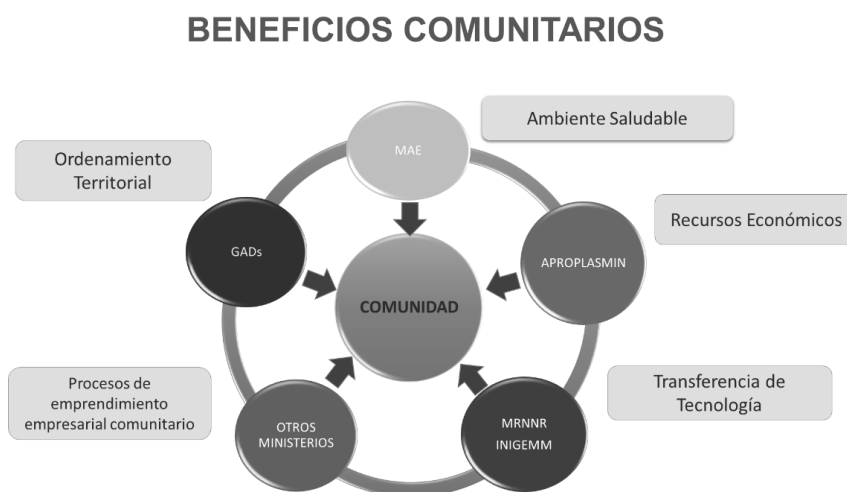
Figura N° 5.2. Organigrama de la gestión administrativa.



Elaboración: Arturo Sánchez. 2014

La gestión administrativa y técnica de los residuos mineros en el distrito minero Zaruma- Portovelo, deberá crear un sistema consensuado con todos los involucrados, cuyo objetivo será mantener un ambiente saludable y una comunidad satisfecha con sus beneficios. La figura N° 5.3 indica la interrelación que se logra en una gestión participativa.

Figura N° 5.3. Diagrama de beneficios comunitarios por gestión participativa.



Elaboración: Arturo Sánchez. 2014

5.5.2 Transporte y conducción de los relaves.

La propuesta identifica formas de conducir los relaves de las plantas de beneficio y los pasivos existentes, mediante un mecanismo mixto que incluye transporte terrestre y transporte hidráulico hacia las plantas de manejo de residuos y luego al sistema de disposición final de desechos mineros.

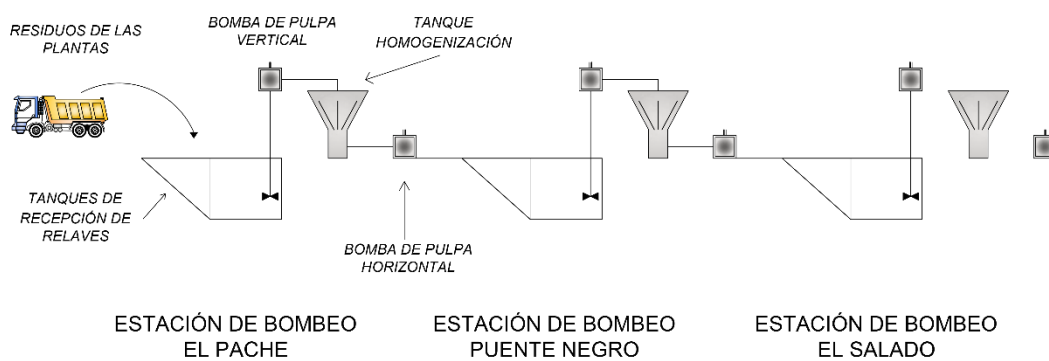
Se considera que el 71 % de las plantas de beneficio que generan relaves cianurados, se encuentran ubicados entre el sector El Pache y El Salado, y que muchas de las instalaciones de los otros sectores transportan los relaves de la molienda a estos lugares para la cianuración; el transporte de los relaves, se lo haría por medio de un sistema hidráulico cuyo recorrido sería de 4.5 km, que incluya 3 estaciones de bombeo ubicadas en Pache

Alto, Pache Bajo y el Salado con tuberías interconectadas hasta llegar a las plantas de tratamiento.

Otras plantas fuera de este sector que efectúen procesos de lixiviación química deberán transportar sus soluciones a este sistema por medio de tuberías, mangueras o transporte terrestre con relaves secos hacia las estaciones de bombeo.

La solución propuesta para el transporte hidráulico de los relaves es una secuencia de 3 estaciones de bombeo para transportar el volumen creciente de relaves desde el sector Pache Alto hasta la subida a las plantas de tratamiento de Relaves en el sector El Tablón, como se observa en la figura N° 5.4.

Figura N° 5.4. Diagrama de Transporte Hidráulico.



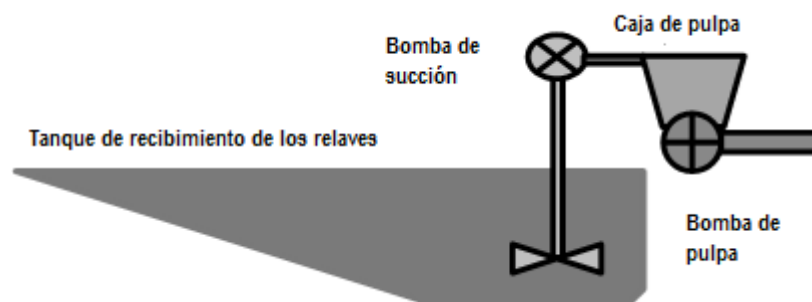
Fuente y Elaboración: Arturo Sánchez. 2014

Cada planta participante en el sistema deberá enviar sus relaves hacia la estación de bombeo más cercana, según mecanismo definido como el más apropiado y bajo la responsabilidad de cada propietario con el debido control y autorización de las instituciones competentes.

Las estaciones de bombeo tendrán las condiciones para recibir los relaves en forma de pulpa o sólidos, con un tanque o depósito de recibimiento y un conjunto de bombas para enviar la pulpa por la tubería hacia la siguiente estación de bombeo.

Cada una de las tres estaciones de bombeo incluirá las instalaciones para la recepción de los residuos de las plantas y alimentación de los materiales como pulpa hacia los conductos de transportación, bomba de succión con eje vertical para homogenizar la pulpa y las bombas de pulpa de eje horizontal para impulsar los residuos por el ducto hacia la siguiente estación, como el demuestra la figura N° 5.5.

Figura N°5.5. Esquema del sistema de alimentación de las bombas



Fuente: Modelo conceptual mineraducto Zaruma - Portovelo. 2013

La función de la caja de pulpa es asegurar que la mezcla (agua + sólidos) tenga la proporción y las condiciones correctas para ingresar en el sistema y mantener la bomba siempre llena de pulpa.

El manejo de la calidad de las pulpas será en los tanques de alimentación; todo el sistema debe tener un control automatizado para garantizar la seguridad de la operación.

El sistema de transporte de los relaves será exigido a quienes no tengan el sistema de tratamiento y espacio suficiente para la acumulación de estos.

El transporte de relaves por vía terrestre, se debe cumplir con las seguridades para evitar la dilución de polvos en el recorrido hacia las estaciones de bombeo.

Se debe considerar que el sistema funcione diferenciando los relaves según las características de generación para no ser mezclados y facilitar el tratamiento. Esto implica que se debe tener un cronograma de recepción y evacuación muy bien implementado.

5.5.3 Manejo de relaves.

El beneficio de los minerales genera grandes volúmenes de residuos (relaves) de grano fino, que deben ser dispuestos en instalaciones especiales, siendo la disposición de los relaves uno de los componentes más críticos en el área de estudio.

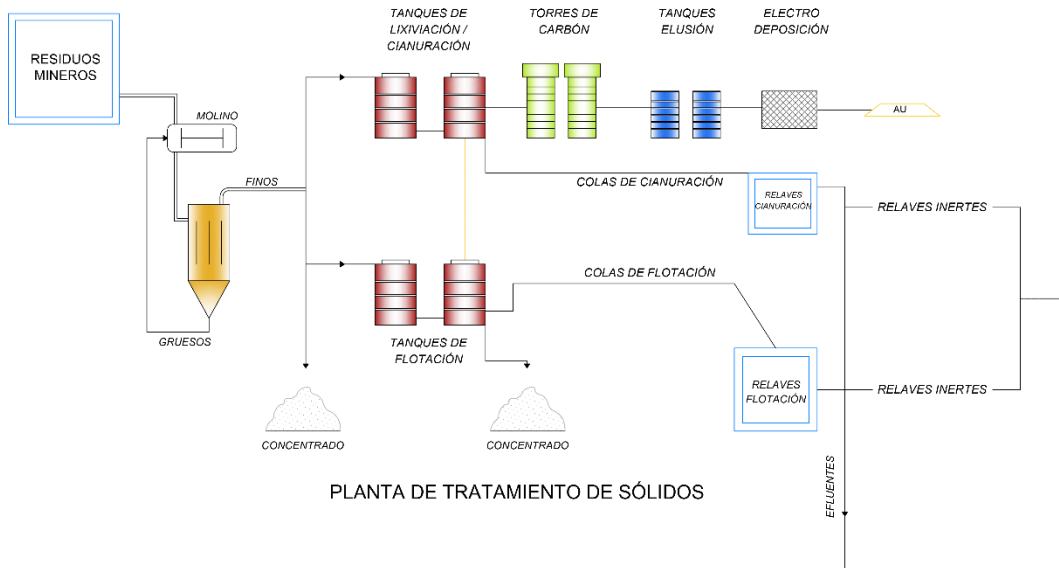
Los relaves generados por las plantas de beneficio y aquellos dispuestos a lo largo de las riberas de los ríos Calera y Amarillo, contienen en su composición química una gran cantidad de elementos con valor económico, que deben ser aprovechados antes de la disposición final de los desechos mineros.

Las soluciones cianuradas deben ser tratadas para su reutilización o desalojo a los cauces naturales. Cumplir con este objetivo requiere de infraestructura adecuada y un monitoreo minucioso para garantizar su funcionamiento, requisito que es muy difícil alcanzar en las condiciones tecnológicas de las actuales plantas de beneficio.

Planta de tratamiento de sólidos

En el proceso de manejo de relaves, el mecanismo es obtener los minerales con valor económico que se encuentran en los residuos mineros, tal como lo indican los resultados de la caracterización química de los relaves de cada una de las plantas de beneficio, y el relave inerte resultante pasarlo a la planta de encapsulamiento para su proceso y disposición final, como se puede apreciar en el diagrama de la figura N° 5.6.

Figura N°5.6. Diagrama de tratamiento de sólidos.



Fuente y Elaboración: Arturo Sánchez. 2014

La planta de tratamiento de sólidos considera los siguientes circuitos:

- **Circuito de molienda.-** Este proceso consta de una serie de molinos de bolas tipo SAG, instalados en paralelo, que reciben el material transportados desde las plantas de beneficio. El mineral molido es llevado a un sistema de hidrociclones para una clasificación final, donde el mineral más fino pasa al proceso de cianuración para la recuperación

de oro; principalmente, el material con diámetro mayor es recirculado hacia los molinos para iniciar nuevamente su proceso.

Durante el proceso de molienda, se adiciona cianuro con cal, para aumentar el rendimiento del proceso y obtener un 40% adicional en la recuperación del mineral.

- **Circuito de cianuración.-** Éste proceso, se realiza en tanques agitadores colocados en serie, que reciben el material en pulpa proveniente del hidrociclón.

El número de tanques de cianuración, depende de la producción diaria de las plantas de beneficio y tiempo de permanencia que debe tener el material durante el proceso.

Al material en pulpa en este proceso, se le adiciona en dosis previamente establecidas, cianuro de sodio, cal y agua; se realizan inyección de oxígeno y reinyección de cianuro; todo esto es agitado permanentemente para lograr una homogenización buena y que se produzca una reacción adecuada físico – química del proceso. (Lara, F. s.f.).

En este circuito, se deberán realizar ensayos para determinar la cantidad exacta de reactivos a utilizar según las características de la pulpa, para determinar si el proceso está dando el máximo rendimiento y, también, para conocer el porcentaje de minerales en las colas que serán desalojadas hacia la planta de tratamiento de efluentes y hacia la planta de encapsulamiento. Los análisis químicos, se realizarán para conocer principalmente los contenidos de metales con valor económico, cianuro y el pH de la solución cianurada.

- **Circuito de extracción.-** También llamado proceso de adsorción con carbón CIP. En este proceso, se utilizan tanques con carbón activado y recibe la solución proveniente de la cianuración. El principio del proceso, se fundamenta en la adherencia de los metales de la solución en las paredes del carbón.

Posteriormente, el carbón cargado y cosechado de los tanques es sometido a un lavado con ácido clorhídrico para eliminar los carbonatos y facilitar la desorción de los minerales en las torres de elusión.

Las colas de este proceso son bombeadas hacia la planta de tratamiento de soluciones.

- **Circuito de elusión.-** Formado por tanques en columnas de elusión, por el cual se extrae el mineral del carbón cargado, mediante recirculación de una solución de sosa cáustica, cianuro de sodio y alcohol. El carbón libre de los minerales ingresa nuevamente al proceso metalúrgico en el circuito de extracción.
- **Circuito de electrodeposición.-** Consiste en la recuperación del oro y la plata catiónica de la solución preñada proveniente de las columnas de elusión, que pasa en corriente continua por unas celdas electrolíticas colocadas en tanques pequeños dispuestos en serie y paralelo.

Cabe indicar, dependiendo de las características de los relaves si es necesario pasarán por un circuito de flotación para la recuperación de los metales con valor económico, para dejar prácticamente desechos inertes que pasará luego a la planta de encapsulamiento,

Los concentrados de los minerales obtenidos pueden ser comercializados en el mercado internacional como tales o pasar a circuitos de fundición y refinación para aumentar su pureza para su comercialización.

Planta de tratamiento de efluentes

El sistema de tratamiento de las aguas cianuradas y clarificadas procedentes del sistema de bombeo de los relaves y la planta de tratamiento de los sólidos debe cumplir la función específica de descomponer el cianuro y, a la vez, recuperar los metales con valor económico y cumplir con las normas ambientales, antes de ser evacuadas al sistema hídrico natural; para esto, se sugiere implementar las fases siguientes:

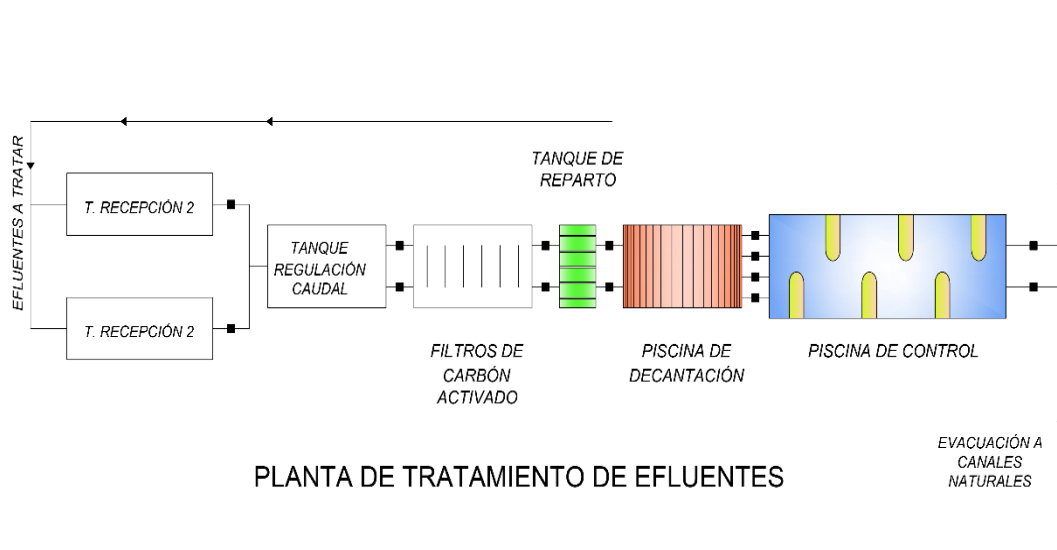
- **Tanques de recepción.-** Los excedentes del agua del sistema de bombeo de los relaves y las aguas cianuradas de la planta de tratamiento de los sólidos, pueden ser obtenidas en tanques debidamente regulados en los que se les agrega resina aniónica para sedimentar el material arrastrado.
- **Piscinas reguladoras de caudal.-** son necesarias para evitar algún colapso en el sistema de descargas.
- **Filtros de carbón activado.-** Con el fin de atrapar, en sus porosidades, la mayor cantidad de metales, en especial oro que se encuentran en la solución de agua, se sugiere la implementación de paneles de carbón activado dispuestos de forma inclinada en forma de capas.
- **Piscinas de decantación.-** Tienen la finalidad de eliminar residuos de cianuro agregando peróxido de hidrógeno (H_2O_2) de manera regulada

por tiempo y dosis de suministro favoreciendo un mezclado adecuado del mismo.

- **Piscinas de control.-** Una vez cumplidas todas las fases de tratamiento de las aguas residuales, éstas son conducidas hacia un sistema de piscinas interconectadas, entre sí, que contiene vegetación flotante resistente al tipo de agua utilizada y que favorecen la fitoremediación.

Al final y garantizando la disminución de los elementos contaminantes y cumpliendo la normativa ambiental, el agua puede ser reincorporada a los procesos metalúrgicos y de encapsulamiento; y, el excedente conducido a los cauces naturales.

Figura N° 5.7. Diagrama de tratamiento de efluentes



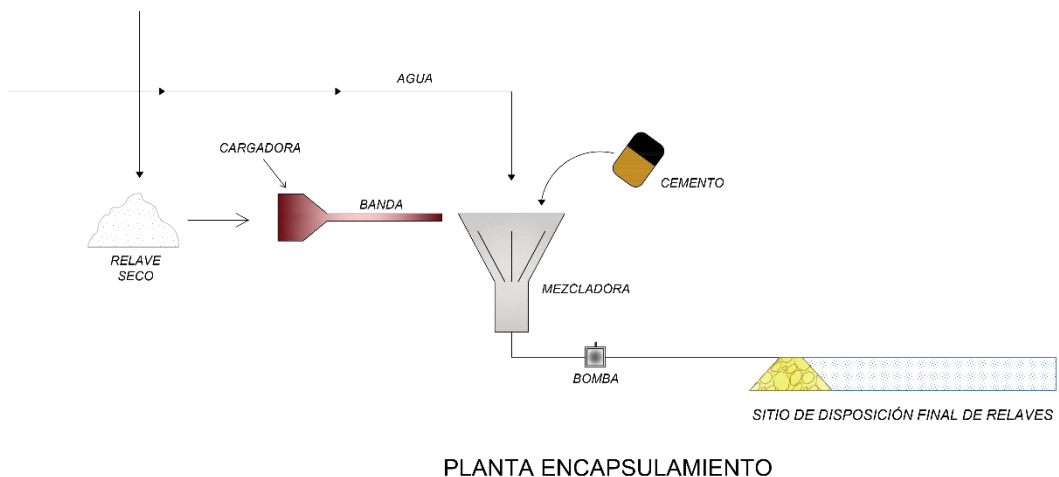
Fuente y Elaboración: Arturo Sánchez. 2014. Adaptado del proyecto “Evaluación de impacto ambiental, plan de manejo de las plantas de beneficio en el sector minero, Portovelo-Zaruma y diseño definitivo del sistema de manejo de relaves de las plantas de beneficio”.

Planta de encapsulamiento

Los relaves tratados en la planta de sólidos donde se obtienen los minerales con valor económico y se consideran inertes, pasarán a la planta de encapsulamiento o fijación química, donde se inmobiliza e insolubiliza los metales a través de una reacción química entre los componentes de la matriz del relave y un aglomerante o cemento. (Romero, A., Flores, S., 2010).

El sistema debe contener un lugar para almacenar los relaves tratados, que luego pueden ser transportados mediante un sistema de bandas hacia el área de mezcla con los aglomerantes y el agua; la mezcladora deberá tener una capacidad de producción de 4000 toneladas diarias, puesto que la producción diaria de relaves para el presente estudio es estimada alrededor de 3 000 t/día.

Figura N° 5.8. Diagrama de planta de encapsulamiento.



Fuente y Elaboración: Arturo Sánchez. 2014

La mezcla hidratada o cemento endurecido se dirige por medio de tuberías hacia la parte posterior de la relavera comunitaria para su disposición final.

Este procedimiento sella cualquier exposición de metales pesados; por tal motivo, no producirá contaminación ambiental.

Cabe señalar que mediante análisis previo de las características del relave, éste, también, puede ser utilizado para la fabricación de bloques, baldosas o adoquines que podrían ser donados a los gobiernos autónomos descentralizados de la parte alta de la provincia para proyectos de desarrollo social.

5.5.4 Sistema de disposición final de relaves.

Existen diferentes formas de disponer los relaves. La más conocida son los depósitos convencionales o embalses de relaves que consisten en un espacio confinado de manera natural por elevaciones topográficas y/o con obras artificiales de contención que, para su construcción, utilizan el mismo material del relave o material de préstamo. (Ramírez, N. 2007).

Los procesos metalúrgicos, en el área de estudio, generan relaves que deberían ser almacenados en un sitio seguro, que garantice las condiciones técnicas y ambientales; para esta finalidad es necesario construir una relavera o depósito común, cuya ubicación sea lo más conveniente desde el punto de vista social.

El sitio de disposición final de los relaves debe ser construido en un sector determinado, tomando en cuenta la morfología y el drenaje de aguas, el tipo de suelos, la geología y ubicación respecto a las instalaciones de las plantas de beneficio y vías de acceso.

Para la identificación del sitio de disposición final de relaves, se contemplarán las siguientes consideraciones:

- Ubicación del área para el depósito de relaves.
- Caracterización geológica del área.
- Condiciones climáticas e hidrológicas del área de emplazamiento del depósito de relaves.
- Condiciones sísmicas del área del proyecto.
- Determinación de las condiciones geotécnicas.
- Selección del tipo de presa.
- Balance metalúrgico.
- Características granulométricas del relave general.

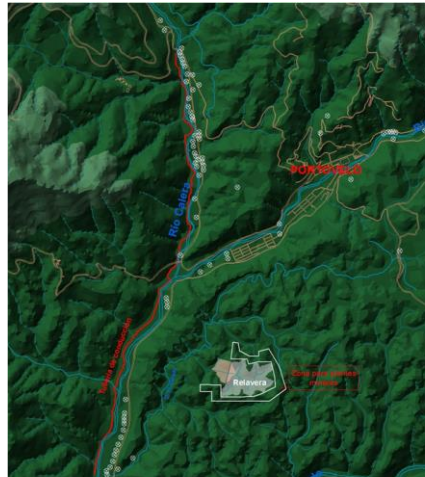
La capacidad de almacenamiento de la relavera, es estimada en función de la producción de las plantas de beneficio (5 000 tm diarias), sumado los pasivos dispuestos en la cuenca (1 200 000 tm), y, las condiciones topográficas del vaso de la presa del depósito; se estima un período de llenado entre 20 y 25 años.

Según estudios realizados por la Universidad Técnica Particular de Loja, el sector El Tablón, cantón Portovelo, presenta las mejores condiciones técnicas y sobre todo la capacidad de almacenamiento requerida que permite el manejo integrado de los relaves producidos en las plantas de beneficio de los mineros pequeños del distrito.

Al inicio de la investigación presente, se observaron iniciativas para la construcción de la relavera en el sector El Tablón, mediante un esfuerzo gubernamental en coordinación con el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de El Oro (GADPO), el Ministerio del Ambiente y Ministerio de Recursos Naturales No Renovables (MRNNR).

En la figura N° 5.9, se observa el sitio de construcción de la relavera comunitaria donde se depositarán los relaves tratados para su confinamiento final; ocupa un área aproximada de 70 ha.

Figura N° 5.9. Imagen del sitio de construcción de la relavera comunitaria.



Fuente: Google Earth, 2013

El proceso constructivo de la presa de relaves comunitaria, realizado por el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de El Oro, se presenta en imágenes en la figura N° 5.10.

Figura N° 5.10. Imágenes de la construcción de la relavera comunitaria.



Fuente: Arturo Sánchez. 2014

Con la implementación del sistema de encapsulamiento se forma un concreto que estabilizan los relaves y el vaso de la presa, dándole mayor seguridad a la disposición de los relaves, disminuyendo su volumen y, por lo tanto, alarga el tiempo de llenado de la relavera.

5.5.5 Sistema de control y monitoreo ambiental de la cuenca

La necesidad de control y monitoreo, se plantea puesto que existen operaciones y procesos de generación, transporte, acumulación, tratamiento y disposición final de los relaves producidos por las plantas de beneficio mineral dispuestos en la zona minera Zaruma-Portovelo que merecen atención total en cuanto al mantenimiento de la calidad ambiental de la cuenca.

El sistema de control y monitoreo debe implementarse en el área de influencia de la actividad minera en la cuenca de los ríos Calera y Amarillo, identificando los puntos estratégicos a ser monitoreados para su protección.

El sistema debe incluir una fase de descripción de las plantas de beneficio registradas en una base de datos, otra fase complementaria con información generada con base a la calidad ambiental de las subcuencas de los ríos Calera y Amarillo, con indicadores principalmente para los cuerpos hídricos a protegerse.

El monitoreo, se considera desde una visión socio-ecológica a fin de caracterizar, analizar y mitigar los riesgos de agentes peligrosos hacia los ecosistemas y la salud humana.

El proceso técnico integrará el monitoreo y la investigación como base para fortalecer el entendimiento de las acciones y medidas de mitigación y

corrección de la contaminación en el área de influencia del proyecto. Tratándose de un área de intervención humana intensa, el sistema contemplará generar información para la toma de decisiones para la recuperación de los ecosistemas.

El sistema de control y monitoreo debe contemplar las siguientes fases:

Monitoreo de los procesos del sistema de disposición de relaves

Una presa de relaves durante la fase de construcción o en su periodo de operación, requiere de mantenimiento de las instalaciones, en general, y monitoreos geotécnicos de los materiales que interactúan con dicha estructura, sean estos materiales de soporte, como suelos de fundación o aquellos que forman parte de su entorno, como el caso de los taludes o las laderas naturales que según su grado de estabilidad pueden representar una amenaza a las poblaciones o estructuras cercanas.

La puesta en marcha de un monitoreo, en particular, depende del grado de seguridad que se requiera para la inversión realizada y sus usuarios, así como de los parámetros geotécnicos que se deseen evaluar, sean estos deformaciones, presión de poros, esfuerzos totales, entre otros.

Los objetivos de un programa de monitoreo del talud del sistema de disposición final de relaves son:

- a) Proporcionar un aviso anticipado de la inestabilidad.
- b) Proporcionar información geotécnica para analizar los mecanismos de desplazamiento de la pendiente, para designar medidas correctivas.
- c) Mantener los procedimientos operacionales de seguridad con el fin de proteger al personal y los equipos.

Un programa de monitoreo permite establecer medidas de prevención para evitar deslizamientos, colapsos de estructuras frente a fallas potenciales por acción dinámica.

Durante la operación del depósito de relaves la instalación de puntos de monitoreos tales como inclinómetros, piezómetros y puntos de control geodésico y topográfico, serán necesarios.

- **Inclinómetro.-** Permite determinar los desplazamientos del talud de los bancos del depósito de los relaves a diferentes profundidades, así como asentamientos de los materiales. Dichos desplazamientos son de gran utilidad para evaluar el grado de estabilidad.

Los monitoreos inclinométricos, se basan en las deformaciones que puedan sufrir los materiales ante las cargas laterales o gravitacionales, determinadas por medio de observaciones.

- **Piezómetros.-** la instalación de piezómetros hidráulicos en diferentes lugares del depósito de los relaves sirve para realizar el monitoreo geotécnico con la finalidad de determinar la variación del nivel freático y la calidad de aguas subterráneas.

El monitoreo debe implementarse luego de iniciada la operación del depósito de relaves; es necesario determinar la frecuencia de los monitoreos y establecer las medidas pertinentes del caso.

- **Controles topográficos.-** son necesarios para monitorear la topografía de los depósitos de relaves se ubican hitos de control topográfico de concreto en puntos estratégicos y zonas críticas probables, para lo cual, se establece un sistema de mediciones para cada hito a partir de una línea base enlazada a un punto geodésico de primer orden; desde este

punto, se realizan mediciones de distancia horizontal y vertical a los hitos de control topográfico monumentado. Los cálculos de las mediciones topográficas determinarán las variaciones horizontal y vertical y permitirá tomar las medidas del caso.

El mantenimiento de las instalaciones, se lo debe realizar periódicamente, al menos, cada mes y estará dirigida a todas y cada una de las instalaciones, los equipos y las obras de la infraestructura, con el fin de corregir tempranamente cualquier defecto o daño.

Sistema de monitoreo ambiental del ecosistema del recurso hídrico circundante

Este escenario tiene por objetivo plantear un sistema de monitoreo espacial y temporal en las quebradas y los ríos circundantes. Para este trabajo, se determinarán los puntos de muestreo en la quebrada El Salado, el río Calera y río Amarillo.

Los puntos de muestreo, en los ríos afectados son determinados considerando la visión siguiente: un punto, río arriba, como área que no recibe afectación de las plantas de beneficio; otro punto, en el sitio de ubicación de las plantas de beneficio; seguidamente, un punto en el sitio de descargas del sistema de disposición final de los relaves; y, finalmente un punto abajo, en la unión del río Amarillo con el río Luis, como área de post afectación total.

Para las actividades de monitoreo ambiental, se diseñarán planes secuenciales y periódicos de evaluación ambiental. El monitoreo comprende el análisis del agua y los sedimentos. La periodicidad para el análisis del agua de los parámetros de calidad físico-química debe ser analizada. La periodicidad para el análisis de los metales debe realizarse

durante las estaciones seca y lluviosa, en el agua y los sedimentos, con dos muestreos secuenciales en cada época y, especialmente, dedicados a identificar los agentes peligrosos para el ecosistema e incluyendo el análisis general del agua.

Considerando la característica de los procesos mineralógicos e información existente sobre las condiciones de la zona se plantean las siguientes evaluaciones:

- **Características hidrológicas:** se refiere al aforo y caudal de los ríos y quebradas motivo del monitoreo. Esta información servirá para evaluar las condiciones del ecosistema y sus variaciones posibles. La información será importante para analizar la dinámica del ecosistema.
- **Características físico - químicas del agua:** se refiere a sólidos suspendidos, pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto. Estos parámetros servirán para evaluar las condiciones generales de la calidad del agua y su influencia en la calidad del ambiente acuático.
- **Cianuro:** se refiere a cianuro total y cianuro libre, tiocianato, nitritos, nitratos amonio. Estos parámetros son subproductos de la destrucción del cianuro y su evaluación servirá para corroborar la presencia de cianuro como elemento tóxico en el agua y su riesgo a la vida acuática. Los parámetros señalados permitirán evaluar el estado químico de la descomposición de cianuro durante el tratamiento de los afluentes.
- **Características biológicas de agua:** el análisis de los microorganismos, macrofauna e ictiofauna es importante puesto que la contaminación proviene de la actividad minera y, de las aguas de uso doméstico. La comunidad biótica existente en los ríos es una fuente importante de información para el plan de monitoreo ambiental.

Además, es uno de los indicadores principales de los riesgos posibles a la salud humana como producto de la contaminación ambiental.

- **Metales pesados en el agua y los sedimentos:** mercurio, cadmio, plomo, cromo, arsénico, hierro, zinc, entre los principales. Los metales pesados serán determinados en los sedimentos y en el agua. Estos elementos permitirán analizar no sólo su presencia o concentración sino su riesgo potencial al ecosistema acuático.

- **Monitoreo de componente faunístico**

El objetivo de este monitoreo es determinar los cambios en la composición y abundancia de las especies faunísticas (mastofauna, avifauna, herpetofauna, entomofauna e ictiofauna), mediante el muestreo de especímenes, de ser posible para su identificación o por medio de la observación directa y las entrevistas a pobladores, determinando los cambios de conducta en la fauna por la acción de la implementación de la propuesta.

- **Monitoreo de la calidad del aire**

En vista que la presencia de partículas finas de los relaves, la dispersión en el aire es una de las vías principales de exposición y afectación a la salud humana. Es imprescindible su monitoreo permanente. Equipos portátiles para el análisis y los materiales de posición local permiten la evaluación de la calidad del aire.

Para determinar la calidad del aire, es necesario definir los puntos de muestreos, especialmente, en el sector de las plantas de tratamiento y el sitio de disposición de los relaves. Se tomarán los siguientes parámetros:

Medición de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}; medidos con la utilización de equipos con detector de difusión de luz, el cual determina la concentración másica de las partículas mediante la radiación infrarroja.

Dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno; medidos con equipos cuyos sensores proporcionen medidas en tiempo real bajo el principio de las celdas electroquímicas donde se provocan reacciones que desprenden una corriente de energía medida como una diferencia de potencial que cuantifica la cantidad de contaminante medido.

Monóxido de carbono; utilizando los mismos sistemas de medición mencionados en el párrafo anterior.

Ruido; se utilizará un sonómetro integrado en los puntos de mayor influencia de la propuesta que deben ser evaluados por los técnicos.

El plan de monitoreo plantea la importancia del uso de indicadores de calidad de agua, aire, suelo, como herramienta indispensable para la sensibilización y educación, y facilitar la toma de decisiones en el manejo ambiental.

Base de datos, manejo de la información para el sistema de monitoreo ambiental.

Una base de datos para todas las actividades que comprometen al buen estado de la salud del ecosistema y el manejo de la información es necesaria. Para ello, se sugiere la implementación de sistemas descriptores que son herramientas que permiten visualizar la información de manera rápida y ágil y tomar decisiones inmediatas ante una alteración del sistema ecológico.

Herramientas estadísticas y sistemas de información geográfica pueden ser incorporados para generar modelos de los procesos, impactos y dinámica del ecosistema como producto del monitoreo ambiental.

Tratándose de una propuesta de recuperación del ecosistema, se enfocan posibilidades de que un sistema integral de monitoreo permita organizar el ecosistema y formular políticas de manejo acorde a la realidad del caso y del sitio.

5.5.6 Restauración ambiental.

Generar las condiciones ambientales y bióticas para que los ecosistemas se recuperen y sean autosustentables requiere de un trabajo planificado enfocado hacia la restauración forestal y restauración de los cuerpos hídricos del sistema de la cuenca de los ríos Calera y Amarillo.

Restauración del ecosistema acuático: con la finalidad de restaurar el ecosistema acuático, se deben realizar estudios de profundidad, volúmenes, calidad, cantidad de arenas y sedimentos y la identificación de zonas estratégicas como terrazas aluviales para dragar y obtener las arenas a ser transportadas hacia las plantas de tratamiento de los relaves, con el fin de limpiar y dar el caudal necesario para el desarrollo de la vida acuática y obtener los beneficios económicos.

Se podrán realizar repoblaciones de la biota propia del ecosistema o dejar las condiciones adecuadas para la recuperación biológica natural con invasión de especies en los cuerpos de agua menos contaminados.

Restauración forestal: realizar la siembra de cordones arbóreos en los alrededores del sitio de disposición final de los relaves y las instalaciones de las plantas de tratamiento de los mismos, que sirvan como cortinas cortavientos o de protección estableciendo hileras de árboles con arbustos. Alrededor de la zona de la relavera se debe revegetar los sitios circundantes, utilizando especies arbustivas y herbáceas de crecimiento rápido con preferencia con las nativas u otras que no sean invasoras como la poma rosa, amarillo, higuerón, faique, guayaba silvestre, guabas, ciruelos, y algunos cítricos. Esto permitirá mitigar riesgos ambientales y deslaves por movimientos de las masas de tierra.

Se deberá tener un programa de restauración que incluyan las quebradas que integran el sistema hídrico de la cuenca con fines de protección.

Para garantizar el programa de restauración, se sugiere implementar un banco de semillas, viveros, abonos orgánicos, plántulas propias de la zona, incluidas labores de siembras anuales y de mantenimiento trimestral de las plantas.

5.5.7 Reubicación de las plantas de beneficio.

La ubicación de las plantas en la ribera de los ríos es uno de los factores que permite suponer la disposición final inadecuada de los relaves, que de manera directa o indirecta afectan las fuentes naturales de agua. Lograr que, de manera conjunta, éstos sean procesados en un sitio común y los relaves sean tratados integradamente es quizá la mejor manera de controlar y monitorear adecuadamente los procesos de tratamiento de los minerales.

La reubicación de las plantas de beneficio minerales requiere de una planificación muy bien concebida; su diseño debe garantizar las

necesidades básicas de los mineros y las condiciones para las actividades de procesamiento de las plantas, como agua, energía, comunicación, sistema de tratamiento de relaves, reutilización de agua, entre otros.

Bajo este contexto, se deberán realizar estudios técnicos que garanticen tal procedimiento y la ubicación adecuada, tomando en cuenta la implementación de tecnologías nuevas para la extracción de los minerales con valor económico, sin dejar de realizar el estudio social que involucra a los pequeños mineros y la población involucrada en la actividad para la aceptación o el rechazo de la propuesta.

5.6 PRESUPUESTO.

La propuesta trata de un modelo conceptual para el manejo integral de los residuos mineros; por lo tanto, se deberán realizar los estudios a detalle previo a la implementación de cada acción. A continuación, se detalla en el Tabla N° 5.3, las actividades que deben ser consideradas para un estudio presupuestario.

Tabla N° 5.3. Actividades necesarias a presupuestar.

ACTIVIDADES	
Operación administrativa de la propuesta	
Construcción y operación del transporte de relaves	
Construcción y operación de planta de tratamiento de relaves	
	Planta de tratamiento de sólidos
	Planta de tratamiento de efluentes
	Planta de encapsulamiento
Sistema de control y monitoreo	
Restauración ambiental	
Estudios para reubicación de plantas de beneficio mineral	

Fuente: Arturo Sánchez. 2015

La misma propuesta, puede resultar autosustentable, en su operatividad, por la recuperación económica que puede obtenerse del manejo de los relaves que en su composición presentan minerales con valor económico significativo. Finalmente, se podrá definir con los estudios económicos que resultaren de la propuesta.

CAPÍTULO VI.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 CONCLUSIONES.

La cuenca binacional Puyango – Tumbes, tiene como aportantes principales a los ríos Calera y Amarillo que por sus contaminaciones debido a la presencia de metales pesados, complejos cianurados en el agua y sedimentos agravan la situación ambiental de la cuenca, por la falta de una gestión adecuada de los residuos mineros provenientes de las plantas de beneficio.

La mayor fuente de contaminación en el distrito minero Zaruma – Portovelo proviene de las plantas identificadas ubicadas de forma desordenada a lo largo de los ríos Calera y Amarillo que descargan sus colas o residuos directamente a los cuerpos superficiales de agua, según los análisis químicos realizados en agua y sedimentos..

La falta de espacios adecuados no permite la disposición de los relaves de forma técnica y adecuada, por lo que, se requiere tener un lugar común que cumpla con las condiciones necesarias para la confinación final de los residuos mineros.

Los relaves caracterizados, en la mayoría de los casos, contienen, en su composición química minerales con un valor económico significativo, que pueden ser recuperados para obtener beneficios, antes de su disposición final.

Las plantas de beneficio mineral producen relaves con diferentes características por las operaciones y los procesos utilizados (molienda, cianuración, flotación), que deben ser tratados por separado para no ocasionar reacciones químicas perjudiciales al ambiente y la salud de la población.

El estudio propone solución al problema de la contaminación de las cuencas de los ríos Calera y Amarillo, con base a formular un modelo conceptual de manejo integral de los residuos mineros.

Se define un modelo conceptual de manejo administrativo y técnico que asuma el reto de enfrentar los problemas producidos por la actividad minera, buscando la solución adecuada; mediante la creación de una empresa que puede ser mixta (pública y privada).

Para el transporte de los relaves hacia el sitio de la disposición final, el estudio propone que sea mixto; mediante el transporte hidráulico y terrestre, de tal manera que en el área donde se concentran la mayor cantidad de plantas de beneficio se disponga los sistemas hidráulicos de transporte, considerando también la cercanía hacia la relavera El Tablón; y, para el caso de plantas de beneficio que se localizan lejos de la relavera El Tablón, se use un sistema de transporte terrestre.

Antes de la disposición final de los relaves, éstos deben ser manejados en una planta de tratamiento de sólidos y una planta de tratamiento de aguas residuales, con el fin de minimizar los impactos ambientales que ocasionan, y, el aprovechamiento de minerales presentes en los residuos.

El encapsulamiento del relave inerte luego del tratamiento de sólidos, líquidos, puede ser encapsulado para reducir riesgos de contaminación por exposición directa y problemas ocasionados por lixiviados.

6.2 RECOMENDACIONES

Efectuar nuevos estudios de investigación, a detalle, que profundicen los aspectos técnicos y económicos que contribuyan a la factibilidad de la propuesta presente.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL MINERO. Catastro Minero Nacional. Ecuador.

ALBUJA, L.; Ibarra M.; Urgilés J.; y Barriga R. (1980). Estudio Preliminar de los Vertebrados Ecuatorianos. Escuela Politécnica Nacional. Departamento de Ciencias biológicas. Quito.

CAÑADAS, L. (1983). El Mapa bioclimático y Ecológico del Ecuador. MAGPRONAREG Y BANCO CENTRAL DEL ECUADOR. Quito – Ecuador.

CHAVES, A. (2012). Teoría e práctica do tratamento de mineiros bombeamento de polpa e classificacão. 4ª Edición. Editora Oficina de Textos.

CHAVES, A., Sznelwar, J., Passos, A., y de Tomi, G. (2013). Estudio conceptual del arenoducto El Tablón. Informe técnico final.

FUNDACIÓN CENDA. (1996). Estudio Colectivo de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental, Río Calera/El Salado. Acuerdo colectivo según Acuerdo Ministerial No. 217. Zaruma-Portovelo, El Oro.

FUNDACIÓN SALUD AMBIENTE Y DESARROLLO. (2001). La pequeña minería del oro: impactos en el ambiente y la salud humana en la Cuenca del Puyango, sur del Ecuador. Investigación realizada con el apoyo del centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo del Canadá, Quito.

GARCÍA Cienfuegos Bertha, (2012). Contaminación Transfronteriza en Cuenca Binacional Puyango Tumbes, Publicación.

GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, (2008). Constitución Política de la República del Ecuador. RO 449 del 20 de Octubre de 2008.

GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, (1999). Ley de Gestión Ambiental. RO 245 del 30 de julio de 1999.

GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. (2004). Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. RO 418 del 10 de septiembre de 2004.

GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. (2003). Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente. Edición Especial 2 del 31 de marzo de 2003.

GOBIERNO PROVINCIAL AUTÓNOMO DE EL ORO. (2011). Sistema de monitoreo ambiental del distrito minero Zaruma – Portovelo.

INSTITUTO ECUATORIANO DE ESTADÍSTICAS Y CENSO (2010). VII Censo de Población y VI de Vivienda.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO MINERO METALÚRGICO. (2011). Inventario de pasivos ambientales mineros existentes en la cuenca Puyango – Tumbes. Pág. 83.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO MINERO METALÚRGICO. (2013). Proyecto de Investigación Hidrogeológica e Hidrogeoquímica en Zonas Mineras del Ecuador. Evaluación de la Susceptibilidad a la Contaminación del Recurso Hídrico Subterráneo del Distrito Minero Zaruma – Portovelo.

JIMÉNEZ, Elena. (1999). Educación ecológica y ambiental, México, Editora Limusa, p. 125.

LARA, Francisco. (s.f.). Asistencia técnica y capacitación para el desarrollo técnico y empresarial de amalar.

MARTÍNEZ, Javier. (2014). Diploma en minería, Gestión Ambiental en Minería. Apuntes de Gestión de Relaves Mineros. Loja.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA. (2000). III Censo Nacional Agropecuario.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS DEL PERÚ. Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Mineros. Programa de Asistencia Técnica del Banco Mundial. Perú.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. (1998). Subsecretaría de Protección Ambiental. Informe Monitoreo Ambiental de las Áreas Mineras en el Sur del Ecuador. 1996-1998. Quito – Ecuador.

MURO, F. (2005). Métodos de Beneficio de Metales. Artículo.

PUICAN, José. (2010). MINISTERIO DE AGRICULTURA, Informe de Evaluación de la Calidad del Agua del río Puyango – Tumbes.

RAMÍREZ, Nelson. (2007). Guía técnica de operación y control de depósitos de relaves. Chile.

ROMERO et al. (2010). Reúso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas. Informe. Lima – Perú.

SECRETARÍA NACIONAL DEL AGUA. (2012). Informe de Resultados. Muestreos de calidad del agua Cuenca Binacional Puyango. Ecuador.

SIERRA, R. (1999). Propuesta preliminar de un Sistema de Clasificación de vegetación para el Ecuador Continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y Eco Ciencia. Quito – Ecuador.

SUARES, José. (1998). Perú Contaminado. El Comercio, 24 de abril de 1998. Lima, Editora el Comercio, Pág.23.

TAPIA, P. (2013). Transporte Hidráulico de Sólidos. Apuntes del curso del Departamento de Metalurgia de la Universidad de Atacama, Chile.

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA. (2009). Evaluación de Impacto Ambiental, Plan de Manejo de las Plantas de Beneficio en el sector minero, Portovelo-Zaruma y Diseño Definitivo del Sistema de Manejo de Relaves de las Plantas de Beneficio. El Oro – Ecuador.

VALAREZO, Aldo. (2010). Agencia de Prensa de El Oro. Prioridad a la Problemática Ambiental Frontera Ecuador - Perú. Publicación. El Oro.

VELÁSQUEZ-LÓPEZ, P., Veiga,M, y Hall, K (2010).Mercury balance in amalgamation in artisanal and small-scale gold mining: identifying strategies for reducing enviromental pollution in Portovelo-Zaruma,- Ecuador, Journal of cleaner production, 18, 226-232.

VELÁSQUEZ-LÓPEZ, P., Veiga,M., Klein,B., Shandro,J y Hall,K (2011).Cyanidation of mercury rich tailing in artisanal and small-sclae gold minig: identifying strategies to manage environmental risk in southern Ecuador, journal of cleaner Production, 19, 1125-1133.

VINOOT Thomas. (1993). Manual sobre contaminación, EE.UU., Editorial Evans, p. 114.

ANEXOS