

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS

PROYECTO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

“MAGÍSTER EN CIENCIAS AMBIENTALES”

TEMA:

ANÁLISIS Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN EN LOS
PECES POR METALES PESADOS, DEBIDO A LA MINERÍA
AURÍFERA EN LOS RÍOS DEL CANTÓN SAN LORENZO EN LA
PROVINCIA DE ESMERALDAS

AUTOR:

CARLOS MANUEL MONTAÑO TORRES

Guayaquil - Ecuador

2017

DEDICATORIA

A mi esposa, Josefina, y a mis hijos: Álvaro, Diego, Javier, Salomé y Carlos

AGRADECIMIENTO

A Dios, que con cariño y profundo respeto le llamo en mis oraciones diarias Padre Celestial y a su hijo, Jesucristo, a quien adoro como el Salvador del mundo.

A mis padres por darme la vida e inculcarme valores y el deseo de ser “alguien en la vida”, junto a ellos están familiares y amigos que siempre fueron eco de que el esfuerzo y visión son el capital supremo de los que logran sus anhelos y sueño.

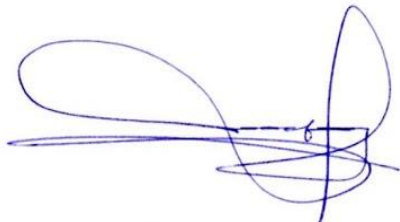
A mi esposa, Josefina, cuyo esfuerzo ha sido mayor que el mío, su participación ha sido el medio que lleguen a mi otras influencias muy positivas, su compañía es el encuentro con los mejores logros obtenidos y este no es la excepción.

Gracias a esta prestigiosa institución de educación superior. ESPOL, en estos dos años de estudios me califican para sentirme politécnico.

Al cuerpo de docentes de la maestría y en general de toda la ESPOL, por los conocimientos, consejos y visión profesional entregados. De forma especial a Fernando Morante Carballo PhD, quién me ha facilitado mucha ayuda como profesor y en particular en la propuesta de remediación implícito en ésta tesis. Y por su puesto a la Ing. Wendy Plata, directora de esta tesis, quién haciendo esfuerzos extras, me brindó todo su apoyo.

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, me corresponde exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the left.

Autor

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



David Matamoros Camposano, Ph.D.

Presidente



Mgtr. Wendy Plata Alarcón

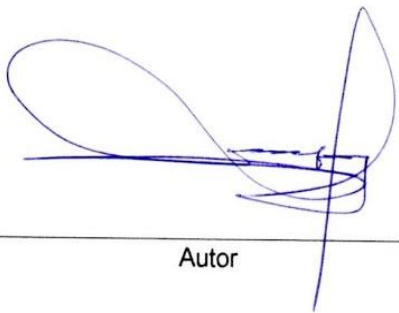
Directora



M.Sc. Nadia Flores Manrique

Vocal

CARLOS MANUEL MONTAÑO TORRES



A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a vertical stroke, positioned above a horizontal line.

Autor

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-----|
| ÍNDICE DE TABLAS..... | ix |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS..... | ix |
| ABREVIATURAS Y SIGLAS..... | xi |
| PRESENTACIÓN | xii |
| CAPÍTULO 1..... | 1 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA..... | 1 |
| 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 1 |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN..... | 4 |
| 1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO..... | 5 |
| 1.3.1. OBJETIVO GENERAL | 5 |
| 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 5 |
| 1.4. ALCANCE..... | 5 |
| 1.5. METODOLOGÍA | 6 |
| CAPÍTULO 2..... | 7 |
| MARCO TEÓRICO | 7 |
| 2.1. DEFINICIONES DE MINERÍA | 7 |
| 2.1.1. MINERÍA ARTESANAL | 8 |
| 2.1.2. PEQUEÑA MINERÍA..... | 8 |
| 2.1.3. MINERÍA A GRAN ESCALA | 9 |
| 2.2. MARCO LEGAL..... | 9 |
| 2.3. METALES PESADOS EN LOS ECOSISTEMAS..... | 12 |
| 2.3.1. MERCURIO..... | 12 |
| 2.3.2. CADMIO..... | 13 |
| 2.3.3. PLOMO | 13 |
| 2.3.4. COBRE | 14 |
| 2.4. HUMEDALES ARTIFICIALES | 14 |
| CAPÍTULO 3..... | 16 |
| ESTADO DEL ARTE..... | 16 |
| 3.1. TECNOLOGÍA DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES..... | 16 |
| 3.2. MINERÍA AURÍFERA ARTESANAL Y REMEDIACIÓN..... | 20 |
| CAPÍTULO 4..... | 28 |
| ANÁLISIS DE SITUACIÓN ACTUAL | 28 |

| | |
|---|----|
| 4.1. ESTADO DE SITUACIÓN DE LA MINERÍA INFORMAL..... | 28 |
| 4.2. FASES DE LA MINERÍA AURÍFERA INFORMAL | 30 |
| 4.3. ANÁLISIS DE CAUSA-EFECTO..... | 32 |
| 4.4. MATRIZ DE LEOPOLD | 34 |
| CAPÍTULO 5..... | 38 |
| EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS..... | 38 |
| 5.1. ORGANISMO DE LOS PECES | 38 |
| 5.2. SEDIMENTOS | 41 |
| 5.3. AGUA DE LOS RÍOS..... | 42 |
| 5.4. MODELO ESTADÍSTICO PARA LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS..... | 48 |
| CAPÍTULO 6..... | 50 |
| PROPUESTA DE MEDIDA DE CONTROL | 50 |
| 6.1. MITIGACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES..... | 50 |
| CAPÍTULO 7 | 57 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 57 |
| 7.1. CONCLUSIONES | 57 |
| 7.2. RECOMENDACIONES..... | 59 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 61 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| TABLA # 1.1 Universidades que apoyan el proyecto Pyramid | 17 |
| TABLA # 1.2 Logros Científico Pyramid..... | 19 |
| TABLA # 4.1 Matriz de Leopold..... | 35 |
| TABLA # 4.2 Interpretación de resultados Matriz de Leopold..... | 36 |
| TABLA # 4.3 Acciones Negativas y Positivas..... | 37 |
| TABLA # 4.4 Resumen Matriz de Leopold | 38 |
| TABLA # 5.1 Evaluación de metales pesados en el Rio Santiago..... | 47 |
| TABLA # 5.2 Concentración de metales pesados en el Río Zapallito..... | 48 |
| TABLA # 6.1 Datos de la columna de la muestra 1..... | 52 |
| TABLA # 6.2 Datos de columna de la muestra 2 | 55 |
| TABLA # 6.3 Resultado final de la absorción muestras 1 y 2 | 55 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1.1 Área de estudio y desarrollo de la investigación..... | 2 |
| FIGURA 1.2 Actividad minera en San Lorenzo..... | 3 |
| FIGURA 2.1 Minería aurífera obtención del oro..... | 8 |
| FIGURA 3.1 Esquema de humedal tratamiento aerobio. | 23 |
| FIGURA 3.2 Esquema de un drenaje anoxico..... | 23 |
| FIGURA 3.3 Esquema humedal de Producción alcalina..... | 24 |

| | | |
|------------|---|----|
| FIGURA 3.4 | Esquema de humedal BRP..... | 25 |
| FIGURA 3.5 | Esquema de un tratamiento fisicoquímico..... | 26 |
| FIGURA | Esquema de un tratamiento Biológico..... | 27 |
| FIGURA 4.1 | Fases de minería artesanal en San Lorenzo..... | 31 |
| FIGURA 4.2 | Esquema de mina en explotación | 32 |
| FIGURA 4.3 | Diagrama CAUSA-EFECTO..... | 33 |
| FIGURA 5.1 | Concentración de metales pesados en (guaña) en R. Zapallito..... | 39 |
| FIGURA 5.2 | Concentración de metales pesados en (guaña) en R. Cachavì..... | 40 |
| FIGURA 5.3 | Concentración de metales pesados en (barbudo) R. Ajos..... | 40 |
| FIGURA 5.4 | Concentración de metales pesados en (cagua) en R. La Boca..... | 41 |
| FIGURA 5.5 | Concentración de metales pesados en sedimento en el R. Cachavì..... | 42 |
| FIGURA 5.6 | Estadística descriptiva del Zn..... | 43 |
| FIGURA 5.7 | Estadística descriptiva del Cu..... | 44 |
| FIGURA 5.7 | Estadística descriptiva del Cr..... | 45 |
| FIGURA 5.8 | Estadística descriptiva del Fe..... | 46 |
| FIGURA 5.9 | Estadística descriptiva del Ni..... | 46 |
| FIGURA 6.1 | Esquema de funcionamiento de las zeolita..... | 50 |
| FIGURA 6.2 | Curva de absorción del catión Zn^{2+} muestra 1..... | 52 |
| FIGURA 6.3 | Curva de absorción del catión Zn^{2+} muestra 2..... | 55 |
| FIGURA 6.4 | Esquema de una propuesta de humedal..... | 56 |

ABREVIATURAS Y SIGLAS

| | |
|-------------------|---|
| ATSDR: | Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades |
| ADM: | Drenaje Minero Ácido |
| ALD: | Drenajes Anóxicos calizos |
| B.M.W.P. | índice rápido de calidad de agua (Hellawell 1978) |
| BPM: | Buenas Prácticas de Manufacturas |
| ENAMI E.P: | Empresa Nacional Minera |
| EU: | Unión Europea |
| E.E.U.U.: | Estados Unidos de América |
| GADPE: | Gobierno autónomo descentralizado de la provincia de Esmeraldas |
| ha: | Hectárea |
| IARC: | Agencia Internacional para la investigación sobre el cáncer |
| SAPS: | Sistema sucesivo de producción de alcalinidad |
| TULAS: | Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria |
| PRB: | Barrera Reactivas Permeables |
| PUCESE | Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Esmeraldas76 |
| PMA: | Plan de Manejo Ambiental |
| OMS: | Organización Mundial de la Salud |
| WGC: | Consejo mundial del oro |
| USEPA: | Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos |

PRESENTACIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en la provincia de Esmeraldas, en el cantón de San Lorenzo, al norte del Ecuador, donde la actividad minera aurífera artesanal a cielo abierto está dejando una huella ecológica con impacto puntual de contaminación. La biota acuática está siendo afectada y el control ambiental en el área de influencia se dificulta debido a que no existe un modelo de gestión ambiental como mecanismo de control de la contaminación, por lo cual, los ríos afectados por metales pesados y por ende la cadena trófica así como los peces que sirven como bio indicadores.

La actividad minera artesanal se desarrolla de forma empírica, lo cual acentúa los impactos ambientales, pasivos ambientales y alteración a los ecosistemas acuáticos y terrestres; considerando que, la población del cantón San Lorenzo tiene en alta estima al “trabajo minero” debido al sustento que representa para familias que dependen de esta actividad. Sin embargo, la afectación de la minería se evidencia en los factores que son vitales para la población, tales como el agua de zonas rurales que actualmente representa el único recurso hídrico para su consumo. Adicionalmente, por análisis previos, se conoce que en el cantón San Lorenzo, existen especies de peces que contienen concentraciones de metales pesados: COBRE, PLOMO, ZINC, NÍQUEL, CROMO, entre otros, mismos que en ocasiones sobrepasan las normativas ambientales.

El propósito de este trabajo es analizar la actividad de minería aurífera artesanal y los impactos ambientales asociados, con la respectiva evaluación de las concentraciones de los metales pesados en peces, sedimento y agua de los ríos. Además, se presentará una propuesta de medida de control ambiental para la mitigación de la alteración que sufren los ríos de primer, segundo y tercer orden, con una aplicación in situ de un humedal artificial a base de zeolitas naturales.

CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El presente proyecto se enfoca en el análisis de los efectos de la **minería aurífera** en los peces y en la presentación de un mecanismo de control para mitigar la contaminación debido a la concentración por encima de los límites permisibles de metales pesados. La minería aurífera consiste en una actividad extractivista, modalidad cielo abierto, en el cantón San Lorenzo, cuyo objetivo es obtener el **oro para fines comerciales**. Según la información proporcionada por los mineros entrevistados en la zona, la extracción aurífera en el cantón San Lorenzo, provincia de Esmeraldas es de vieja data, tuvo su punto álgido en la década del 2000 debido a la inyección de capitales foráneos.

En el año 2013 hubo una gestión gubernamental que consistía en la expropiación e incautación de las máquinas excavadoras destinadas a la actividad minera artesanal, aplicando el principio de Derecho Ambiental Internacional "**Quien contamina paga**" de la OCDE, mismo que ha sido acogido en el Código Orgánico del Ambiente (COA, 2017); y, dando cumplimiento a la Ley de Gestión Ambiental del Ecuador vigente en ese entonces (Ley-Gestión-Ambiental, 2004), con la finalidad de frenar dicha actividad y mitigar el impacto ambiental en los ríos aledaños a las instalaciones mineras; sin embargo, hasta el momento esto no ha sido posible ya que los mineros se han internado en el área rural y siguen operando de forma clandestina.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Cantón San Lorenzo, según el GADPE (*Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Esmeraldas*), está ubicado en la frontera Norte de la Provincia

de Esmeraldas, al Norte limita con la República de Colombia, hacia el Sur con el Cantón Eloy Alfaro, al Este con las Provincias de Carchi e Imbabura y hacia el Oeste con el Océano Pacífico, las coordenadas geográficas del cantón oscilan desde los 78° 48' 20" hasta 78° 50' 30" longitud oeste; y, 01° 15' 30" hasta 01° 17' 40" Latitud Norte. Véase Figura 1.1.



Figura 1.1: Área de Estudio
Fuente: Wikimedia Commons

San Lorenzo posee una extensión territorial de 305.067,04 ha, con una población de 42.486 habitantes, de acuerdo al último censo de población y vivienda del INEC; está conformado por 12 parroquias rurales, que son: Ancón de Sardinias, San Javier, Tululbí, Mataje, Tambillo, Calderón, Santa Rita, Urbina, Alto tambo, Cinco de Junio, Concepción y Carondelet, mismas que constituyen el 80% de las estaciones muestrales analizadas en este proyecto. Además, éstas se encuentran bañadas por la cuenca del río Santiago, que ha sufrido el impacto ambiental más severo, desde el punto de vista de la concentración, movilidad de contaminantes, es decir, metales pesados en concentraciones por encima de los límites permisibles por la normativa ambiental vigente, y su área de influencia sobre la población debido a la minería aurífera, considerando que estos cuerpos de agua representan la única fuente de abastecimiento del recurso hídrico para la población de esta zona.

En los últimos diez años la actividad minera en el cantón San Lorenzo ha tenido un incremento considerable; ésta involucra a inversionistas denominados “mineros” y a personas dedicadas a actividades operativas en la mina. Se estima que alrededor de unas 4000 personas están distribuidas en las 200 minas de la zona, con una producción de 100 millones de dólares anuales a nivel local, sin perjuicio de los impactos generados, especialmente en la los recursos hídricos, (Indeglia, 2012). En tanto que, las consecuencias de la extracción de metales pesados son desconocidas por la población del cantón, así como por los inversionistas e inclusive por el personal operativo de las minas, en cuanto a los impactos ambientales en el medio físico, biológico y social, constituyéndose esta afectación en una alteración de los ecosistemas de los ríos y la superficie terrestre.



Figura 1.2: Actividad minera en cantón San Lorenzo
Fuente: Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (PUCESE)

La minería aurífera artesanal es un proceso agresivo que ocasiona alteraciones en los ecosistemas; por tal motivo, en este trabajo se analizará la problemática de la contaminación en los peces, debido a la alta concentración de metales pesados (Cu^{2+} , Fe^{3+} , Zn^{2+} , Cr^{3+} , Hg^+ , Ni^{3+} , Pb^{4+}) en los cuerpos hídricos y sedimentos, generándose una bio-acumulación como inicio de una reacción en cadena que podría afectar a los habitantes de la zona, a través del tránsito fluvial de la contaminación y la ingesta de biota acuática no apta para el consumo humano.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La importancia del presente proyecto radica en la determinación del grado de contaminación en los peces debido a la concentración de metales pesados en los ríos ubicados en zonas de minería aurífera artesanal y que sirven de abastecimiento de agua para la población del área rural. Alrededor del 50% de la población del cantón San Lorenzo desarrolla sus actividades diarias en el área rural, siendo el pescado el principal componente de la dieta de los habitantes; y, a esto se suma que el área rural del cantón carece de sistemas de potabilización de aguas. Por lo tanto, la contaminación por metales pesados pone en alto riesgo la salud de la población del cantón, fuente de contaminación que fácilmente podría extenderse a otros sectores de la provincia y demás lugares que entren en contacto con estos factores contaminantes.

La propuesta de mitigación a la problemática planteada en este estudio consiste en el desarrollo de **humedales artificiales a base de zeolitas naturales**, como mecanismo de control para mitigar los efectos de la contaminación en los ríos pues éstos son el hábitat de los peces. La tecnología de humedales es la tendencia mundial en una diversidad de tratamiento de aguas, según Juan José Rodríguez Salas, (Salas, 2017) Director de CENTA (Centro de Nuevas Tecnologías del Agua) España. La utilización y reutilización de las zeolitas en el sitio de trabajo, hace que este proyecto sea altamente económico. Consecuentemente, se garantizará una adecuada disposición final de los metales pesados, reduciendo los impactos en la salud del personal que labora en las minas; y, finalmente se proveerá de agua segura para los ecosistemas.

Con los sistemas de humedales artificiales para aplicar la remediación in situ de los drenajes mineros en nuestro caso particular de las actividades mineras auríferas artesanales en el cantón San Lorenzo. La aplicación de estos sistemas son básicamente de una inversión en bienes de capital y hay una seria disminución en mantenimiento y energía. Esto se debe debido a que se utiliza la superficie donde está la mina y el caudal corresponde a un desplazamiento de gravedad.

1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.3.1.OBJETIVO GENERAL

Analizar la contaminación por metales pesados en los peces, debido a la minería aurífera en los ríos del cantón San Lorenzo en la provincia de Esmeraldas, para la selección de una adecuada medida de control ambiental.

1.3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar un análisis de situación actual para la identificación de las causas de impacto ambiental de la minería aurífera artesanal en San Lorenzo.
- Evaluar la concentración de metales pesados en el organismo de los peces, el agua de los ríos y sedimentos, para la verificación del cumplimiento de la normativa ambiental.
- Diseñar un modelo estadístico que explique la contaminación por metales pesados en una especie de pez en un río donde se desarrolla la minería aurífera.
- Proponer una medida de control ambiental para la mitigación de los efectos de la contaminación en los ríos debido a la minería aurífera artesanal.

1.4. ALCANCE

El presente estudio se efectuará en los ríos del cantón San Lorenzo, provincia de Esmeraldas, Ecuador, donde se desarrolla la minería aurífera. La base de este análisis serán las especies de peces: **guaña, cagua y baboso**, debido a su abundancia en la captura para los análisis químicos y su alto consumo en la población. Se evaluarán las concentraciones de metales pesados en la cuenca del Río Santiago, para la selección de una medida de control, con base en los resultados del análisis del impacto ambiental causado por la concentración de metales pesados en los peces, sedimentos y el agua de los ríos. El período de recolección de datos corresponde a los años 2013 y 2017.

1.5. METODOLOGÍA

En este proyecto se aplicará la Metodología de Mejora Reactiva:

- **Planteamiento del Problema:** Se analizará la situación actual de la actividad minera y sus impactos en el medio ambiente, a través de un diagnóstico ambiental.
- **Recolección y análisis de datos:** Se analizará estadísticamente la concentración de metales pesados en los peces, sedimentos y ríos de los alrededores de las instalaciones mineras, considerando los protocolos de muestreo y la logística de abastecimiento de los materiales.
- **Análisis de causas:** Se realizará un análisis de causa-efecto, mediante el uso de la técnica del Diagrama de Ishikawa.
- **Evaluación de los efectos:** Evaluación del modelo estadístico; y, depuración de tres metros cúbicos de agua por hora.
- **Planificación e implementación de la solución:** Se presentarán soluciones de tipo estadístico y medio ambiental:
 - a. construcción de un modelo estadístico para explicar la concentración de metales pesados en los peces, sedimento y agua
 - b. diseño de un humedal artificial de zeolitas para la depuración de metales pesados en los cuerpos hídricos.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se explicarán los conceptos y temáticas requeridos para la comprensión del contexto en el que se desarrolla este proyecto, con la finalidad de que el lector se enfoque en el marco de acción de la minería aurífera artesanal y los efectos que ésta lleva consigo sobre los ecosistemas.

2.1. DEFINICIONES DE MINERÍA

La actividad minera, representada por el sector primario y tiene como objetivo la búsqueda, extracción y comercialización de los minerales, como oro, carbón, plata y cobre etc., existentes sobre o bajo la superficie terrestre, la actividad minera es una industria que moviliza centenares de millones de dólares a nivel mundial y fomenta la actividad económica en forma directa e indirecta de servicios e inmuebles, el gran desafío de la industria minera es convertirse en una actividad sostenible, sustentable y responsable.

Según la Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM), en el 2014 la actividad minera en general alcanzó su más alto acopio de oro y plata y por ende su máximo nivel en ventas; 28.573 kilogramos que equivale más de mil millones de dólares para el país. (BCE, 2017)

La minería aporta actualmente al PIB nacional el 0.7% y la meta es alcanzar el promedio de la región del 4% hasta el 2025, año en el cual se espera recibir \$ 8.000 millones de dólares. (Telégrafo, 2016)

Y según el Banco Mundial, con fecha 30 de Junio 2016 la Industria minera se ha adjudicado contratos 14.5 billones de dólares (Bancomundial, 2016)

Para ampliar la comprensión de la minería es importante definir las diferentes modalidades (Artesanal, Pequeña y minería a Gran Escala) como se desarrolla la actividad minera.

2.1.1. MINERÍA ARTESANAL

En el presente estudio con objeto de describir la actividad minera en San Lorenzo definiremos a la minería artesanal de la siguiente manera, este tipo de minería utiliza instrumentos rudimentarios y maquinaria pesada para mover tierra, la cual es lavada con un flujo continuo de agua sobre una zaranda o banda granulométrica que permite el paso de un tamaño específico de material de mina que se espera tenga la posibilidad de contener oro, a medida que sigue su lavado. Las partículas de oro más pesadas se asientan y se recogen, mientras que, el agua y el suelo al granel se descargan, **estas descargas son las que forman las escorrentías que llevan los metales pesados a los ríos**, en este proceso existe una parte del oro que a menudo es arrastrado en el suelo; y, cabe recalcar que para extraer este oro se requiere de mercurio o cianuro. Véase Figura 2.1.



*Figura 2.1: Minería aurífera por lavado continuo
FUENTE: Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas(PUCESE)*

2.1.2. PEQUEÑA MINERÍA

En la pequeña minería se consideran el área de concesiones, la producción, las inversiones y condiciones tecnológicas para aquellas minas con capacidad de hasta 300 toneladas métricas por día y una producción de hasta 800 toneladas

por día. Esta actividad en el Ecuador se encuentra regulada por *Art. 14 del Reglamento General de la ley minera*, normas especiales, así como la normativa que promueve la asistencia técnica respecto a seguridad y manejo ambiental. (MINERA, 2015)

2.1.3. MINERÍA A GRAN ESCALA

Esta actividad extractivista con fines comerciales, tiene una duración a largo plazo, en ella se emplean equipos modernos, personal altamente calificado y tecnología de punta, con la finalidad de cumplir las metas de productividad de las empresas de explotación minera, optimizando tiempo y recursos; sin embargo, en la legislación minera ecuatoriana no se ha evidenciado parámetros específicos para su clasificación en cuanto a capacidad instalada de explotación y producción. “La Minería una perspectiva de desarrollo”. (Domínguez, 2013)

2.2. MARCO LEGAL

Como toda actividad con fines de lucro y con personería jurídica o natural, la actividad minera, se desarrolla dentro de un marco legal vigente, el cual según F. Bustos (2016), en el Ecuador los parámetros para establecer las políticas de medio ambiente, están basados en las leyes, normas, acuerdos ministeriales, reglamentos y ordenanzas municipales.

El Ministerio del Ambiente es el agente rector del Estado Ecuatoriano, encargado de diseñar las políticas ambientales y coordinar las estrategias, los proyectos y programas para el cuidado de los ecosistemas. Con esta finalidad el ministerio del ambiente se apoya en los siguientes cuerpos legales.

- *La Constitución* de la República del Ecuador, promulgada en el R.O. 449 del 20 de Octubre del 2008, en el **TITULO II SECCION SEGUNDA Art. 15** “*El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto*”. Este proyecto tiene como propósito presentar esta alternativa para que se la considere como un mecanismo de mitigación ambiental en áreas de contaminación por minería aurífera artesanal, de tal manera que,

este proyecto de trabajo acentúa otro mandato constitucional que estipula. **CAPITULO 6 Art. 27.** "El derecho de vivir en un ambiente sano ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza "

- En 1972 la ONU (Organización de Naciones Unidas), presidió una reunión sobre "Medio Humano", de donde se da origen a la DECLARACIÓN DE ESTOCOLMO, es aquí que empieza EL **DERECHO AMBIENTAL INTERNACIONAL**. Según el Derecho Internacional Ambiental "El que contamina paga", y adoptado por nuestra legislación ambiental vigente, estamos sujetos a este derecho como persona natural o jurídica a. **Art. 3** de la **Ley de Gestión Ambiental, promulgada en el R.O. 245 el 30 de Julio de 1999.** "El proceso de Gestión Ambiental, se orientará según los principios universales del Desarrollo Sostenible, contenidos en la declaración de Rio de Janeiro 1992, sobre el medio ambiente y desarrollo".

Es importante enfatizar que la Ley de Gestión Ambiental se orientará de acuerdo a los "principios del derecho internacional", esto implica que estos principios tienen carácter vinculante, es decir, se debe cumplir con sus disposiciones, así, Ecuador es miembro de varios convenios internacionales como por ejemplo: Biodiversidad, Zonas Intangibles etc.

- **La Ley para la prevención y control de la contaminación ambiental R.O.245 del 30 de Julio de 1999**, tiene gran relación con la Ley de Gestión Ambiental por que aborda o complementa la protección a los siguientes factores que revisten gran importancia.

CAPITULO V De la contaminación del aire

CAPITULO VI De prevención y control de la contaminación del agua

CAPITULO VII De la prevención y control de los suelos

- Con estas leyes antes mencionadas, se complementa el **Texto Unificado de la Ley Secundaria de Medio Ambiente** (TULMA), que consta de nueve libros con sus respectivos anexos representativos y particularizados, además trata los procedimientos, jurisdicción, control a nivel regional y da mayor cobertura a los ecosistemas y su interrelación entre los mismos. La actividad minera en el cantón San Lorenzo tiene una afectación puntual sobre la flora y esto causa la movilidad de especies endémicas, por eso es importante citar a la
- **Ley Forestal y de conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre R.O. 418 10 de Septiembre del 2004**

Otra función que desempeña el ministerio de medioambiente es hacer reformas, cambios, de acuerdo a la circunstancia, con la finalidad de proteger el capital natural, todos estos reglamentos deben de ser aprobados por las autoridades de control y ejecutivo, como por ejemplo: Acuerdo Ministerial número 037.

- **Reglamento ambiental de actividades mineras del 24 de marzo de 2014 y posteriormente en el 2015** “El Reglamento tiene por objetivo estimular e incentivar el desarrollo Sustentable, Sostenible y Responsable de la minería en el Ecuador”. En este sentido el Reglamento de participación de los Mecanismos de participación social. Regula la aplicación de los artículos 28 y 29 de la Ley de Gestión Ambiental, la finalidad de este reglamento es garantizar el “derecho” de todo habitante de vivir en un ambiente sano (Bustos, 2016).

De esta manera, se protege a los ríos y todos los ecosistemas vinculados a cualquier actividad que, al entrar en operaciones produzca impactos ambientales negativos, así en las actividades mineras auríferas en el cantón San Lorenzo, lugar donde nace este proyecto de investigación, los ríos están contaminados por metales pesados, de acuerdo a los resultados de análisis de laboratorios acreditados que revelan concentraciones de metales pesados por encima de la norma ambiental vigente.

2.3. METALES PESADOS EN LOS ECOSISTEMAS

Entre los organismos internacionales facultados para el análisis de los metales pesados y sus efectos sobre los ecosistemas, se encontró que la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos ha determinado una lista de contaminantes prioritarios en la que los metales tóxicos son: arsénico, cromo, cobalto, níquel, cobre, zinc, cadmio, mercurio, titanio, selenio y plomo, (EPA, 2017). En este sentido, la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades

Tiene en su página ensayos y artículos para alertarnos sobre los riesgos e impacto ambiental con determinadas sustancias que en nuestro estudio sería elementos químicos que han perdido o ganado electrones en su configuración electrónica, es decir, cationes/aniones (metales pesados) (ATSDR, 2017)

Considera entre los elementos más peligrosos al plomo, mercurio, arsénico y cadmio.

Los efectos que estos elementos tienen sobre la salud del ser humano dependen de la naturaleza del compuesto, la ruta de exposición, la cantidad del contaminante y el tiempo de exposición. Las vías de exposición pueden ser por la inhalación de humos o aire contaminado, ingesta de alimentos y/o agua contaminada, consumo de medicamentos, o por contacto directo con la piel. Según (Pezo, 1992), existen límites permisibles de concentración de los metales pesados en el agua, los peces, los sedimentos y el suelo; y, a continuación se citan los principales contaminantes y su relación con la cadena trófica.

2.3.1. MERCURIO

Según (Pezo, 1992) El planeta contiene frecuentemente niveles de mercurio de 2 a 10 ppm, la mayor parte en la forma inorgánica, mientras que, en los peces varía desde 0.01 a 2 ppm, con una fracción significativa de metil mercurio unido a proteínas no disuelto en grasa, como es el caso de cierta clase de hidrocarburos. Consecuentemente, el contenido de mercurio en los peces no depende de la presencia de grasa sino más bien de su nivel trófico, tamaño y edad. La actividad minera en San Lorenzo de acuerdo con este autor sería altamente peligrosa debido a que el nivel trófico es extenso por volumen de agua

y por los ecosistemas que dependen de estos recursos de agua directamente e indirectamente. En el caso particular de San Lorenzo no es muy frecuente la presencia de mercurio. Por cuanto no se necesita un potente separador del oro unido a otros metales o amalgama, por cuanto el oro se mezcla en sólidos con la arenisca (arena negra).

2.3.2. CADMIO

En el caso de las concentraciones de Cadmio en este presente estudio son por movimiento de tierra en la consecución de una mina para ser explotada, por cuanto en San Lorenzo no se ha desarrollado significativamente la industria metalmeccánica o a fines y según (Pezo, 1992) este metal pesado en aguas superficiales proviene de los efluentes de galvanoplastia; así como, puede ser de origen alimentario, proviniendo de vasijas barnizadas y de utensilios de cocina galvanizados. En agua dulce, el cadmio frecuentemente unido a sustancias orgánicas, especialmente en plantas que contienen clorofila. Es posible que mamíferos acuáticos como las nutrias, para el caso de los mismos contengan en sus riñones hasta 500 ppm de cadmio. Estas concentraciones causarían serios daños renales en el hombre. Los efectos biológicos de estos niveles de cadmio en nutrias marinas y acuáticas, en sus organismos son desconocidos. La dosis tóxica de cadmio por ingestión es aproximadamente del 5 al 10% de lo absorbido es acumulado en los riñones bajo la forma de metalotionina, siendo su período biológico entre los 16 a 33 años. El nivel crítico en el córtex renal es de aproximadamente 200 mg/kg. Situándose el nivel normal entre los 20 y 100 mg/kg para un hombre de 50 años

2.3.3. PLOMO

Al igual que el mercurio, el plomo tiene una presencia muy escasa y se debe a las mismas causas. En ocasiones el incremento del plomo obedece a causas externas, ajenas a la actividad minera. Según (Pezo, 1992) El plomo al igual que el mercurio entra al sistema acuático, vía escurrimiento atmosférica. El plomo en los ríos podría ser insoluble si está adherido a partículas orgánicas o inorgánicas,

o soluble en la forma de quelatos o complejos inorgánicos. Las aguas superficiales no contaminadas no deben sobrepasar de 0.1 mg/l. de concentración. Algunas especies de plantas tienen una gran tolerancia para el plomo que concentran a partir del suelo, formando complejos con las sustancias húmicas. La vida acuática puede perturbarse a partir de 0.1 mg/l. Pudiendo los efectos tóxicos manifestarse en los peces a partir de un 1 mg/l. No obstante, la acción tóxica es variable según las especies y el grado de mineralización del agua.

2.3.4. COBRE

Según (Pezo, 1992) el cobre además de las vías antes mencionada para los demás metales, se encuentra en el agua por desintegración orgánica principalmente de insectos donde forma parte de la sangre de los mismos en forma de globina denominado Hemocianina. Puede también encontrarse trazas del mismo (compuestos de Fe), es decir inferior a 1 mg/l., en ciertas aguas naturales, superiores a este límite, como toxicidad relativa se encuentran como aportes en la alimentación, es decir, no representa un grado de contaminación, sin embargo, el sabor metálico y astringente de sus sales aparece en dosis de 4 a 5 mg/l salvo para algunas especies (Salinoidos), no parece que los contenidos inferiores a 1 mg/l. sean tóxicos para los peces. Por contra, la vida acuática puede perturbarse con dosis inferiores; pero las condiciones de toxicidad varían según las especies y la composición del agua (oxígeno disuelto, anhídrido carbónico, temperatura, calcio y magnesio entre otros).

2.4. HUMEDALES ARTIFICIALES

Los humedales artificiales, como su propio nombre indica, son zonas inundadas construidas por el hombre, en las que se generan procesos físicos, químicos y biológicos de eliminación de contaminantes que ocurren normalmente en los humedales naturales. En este sentido, se consideran humedales, "las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas

o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”. (CONVENIORAMSAR, 2012)

En las zonas denominadas “humedales” viven y se desarrollan distintos tipos organismos (animales y vegetales) adaptados a estas condiciones de inundaciones. En este tipo de ecosistema se desarrollan ciertos procesos físicos y químicos capaces de depurar el agua ya que eliminan grandes cantidades de materia orgánica, sólidos en suspensión, y minerales (nitrógeno, fósforo,...) e incluso productos tóxicos (plomo, mercurio,...).

En Ecuador existen varios tipos de humedales, los mismos que se han visto seriamente afectados por acciones antrópicas que han afectado la vida de los ecosistemas existentes y de manera indirecta restringiendo sus servicios ambientales en fauna y flora; por lo tanto, los humedales artificiales constituyen una protección al medio ambiente y por ende al hombre como medio y fin del patrimonio natural.

CAPÍTULO 3

ESTADO DEL ARTE

3.1. TECNOLOGÍA DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES

La administración de esta tecnología, (HUMEDALES ARTIFICIALES) está a cargo del consorcio PIRAMID (Remediación Pasiva in situ de Drenaje Minero e Industrial), que consta de un organigrama jurídico-científico como soporte a nivel mundial para su ejecución y desarrollo, el financiamiento que permite sus operaciones es con fondos del quinto programa de Investigación y desarrollo tecnológico de la comisión europea (Número de contrato EVK1-CT-1999-000021) (ERMISA, 2006) . El desarrollo de estas tecnologías tuvo su inicio en 1993 en E.E.U.U. Y Después de ello en el Reino Unido para luego introducirse en Europa, siendo esta el musculo económico de inversión. Además las tecnologías de tratamiento pasivo no están restringidas a actividades metalíferas. Por ejemplo en E.E.U.U. y Canadá los hidrogeólogos han desarrollado sistemas pasivos para el tratamiento sub superficial in situ de aguas subterráneas contaminadas por compuestos orgánicos.

Refiriéndose a esta tecnología ERMISA (Regulación de Aguas de Minas para Sudamérica) dijo: “Una de las tecnologías más prometedoras desarrolladas en el campo de los sistemas de “tratamiento pasivo”, en los cuales se introducen reactores biogeoquímicos (Sistemas de Humedales Artificiales), en la cual la trayectoria del drenaje contaminante pasa a través de los humedales por flujo de gravedad ocurriendo diversas reacciones biogeoquímicas beneficiosas” (ERMISA, 2006)

En cuanto al desarrollo experimental y logros científicos de PIRAMID se ha sostenido por medio de las siguientes metodologías de aplicación.

- La investigación de campo se realizó en sistemas pasivos a gran escala en diversos países de Europa.

- Los sistemas pasivos carecen de energía impulsadora.
- Se trataron una variedad de compuestos (lixiviados), elementos (cationes) y desechos mineros de uranio en varios países.

Ventajas

- Gasto energético nulo, debido a que el proceso de depuración lo realizan las zeolitas naturales.
- Disminución de olores. Destaca que los humedales de flujo subsuperficial el agua no está en contacto con la atmosfera y reduce drásticamente la generación de olores y mosquitos.
- Facilidad en la explotación. Se reducen las averías al carecer de equipos mecánicos, y la operación es menos complicada, menos peligrosa, y requiere menos medios para mantenerla en su punto óptimo.
- Programa de mantenimiento más sencillo y fácil de seguir.
- *Ecológico Y Económico. (Anexo)*
- Optima disposición final; a diferencias de bacterias y plantas, las zeolitas se las vuelve a utilizar.

Tabla 3.1: Universidades que sostienen el Proyecto PIRAMID

| UNIVERSIDADES | COORDINADOR | JEFE CIENTÍFICO |
|---|-----------------|-------------------------|
| NEW CASTLE Upon Tyne Uk. | Paul L. Younger | Lasley Batty |
| Concejo Superior de Invest. Científica (csic) | | Carlos Ayora |
| Universidad Politécnica de Cataluña España | | Jesús Carrera |
| Universidad de Umea, Suecia | | Lars Largren |
| Universidad de Minas de OVIEDO, España | | Jorge Coredo |
| Centro para Geo ciencia, U. de Jena, Alemania | | Martín Caüter |
| T.U. Barkademie Freiberg, Freiberg, Alemania | | Christian Wolkersdorfer |
| IRGO- Slovenia | | Mirian Vaseline |
| Universidad Montpellier II Francia | | Mark LeBlance |

Fuente: PIRAMID (Remediación Pasiva in situ de Drenaje Minero e Industrial)

Por otro lado se observa el aval científico de PIRAMID, en la cual están inmersas las mejores universidades de la U.E. (Unión Europea) con su respectivo

representante científico. Esto le permite la creación de conocimiento para mitigar impactos ambientales en circunstancias más prácticas y con el menor costo estructural y mantenimiento, ya que las tecnologías alternativas presentan estos inconvenientes. Los humedales artificiales cualquiera sea su composición o finalidad en la mayoría de los casos se utiliza como estructura, la geografía superficial in situ donde se localice el impacto ambiental o donde se desarrollará la mina para la explotación metalífera. Véase Tabla 3.1.

Otro beneficio importante es la no utilización de energía como fuerza de tránsito del caudal, puesto que en el diseño se emplea una pendiente que dé origen a un movimiento gravitatorio que permita cumplir con la depuración que se persigue, en este proyecto se utilizó las zeolitas naturales como barreras reactivas que cumplieron la función de adsorbentes de metales pesados.

De tal manera, que la cantidad de zeolitas a utilizarse, es directamente proporcional a los miligramos de metal pesados absorbidos en el sistema diseñado. En la Tabla 3.2 se presentará los logros experimentales realizados que aportarán a la comunidad de investigadores procedimientos y resultados que representarán un horizonte de seguimiento y replicación para encontrar soluciones prácticas a los desafíos de contaminación en las diferentes modalidades de la actividad minera, que es una de las industrias con mayor consumo de agua, por lo tanto, es propio tener un sistema apropiado a la actividad minera para tratar sus drenajes mineros, de tal manera que, se mitigue la contaminación sobre los cuerpos hídricos, suelos etc. procediéndose a un tratamiento previo de los efluentes mineros.

De acuerdo a la Tabla 3.2 de logros experimentales de PIRAMID, constituyen la base para el desarrollo sustentable y sostenible de la actividad minera, esta meta de convertir a la actividad minera en sostenible ha llevado al Estado Ecuatoriano ha desarrollar algunas acciones para su realización.

La empresa minera ENAMI, cuya existencia cesó meses atrás había emprendido la regulación de este sector, sin embargo, todavía existen una cantidad considerable de actividad minera informal que la ley minera vigente apuesta a regular con el Art. 14 referente a requisitos para convertirse en pequeña minería y que referenciamos en este proyecto.

Esto comprende necesariamente la implementación de tecnologías limpias; sin embargo, esta intención ha tenido algunos desafíos. Por ejemplo, según obreros mineros, la disposición del capital financiero para afrontar el cumplimiento de los requisitos del Reglamento de la Ley Minera vigente es uno de los mayores obstáculos

En este sentido, es necesario éstos capitales para financiar nuevas tecnologías y la aplicación de los siguientes logros. Los resultados en humedales artificiales podrían tener gran aplicación en casos de impactos ambientales, teniendo presente que existe una deficiencia de estructuras sanitarias a lo largo y ancho de nuestro país, donde todavía tenemos tuberías que conducen aguas servidas en condiciones anti-técnicas y altamente insalubres y con un riesgo inminente para la población.

Tabla 3.2: Logros del Consorcio PIRAMID

| CONTAMINANTE | TIPO DE SISTEMA (HUMEDAL) | TASA DE REMOCION POR UNIDAD DE SUPERFICIE (g-d-m ²) | COMENTARIO |
|--------------|---------------------------------------|---|---|
| As | H. Aeróbicos | 18 | Reacción catalizadas por bacterias en condiciones ácidas. |
| Cd | H. Compost | 0.02 | El Cd puede ser inmovilizado como sulfito dentro del sustrato anóxico. |
| CN- (WAD) | H. Compost | 4 | Resultados de PIRAMID en Asturias España. |
| Cu | H. Aeróbicos dominados por phragmites | 0.05 | Humedal no diseñado, flujo relativizado, remoción sobrestimada. |
| Mn | H. Aeróbico | 0.5 | Se obtuvieron mejores tazas en climas más calientes con crecimiento de algas. |
| U | H. Aeróbico | 0.1 | Único resultado en Borst Eslovenia. |
| Zn | H. Aeróbico con algas flotante | 7 | Varia con las estaciones del clima |

Fuente: Regulación de Aguas de Minas para Sudamérica (ERMISA, 2006)

Estos analitos registrados como resultados son uniformes en circunstancias similares. Por lo tanto son de especial interés para los impactos ambientales producidos por la actividad minera aurífera artesanal en forma particular, sin dejar de tener importancia en otras áreas de producción del país.

Siguiendo con los ensayos presentes en el cuadro anterior de logros de PIRAMID existen cationes como Zn^{2+} , Cu^{2+} , Cn^{1-} , Cd^{2+} que son de gran interés en las actividades mineras de cualquier modalidad, como también están los drenajes ácidos, con estos ensayos y cantidad de remoción por unidades de masa de absorbatos, se podrá inferir in situ su aplicación en las actividades mineras.

En la propuesta de este proyecto se utilizarán las zeolitas naturales como barrera reactivas, para depurar las aguas de los ríos pertenecientes a la cuenca del rio Santiago en el cantón San Lorenzo, con una remoción en laboratorio del 80% de la muestra 2 y del 14% muestra 1, utilizando un sólo catión (Zn^{2+}).

Los humedales artificiales tienen la particularidad de funcionar, según cuadro de logros de PIRAMID en diferentes circunstancias (aerobio, anaerobio, compost, con algas flotantes etc.), lo cual reviste importancia debido a que las circunstancia y entorno de los impactos ambientales y explotación de las minas auríferas marcan diferencia.

La variedad de humedales artificiales utilizados en ensayos experimentales da a las diferentes modalidades de la actividad minera, alternativas de acuerdo a sus objetivos e impactos ambientales y capacidad instalada (Grande, Mediana Pequeña y minería), así definiremos las diferentes modalidades de la actividad minera a continuación.

3.2. MINERÍA AURÍFERA ARTESANAL Y REMEDIACIÓN

La minería aurífera artesanal ha ocasionado diversos impactos ambientales en el cantón San Lorenzo de la provincia de Esmeraldas, tal que, existe evidencia de que alrededor de quince ríos y esteros están contaminados en esta zona del país, donde se han reportado problemas de salud en la población y los expertos señalan que la remediación ambiental tardaría al menos diez años.

Entre los ríos contaminados están: Cachaví, Negro, Bogotá, Tabalera, Cuchiví, Santiago, estero Saladero, Achayacu, Zapallo, La Herradura y Estero María; presumiéndose que la red hídrica en la zona de San Lorenzo. En este sentido, años atrás se publicó un informe técnico en el cual se verificó a través de un análisis físico-químico, la calidad del agua en el Cantón San Lorenzo, concluyendo que la misma está contaminada por metales pesados, (SENAGUA, 2012)

Según E. Rebolledo., et Al 2013, los efectos de la contaminación por actividades mineras informales son la causa de la contaminación por metales pesados en peces, utilizando el Índice Rápido de Calidad de Agua **B.M.W.P** (Hellowell 1978) (J. Alba-Tercedor., 1988), aplicando un sondeo ecológico en un área de explotación minera, este índice asigna un número del 1 al 10 por familia de especies y su cómputo total permite la clasificación de la contaminación, entre más alto es el número más grave es la contaminación, en Esmeraldas determinó que ciertas comunidades de peces estaban afectados por metales pesados. Considerando necesario que al examinar las aguas se empleen los estándares internacionales (Methods, 2012). Los protocolos de captura de especies en este proyecto se desarrollaron básicamente teniendo una custodia de frío constante, es decir, de la captura de los peces hasta el laboratorio para su análisis, envases para su transporte previamente rotulados, la captura fue hecha por nativos de la zona

En cuanto a las alternativas de remediación de la contaminación en cuerpos hídricos, se tienen las tecnologías de tratamiento de aguas, que pueden ser **físicas, químicas, biológicas** y en el caso de tratamientos de aguas residuales se emplearían en forma conjunta de acuerdo a la naturaleza del tratamiento. Según (Hallberg, 2005), existen dos tipos de tratamientos para mejorar la calidad del agua:

- a) **TRATAMIENTO ACTIVO.**- Emplea métodos de consumo continuo de energía y reactivos.

b) TRATAMIENTO PASIVO.- Aplica procedimientos naturales, prescindiendo del consumo de energía y reactivos.

En las minas en actividad de explotación, por lo general, se aplican los tratamientos activos, a pesar de los costos de mantenimiento y la inversión, debido a que posibilita el control del proceso y una absorción o retención eficiente de los metales; mientras que, en minas abandonadas, con frecuencia se aplican tratamientos pasivos, debido a la menor inversión y los costos asociados, ya que utilizan energías naturales como la gravedad y fotosíntesis.

En el marco de los tratamientos para la mejorar de la calidad del agua en los ríos, se puede incluir el uso de recursos naturales estudiados en la Geología .Según las comunicaciones del XVII Simposio de enseñanza de Geología, ésta es una herramienta para solucionar problemas ambientales actuales: remediación de contaminantes mineros en la faja piritica ibérica fpi. (Canovas R., 2013)

Entre las alternativas más aplicadas en la remediación de contaminación del agua, que integran a la Química, Física, Geología y Microbiología se encuentran: humedales, drenajes, alcalinidad, barreras reactivas, tratamientos fisicoquímicos y biológicos. (Indeglia, 2012)

Humedales aerobios o anaerobios.- Reproducen los fenómenos observados en humedales naturales, favoreciendo el desarrollo de las plantas higrófilas (juncos, typha, etc.) y organismos (algas, protozoos, bacterias, etc.) que participan en la depuración de aguas, Véase Figura 3.1. Según Dante (2016) las principales reacciones que se producen en los humedales son:

- Precipitación de óxidos e hidróxidos metálicos por oxidación e hidrólisis
- Procesos de filtración de la materia particulada en el sustrato
- Absorción de metales en las partículas del lecho
- Bio-acumulación metálica en planta



Drenajes Anóxicos Calizos.- Según (Pushini, 2017). Uno de los mayores problemas de la minería es el drenaje ácido (DAM). La acción de la caliza en los suelos es neutralizar la acidez y el incremento de saturación en base, cambios en los ratios de cationes básicos absorbidos y disuelto, incremento del pH del suelo, lo cual afecta, además, a la solubilidad de algunos compuestos, se produce la inactivación de concentraciones tóxicas del Al y Mn y otras sustancias; la fijación del Nitrógeno y la mineralización aumenta, al incrementar el pH y la saturación en base, la concentración de los electrolitos aumenta con la disolución de la caliza”. Véase Figura 3.2.



Figura 3.2: Esquema de Drenaje Anóxico, (Pushini, 2017)

Se diseña una zanja a cierta profundidad (1m - 2m) para mantener condiciones anoxias, rellena con grava de caliza u otro material calcáreo, sellada a techo por una capa de tierra arcillosa y una geo membrana impermeable. El agua ácida contaminada se hace circular por el interior de zanja provocando la condiciones anoxias del sistema se evita la precipitación los óxidos e hidróxidos, y de éste modo el recubrimiento grava caliza, manteniéndose su eficacia como fuente generadora de alcalinidad. (Pushini, 2017).

Sistema sucesivo de producción de alcalinidad.- Según (Dante, 2016). “La hidrología es el factor de diseño más importante en los sistemas de tratamiento pasivos, ya que vincula todas las funciones del sistema. Los sustratos orgánicos permiten el anclaje de las plantas y proporcionan los espacios y condiciones para las reacciones bioquímicas y químicas”. Buscan los objetivos de una bolsa orgánica, es decir, reducir el sulfato y retener los metales, así como también, incrementar la alcalinidad. Consiste en un estanque en cuyo interior se depositan dos sustratos, uno de material alcalino y otro de material orgánico, que están sumergidos en el influente a una profundidad entre 1m y 3 m, que es drenado por la parte inferior de caliza y sirve para neutralizar el Ph del influente. La capa superior es de material orgánico y en ella se elimina el oxígeno disuelto en el agua, se reduce el sulfato y se transforma en Fe^{3+} en Fe^{2+} sobre la capa de caliza. Véase Figura 3.3.



Figura 3.3: Esquema de Producción Alcalina, (Dante, 2016)

Barreras Reactivas Permeables.- Existen algunos proyectos de remediación ambiental en los que se necesita realizar tratamiento in situ, con la finalidad de controlar la migración de contaminantes. En ocasiones se necesita una permeabilidad selectiva para “desactivar” los contaminantes. Debido a la elevada variedad de contaminantes y condiciones particulares de cada proyecto. Este tipo de tratamiento se emplea cuando las aguas afectadas por drenajes mineros ácidos, se emplea una zanja transversal al flujo, la cual se rellena con diversos tipos de materiales reactivos con caliza, materia orgánica, limaduras de Fe, etc., para reducir la cantidad de sólidos disueltos (sulfatos y metales principalmente) e incrementar el pH, (GROUP, 2014). Véase Figura 3.4.

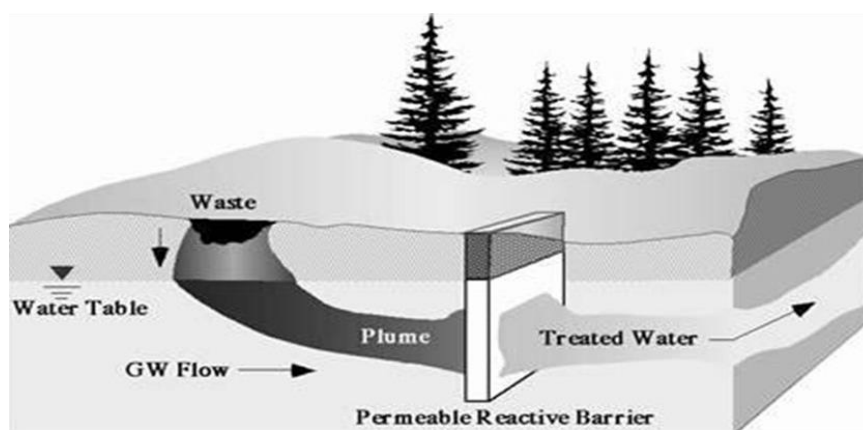


Figura 3.4: Esquema de un tratamiento BRP, (GROUP, 2014)

Tratamiento Físicoquímico.- Según Paúl A. Indeglia., et al 2012, en este tipo de tratamientos se eliminan las partículas en el comienzo del sistema, también es llamado **sedimentación de partículas en reposo** o **embalse de asentamiento utilizando la gravedad** para eliminar teóricamente todos los sólidos capaces de dar un diseño adecuado. El sistema ha demostrado eliminar del 20% al 40% de la demanda biológica de oxígeno, una función de la carga orgánica. Un estanque de sedimentación detiene el agua lentamente en movimiento (<0.01) metros por segundo y se procede a retener los sólidos en suspensión donde se encuentran los metales pesados y cuando las exigencias son mayores se procede a la utilización de agentes químicos en tal caso se

incluye la coagulación/floculación, precipitación, adsorción y el intercambio de iones, (Indeglia, 2012). Véase Figura 3.5.

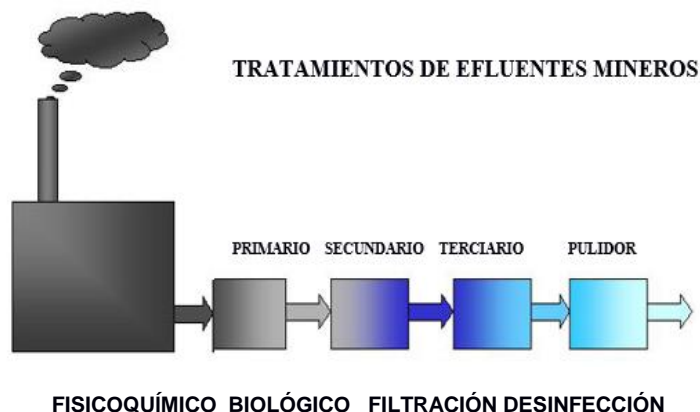


Figura 3.5: Esquema de un tratamiento Físicoquímico, (Indeglia, 2012)

Tratamiento Biológico.- Según Paúl A. Indeglia., et al 2012, las algas han demostrado una alta eficiencia en la oxidación de varios metales pesados, que ofrece promesas para los sistemas naturales más rentables. El mercurio es reducido por las poblaciones microbiológicas ventajosas y, condiciones anoxias, pueden transformarlo en mercurio elemental. La actividad microbiana puede facilitar conversión al metil-mercurio. Además del mercurio, la eliminación biológica del hierro y arsénico usando la oxidación bacteriana y la reducción bacteriana del cianuro. (Indeglia, 2012)

La biotecnología permite actualmente producir organismos vivos que cumplan funciones específicas para mitigar un impacto ambiental y constituye una herramienta fundamental en el diseño de un determinado humedal artificial o en su defecto realizar una combinación apropiada para objetivos a conseguir.

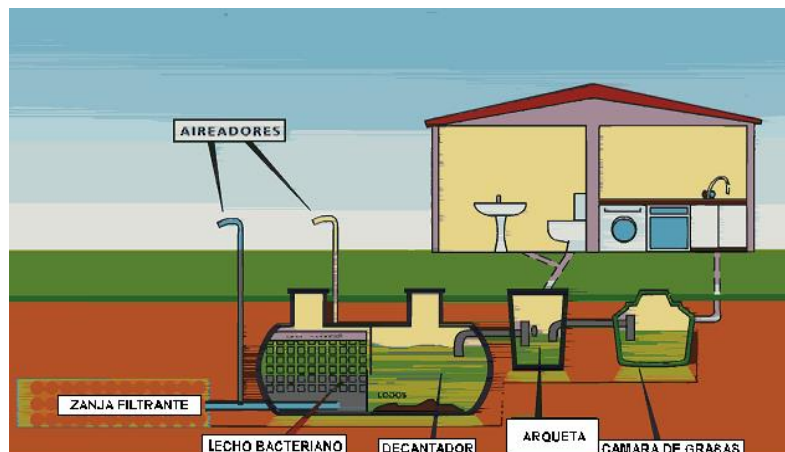


Figura 3.6: Esquema de un tratamiento Biológico, (Indeglia, 2012)

Esta variedad de mecanismos de control de impactos ambientales permiten a los técnicos elegir un mecanismo de acuerdo con las circunstancias de la contaminación que tengan al frente. La temática de los humedales artificiales es una alternativa que representa una tecnología de punta, en este sentido la propuesta que se presenta en este estudio tiene un aval científico y académico de gran prestigio internacional, tal como se expresa en este mismo estudio

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE SITUACIÓN ACTUAL

4.1. ESTADO DE SITUACIÓN DE LA MINERÍA INFORMAL

En el diario *El Universo* del Domingo 10 de Septiembre 2017, página 8 y 9, se hizo referencia a la contaminación de metales pesados en la provincia de Esmeraldas, así también ECUAVISA, canal 2, en la misma fecha, en su programa *VISIÓN 360*, transmitió reportajes y videos de la misma problemática en la provincia de Esmeraldas.

En este reporte, Diario el Universo, de la ciudad de Guayaquil publica acerca de la contaminación por metales pesados en el cantón *San Lorenzo* en la provincia de Esmeraldas, hace referencia a los riesgos y peligros que la población rural especialmente está expuesta por abastecerse de aguas con niveles de metales pesados por arriba de los límites permisibles de acuerdo con la normativa ambiental vigente. La situación de la actividad aurífera se ha desplazado más hacia la parte rural y la población ve a esa actividad como una oportunidad de trabajo sin tomar en cuenta los impactos ambientales y sociales.

Según Ministerio de Salud Pública de la provincia de Esmeraldas “actualmente la consulta médica ambulatoria ha aumentado los cuadros de afecciones de las vías respiratorias altas y bajas, así como, las afecciones de la piel. Las afecciones sistémicas en órganos blandos al principio son asintomáticas hasta que las afecciones llegan a un estado crónico-agudo y pasan de ambulatorio a hospitalario”.

Con esta información profesional se puede inferir que la población del Cantón San Lorenzo debe ser sometida a un diagnóstico clínico sanguíneo y líquidos biológicos para determinar los niveles de metales pesados en sangre, por lo tanto, se advierte esto como una recomendación. Y a continuación se explicarán

las fases por medio de las cuales se lleva a cabo la extracción del oro y la forma en que ocurren los impactos ambientales al medio y su impacto antrópico, (UNIVERSO, 2017).

La población de San Lorenzo en la provincia de Esmeraldas involucrados en la actividad minera aurífera y la población en general observan en esta actividad solo una fuente de “trabajo”, denominada como playar. Si bien es cierto, el trabajo denominado playar le resuelve una necesidad inmediata que es tener un ingreso, pero ‘por otro lado están las consecuencias tóxicas de contaminación de las únicas fuente de abastecimiento de agua para el sector rural del cantón, lo cual compromete seriamente la salud de los pobladores. Al estar contaminados los cuerpos de agua se puede inferir que la cadena trófica, que inicie en estas aguas es impredecible su final, hasta que se corrija la fuente de la contaminación puntual existente en esta provincia.

Otra afectación al medio ambiente es el daño paisajístico que ha puesto en peligro muchas especies endémicas de las zonas intervenidas por la actividad minera. Esta alteración del paisaje se debe básicamente a dos factores, primero a la alteración y destrucción de la capa vegetal y segundo el abandono anti-técnico de las minas una vez terminada su vida útil. Sin embargo, la población mantiene su visión de necesidad de trabajo y medio de ganarse la vida.

Debido a esta percepción de la población en general se tuvo mucha resistencia por ejemplo para la toma de muestras de aguas y especies, porque recordaban que años atrás luego del muestreo, el gobierno central por medio del MAE (Ministerio del Ambiente Ecuatoriano) procedía a incautarles la maquinaria o en su defecto a dinamitarle el equipo. Sumado a esto, el nulo control en base a propuestas para ofrecer al sector minero aurífero artesanal del cantón San Lorenzo. Este sector informal amerita que siga un programa de calificación que existe en el Reglamento General de la Ley Minera y uno de los objetivos de éste proyecto es presentar una propuesta viable y de fácil aplicación in situ, de tal manera, abaratar costos de mantenimiento y reducir los costos de bienes de

capital. Además, se utilizará un recurso nacional como son las zeolitas naturales que se encuentran en cinco yacimientos en nuestra Costa y Sierra.

La manera de aumentar la visión (efectos sobre la salud de los metales pesados) de la población en particular de la zona rural, donde la afectación de los metales pesados tendrá mayor incidencia debido a que en la zona rural no existe servicio de agua potable, de tal manera que, la población recibe el suministro de agua para su consumo de los ríos, y no sólo el agua, si no, especies como el pescado para su alimentación diaria.

La población del cantón San Lorenzo al igual que otras regiones del país, deben de ser sometidas a una educación ambiental para despertar en la población una concientización de los riesgos y consecuencias de los impactos ambientales producidas por la actividad minera informal. En esta actividad de educación ambiental se sugiere que participe la academia con los proyectos de vinculación, pero, todo debe de coordinarse en forma integral con otros proyectos vinculantes.

Se pretende que con la educación ambiental, la población opte por no ver la aplicación de la normativa ambiental vigente como “algo negativo” sólo por la presión de perder un trabajo (playar), como se lo conoce en territorio, si no, que con un modelo de gestión integral, donde se involucren todos los actores en sus responsabilidades y competencias para aprovechar los recursos sin afectar el bienestar presente y de futuras generaciones, entonces, la actividad minera pasará a cumplir su rol de actividad productiva sustentable y sostenible.

4.2. FASES DE LA MINERÍA AURÍFERA INFORMAL

De acuerdo a lo observado en las minas del cantón San Lorenzo y según criterio de los mineros informales de la zona, las fases para desarrollar la actividad de minería aurífera artesanal es el mostrado en la Figura 4.1.



Figura 4.1: Esquema de las fases de minería artesanal y su impacto en el ambiente

PROSPECCIÓN.- Es la actividad en la cual los técnicos mineros elaboran las líneas bases, rutas e indicios auríferos para dar paso a la etapa de exploración. Es importante hacer notar que los cuerpos hídricos son la principal línea base en todo este proceso, por lo tanto, estos recursos reciben los impactos desde el inicio hasta el final de la actividad.

EXPLORACIÓN.- En esta fase, una vez, determinadas las principales líneas bases, se procede a fijar técnicamente donde se procederán a realizar las minas para su explotación, en este proceso se acentúan los impactos sobre la cobertura vegetal y se inicia la contaminación sobre cuerpos hídricos y biota, al remover la tierra y al mezclarse con agua procedente por el alto nivel freático produciéndose por escorrentía durante todo el proceso de explotación. Es importante tener presente que en esta fase de la actividad previa a la explotación no se utilizan medios tecnológicos. El procedimiento para establecer, rutas, lugar donde empezará el movimiento de tierra etc es empírico y obedece según mineros, a la frecuencia de la presencia de indicios de oro, que por observación óptica se determina los procedimientos de ingreso, movimiento de maquinaria, personal e inicio de explotación.

EXPLOTACIÓN.- En esta etapa intervienen los obreros y la zaranda para proceder a seleccionar, lavar y recolectar el oro. En algunos casos cuando la

tierra presenta tramos como rocas, entonces, se emplea el Mercurio o Cianuro, como medio de separación química, la utilización de estos químicos altamente contaminantes no es muy frecuente debido que la mayor parte de la tierra (arenisca) con la cual el oro forma mezcla no forma roca.

En esta actividad los obreros sufren el impacto sobre su salud por medio de los metales pesados debido a la ausencia de EPP (Equipo de Protección Personal) y una jornada laboral en base a una metodología anti técnica, como se observa en la Figura 4.2.



Figura 4.2: Mina en fase de Explotación

Con base en la información recolectada a través de entrevistas realizadas a los obreros mineros, una mina por lo general, tiene una vida útil entre 4 y 8 meses. Sin embargo, a pesar de que esta actividad es muy productiva económicamente, genera impactos en la cadena trófica se ve afectada por los efectos que se derivan de las causas antrópicas en esta actividad minera informal.

4.3. ANÁLISIS DE CAUSA-EFECTO

Con la finalidad de aumentar el contexto general de los impactos ambientales, producidos en el cantón San Lorenzo a través de la identificación del contexto general de las causas y los efectos en la actividad minera aurífera informal, se procede a ilustrar gráficamente la relación que existe entre las causas y los efectos que da como resultado la contaminación de peces y otras especies. Véase Figura 4.3.

La contaminación de los peces y otros organismos vivos en diferentes ecosistemas involucrados en este proceso en los ríos del cantón San Lorenzo tiene su origen en la determinación del lugar donde se establecerá la mina para su explotación o aprovechamiento, luego el movimiento de tierra el cual termina solo cuando termina la explotación de la mina, los metales pesados contaminantes se encuentra en forma natural en la corteza terrestre e inician su tránsito por escorrentía a los recursos hídricos sin previo tratamiento. Esta disposición final de los efluentes mineros en el cantón San Lorenzo es la fuente o causa de la contaminación.

Es importante notar que los ecosistemas tienen una relación de dependencia o un eslabón conexivo entre uno con otro ecosistema, la causa de un ecosistema automáticamente es muy probable que se manifieste en otro ecosistema aunque cada ecosistema tienen su propia resiliencia y esto afectará en la manifestación de determinado efecto, otras circunstancias que es importante considerar es la estación del clima, temperatura etc.

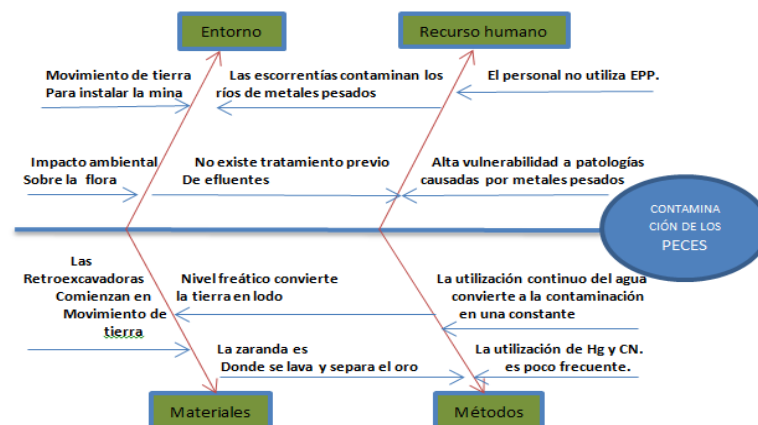


Figura 4.3: Diagrama Causa-Efecto

En la Figura 4.3 se analiza el proceso de explotación de la actividad minera aurífera artesanal a cielo abierto. Una vez que se determina el punto de instalación de una mina se procede a la remoción de tierra, se considera que para hallar de 4-8 gramos de oro es necesaria la remoción de una Tn. de tierra. Una vez que se ha llegado a la *arenisca*, donde se halla el oro, se procede a lavar la arenisca con un flujo continuo de agua que al mismo tiempo pasa por

una granulometría específica que permite la visibilidad del oro y se procede a la separación, sin embargo, hay otra cantidad de tierra con mayor granulometría que pasa por una separación química con el empleo de Hg o CN, en muy poca cantidad por cuanto la mayor parte es tierra. Este lavado produce una escorrentía que con el incremento del volumen de agua llega a los ríos, llevando los metales pesados que naturalmente se encuentran en la corteza terrestre.

4.4. MATRIZ DE LEOPOLD

Con el fin de valorar el alcance y los impactos ambientales en el desarrollo de la actividad minera, se utilizará la matriz de Leopold, la cual mide el *IMPACTO AMBIENTAL (positivo/negativo)* Y *SU IMPORTANCIA* tenemos los siguientes en una escala de 1 al 10; muy malo y muy bueno respectivamente.

Las actividades se dividieron en tres fases: FASE DE CONSTRUCCIÓN, esta implica no sólo el adecuamiento de la mina, si no, bodegas, casas, almacenamientos etc que a su vez comprende, remoción de capa vegetal, movimiento de tierra, vías de acceso y mantenimiento de maquinaria. FASE DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO es la etapa de acopio del oro, consumo de agua, etc, que a su vez comprende, efluentes sin tratamientos, personal sin EPP y migración de especies endémicas. Y por último la FASE DE CIERRE, la cual comprende, limpieza y rehabilitación del lugar.

Los factores se agruparon en tres grupos: MEDIO FÍSICO, que comprende agua, suelo y aire, el otro grupo es. MEDIO BIÓTICO, que a su vez comprende flora y fauna y por último. MEDIO ANTRÓPICO, que a su vez comprende medio perceptual, infraestructura humana y económica. El número entre paréntesis a la izquierda de la siguiente matriz de Leopold representa la *MAGNITUD DEL IMPACTO* (cantidad física, grande /pequeño, puede ser positivo o negativo) y a la izquierda, los números entre paréntesis representan la *IMPORTANCIA* (sólo puede recibir valores positivos).

La *IMPORTANCIA* se define como el tamaño de significación de un efecto y se la representa por la siguiente fórmula $IMPORTANCIA = I + E + M + P + R$

(Intensidad, Extensión, Momento, Persistencia y Reversibilidad). Los IMPACTOS-CRITERIOS (Crítico 12-15; Severo 9-12; Moderado 7-9 y Compatible 5-7). La agregación de resultados (promedios aritméticos), puede ser positiva y negativa y es una cifra que resulta de la suma de los cocientes de cada componente de fase por su respectivo factor. Así se elaboró la siguiente matriz de Leopold.

MATRIZ DE LEOPOLD PARA LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

CANTÓN SAN LORENZO - PROVINCIA DE ESMERALDAS-ECUADOR

| FACTORES | MEDIO FÍSICO | | MEDIO BIÓTICO | | MEDIO ANTRÓPICO | | | | | | AFECTACIÓN NEGATIVA | AFECTACIÓN POSITIVA | AGREGACIÓN DE IMPACTOS | |
|---|--------------|--------|---------------|--------|-----------------|------------------|-----------------|--------|---------|--------|---------------------|---------------------|------------------------|------|
| | AIRE | AGUA | SUELO | FLORA | FAUNA | MEDIO PERCEPTUAL | INFRAESTRUCTURA | HUMANO | ECONOMI | | | | | |
| 1. FASE DE CONSTRUCCIÓN | - | 5 6 | 8 9 | -10 10 | -8 10 | 10 10 | -10 10 | 1 | 2 | -10 10 | 10 10 | 5 | 13 | -136 |
| Remoción de la capa vegetal | 1 1 | -10 10 | -10 10 | -10 10 | -10 10 | -10 10 | -10 10 | 1 | 1 | -10 10 | 1 1 | 6 | 12 | -597 |
| Movimiento de tierras | - | 4 4 | -3 4 | 7 10 | 5 10 | 4 10 | -10 10 | 6 | 4 | 4 4 | 3 3 | 3 | 15 | 81 |
| Acopio material de cobertura | 2 4 | 3 10 | -10 10 | 1 10 | -10 10 | 1 2 | 4 | 4 | -10 10 | 1 2 | 2 | 3 | 15 | -237 |
| Transporte de materiales | - | 1 4 | -2 7 | -7 6 | -5 4 | -4 4 | -5 7 | 7 | 6 | 7 6 | 8 6 | 6 | 12 | -19 |
| Construcción de infraestructura | - | 3 4 | -6 4 | -6 3 | -5 4 | -3 4 | -3 6 | 6 | 6 | 6 6 | 7 6 | 6 | 12 | 10 |
| Vías de acceso | - | 1 1 | -7 6 | -7 4 | -3 4 | -4 4 | -3 1 | 6 | 3 | 5 3 | 6 3 | 6 | 12 | -57 |
| 2. FASE DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO | - | 5 5 | -7 7 | -9 10 | -10 8 | -6 8 | -2 7 | -3 | 3 | 4 3 | 6 5 | 7 | 11 | -283 |
| Transporte y descarga | 1 2 | 1 1 | 5 5 | 5 5 | 5 3 | 3 3 | 1 5 | 2 | 4 2 | 3 2 | 1 | 0 | 18 | 78 |
| Esparcido y compactación | 2 3 | 8 9 | 8 8 | 6 6 | 6 6 | 7 6 | 8 6 | 6 | 5 9 | 7 2 | 4 | 0 | 18 | 725 |
| Clasificación de residuos | 7 4 | -4 6 | -7 6 | 3 4 | -3 4 | -3 4 | -3 1 | 6 | 3 7 | 3 7 | 6 | 4 | 14 | 40 |
| Confinamiento de residuos | - | 1 4 | 2 3 | 4 6 | -3 6 | -4 6 | -1 4 | 6 | 3 5 | 3 4 | 3 | 4 | 14 | 25 |
| Funcionamiento de bodegas y guardianía | - | 3 6 | -4 6 | -6 6 | -3 5 | 1 5 | -3 6 | 6 | 3 6 | 4 6 | 6 | 5 | 13 | -16 |
| Mantenimiento de maquinaria | 2 3 | 5 3 | 3 3 | 3 3 | -5 4 | -4 4 | 3 3 | 5 | 4 3 | 3 6 | 3 | 2 | 16 | 65 |
| Clausura de trincheras | 3 6 | 2 6 | 8 6 | 3 6 | 3 4 | -5 4 | 1 5 | 8 | 6 7 | 3 7 | 6 | 1 | 17 | 192 |

| IMPACTOS NEGATIVOS SOBRE LOS COMPONENTES AMBIENTALES | | | IMPACTOS POSITIVOS SOBRE LOS COMPONENTES AMBIENTALES | | |
|--|-----------------------|------------------------|--|-----------------------|------------------------|
| | CONDICIONES AFECTADAS | AGREGACIÓN DE IMPACTOS | | CONDICIONES AFECTADAS | AGREGACIÓN DE IMPACTOS |
| MOVIMIENTO DE TIERRA | 6 | -597 | ACCIÓN SOBRE LA CAPA VEGETAL | 13 | -136 |
| TRANSPORTE DE MATERIAL | 3 | -237 | MATERIAL DE COBERTURA | 81 | 81 |
| ACCIÓN DE INFRAESTRUCTURA | 6 | -19 | VÍAS DE ACCESO | 12 | 10 |
| MANTENIMIENTO DE MÁQUINARIA | 6 | -57 | CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS | 18 | 725 |
| TRANSPORTE Y DESCARGA | 7 | -286 | R4EFINAMIENTO DE RESIDUOS | 14 | 40 |
| COMPACTACIÓN | 0 | 78 | FUNCIONAMIENTO DE BODEGAS | 14 | 25 |
| M. DE MAQUINARÍA | 5 | -16 | BASURA DE TRINCHERA | 16 | 65 |
| EMISIÓN DE LIXIVIADOS | 6 | -147 | ACTIVIDADES DE REFORESTACIÓN | 17 | 192 |
| CAMPAMENTO DE ESTRUCTURA | 6 | -54 | HABILITACIÓN DE ÀREA | 14 | 88 |
| LIMPIEZA DEL LUGAR | 5 | -46 | | | |
| | | | | | |
| TOTAL | 50 | -1378 | TOTAL | 199 | 1090 |
| | | | | | |
| PARAMETROS AMBIENTALES POSITIVOS | | 1090 | | | |
| PARAMETROS AMBIENTALES NEGATIVOS | | -1378 | | | |
| TOTAL | | -288 | | | |

| RESUMEN | | | |
|---------------------------|-----|----------------|--------|
| IMPACTOS NEGATIVOS | 92 | EQUIVALENTE AL | 53,80% |
| IMPACTOS POSITIVOS | 79 | EQUIVALENTE AL | 46,20% |
| TOTAL | 171 | | 100 |

El propósito de realizar esta matriz de Leopold fue para identificar y medir el impacto de la afectación ambiental, en el desarrollo de la actividad minera artesanal en el cantón San Lorenzo en la provincia de Esmeraldas.

Una vez terminada la matriz, se tendrá una idea real de la afectación ambiental sobre los ecosistemas existentes en dicho cantón. En este sentido se eligieron tres medios: MEDIO FÍSICO, BIÓTICO Y ANTRÓPICO, con sus respectivos factores como suelo, agua y aire con respecto al medio físico, flora y fauna, con respecto al medio biótico y por último los factores del medio antrópico representados por la percepción, infraestructura, humano y economía.

Se agrupó toda esta actividad en dos grandes fases, de construcción y operaciones y de mantenimiento, se estima que con lo cual se cubre las actividades mineras artesanales objeto de éste estudio.

El resultado final revela que los impactos negativos tienen un porcentaje del 53.80% vs un 46.20% de los impactos positivos del universo total de impactos registrados en esta matriz.

CAPÍTULO 5

EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS

En esta sección se presentará un análisis estadístico de la concentración de metales pesados en la cuenca del Río Santiago ubicada en el cantón San Lorenzo de la Provincia de Esmeraldas al norte del Ecuador, en primera instancia se realizará un análisis de estadística descriptiva, luego se realizará la comparación con valores de referencia y límites permisibles de acuerdo a normativas nacionales e internacionales, finalmente se planteará un modelo estadístico para explicar la concentración de metales pesados en una especie de pez en función de la concentración de metales en el agua y en el sedimento del río donde se capturó la especie.

5.1. ORGANISMO DE LOS PECES

Para la recolección de los peces se contrató a personal nativo del sector y bajo supervisión técnica se procedió a la captura en un perímetro que no exceda los 100m² de la estación que corresponde a un río de la cuenca, se utilizó un trasmallo artesanal con una granulometría apropiada para capturar peces. Luego de su captura, los peces eran pesados y puestos en recipiente previamente rotulado; y, con agua del río a 4°C fueron transportados hasta el laboratorio donde se efectuó el análisis respectivo, teniendo como objetivo determinar la concentración de arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc en tres especies de peces, guaña, barbudo y cagua, capturadas en cuatro ríos de la cuenca, Zapallito y Cachaví, Los Ajos y La Boca, respectivamente, para posteriormente compararlos con los valores de referencia de la legislación europea para metales pesados en alimento y comida. (European-Commission, 2006)

En la Figura 5.1 se puede observar concentración de metales pesados en la especie **guaña** del Río Zapallito, donde se evidenció que el cobre, plomo, cadmio y arsénico superaron los valores de referencia considerados; y, que aunque no se sobrepasó el límite de zinc, esta concentración es alta, siendo cercana al límite; en tanto que en el Río Cachaví la guaña superó los límites de cadmio y plomo, véase Figura 5.2.

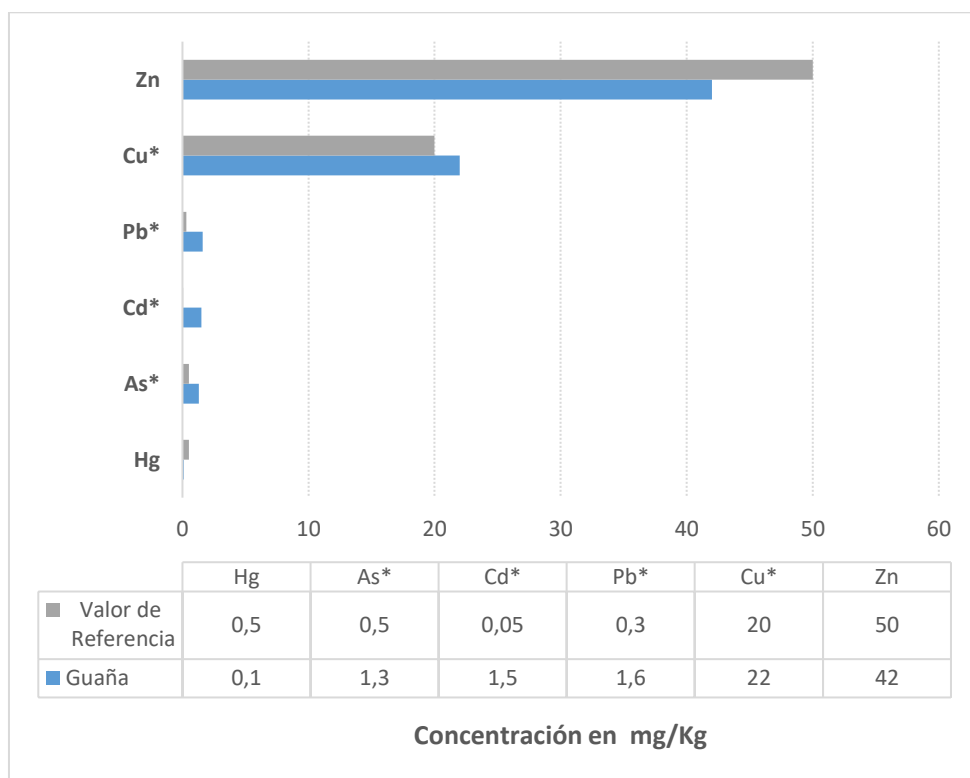


Figura 5.1: Concentración de metales pesados en la especie "Guaña" del Río Zapallito

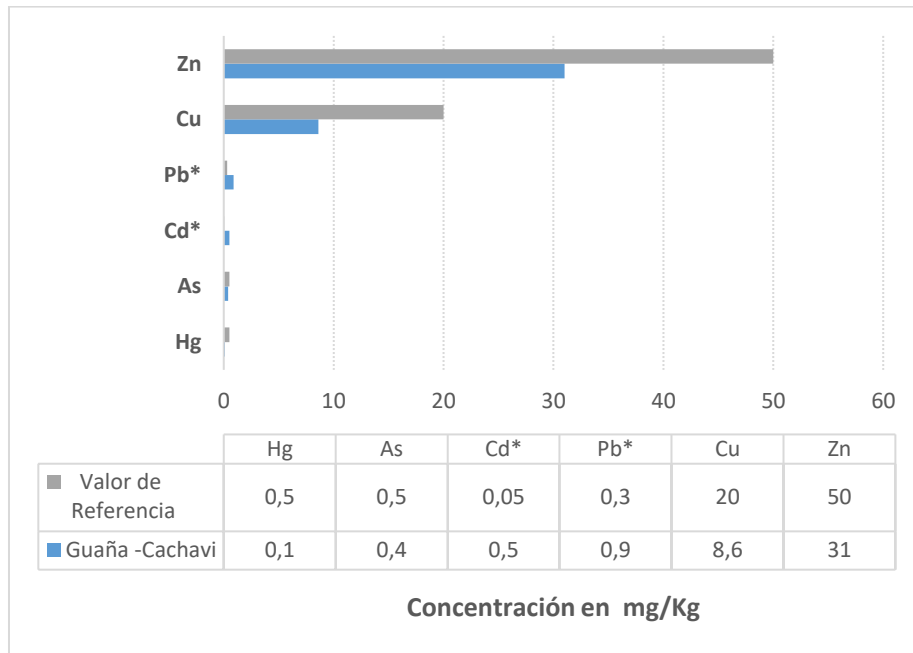


Figura 5.2: Concentración de metales pesados en la especie "Guaña" del Río Cachaví

Con respecto a la especie **barbudo** del río Los Ajos se encontró que el cadmio superó el límite de referencia permitido, mientras que, los demás metales mostraron una concentración menor a la tolerable. Véase Figura 5.3.

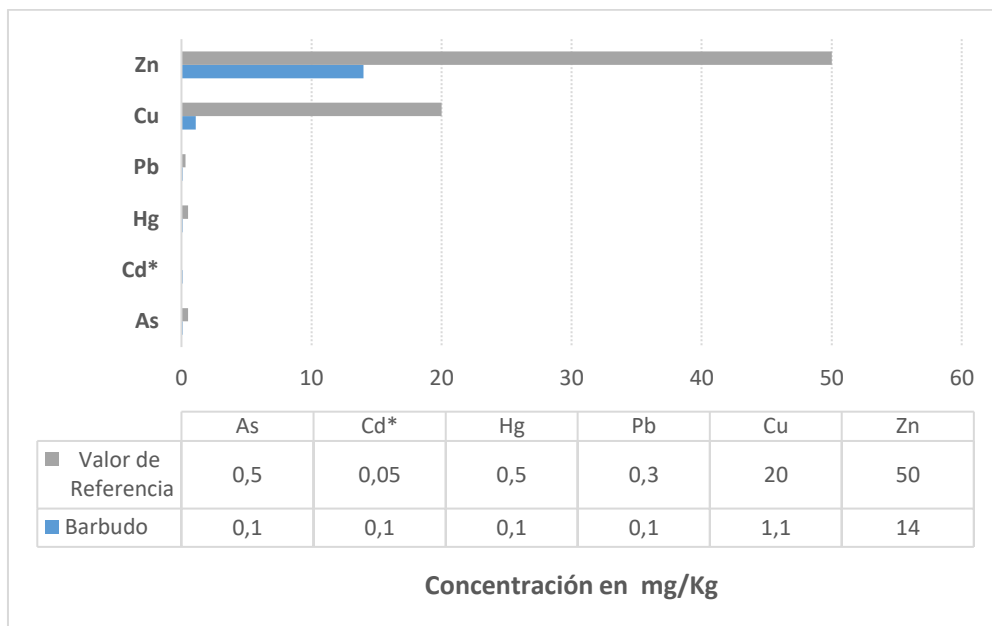


Figura 5.3: Concentración de metales pesados en la especie "Barbudo" del Río Los Ajos

Por último, la especie **cagua** del Río La Boca, no presentó niveles de concentración de metales pesados mayores a los valores de referencia; sin embargo, se observó la presencia de todos los metales considerados en el presente análisis. Véase Figura 5.4.

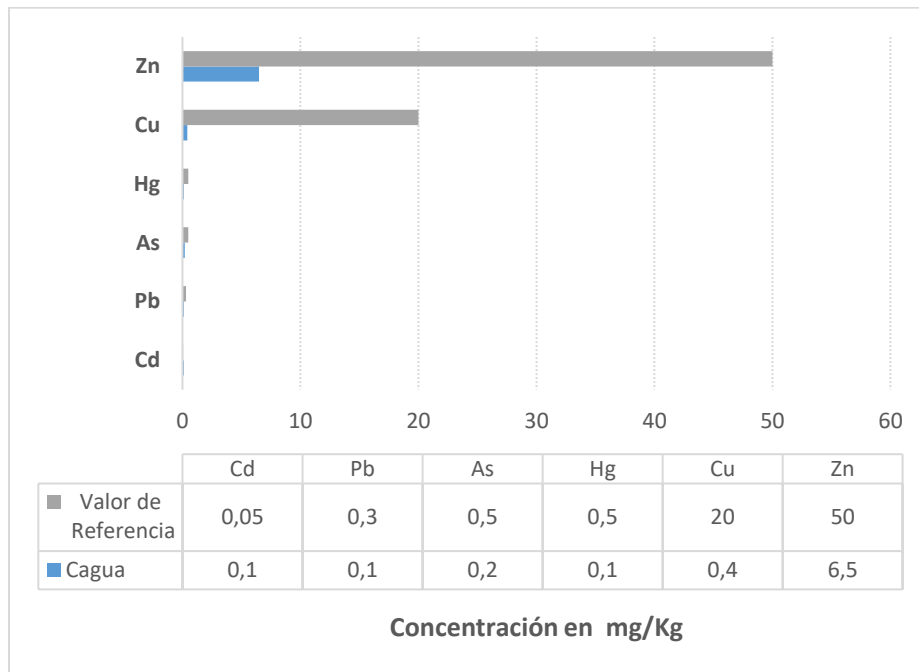


Figura 5.4: Concentración de metales pesados en la especie "Cagua" del Río La Boca

Los resultados obtenidos muestran que la especie más afectada es la guaño, dado que la incidencia de metales pesados se evidenció en los dos ríos donde se capturó esta especie. Aun cuando en las especies cagua y barbudo no se supera de forma abrumadora los valores de referencia, será tema de futuros análisis los hallazgos encontrados.

5.2. SEDIMENTOS

En las mismas estaciones donde fueron capturados los peces de la sección anterior y de preferencia en un lugar donde no hubiera tránsito de cualquier tipo, se tomaron muestras de suelo por medio de una draga Van Veen por cable para sedimento y se depositaban en fundas especiales con capacidad de 1 Kg, dos por estación, se rotulaban y se guardaban para análisis, en el cual se

consideraron los ríos Zapallito, Los Ajos, La Boca y Cachaví, siendo en este último el único río en que se observó un exceso de concentración de cobre, según la *NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS* (Calidad-Ambiental). Véase Figura 5.5.

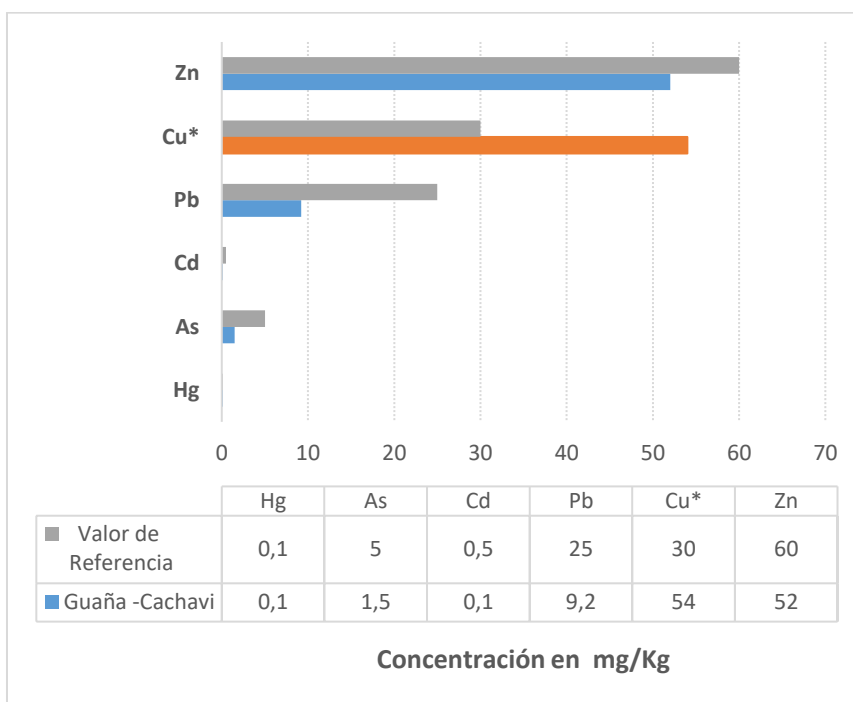


Figura 5.5: Concentración de metales pesados en el sedimento del Río Cachaví

Los demás ríos analizados mostraron incidencia de metales pesados por debajo de los límites máximos contemplados en la normativa de referencia.

5.3. AGUA DE LOS RÍOS

A inicios del año 2017 se eligieron estaciones o lugares determinados a lo largo de la cuenca del Río Santiago en el cantón San Lorenzo, de tal manera de obtener una muestra lo más representativa de la cuenca, en total fueron catorce estaciones, cada estación correspondería a un río en particular, para lograr este propósito se tomó la muestra con una botella horizontal, Van Dorn, luego se procedió a reencauzar en botellas de 500ml, 5 por cada estación, mismas que se rotularon y empezaron la cadena de frío hasta el laboratorio.

Se efectuaron mediciones de metales pesados en la cuenca del Río Santiago del cantón san Lorenzo provincia de Esmeraldas, los catorce ríos estudiados fueron Punto Limpio Cachaví, Valle de la Virgen, San José de Durango, Minas Viejas, La Boca, Ricaurte (Río Palaví), Ricaurte (Río Tululbí), Wimbi, Wimbitito, Concepción, Los Ajos, Maldonado, Zapallito y Río Cachaví (San Antonio), en estos ríos se evidenció la presencia de zinc, cobre, cromo, hierro y níquel.

Respecto a la concentración de cromo en la cuenca, se pudo observar que la concentración promedio es de 0.243 ± 0.047 mg/l, siendo 0.002 mg/l el mínimo valor observado ubicado en el Río San José de Durango, mientras que el máximo valor fue 0.530 mg/l del Río Wimbi; el 50% de las observaciones está entre 0.097 y 0.480 mg/l, el coeficiente de asimetría es positivo, lo cual indica que la distribución de los datos se encuentra a la izquierda del observador, véase Figura 5.6.

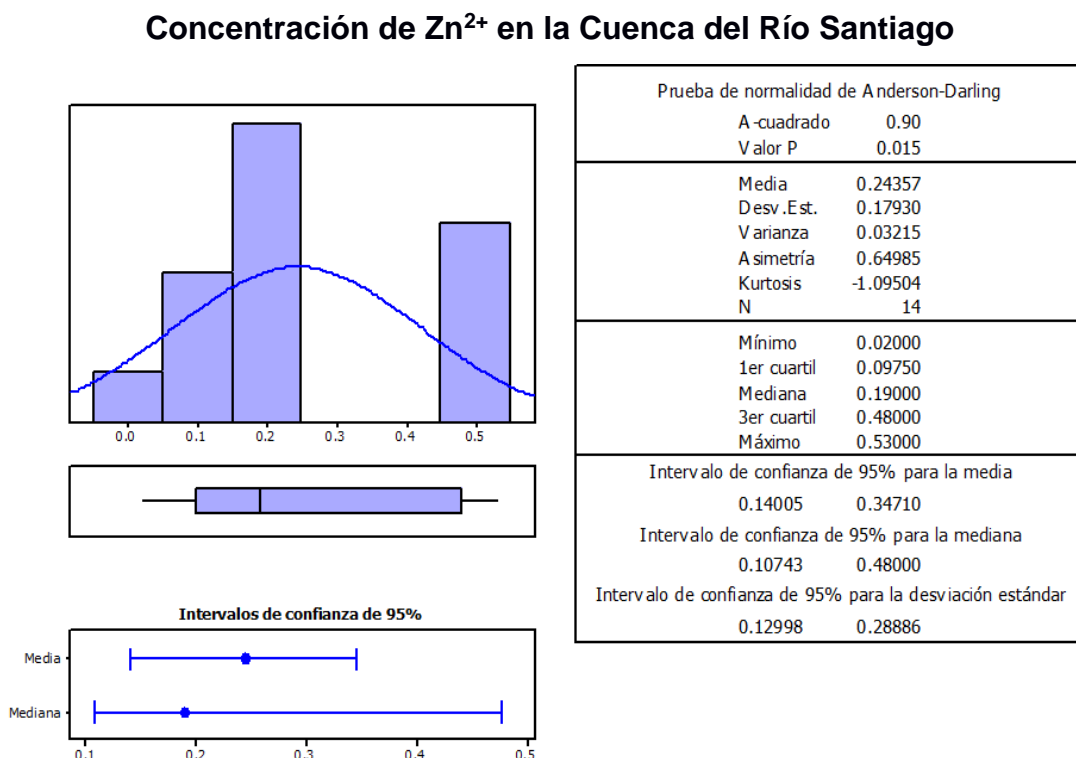


Figura 5.6: Estadísticas Descriptivas de Zinc

El siguiente metal analizado fue el cobre para el cual se observó que la concentración promedio es de 0.230 ± 0.073 mg/l, siendo 0.000 mg/l el mínimo valor observado ubicado en el Río Wimbi, en tanto que el máximo valor fue 0.920 mg/l del Río Zapallito; el 50% de las observaciones está entre 0.000 y 0.380 mg/l, el coeficiente de asimetría es positivo, lo cual indica que la distribución de los datos se encuentra a la izquierda del observador, véase Figura 5.7.

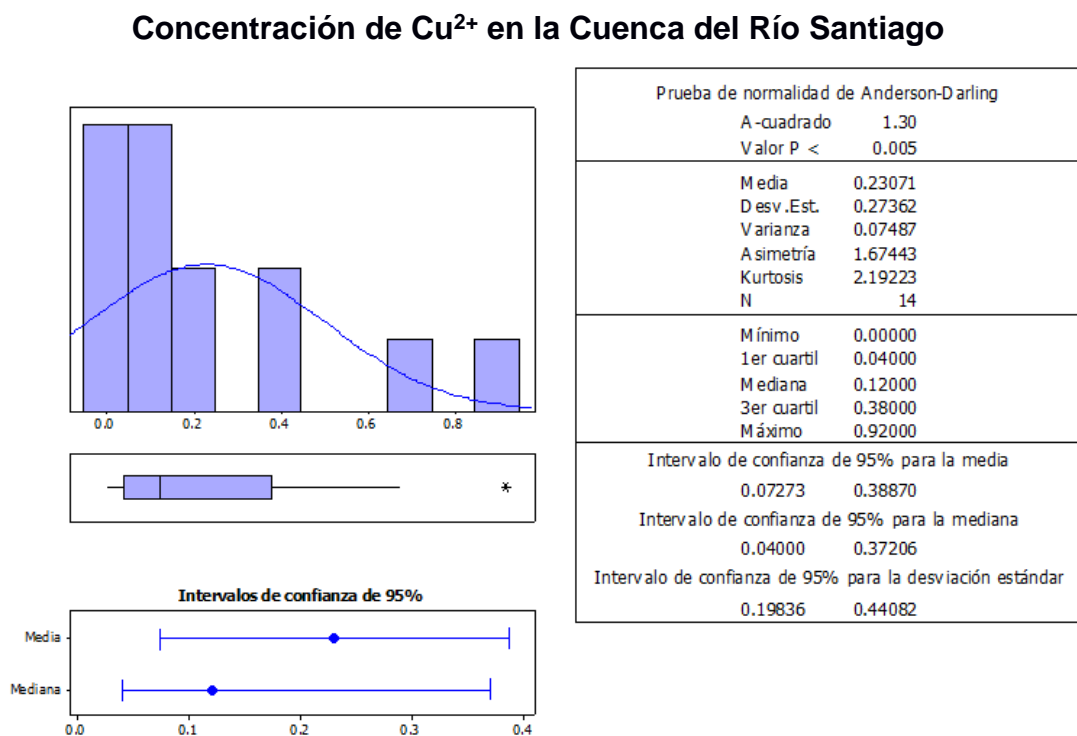


Figura 5.7: Estadísticas Descriptivas de Cobre

A continuación se describirán las estadísticas descriptivas de la concentración de cromo en la cuenca objeto de estudio, se evidenció que la concentración promedio es de 0.068 ± 0.015 mg/l, siendo 0.002 mg/l el mínimo valor observado ubicado en los Ríos Punto Limpio Cachaví, Valle de la Virgen, San José de Durango y Cachaví San Antonio, mientras que el máximo valor fue 0.180 mg/l del Río Zapallito; el 50% de las observaciones está entre 0.002 y 0.140 mg/l, el

coeficiente de asimetría es positivo, lo cual indica que la distribución de los datos se encuentra a la izquierda del observador, véase Figura 5.8.

Concentración de Cr³⁺ en la Cuenca del Río Santiago

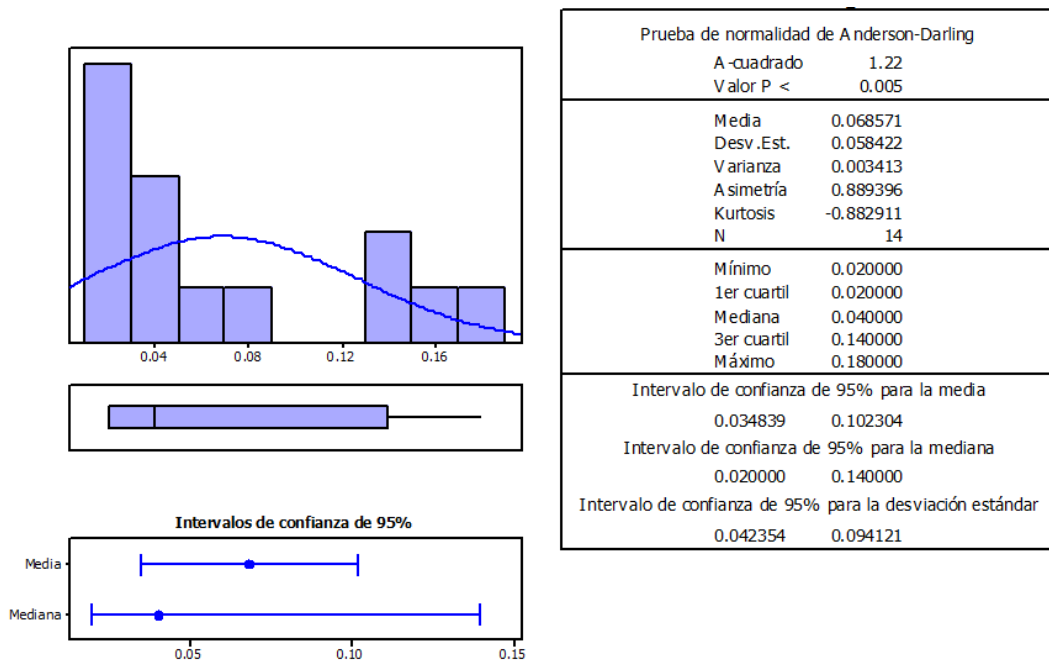


Figura 5.8: Estadísticas Descriptivas de Cromo

Posteriormente, se analizará la concentración de hierro en la cuenca, se evidenció que la concentración promedio es de 0.424 ± 0.210 mg/l, 0.000 mg/l el mínimo valor observado ubicado en el Río San José Durango, en tanto que el máximo valor fue 3.020 mg/l del Río Zapallito; el 50% de las observaciones está entre 0.027 y 0.495 mg/l, el coeficiente de asimetría es positivo, lo cual indica que la distribución de los datos se encuentra a la izquierda del observador, véase Figura 5.9.

Por último, se analizó la concentración de níquel en la cuenca del Río Santiago, donde se observó que la concentración promedio es de 0.024 ± 0.011 mg/l, 0.000 mg/l el mínimo valor observado en los Ríos Valle de la Virgen, San José de Durango y Ricaurte, mientras que el máximo valor fue 0.143 mg/l del Río Zapallito; el 50% de las observaciones está entre 0.001 y 0.021 mg/l, el

coeficiente de asimetría es positivo, lo cual indica que la distribución de los datos se encuentra a la izquierda el observador, véase Figura 5.10.

Concentración de Fe³⁺ en la Cuenca del Río Santiago

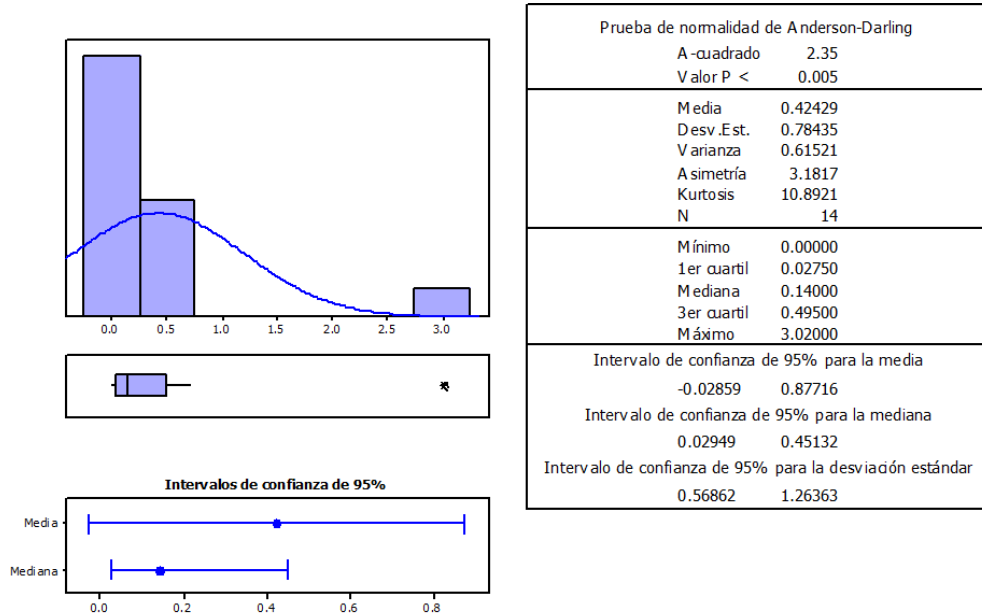


Figura 5.9: Estadísticas Descriptivas de Hierro

Concentración de Ni³⁺ en la Cuenca del Río Santiago

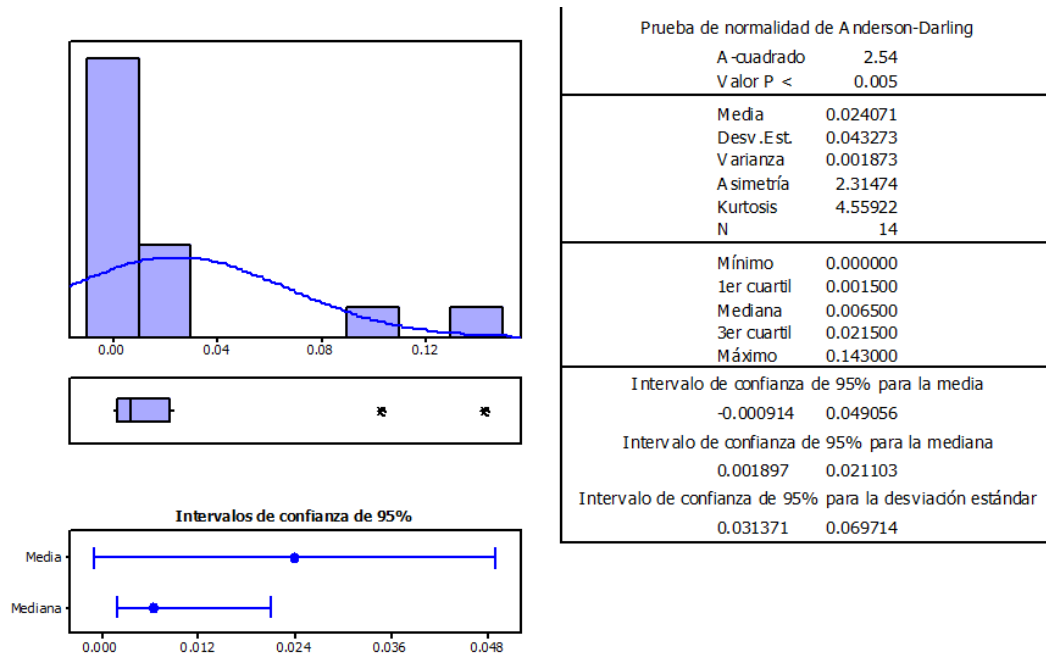


Figura 5.10: Estadísticas Descriptivas de Níquel

En la Tabla 5.1 se puede observar la evaluación de la concentración de metales pesados en la cuenca del Río Santiago respecto a los Límites permitidos por la normativa ecuatoriana para agua dulce contemplada en la *NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA* (Norma-Agua); los datos mostrados evidencian que en todos los ríos analizados existe al menos un metal pesado que excede el límite permisible; además, se puede apreciar que los ríos que presentan mayor presencia de contaminación por metales pesados son Ricaurte (Río Tululbí), Wimbi, Los Ajos y Zapallito.

Tabla 5.1: Evaluación de la concentración de metales pesados en la Cuenca del Río Santiago

| Cuenca Río Santiago | Zn | Cu | Cr | Fe | Ni |
|-------------------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------|
| Límites permitidos* | 0.18 mg/l | 0.02 mg/l | 0.05 mg/l | 0.3 mg/l | 0.025 mg/l |
| Punto Limpio Cachaví | 0.06 | 0.15 | 0.02 | 0.03 | 0.009 |
| Valle de la Virgen | 0.11 | 0.04 | 0.02 | 0.02 | 0.000 |
| San José de Durango | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.00 | 0.000 |
| Minas Viejas | 0.22 | 0.41 | 0.08 | 0.19 | 0.006 |
| La Boca | 0.48 | 0.14 | 0.04 | 0.66 | 0.021 |
| Ricaurte (Río Palaví) | 0.06 | 0.10 | 0.02 | 0.02 | 0.000 |
| Ricaurte (Río Tululbí) | 0.19 | 0.37 | 0.14 | 0.71 | 0.002 |
| Wimbi | 0.53 | 0.00 | 0.15 | 0.44 | 0.143 |
| Wimbicito | 0.22 | 0.09 | 0.03 | 0.22 | 0.007 |
| Concepcion | 0.16 | 0.19 | 0.04 | 0.08 | 0.023 |
| Los Ajos | 0.51 | 0.68 | 0.14 | 0.40 | 0.103 |
| Maldonado | 0.19 | 0.04 | 0.06 | 0.09 | 0.004 |
| Zapallito | 0.48 | 0.92 | 0.18 | 3.02 | 0.015 |
| Río Cachaví (San Antonio) | 0.18 | 0.04 | 0.02 | 0.06 | 0.004 |

* *NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA* (Norma-Agua)

Los hallazgos hasta aquí encontrados son el insumo para la construcción de un modelo estadístico que posibilite la caracterización de la especie de pez con mayor contaminación debido a metales pesados, que es la guaña, misma que puede ser hallada en uno de los ríos con mayor presencia de contaminación, el Río Zapallito, análisis que se explicará en la siguiente sección.

5.4. MODELO ESTADÍSTICO PARA LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

En esta sección se presentará un análisis sobre la construcción de un Modelo de Regresión Lineal que explique la contaminación de metales pesados en una especie de pez en un río donde se desarrolla la actividad de minería aurífera; para el efecto, se ha estudiado la concentración de un grupo de seis metales en la especie “guaña”, entre los que están el arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc, según se puede apreciar en la Tabla 5.2, las mediciones se realizaron en el Río Zapallito del cantón San Lorenzo, además de la concentración del grupo de metales en los peces, también se hicieron mediciones en el agua del río y en el sedimento.

Tabla 5.2: Concentración de Metales pesados en el Río Zapallito

| Metales pesados | Especie Guaña | Río Zapallito | Sedimento Río Zapallito |
|------------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------|
| As | 1.3 | 0.0025 | 2.5 |
| Cd | 1.5 | 0.0005 | 0.1 |
| Cu | 22 | 0.0270 | 28 |
| Hg | 0.1 | 0.0005 | 0.1 |
| Pb | 1.6 | 0.0025 | 4 |
| Zn | 42 | 0.1800 | 44 |

En el modelo propuesto, la variable a ser explicada es la concentración de metales pesados en la “Guaña” del Río Zapallito, en función de la concentración de metales pesados en el agua del río y el sedimento; bajo estas condiciones, el modelo planteado es de Regresión Lineal Simple obtenido mediante la utilización del software estadístico Minitab. Los resultados evidencian que con base al Valor p de las pruebas de significancia de los coeficientes, los parámetros del modelo son significativos; y, se obtuvo una alta potencia de explicación ($R^2 \times 100\%$) de 99.7%, lo cual indica que el modelo es bueno. véase Figura 5.11.

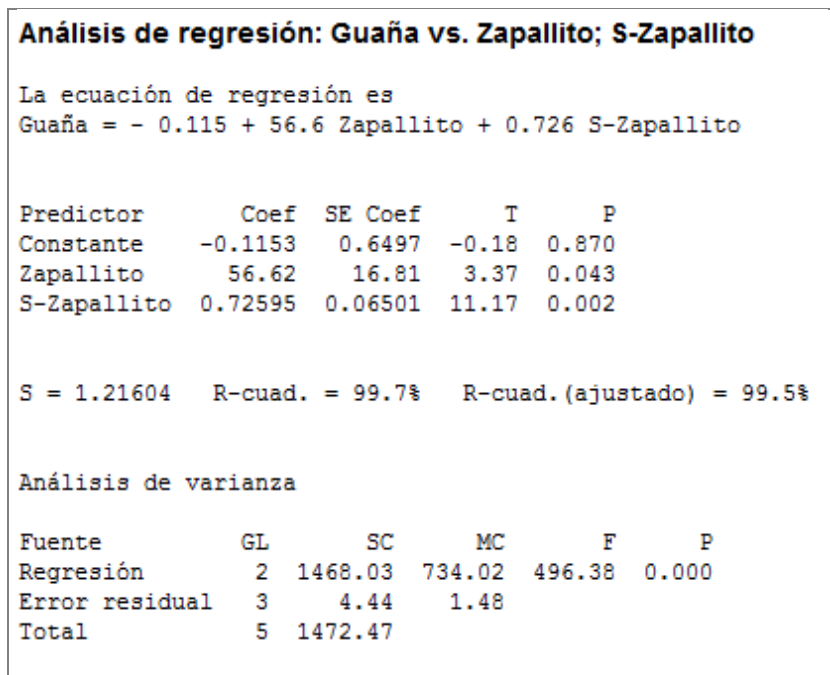


Figura 5.3: Modelo de Regresión Lineal Simple

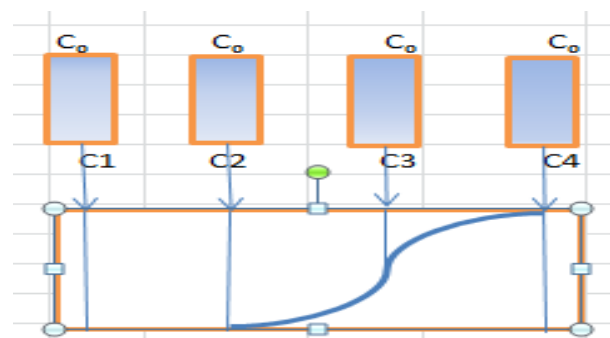
CAPÍTULO 6

PROPUESTA DE MEDIDA DE CONTROL

Debido al desarrollo de la actividad extractivista aurífera en el cantón San Lorenzo, provincia de Esmeraldas, actividad realizada muy cerca de los cuerpos de agua que están formado por los siguientes ríos: **Ríos Bogotá, Durango, Cachaví, Tululbí y Palabí**, en San Lorenzo Norte y por otro lado ríos **Wimbí, Wimbicito, Santiago, Cachaví Tululbí y Bogotá** en San Lorenzo Sur. Además aunque no es parte de nuestro trabajo actual, pero, forman parte del área de influencia del contaminante y pertenecen al cantón Eloy Alfaro aledaño o vecino al cantón San Lorenzo; los ríos **Santiago, Zapallito, Estero María, Estero Antonias y Cayapas** al Norte de Eloy Alfaro y el río **Borbón río Cayapas Sur** de Eloy Alfaro.

6.1. MITIGACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

Considerando la afectación a los ríos antes referidos, la propuesta de mitigación de los impactos ambientales producidos por los niveles de concentración de metales pesados por encima de la normativa ambiental, se propone la utilización de lechos fijos de absorción a base de zeolitas naturales, véase Figura 6.1.



C_0 [] = 5% s.i. C_1 [] = 0 C_2 [] = Pto. Ructura C_3 [] = C_0
 C_4 = [] Máxima en zeolita s.i. (solución inicial)

Figura 6.1: Funcionamiento de un lecho fijo de absorción de zeolitas

Según F. Morante (2014), en la Figura 6.1 se presenta una curva de ruptura, el catión que se absorbe se separa continuamente de la disolución y queda retenido en la zeolita, pasando los cationes intercambiables a la disolución. Durante la fase inicial, el catión se adsorbe sobre las capas superiores de la zeolita, situada en las proximidades de la entrada de la columna. A medida que la disolución atraviesa el lecho y las primeras capas se saturan con el catión, la zona de absorción, representada en tono celeste en la Figura 6.1 se desplaza en sentido descendente.

Inicialmente, la concentración del catión en el efluente es igual a cero (**C1**), hasta que la zona de adsorción llega a la base del lecho, momento en que se empezará a detectar el catión en el efluente y que se denomina punto de ruptura (**C2**), el tiempo de ruptura se define como aquel en que la concentración del catión en el efluente alcanza el 5% de la concentración inicial (**C0**). A partir del tiempo de ruptura, la concentración del catión crece rápidamente (**C3**) hasta alcanzar la concentración inicial (**C0**), momento en el cual el lecho de zeolita está completamente saturado (**C4**), (Morante, 2014).

MATERIALES:

- 2 buretas de 80 cm
- Colorímetro marca HACH DR 900
- Muestras de zeolitas
- Materiales complementarios

CÁLCULOS Y RESULTADOS:

Los resultados que se obtuvieron en el ensayo son:

- Tiempo de ruptura: t_b
- Masa de zinc adsorbida por gramos de muestras hasta saturación W_{sat} .
- Longitud equivalente de lecho no utilizado: **LUB**. (F., Morante 2004)

MUESTRA #1

Tabla 6.: Datos de la columna de adsorción, muestra 1 de zeolita

| ZEOLITA (g) | DIÁMETRO (cm) | ALTURA (cm) | VOLUMEN (cm³) | DENSIDAD (g/cm³) | CAUDAL (cm³/h) |
|--------------------|----------------------|--------------------|---------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| 18,0545 | 1 | 10,02 | 15,85 | 1,13 | 60 |

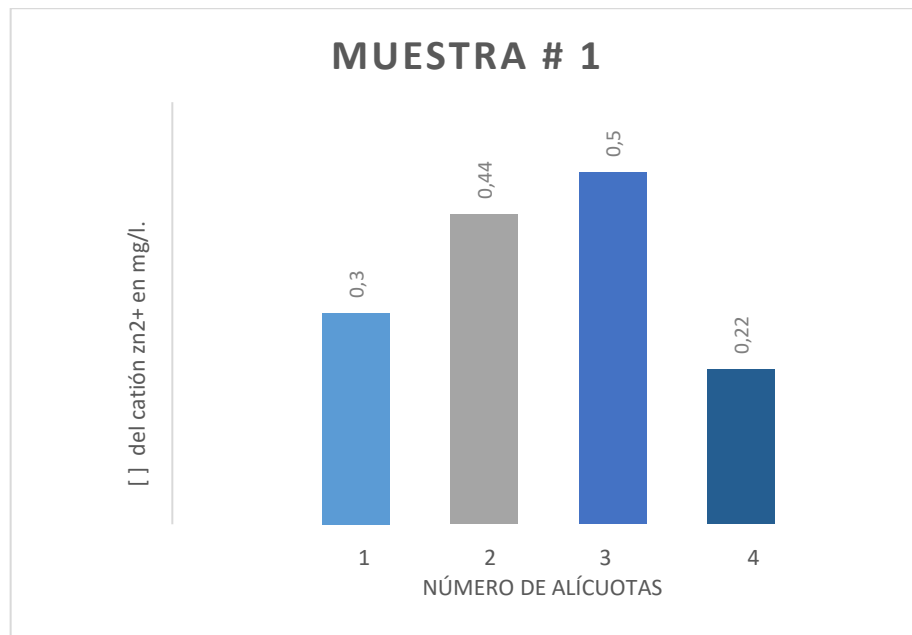


Figura 6.2: Absorción de Zn – Muestra 1 de zeolita

En la Figura 6.1 se puede observar la muestra #1 y su capacidad de absorción del catión zinc y se observa que solo tuvo capacidad de absorción hasta los 400 ml de sulfato de zinc.

Con los datos de la Tabla 6.1 y con el caudal de alimentación se obtiene la velocidad superficial del fluido (disolución), expresada en cm/h.

$$u_o = \frac{\text{caudal}[\frac{cm^3}{h}]}{\text{seccion}(cm^2)}$$

$$u_o = 76,40 \text{ cm/h}$$

La velocidad de alimentación del catión (zinc²⁺) por cm² de sección transversal, expresada en g/cm²/h, se obtiene:

$$F_A = \frac{u_o * C_o}{1000}$$

Dónde:

$$u_o = \text{velocidad superficial, en } \frac{cm}{h}$$

C_o Concentración inicial de catión, expresado en mg/cm³

$$F_A = 0,763 \frac{gZn}{cm^3/h}$$

El tiempo de ruptura de la ordenada C/C_o 0,5 1,40 h.

El tiempo de saturación de la ordenada C/C_o 1 10 h.

De tal manera que la masa de Zn²⁺ adsorbida por gramo de zeolita hasta saturación es.

$$W_{sat.} = \frac{F_A * \int_0^{t_{sat}} [1 - \frac{C}{C_o}] * d}{d * h}$$

De donde:

F_A Velocidad de alimentación del catión por cm² de sección transversal en g/cm²h.

d Densidad de la zeolita en g/cm^3

h Altura en cm del lecho filtrante.

$\int (1 - C/C_0) dt$. Área delimitada por la curva de ruptura y la ordenada $C/C_0 = 1$, expresada en horas. El límite superior de integración es el tiempo de saturación (t_{sat}), que corresponde a la ordenada de la curva donde C/C_0 es igual a 1.

$$W_{\text{sat}} = 161 \frac{\text{mgZn}}{\text{gzeolita}}$$

Para calcular la fracción del lecho no utilizado se tiene.

$$\text{LUB} = h * \left(1 - \frac{W_b}{W_{\text{sat}}}\right)$$

h longitud (altura) del lecho filtrante, expresado en cm.

W_b Masa adsorbida (Zn^{2+}) por gramo de zeolita hasta el tiempo de ruptura.

W_{sat} Masa adsorbida de (Zn^{2+}) por gramo de zeolita en el punto de saturación

$$\text{LUB} = 4,8 \text{ cm}$$

MUESTRA #2

Tabla 6.2: Datos de la columna de adsorción, muestra 1 de zeolita

| MUESTRA 2 (g) | DIÁMETRO (cm) | ALTURA (cm) | VOLUMEN (cm ³) | DENSIDAD (g/cm ³) | CAUDAL (cm ³) |
|------------------|------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| 18,0606 | 1 | 9,85 | 15,03 | 1,20 | 60 |

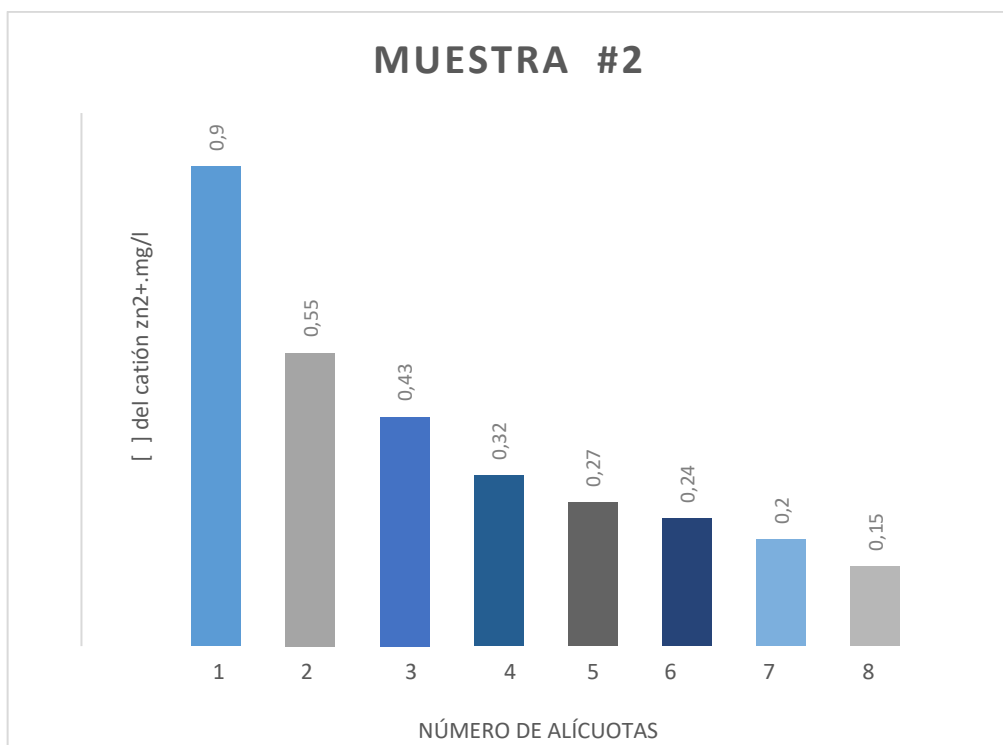


Figura 6.3: Absorción de Zn – Muestra #2 de zeolita

De acuerdo con esta metodología se obtuvieron los siguientes resultados de la Tabla 6.3; además, existe la posibilidad de utilizar una combinación como mejor convenga al contaminante y alcance que se desea absorber o depurar.

Tabla 6.3: Resultados finales de la absorción de las zeolitas

| ZEOLITAS | TIEMPO DE RUPTURA | TIEMPO DE SATURACIÓN | MASA ABSORBIDA POR GRAMO DE ZEOLITA |
|-----------|-------------------|----------------------|-------------------------------------|
| MUESTRA 1 | 1.40 H | 4 H | 161 MG / Zn2+ |
| MUESTRA 2 | 10.0 H | 14 H | 813 MG / Zn2+ |

Con estos datos experimentales en laboratorio se puede predecir que las zeolitas son absorbentes de metales pesados y permitirá plantear un porcentaje de remoción de metales pesados de los recursos hídricos, queda por estudiar una combinación de agentes absorbentes de acuerdo con las circunstancias ambientales por controlar o mitigar. Con base a estos resultados finales de absorción de metales pesados por medio de las muestras de zeolitas, se propone una alternativa para depurar aguas contaminadas por estos contaminantes, véase Figura 6.3.

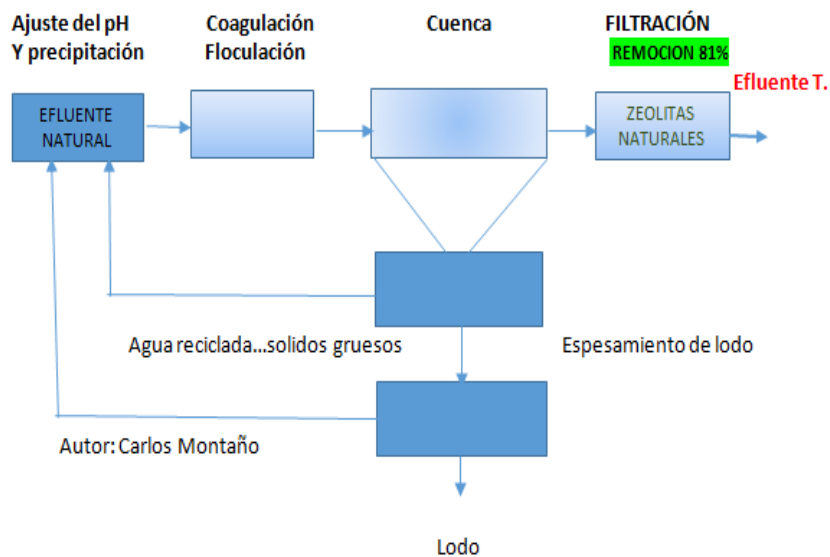


Figura 6.3: Esquema de Humedal para control

Este tipo de humedal artificial a base de zeolitas mostrado en la Figura 6.3, funcionará por gravedad o por una fuerza que impulse o aumente su caudal no más de cinco veces su caudal gravitatorio. El caudal por gravedad puede depurar o absorber metales pesados a un caudal de 2 m³/h, o más esto depende de las medidas de su diseño. La medición de las concentraciones de metales pesados se realizará por medio de sensores conectados a un monitor que nos presentará acumulación de metales pesados en la zeolita y en base a los datos de laboratorio se estimará el tiempo aproximado de saturación de las zeolitas para su reutilización.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- El análisis de el no cumplimiento de la normativa ambiental vigente respecto a la concentración de metales pesados en los recursos hídricos del cantón San Lorenzo son por diferentes actores citados en el presente estudio una evidencia que amerita un tratamiento urgente a los impactos y pasivos ambientales presentes en el cantón San Lorenzo en la provincia de Esmeraldas, este estudio presenta una alternativa como mecanismo de control.
- La evaluación de la concentración de metales pesados en peces quedó comprobado por un muestreo según el índice B.M.W.P. (Hellawell 1978) que nos permite determinar la calidad de las aguas por medio de bio-indicadores, asignándole un determinado número del 1 al 10 a cada familia y no en forma taxonómica (J. Alba-Tercedor., 1988). Esto hizo posible que siguiendo los protocolos de custodia de las muestras, llegasen en condiciones para su análisis al laboratorio acreditado. Considerándose necesario que al examinar las aguas se empleen los estándares internacionales (Methods, 2012)
- La evaluación de las concentraciones de los metales pesados en las especies de peces evidenció que la guaña del Río Zapallito presentó mayores niveles de contaminación, mientras que, en lo referente al sedimento, se pudo observar que el Río Cachaví presentó un alto nivel de cobre de alrededor de 40% sobre la normativa.

- Con el Análisis de las Estadísticas Descriptivas de la concentración de metales pesados en la cuenca del Río Santiago se pudo evidenciar que el río que presenta mayores concentraciones de zinc es el Río Wimbi, en tanto que aquel cuyas concentraciones de cobre, cromo y hierro son más altas respecto al resto de ríos analizados es el Río Zapallito; y, aquellos ríos que presentaron menores concentraciones fueron Valle de la Virgen, San José de Durango y Ricaurte.
- El modelo de regresión lineal simple para caracterizar la concentración de los metales pesados en la gúaña en función del agua y el sedimento del Río Zapallito en definitiva indica que a medida que se incrementa la concentración de metales pesados en el agua y el sedimento, se incrementa también la concentración de metales en el pez. El incremento es de 56.6 mg/l si se mantiene constante la concentración del sedimento, mientras que, es de 0.726 mg/l si se mantiene constante la concentración el agua del Río Zapallito.
- Se analizaron varios modelos para seleccionar uno que permita presenta la concentración de metales pesados en los peces de los ríos San Lorenzo, Se logró validar un modelo que logró modelar la contaminación en la especie gúaña en determinados ríos, con la salvedad de que los datos que son constantes en un conjunto de datos impidieron validar varios modelos.
- La alternativa propuesta en este estudio permite una remoción del catión Zn^{+2} en la segunda muestra de un 80%, lo cual tiene su explicación: Según análisis de difracción de Rayos X, realizada sobre ambas muestras presentes en este estudio, nos permite inferir en la disposición de los átomos, electrones y neutrones, en la cual está la respuesta de la capacidad de absorción de las muestras o también llamado *intercambio catiónico*.

- Se observó que la muestra 2 posee una capacidad de saturación mayor, por lo tanto, su capacidad de absorber es también mayor, esta particularidad de la muestra 2 nos permite predecir su empleo y su tiempo de trabajo en campo. En la propuesta que proponemos en este estudio hemos utilizado estos datos para fijar un caudal de depuración de metales pesados de (2600 mg de zinc / m³ de agua) El diseño propone 3-5 m³ / h. También se puede concluir que los metros cúbicos a depurar de metales pesados son directamente proporcional a la cantidad de zeolitas con determinada capacidad de absorción.

7.2. RECOMENDACIONES

- Siendo una evidencia la concentración de metales pesados en peces, agua y sedimento, por encima de la normativa ambiental vigente se sugiere una campaña integral de análisis de sangre a la población y una capacitación ambiental permanente e incrementar la distribución de filtros artesanales en las parroquias para obtener agua segura para la población.
- El optar por un protocolo sistemático en la toma de muestras de peces hubiese dado una mejor cuantificación de concentraciones de metales pesados en las diferentes especies de peces, pero, para el objetivo de este proyecto sólo se presenta la presencia de los contaminantes es los peces en forma general, queda abierta la opción para que se realice un muestreo sistemático y taxonómico.
- La modelación de la contaminación de peces por metales pesados sufrió el inconveniente de que gran parte de los resultados eran constantes por lo tanto, los ajustes no eran coherentes, de ahí que, es importante ampliar el rango de especies para tener mayor variabilidad de los datos.

- La remoción de metales pesados por las muestras utilizadas en la propuesta presentada en este proyecto se justificó plenamente por medio del análisis de rayos X a la que fueron sometidas ambas muestras y en la cual se observó la forma espacial de los electrones. Se recomendaría realizar otros análisis como por ejemplo el tamaño de poro y la forma cristalina de los otros componentes de las respectivas muestras. Esto permitiría saber que otros metales pesados, además del Zn se podrían absorber en la misma columna.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (s.f.).
ATSDR. (2017). *Tóxic Substances Portal*.
<https://www.atsdr.cdc.gov/substances/index.asp>. Atlanta.
- Bancomundial. (2016). *LAS TENDENCIAS DE LA INVERSIÓN MINERA A NIVEL MUNDIAL Y EL CASO DE AMÉRICA LATINA* WWW.BAMCOMUNDIAL.ORG <https://www.ritimo.org.Las-tendencias>. Nueva York: bm.
- BCE. (2017). *BANCO CENTRAL DEL ECUADOR - REPORTE DE MINERÍA* <https://contenido.bce.fin.ec.Estadistica>. Quito: bce.
- Bustos, F. (2016). *Manual de Gestión y Control Ambiental 5ta Edición*. Quito: Acierto Gráfico.
- Calidad-Ambiental. (s.f.). *Norma de Calidad Ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6078/39/LIBRO%20VI%20Anexo%20%20Remediacion%20de%20suelos.pdf>
- Canovas R., C. (2013). *Geology, a tool to solve current environmental: Remediation of mining in the Iberian Pyrite Belt*. Iberian: Geología.
- COA. (2017). *Suplemento – Registro Oficial N° 983 - Código Orgánico del Ambiente*. Obtenido de <http://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/private/asambleanacional/filesasambleanacionalnameuid-29/Leyes%202013-2017/102-ambiente/ro-cod-ambiente-ro-s-983-12-04-2017.pdf>
- CONVENIORAMSAR. (2012). *Convenio Sobre Humedales Ramsar*. www.ramsar.org. <https://youtu.be/ynw61DCOfs>. Ramsar: UNESCO.
- Dante, J. (2016). *Diseño del sistema de tratamiento Pasivo de filtraciones provenientes del depósito e material adecuado d eminería la zanja*. España: Tesis de maestría p18-20.
- Domínguez, M. (2013). La Minería a Gran Escala en Ecuador: Una Perspectiva de desarrollo. *Revista E+E ESPAÑA Y EMPRESA: Año 3 # 1*, p 18.
- EPA. (2017). *Heattly Watersheds Protection*. <https://epa.gov/hwp>. Pennsylvania.
- ERMISA. (2006). *Remediación Pasiva In Situ de Drenajes Minero/Industrial*. *ERMITE*, P.6-8.
- European-Commission. (2006). *Legislation on heavy metals in feed and food*. Obtenido de <https://ec.europa.eu/jrc/en/eurl/heavy-metals/legislation>
- GROUP, T. T. (2014). *Remediación Ambiental* www.Tolsa.com.remediaciónambiental.
- Hallberg, J. y. (2005). The importance of biological oxidatión of iron in the aerobic cells of the Jane pilot passive treatment system. *ELSEVIER* <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969704006242>, 67-72.
- Indeglia, P. A. (2012). *ANUARIO DE INVESTIGACIONES Y DESARROLLO*. PUCESE. Esmeraldas: Don Bosco.
- J. Alba-Tercedor., A. S.-O. (1988). *UN MÉTODO RÁPIDO Y SIMPLE PARA EVALUAR LA CALIDAD BIOLÓGICA DE LAS AGUAS CORRIENTES*

- BASADO EN EL DE HELLAWELL(1978). *Asociación Española de Limnología*. www.cienciaviva.pt. Alba-Tercedor1988., p.3.
- Ley-Gestión-Ambiental. (2004). CONGRESO NACIONAL Registro Oficial Suplemento 418 de 10-sep-2004. Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf> (NACIONAL)
- Methods, S. (2012). *Examination of water and wastewater*. <https://revista.ucm.es/index.php/ANHM/article/viewFile/40440/38790>. New York.
- MINERA, L. (2015). *Reglamento General de la Ley Minera*. www.minería.gob.ec/uploads/2015/08. Quito.
- Morante, F. (2014). *Zeolitas Naturales del Ecuador: Geología, caracterización y aplicación 1 ra Edición*. Guayaquil: ESPOL.
- Norma-Agua. (s.f.). *NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA*. Obtenido de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
- Pezo, R. H. (1992). Determinación de metales pesados bioacumulable en especies icticas de consumo humano en la amazonia Peruana. *Folia Amazonica*, Volumen 4 p 35.
- Pushini, L. (2017). *DRENAJES ANOXICOS CALIZOZ*. <https://es.slideshare.net/MarcosDalmasi>. Santo Domingo.
- Rebolledo, E. (2013). *La actividad minera en el norte de Esmeraldas-Ecuador*. ANUARIO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO.PUCESE. Esmeraldas: don bosco.
- Salas, J. J. (2017). jornadas Técnica Depuración de Aguas Residuales. *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EXPLOTACIÓN DE HUMEDALES ARTIFICIALES EN PEQUEÑOS MUNICIPIOS* (pág. 1). Castellón. www.jornadashumedales.com: Word Press.
- SENAGUA. (2012). *Muestra de Calidad del Agua en el río Cayapas*. [www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/Muestreo Calidad de AguaCayapas.pdf](http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/Muestreo%20Calidad%20de%20AguaCayapas.pdf). Eloy Alfaro: senagua.
- Telégrafo. (20 de Septiembre de 2016). Economía. *Minería generará \$ 8000 MM de dolares hasta 2025*, pág. 1.
- UNIVERSO, E. (2017). *Metales Pesados son una amenaza según informe*, p8-9. Guayaquil: El Universo.