

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Título del trabajo

“Categorización y gestión del riesgo asociado a la presencia de metales pesados producto de las actividades extractivas en el cantón Santa Rosa, El Oro”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero de Minas

Presentado por:

Diego Alberto Capa Sarango
Abner Ezequiel Valdivieso Palma

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme, cuidarme en una ciudad ajena y por regalarme sabiduría en esta etapa estudiantil.

A mis padres, Olga y Luis por su amor, entrega y sacrificio de muchos años, por sus lágrimas derramadas en cada despedida.

A mis hermanas y hermanos, que han sido mi gran apoyo, velando siempre por mi bienestar y que gracias a sus sacrificios he llegado muy lejos.

A Ginger, por su amor y que a pesar de la distancia siempre ha estado para apoyarme a cumplir cada meta en mi vida.

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico a mi madre Ruth P., por su sacrificio, sus oraciones y consejos que me impulsan a ser una mejor persona.

¡Te amo y te necesito siempre!

A mis hermanos, porque de una u otra forma me brindaron su apoyo para lograr alcanzar un objetivo más.

¡Gracias por sus ejemplos!

A mi persona especial, por inspirarme y extenderme su mano en todo momento, por acompañarme en mis sueños y metas.

¡Te admiro grandemente!

A Dios, por ser mi protector y mi guía, por darme fuerzas y levantarme cuando me he sentido derrotado.

¡Creo en ti!

AGRADECIMIENTOS

A nuestra tutora Ph.D. Samantha Jiménez Oyola, por compartir sus conocimientos y experiencia, por encaminarnos con rigor y exigencia, por la revisión minuciosa del presente documento. Gracias por enseñarnos que con dedicación y mucho esfuerzo se pueden obtener grandes logros.

A nuestra Decana de la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Ph.D. Paola Romero Crespo, por toda la ayuda brindada durante el desarrollo de este trabajo, por su orientación, atención, gran apoyo moral y humano. Gracias por creer en nuestro potencial.

Al Ph.D. Eduardo Chávez de Facultad de Ciencia de la Vida (FCV) por el apoyo logístico y de laboratorio para el análisis de las muestras de agua y sedimentos que fueron fundamentales para el desarrollo de este estudio.

A ESPOL, por brindarnos todas las facilidades y recursos para la realización del proyecto integrador, por la excelente formación académica en nuestros años de estudio, y por las experiencias y personas que aquí conocimos.

A todos los docentes de nuestra institución que se esfuerzan cada día por impartir su cátedra con sabiduría, y así, aportar en nuestro desarrollo personal y profesional.

Al GAD Municipal de Santa Rosa, Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado del cantón Santa Rosa (EMAPASR EP), y Empresa de exploración minera Torata Mining Resources (TMR SA), por el apoyo brindado para la ejecución de este estudio.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Diego Alberto Capa Sarango y Abner Ezequiel Valdivieso Palma, damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Abner Ezequiel Valdivieso Palma



Diego Alberto Capa Sarango

EVALUADORES

MSc. Samantha Jiménez Oyola

PROFESOR Y TUTOR DE LA
MATERIA

MSc. Christian Alvear Gallardo

PROFESOR COTUTOR

RESUMEN

En este trabajo se evaluó la presencia de metales pesados en la cuenca del Río Santa Rosa. Esta zona se caracteriza por la presencia de actividades mineras cuestionadas por contaminar el recurso hídrico, que abastece a aproximadamente el 85% de la población del cantón. Para este propósito, se tomaron muestras de agua superficial y sedimentos en las quebradas El Panteón, El Gringo y el Río Santa Rosa, y aguas de grifo en la cabecera cantonal y parroquias aledañas. Los análisis de agua se realizaron en KU Leuven-Bélgica y los análisis de sedimentos se realizaron en el Laboratorio de Suelos y Nutrición Vegetal de la Facultad Ciencias de la Vida (FCV) de ESPOL. El contenido de metales pesados en agua fue comparado con los valores de referencia natural y normativa ambiental nacional e internacional. Además, se valoró la calidad del agua de acuerdo con el Metal Índice. En sedimentos, se determinó el factor individual de contaminación (Eri), índice de riesgo ecológico (IR), índice de geoacumulación (Igeo), y los niveles de efecto umbral (TEL) y efecto probable (PEL). Como resultado se obtuvo que el 61% de las muestras de agua superficial están en el rango de moderado a gravemente afectado, y que el 91% de las muestras de agua de grifo se encuentran en la clasificación muy pura y pura. También se determinó que el 20% de las muestras de sedimentos de las quebradas El Panteón y El Gringo presentan un alto riesgo ecológico debido a la presencia de As, Cd y Cu. Con la finalidad de minimizar el contenido de metales pesados en aguas y sedimentos en el entorno minero, se presenta una propuesta preliminar que incluye la implementación de métodos de tratamiento pasivo como la construcción de humedales en las quebradas, además de canales de zeolita en la zona de descargas mineras.

Este estudio permitió evaluar el nivel de contaminación de la zona de interés; información que puede servir como línea base para futuros estudios en el área. Además, la información levantada en este trabajo permitirá a los tomadores de decisión implementar acciones para proteger la salud del medio ambiente y de la población.

Palabras claves: Metales pesados, Metal índice, índice de riesgo ecológico, índice de geo acumulación.

ABSTRACT

In this study, the presence of heavy metals in the Santa Rosa River basin was evaluated. This area is characterized by the presence of mining activities questioned for polluting the water resource, which supplies approximately 85% of the population of the canton. For this purpose, samples of surface water and sediments were taken in the El Panteón, El Gringo and Río Santa Rosa ravines, and tap water in the cantonal headwaters and surrounding parishes. The water analysis was carried out in KU Leuven – Belgium and the sediments analysis was carried out in the Soil and Plant Nutrition Laboratory of the Life Sciences Faculty (FCV) of ESPOL. The heavy metals content in water was compared with the natural reference values and national and international environmental regulations. In addition, the water quality was assessed according to the Metal Index. In sediments, the individual pollution factor (Eri), ecological risk index (IR), geoaccumulation index (Igeo) and threshold effect levels (TEL) and probable effect (PEL) were determined. As a result, 61% of surface water samples are in the moderate to severely affect range, and 91% of tap water samples are in the very pure and pure classification. It was also determined that 20% of the sediment samples from the El Panteón and El Gringo streams present a high ecological risk due to the presence of As, Cd and Cu. To minimize the heavy metal content in water and sediment in the mining environment, a preliminary proposal is presented which includes the implementation of passive treatment methods such as the construction of wetlands in the ravines, as well as zeolite channels in the mining discharge zone.

This study made it possible to assess the level of pollution in the area of interest; information that can serve as a baseline for future studies in the area. In addition, the information gathered in this study will allow decision – makers to implement actions to protect the health of the environment and the population.

Keywords: Heavy metals, Metal index, Ecological risk index, Geoaccumulation index

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
CONTENIDO.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Justificación del problema.....	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Marco teórico	5
1.4.1 Minería.....	5
1.4.2 Minería en Ecuador.....	5
1.4.3 Metales pesados: impactos ambientales y en la salud	6
1.5 Estudios previos en la zona	11
1.6 Marco Legal	12
2 METODOLOGÍA.....	13
2.1 Área de estudio	13
2.2 Muestreo y análisis de laboratorio.....	16
2.2.1 Campaña de muestreo	16
2.3 Preparación de las muestras.....	20

2.3.1	Muestras de agua	20
2.3.2	Muestras de sedimentos	21
2.4	Análisis químico	22
2.5	Evaluación de la contaminación	23
2.5.1	Valores de fondo natural	24
2.5.2	Límites permisibles acorde a la normativa vigente	24
2.5.3	Evaluación de la calidad del agua	25
2.5.4	Evaluación de la calidad de sedimentos	26
3	RESULTADOS Y ANÁLISIS	30
3.1	Parámetros fisicoquímicos	30
3.2	Evaluación de la contaminación	31
3.2.1	Comparación con los valores de fondo natural	31
3.2.2	Comparación con la normativa vigente	33
3.2.3	Distribución espacial del nivel de contaminación de aguas	35
3.2.4	Aguas de grifo	38
3.2.5	Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el Metal Index.	39
3.2.6	Clasificación de la calidad de sedimentos	42
3.2.7	Diagramas de dispersión de la concentración de metales pesados	47
3.2.8	Correlación de Spearman	48
3.3	Propuesta preliminar de mitigación para la reducción de la contaminación ..	50
3.3.1	Base conceptual de la propuesta	51
3.3.2	Consideraciones para la implementación	53
3.3.3	Costos preliminares	60
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
4.1	Conclusiones	62

4.2 Recomendaciones65

BIBLIOGRAFÍA.....66

APENDICES

Apendice A. Coordenadas de los emplazamientos muestreados

Apendice B. Registro fotográfico

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Mapa de ubicación del área de estudio.....	15
Figura 2.2 Campaña de muestreo.....	16
Figura 2.3 Localización de los puntos en la Zona 1.....	18
Figura 2.4 Localización de los puntos en la Zona 2.....	19
Figura 3.1 Análisis espacial de metales pesados en agua superficial.....	38
Figura 3.2. Distribución espacial de aguas de grifo.....	39
Figura 3.3 Clasificación de la calidad del agua superficial según el Metal Index.	40
Figura 3.4. Clasificación de la calidad del agua de grifo según el Metal Índice.....	41
Figura 3.5 Distribución espacial de los resultados del índice de riesgo ecológico. ..	43
Figura 3.6. Índice de Geo acumulación para la zona 1.	44
Figura 3.7. Resultados del análisis del TEL y PEL.....	46
Figura 3.8 Diagramas de cajas de metales pesados en agua superficial vs el logaritmo de la concentración.....	47
Figura 3.9. Diagrama de la distribución de la concentración en muestras de agua de grifo analizadas.	48
Figura 3.10. Diagramas de cajas de metales pesados en agua de casas vs el logaritmo de la concentración.....	48
Figura 3.11 Correlación de Spearman para las aguas superficiales.	49
Figura 3.12 Correlación de Spearman para la matriz de agua de grifo.	49
Figura 3.13. Correlación de Spearman para sedimentos.	50
Figura 3.14. Vista lateral del canal zigzagueante escalonado - Tramo Cajetín 1 a Cajetín 2.....	54
Figura 3.15. Vista lateral del canal zigzagueante escalonado - Tramo Cajetín 2 a descarga de la quebrada.....	55
Figura 3.16. Vista frontal de escalón del canal zigzagueante.....	55

Figura 3.17 Diseño de implementación del sistema de tratamiento pasivo en las quebradas El Panteón y El Gringo.56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Itinerario de muestreo de agua y sedimentos en el cantón Santa Rosa...	17
Tabla 2.2 Equipos y materiales utilizados en la preparación de muestras de agua.	20
Tabla 2.3 Equipos y materiales utilizados en la preparación de muestras de sedimentos.	22
Tabla 2.4 Valores de fondo (Bi) de agua superficial y sedimentos según PRODEMINCA.	24
Tabla 2.5 Límites máximos permisibles (LMP) para aguas superficiales y aguas de grifo.	25
Tabla 2.6 Clasificación del índice de metales.	26
Tabla 2.7 Clasificación del nivel de contaminación.	27
Tabla 2.8 Clasificación del riesgo ecológico.	27
Tabla 2.9 Nivel de contaminación del índice de Geo-acumulación.	28
Tabla 2.10 Directrices de calidad para metales en sedimentos.	29
Tabla 3.1 Resumen estadístico de parámetros fisicoquímicos de agua superficial, Zona 1.	30
Tabla 3.2 Resumen estadístico de parámetros fisicoquímicos de agua de grifo, Zona 2.	31
Tabla 3.3 Comparación de estadísticos de agua superficial con valores de fondo.	32
Tabla 3.4 Comparación de estadísticos de sedimentos con valores de fondo.	33
Tabla 3.5 Resumen estadístico de los resultados de aguas superficiales.	34
Tabla 3.6 Resumen estadístico de los resultados de aguas de grifo.	35
Tabla 3.7 Factor individual de contaminación.	42
Tabla 3.8 Ventajas y desventajas del proceso de fitorremediación con especies hiper acumuladoras (Delgadillo-López et al., 2011).	53

Tabla 3.9. Cronograma de actividades de monitoreo y mantenimiento del sistema de tratamiento pasivo para las quebradas el Panteón y El Gringo.....	59
Tabla 3.10 Costos de implementación de la propuesta.....	61

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En Ecuador, el proceso de extracción de minerales metálicos, desde la época prehispánica, ha provocado contaminación ambiental en distintas partes del país. La falta de tecnología e infraestructura adecuada en las actividades mineras artesanales y de pequeña escala (MAPE), ha ocasionado la liberación y transporte de elementos contaminantes, principalmente metales pesados y metaloides, en aguas superficiales, sedimentos de río, suelos, etc. (Rodrigo Oviedo et al., 2017).

La minería es una actividad altamente cuestionada, debido al impacto potencial que tiene sobre el medio ambiente, no solo en el entorno de los proyectos mineros; dado que los contaminantes emitidos pueden afectar y contaminar áreas más grandes. Las malas prácticas mineras y la falta de control ambiental en los procesos de extracción mineral han provocado numerosos casos de degradación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, afectando también la calidad de vida de los usuarios de estos recursos. En Ecuador se han reportado diversos casos de contaminación relacionada con actividades mineras metálicas, principalmente en las zonas de Ponce Enríquez (Sierra et al., 2017), Portovelo – Zaruma y Nambija (Carling et al., 2013).

Santa Rosa forma parte de las zonas con potencial minero en el país, sin embargo, presenta una limitada cantidad de información sobre la calidad de los recursos hídricos, a pesar de que, en la parte alta del Río Santa Rosa (que abastece de agua al cantón del mismo nombre) se encuentran situadas varias concesiones mineras metálicas (IGM, 2020). Además, en esta zona se han reportado indicios de contaminación debido al drenaje ácido de mina que se descarga directamente en la cuenca alta del Río Santa Rosa (Angamarca & Valarezo, 2020).

En este contexto, el proyecto tiene como finalidad evaluar la calidad del agua en el cantón Santa Rosa, tanto en el entorno minero como en el núcleo urbano. Así mismo, se busca evaluar la calidad de los sedimentos de río con la finalidad de conocer el estado ecológico de este recurso. Finalmente, esta información permitirá

caracterizar el riesgo ambiental y proponer medidas de acción para minimizar la afectación de los recursos naturales en el área de estudio. Así mismo, la información generada en este trabajo permitirá a los tomadores de decisión implementar acciones para proteger la salud de la población y del medio ambiente.

1.1 Descripción del problema

La presencia de metales pesados en ríos y afluentes próximos a sectores mineros del sur de Ecuador es objeto de estudio debido a los altos índices de contaminación producto de la dispersión fluvial de los desechos de procesamiento de minerales. Estos elementos, junto a los sulfatos y otros contaminantes exceden, desde hace décadas, los valores de las Guías de Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y los Criterios de Calidad de Agua para la Protección de la Vida Acuática de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) (Appleton et al., 2001).

En Ecuador, la industria de explotación de materia prima ha generado una evidente contaminación de los recursos hídricos (Herrera, 2021). La provincia de El Oro sufre el deterioro del medio ambiente producto de la minería (Egas, 2009). Las microcuencas de los ríos Santa Rosa, Caluguro y San Agustín han sido afectadas por la actividad minería que se realiza en el sector. Además, se evidencian otros eventos que suman a la problemática como: la deforestación, las descargas de aguas residuales domésticas y las actividades turísticas (GAD Santa Rosa, 2018).

En los procesos de obtención de minerales se generan residuos con contenido metálico, que muchas veces son vertidos a los ríos. Estas sustancias se desplazan por el movimiento de los afluentes, alcanzando grandes extensiones y depositándose, a lo largo de su trayecto, en el fondo del cauce por la acción de la fuerza gravitatoria.

Estudios recopilados entre 2005 y 2015 indican afectación en el Río Santa Rosa, en donde se ha verificado contaminación por metales pesado, como: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Hierro (Fe), Mercurio (Hg), Plomo(Pb), además se ha identificado actividades de lavado de oro, residuos de combustible, entre otros, los cuales son una importante fuente de aporte de metales pesados al ecosistema

(Pardo, 2015). Esto es preocupante, ya que el Río Santa Rosa es la fuente de abastecimiento de agua del 85% de la población del cantón.

Cuando la concentración de los elementos sobrepasa los valores de su entorno natural y/o los límites permisibles de las normas establecidas, ocurre la contaminación, convirtiéndose no solo en un problema para el ecosistema sino también para la salud de la población en general.

En Santa Rosa, hechos ocurridos en febrero de 2021 generaron temor por eventos de intoxicación masiva en la población. Esta situación, fue inicialmente relacionada, por la población, con el consumo de agua. Las autoridades municipales de Santa Rosa realizaron análisis y descartaron contaminación microbiológica o con coliformes fecales, por lo que las investigaciones se centraron en el contenido de metales pesados en el agua de abastecimiento (García, 2021).

A partir de lo mencionado previamente, surge la siguiente pregunta: ¿Cuál es el grado de afectación al ecosistema y a la población provocada por las actividades de explotación minera en Santa Rosa?

A escala mundial, la falta de implementación de sistemas de control ambiental ha ocasionado la degradación de los recursos naturales en muchas zonas alejadas a los proyectos mineros. La determinación del grado de contaminación en aguas y en sedimentos, siguiendo metodologías ya establecidas, es fundamental de cara a la implementación de sistemas de tratamiento para minimizar el impacto de las prácticas extractivas.

1.2 Justificación del problema

Ante los eventos de intoxicación masiva por ingesta de agua, que afectó a más de 1000 habitantes de Santa Rosa en el mes de febrero de 2021, y ante las sospechas de que las causas provienen de la contaminación del agua producto de la actividad minera establecida en la zona, resulta de gran importancia investigar esta situación que genera temor e incertidumbre en la población.

Es importante conocer el estado situacional de las actividades mineras en el cantón, sobre todo, aquellas que descargan efluentes producto de los procesos mineros en

la cuenca del Río Santa Rosa, ya que, esta es la principal fuente de captación de agua para la planta de tratamiento que abastece a gran parte de la población.

Con base en lo expuesto, el presente estudio busca identificar las implicaciones de la contaminación debido a la presencia de metales pesados producto de las actividades de explotación minera metálica en el cantón Santa Rosa, mediante la evaluación de la calidad de agua y sedimentos para proponer medidas de acción y minimizar la contaminación.

Este estudio busca generar información útil con el fin de ampliar el conocimiento de la problemática que se vive en la actualidad, las formas de minimizar y prevenir los factores adversos en el medio ambiente y precautelar la salud de más de 69.036 habitantes del cantón Santa Rosa. Además, por la metodología utilizada, el presente trabajo puede replicarse en otras zonas que se consideren afectadas por este tipo de contaminación. De tal manera, se logrará conservar y mejorar las condiciones de los recursos naturales sin interrumpir el desarrollo económico local y nacional.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Categorizar el riesgo asociado a la presencia de metales pesados en aguas superficiales y sedimentos del Río Santa Rosa y aguas del grifo del casco urbano y parroquias aledañas, mediante la evaluación de la contaminación, de cara a la presentación de propuestas de gestión que minimicen los efectos adversos en el medio ambiente.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la contaminación con base en la comparación de las concentraciones de metales pesados con la normativa nacional e internacional.
- Categorizar la calidad del agua de acuerdo con el Metal Índice; y la calidad de sedimentos de acuerdo con el Índice de Geo Acumulación, Índice de Riesgo Ecológico y Niveles de efectos umbral y efecto probable (TEL y PEL).
- Proponer medidas de acción que minimicen la contaminación en las zonas identificadas como de mayor riesgo para el ecosistema y la población.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Minería

Según Pereyra (2015), la minería es aquella actividad que tiene como objetivo extraer, explotar y recuperar minerales con potencial a ser comercializados para lograr una ganancia económica. Se conoce a la minería como la extracción, procesamiento y transformación de recursos naturales no renovables, metálicos o no metálicos provenientes del suelo o subsuelo que son utilizados para el desarrollo de la vida cotidiana. Es una de las actividades más antiguas, originada incluso mucho antes de la aparición del hombre moderno, hace unos 175.000 años (Bustamante & Lara, 2010). Un concepto actualizado define a la minería como, una actividad económica que comprende la extracción, procesamiento y aprovechamiento de los minerales mediante la aplicación de técnicas y conocimiento científico para el descubrimiento y explotación de yacimientos minerales (BCE, 2021).

1.4.2 Minería en Ecuador

Según la Constitución de la Republica del Ecuador (2008), en su artículo 408 menciona que los recursos naturales “son de propiedad inalienable, imprescriptible e inembargable del Estado los recursos no renovables y, en general los productos del subsuelo, yacimientos minerales y de hidrocarburos...”.

La Ley de Minería (2009), vigente en el país establece que existen cuatro tipos de minería: artesanal o de subsistencia, pequeña minería, mediana minería y minería a gran escala. Cuando el aprovechamiento de los minerales se realiza sin previa autorización de la entidad gubernamental a cargo, esto se considera minería ilegal. Para el estado ecuatoriano, las actividades mineras ilegales se han convertido en un problema, ya que son fuentes directas de contaminación ambiental. En el período del 2000 al 2006, el precio del oro (metal que es de mayor aprovechamiento en el país) elevó su valor a nivel mundial y fue una de las principales razones por la que se incrementó la minería ilegal en Ecuador (Cisneros, 2014).

En el cantón Santa Rosa se realiza, mayoritariamente, actividad minería artesanal y de pequeña escala. Además, se tiene el proyecto Cangrejos, a gran escala, pero que aún no se encuentran en fase de explotación (BCE, 2021). Sin embargo,

también existe indicios de minería ilegal realizada en la parte alta del Río Santa Rosa, lo que se considera puede ser una fuente importante de contaminación en el sector.

1.4.3 Metales pesados: impactos ambientales y en la salud

1.4.3.1 Metales pesados

Son elementos esenciales que existen en el planeta Tierra; constituyen un grupo de cuarenta elementos aproximadamente. Se les atribuye el término de metales pesados debido a que su densidad es cinco o más veces mayor a la densidad del agua. A pesar de que estos elementos son esenciales para el desarrollo y crecimiento de los seres humanos, se ha demostrado que su alta concentración podría generar efectos tóxicos en las personas, alterando o desnaturalizando sus proteínas (Cañizares-Villanueva, 2000).

1.4.3.2 Contaminación por metales pesados

Los diferentes metales pesados que existen pueden transportarse por medio del aire, agua y suelo (Reyes et al., 2016). La concentración de metales pesados en cuerpos de agua puede aumentar de dos maneras; la primera sucede de forma natural cuando por medio de la dilución y de la erosión de minerales; la segunda ocurre por medio de las actividades antropogénicas como la extracción de minerales (Reyes-Navarrete et al, 2007), en donde algunas industrias no utilizan técnicas ingenieriles adecuadas y los residuos son vertidos sin previo tratamiento al medio ambiente.

- Arsénico (As)

Metaloide que se encuentra naturalmente sobre la corteza terrestre, en cuerpos de agua superficial. Su concentración no debería superar a 1 – 2 g/l (OMS, 2011). Este metaloide puede ser hallado de dos formas, orgánica e inorgánica siendo esta última como la forma más tóxica. Los seres humanos pueden entrar a una exposición extensa de arsénico cuando su fuente de consumo y uso de agua está por encima de los niveles establecidos. Otra forma de entrar a una exposición prolongada es el riego de plantaciones con agua contaminada y procesos industriales (OMS, 2018).

Existen efectos agudos y a largo plazo que puede provocar el arsénico sobre la salud en los humanos. En estos primeros la intoxicación hace que se presenten síntomas como vómitos, malestar abdominal, diarrea, calambres musculares, hormigueo en manos y pies. Han ocurrido casos extremos en donde el afectado llega a fallecer por estos efectos agudos. Los efectos que aparecen sobre el humano tras una exposición seguida mínima de cinco años son lesiones cutáneas, despigmentación de la piel y se les atribuye a los primeros síntomas de cáncer de piel. Además, puede provocar diabetes, daños en el sistema cardiovascular, respiratorio incluso cáncer pulmonar (OMS, 2018).

- Cadmio (Cd)

Es un elemento que no está de forma natural en la corteza terrestre, se lo encuentra junto con el zinc. Su valor de referencia es de 0.004 mg/l, es usado en la fabricación de pilas para equipos electrónicos. Llega al ambiente mediante la descarga de aguas residuales y el uso de fertilizantes (OMS, 2011), pero también por erosión de rocas que contienen cadmio.

Las afecciones por la exposición a este metal pueden ser por ingesta o inhalación y a la vez se clasifican de acuerdo con el tiempo de exposición, cada una presenta síntomas diferentes. En caso de haber ingerido agua o alimentos contaminados con cadmio la persona presentará síntomas de intoxicación como: vómito, dolor de cabeza, dolores abdominales y diarrea. Estos síntomas se presentan cuando se ingiere agua o alimentos con concentración de cadmio alrededor de 15 mg/l. Las afecciones en un periodo a largo plazo por cadmio son daños a los riñones. Por inhalación de cadmio los seres humanos pueden contraer enfermedades pulmonares como edema pulmonar (García et al., 2012).

- Cobalto

No se encuentra normalmente libre en el medio ambiente, pero cuando este metal no se deposita en el suelo, es adsorbido por las plantas y animales. Es un mineral beneficioso para el ser humano, ya que aporta con vitamina B12, pero las concentraciones excesivas pueden deteriorar la salud, produciendo graves efectos pulmonares, como asma y neumonía. Los efectos más comunes por intoxicación

con Cobalto son: Vómitos, problemas de visión, problemas al corazón y daño en las tiroides. (Lenntech, s.f.)

- Cromo (Cr)

Elemento que puede presentarse en la naturaleza en sus diferentes estados de oxidación, ya sea cero, hexavalente y trivalente. Este último es de vital importancia para que los humanos tengan un estado óptimo de salud (ATSRD, 1999). Al igual que los demás metales pesados, el cromo puede transportarse por medio del agua, aire y suelos. Las afecciones que los seres humanos puede sufrir son: tos, asma, irritación a la mucosa y secreción nasales; estos por inhalación. Estudios realizados por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) revelan que el cromo en su estado de oxidación VI son carcinogénicos (ATSRD, 1999).

- Cobre (Cu)

Elemento químico cuya densidad es ocho veces mayor a la densidad del agua. Es considerado esencial para el desarrollo de los seres humanos, aunque en proporciones muy elevadas tiene efectos tóxicos. El cobre puede entrar en relación con el medio ambiente por distintas maneras, la primera es por forma natural por medio de la putrefacción de la vegetación y espuma de mar. Otra forma de entrar en contacto es por las actividades antropogénicas cuando el cobre es liberado desde las industrias que lo extraen, o de otros metales en extracción. Y la última es por medio de lixiviados de los rellenos sanitarios adhiriéndose a cuerpos de agua y sedimentos. Además de ser transportado por aire y agua (Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 1999).

Cuando una persona consume alimentos o agua con altas concentraciones de cobre sufre afecciones como náuseas, vómitos y diarrea. Si una persona se encuentra a prolongadas exposiciones de polvo de cobre esta sufrirá problemas de irritación de su nariz, boca y ojos, además de padecer de dolores cabeza, náuseas y vómitos. agua (Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 1999).

- Hierro (Fe)

Considerado como metal pesado debido a que su densidad es siete veces mayor a la del agua, este metal se ubica en la cuarta posición entre los más abundantes

sobre la corteza terrestre. Este metal es vital para el funcionamiento del cuerpo humano pues interviene en las funciones de la respiración celular y sistema enzimáticos (Tostado-Madrid et al., 2015). Según la OMS, la concentración de hierro en agua mayor a los 0,3 mg/l hará que los textiles se manchen al igual que las tuberías de agua, pero no afectará a su sabor o color. Este mismo organismo no propone un límite tomando como base los efectos sobre la salud.

- Manganeso (Mn)

Metal pesado que no se encuentra de manera general sino en compañía con otros minerales, su densidad es siete veces mayor a la del agua. El uso principal del manganeso es en la industria del acero y en la industria de los combustibles, exactamente como aditivo de la gasolina (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2012). Al igual que los anteriores metales pesados mencionados, su manera de ser liberado al medio ambiente es por medio aire, agua y tierra, adhiriéndose en estas dos últimas.

Cabe recalcar que el manganeso como toda materia no se crea ni se destruye, sino que se transforma, su forma puede cambiar haciendo que se adhiera o se separe de cualquier medio (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2012). Como mineral es esencial para salud en seres humanos en bajas concentraciones, pero cuando supera los 0,4 mg/l que establece la OMS como valor de referencia ya puede existir efectos sobre la salud (OMS, 2011).

Cuando la exposición no es prologada a nivel altos de manganeso el ser humano sufre afecciones en el movimiento de sus manos, pero cuando la exposición es prologando su sistema nervioso se afecta en mayor parte. Este tipo de afecciones hace que el comportamiento de la persona se vea alterado. Cuando la exposición es por inhalación el sistema respiratorio es el afectado, además del sistema reproductivo (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2012).

- Níquel (Ni)

Elemento químico que es usado en la industria para la fabricación de aceros, su densidad es de 8,9 mg/l. Según la (OMS, 2011) los alimentos son la principal fuente de exposición, el consumo diario de agua con altas concentraciones de este metal es poco influyente. Se ha determinado que la inhalación de compuestos que tienen

níquel puede llevar a adquirir cáncer a una persona, pero no se ha detectado que por medio de la digestión se alcance a adquirir esta enfermedad (OMS, 2011).

- Plomo (Pb)

Es uno de los metales con mayor densidad, es once veces mayor a la del agua. Rara vez al plomo se lo encuentra en su estado natural. El plomo es usado para la fabricación de baterías o pilas para automóviles, fabricación de balas, en general en la industria de productos metálicos. El plomo puede ser transportado por medio del aire y llegar a cuerpos de agua, sedimentos de estos y en la tierra.

El plomo puede bioacumularse y no se degrada, sino que se transforma (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2020). Las personas pueden entrar en contacto con este metal mediante el consumo de agua o alimentos contaminados con plomo. Existen tuberías que han sido soldadas con plomo, la erosión de esta produce una prolongada exposición a este metal pesado. También cuando se trabaja o se pasa tiempo en tierras contaminadas por plomo.

En años anteriores se fabricaban pinturas para hogares con base en plomo, el pasar en estas localidades se considera también como exposición al plomo (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2020). Si el ser humano inhala o ingiere productos con plomo, los daños en su salud serán los mismos.

El principal sistema que será afectado es el nervioso, haciendo que la persona sufra disminución en el aprendizaje y memoria. Los riñones son los órganos también afectados por una prolongada exposición al plomo. Se vuelve muy peligroso la exposición a mujeres embarazadas pues puede provocar la interrupción de la gestación (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2020).

- Zinc

Se encuentra presente de forma natural en el suelo, agua y aire, y se considera un elemento esencial en la salud del ser humano, animales y cultivos. Los niveles elevados en el medio ambiente provienen principalmente de la actividad minera, y fuentes secundarias no vinculadas a la producción de zinc y aporta con la acidez del agua. Los peces retienen este metal, el cual, al ingresar al cuerpo es capaz de deteriorar la salud y bio-magnificarse en la cadena alimentaria.

Además, las concentraciones altas en el suelo afectan la actividad a los cultivos, al ganado y las plantas, con influencia en la actividad de microorganismos y lombrices. (Lenntech, s.f.)

1.5 Estudios previos en la zona

En la *Tabla 1.1* se muestran los estudios realizados acerca de la determinación, evaluación y análisis de la contaminación por metales pesados desarrollados en el cantón Santa Rosa.

Tabla 1.1 Estudios realizados en aguas superficiales y sedimentos del Río Santa Rosa y aguas de grifo del cantón.

Estudio/Proyecto	Institución/Autor(es)	Año	Elementos analizados
Monitoreo ambiental de las áreas mineras en el Sur del Ecuador	PRODEMINCA	1998	As, Cu, Cd, Hg, Pb, Sb, Zn
Análisis de calidad del agua de los afluentes del Río Santa Rosa	Ortega Romero, F.	2010	As, Cd, Cu, Fe, Hg, Pb, Zn
Evaluación ambiental de la calidad del agua del Río Santa Rosa y lineamientos para un plan ambiental	Vaca Morán, F. M.	2014	Cd, Pb
Análisis de la contaminación por metales pesados en el Río Santa Rosa como fuente de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Santa Rosa, provincia de El Oro	Pardo Loayza, A.	2015	As, Ag, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Pb, S, Sb
Determinación de la contaminación del recurso hídrico provocado por la actividad minera en la cuenca alta del Río Santa Rosa, provincia de El Oro	Angamarca y Valarezo.	2020	As, Cd, Hg, Pb
Realización de análisis de aguas naturales, potables y de mesa	Yanqui Moreira, L. M. (GRUPO QUÍMICO MARCOS)	2021	As, B, Ba, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se
Resultados de análisis realizados en la ciudad de Santa Rosa	Herrera Cumbicus, E.	2021	Cu, Fe, Mn, Ni

1.6 Marco Legal

Para el desarrollo de las campañas de muestreo y la evaluación de la contaminación de las muestras de agua superficial y de grifo, y sedimentos, se utilizó normativa local e internacional para la comparación de los resultados de los análisis realizados.

- Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN)
- NTE INEN 2226:2013, se utilizó para el establecer los principios a ser aplicados en las campañas de muestreo de agua y sedimentos para el control de calidad, caracterización de calidad e identificación de las fuentes de contaminación.
- NTE INEN 2169:2013, se utilizó para establecer principios de conservación y transporte de muestras de agua.
- NTE INEN 2176:2013, se utilizó para la obtención de datos necesarios en los análisis de control de calidad de muestras de agua.
- NTE INEN 1108:2020 y la Guía de la calidad del agua de consumo humano (OMS), se utilizaron para establecer requisitos del agua para consumo humano, proveniente de sistemas de abastecimiento suministrada mediante sistemas de distribución.
- Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes
- TULSMA Libro VI ANEXO 1, se utilizó para comparar los valores de las concentraciones de metales pesados en muestras de agua superficial con los Criterios de Calidad Admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.

CAPÍTULO 2

2 METODOLOGÍA

2.1 Área de estudio

Santa Rosa se ubica en el suroccidente de Ecuador, en la provincia de El Oro. Al norte limita con el Océano Pacífico y los cantones Machala y Pasaje, al Sur limita con los cantones Arenillas y Piñas, al Este con el cantón Atahualpa y al Oeste con el cantón Arenillas y el Océano Pacífico (GAD Santa Rosa, 2018). Tiene una población aproximada de 69.036 Habitantes, con un 71% perteneciente a la zona urbana y con una edad media de 29 años. Las actividades que se realizan en la zona mayoritariamente son: agricultura, ganadería, silvicultura y pesca; seguido del comercio al por mayor y menor con un 34% y 17.5% respectivamente. Por lo contrario, la minería con un 2% (INEC, 2010).

Su rango altitudinal va desde 13 msnm en el archipiélago de Jambelí, 8 msnm en el área urbana de la cabecera cantonal y hasta 1.250 msnm en zona alta próxima a las estribaciones de la cordillera de Los Andes. El grado de elevación determina las limitaciones de las actividades productivas. En relieves planos, como gran parte de la extensión cantonal, el terreno es ideal para la agricultura, sin embargo, el tipo de suelo es arcilloso y con cierta dificultad de manejo y su fertilidad es limitada. Sus terrenos ondulados son aptos para pastizales y para conservación de suelo, y su relieve montañoso es propicio para la conservación de la vegetación natural y forestación (GAD Santa Rosa, 2018).

Mediante análisis de isotermas se conoce que alrededor de un 80% del cantón posee una temperatura entre 24 y 26°C, abarcando desde la parroquia Bella María hacia el oeste. Por otra parte, la temperatura disminuye conforme se aproxima a las estribaciones de la cordillera, en donde la temperatura varía entre 22 y 24°C. Santa Rosa cuenta con tres tipos de climas: ecuatorial mesotérmico semi húmedo, tropical mega térmico seco y tropical mega térmico semi árido (GAD Santa Rosa, 2018).

La precipitación en el cantón varía entre 0 a 1.250 mm de precipitación total anual. Siendo mayor en la parte oriental debido a las formaciones de lluvias orográficas originadas por la cordillera de Los Andes con fluctuaciones entre 750 y 1.000 mm/año. Y disminuyendo conforme se aproxima al Océano Pacífico con fluctuaciones entre 500 y 750 mm/año, lo cual tiene relación con la incidencia directa de la corriente marina fría de Humboldt (GAD Santa Rosa, 2018).

La geología regional del cantón se caracteriza por la presencia predominante de terraza marina y llanura aluvial del cenozoico cuaternario (Mapa geológico del Ecuador, 2017). Se considera que Santa Rosa tiene un alto potencial de recursos metálicos y no metálicos (PRODEMINCA, 1998). La geología local dominante en el archipiélago de Jambelí y parte norte del cantón posee formaciones del tipo arcillosa, la cuales han originado suelos azonales plásticos muy fértiles, de poco grosor y saturable en época lluviosa.

En las franjas que abarcan las parroquias La Avanzada y Torata se presentan formaciones de Granito gnéisico per-alumínico, Esquistos y eclogitas. En la parte suroriental del cantón, lavas andesíticas a riolíticas y piroclastos. En las parroquias Bellavista, La Victoria y Santa Rosa se presentan rocas ultrabásicas y básicas (GAD Santa Rosa, 2018).

La geología local dominante en el archipiélago de Jambelí y parte norte del cantón posee formaciones del tipo arcillosa, la cuales han originado suelos azonales plásticos muy fértiles, de poco grosor y saturable en época lluviosa. En las franjas que abarcan las parroquias La Avanzada y Torata se presentan formaciones de Granito gnéisico per-alumínico, Esquistos y eclogitas. En la parte suroriental del cantón, lavas andesíticas a riolíticas y piroclastos. En las parroquias Bellavista, La Victoria y Santa Rosa se presentan rocas ultrabásicas y básicas (GAD Santa Rosa, 2018).

La cuenca Río Santa Rosa se localiza a unos 2.200 msnm, desde el occidente de la cordillera de Daucay hasta la planta de captación de agua potable que abastece a la ciudad de Santa Rosa (Egas, 2009). Está constituido por subcuencas y microcuencas en las que destacan Río Caluguro, Río Negro, Río Santa Rosa y otros drenajes menores (GAD Santa Rosa, 2018).

Según el IGM (2020) en sus archivos de concesiones mineras de Ecuador, en el cantón Santa Rosa existen más de 150 concesiones, la mayoría se concentra al lado este del cantón y en la parte alta del Río Santa Rosa, que es la fuente de abastecimiento de agua de la Planta de Tratamiento “Los Jardines”, encargada de tratar y suministrar agua potable a gran parte del cantón.

El área de estudio de este proyecto comprende la parte alta de la cuenca del Río Santa Rosa, desde la parroquia rural Torata, en donde se encuentran las concesiones “El Guayabo” y “El Guayabo 2”, hasta la cabecera cantonal de Santa Rosa. En la *Figura 2.1* se puede apreciar la ubicación de los sitios mencionados.

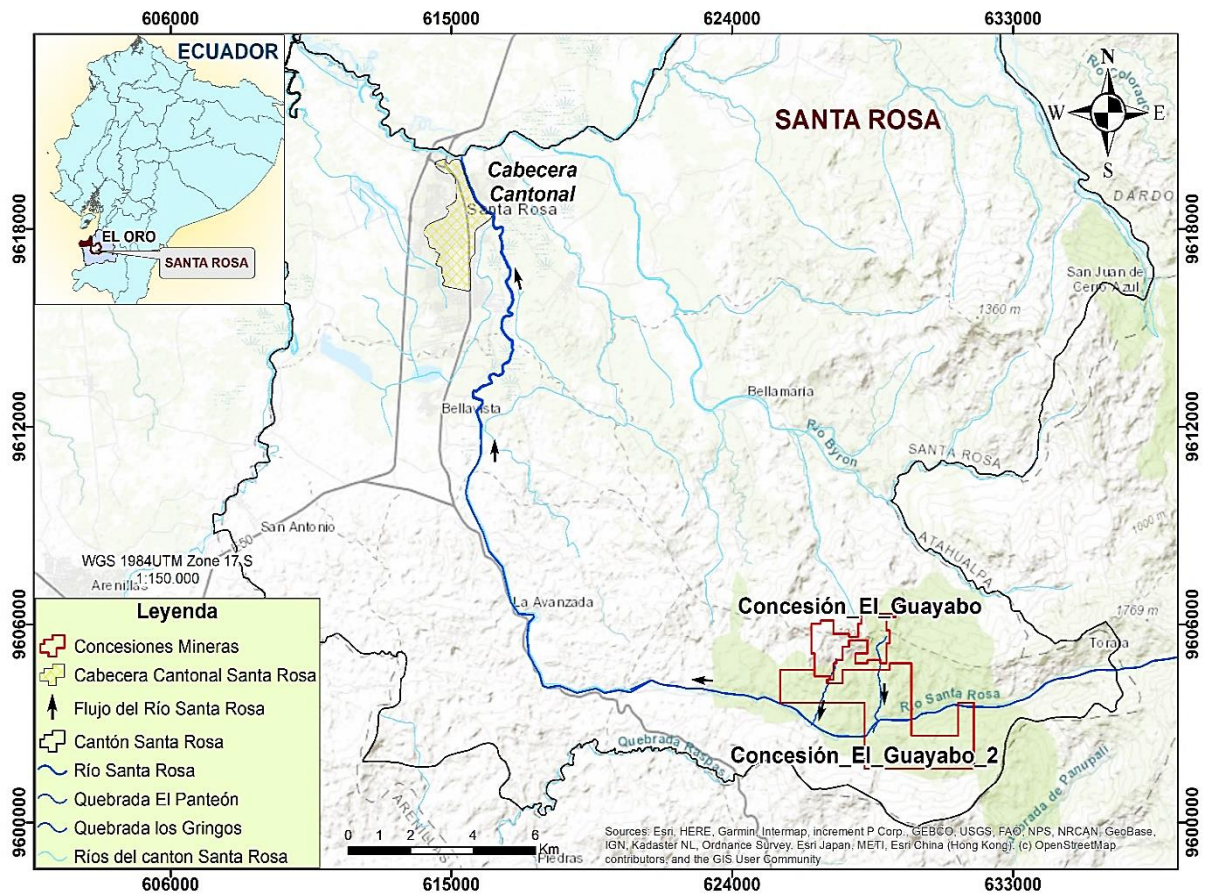


Figura 2.1 Mapa de ubicación del área de estudio.

2.2 Muestreo y análisis de laboratorio

2.2.1 Campaña de muestreo

Se realizó un muestreo aleatorio simple debido a que es una técnica estadística básica que permite seleccionar un grupo (muestra) con igual probabilidad, para analizar los datos y transformarlos en información útil para la toma de decisiones. Los puntos de muestreo fueron distribuidos estratégicamente para lograr una toma de muestras de agua y sedimento equidistante en las Quebradas y Río Santa Rosa, excepto en zonas de difícil acceso. Además, abarcar todo el casco urbano del cantón Santa Rosa y las parroquias aledañas La Avanzada y Bellavista.

En colaboración con servidores de la Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado de Santa Rosa se llevó a cabo la campaña de muestreo, en donde se tomaron un total de 36 muestras de agua superficial, 54 muestras de agua de grifo y 20 muestras de sedimentos de río. El trabajo se realizó entre los meses de febrero y marzo del 2021. A continuación, en la *Figura 2.2* se observa el proceso de etiquetado de los envases que contienen las muestras de agua y en la Tabla 2.1 se expresa el detalle de las actividades que se realizaron.



Figura 2.2 Campaña de muestreo.

Tabla 2.1 Itinerario de muestreo de agua y sedimentos en el cantón Santa Rosa.

Fecha	Actividad
24 de febrero de 2021	Muestreo de aguas superficiales y sedimentos en la concesión El Guayabo y quebradas El Gringo y El Panteón
25 de febrero de 2021	Muestreo de aguas superficiales y sedimentos en el Río Santa Rosa
3 de marzo de 2021	Muestreo de aguas superficiales y sedimentos en el Río Santa Rosa
4 de marzo de 2021	Muestreo de aguas de grifo en el cantón Santa Rosa
16 – 17 de marzo de 2021	Muestreo de aguas de grifo en el cantón Santa Rosa
26 de marzo de 2021	Muestreo de aguas en las quebradas El Gringo y El Panteón

En las muestras de agua se realizó mediciones in situ de parámetros como: potencial de Hidrógeno (pH), oxígeno disuelto (OD), temperatura (T), conductividad eléctrica (CE), y sólidos totales disueltos (TDS), con un equipo Multiparamétrico Hach HQ40d. Estas medidas fueron realizadas con la finalidad de determinar la variabilidad entre los resultados iniciales y los resultados luego del almacenamiento y transporte de las muestras.

El área de estudio se dividió en dos zonas, como estrategia del diseño de muestreo. La Zona 1 abarcó desde la parroquia rural Torata (en donde se encuentran las concesiones mineras “El Guayabo” y “El Guayabo 2” donde realiza operaciones de exploración la empresa Torata Mining Resources) hasta la Planta de tratamiento de agua “Los Jardines” ubicada en la parroquia rural La Avanzada.

En esta zona se realizó la toma de muestras de aguas superficiales (n = 36) y sedimentos (n = 20) en el Río Santa Rosa y en las quebradas “El Gringo” y “El Panteón” (situadas dentro de la concesión minera), antes y después del tratamiento de las aguas. La *Figura 2.3* presenta los puntos muestreados de la zona 1.

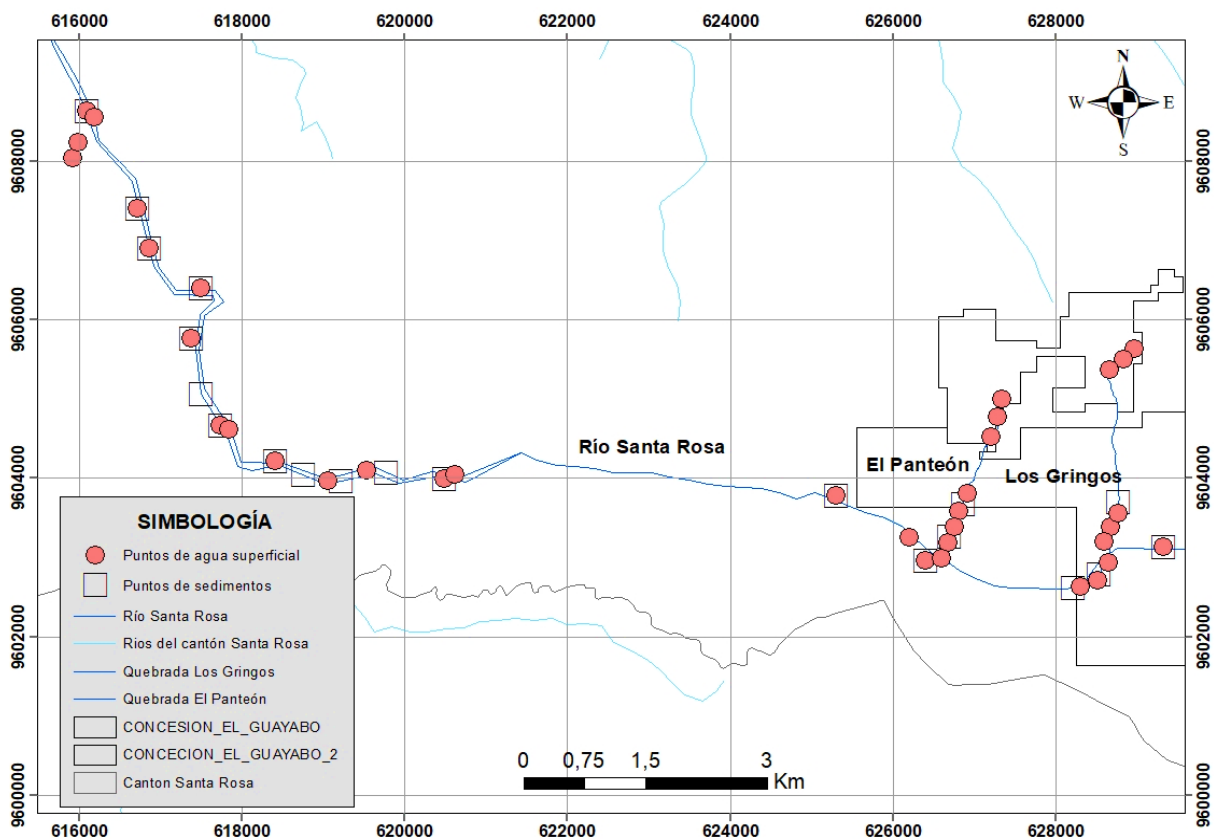


Figura 2.3 Localización de los puntos en la Zona 1.

En la zona 2 se tomaron muestras de agua de grifo de 54 domicilios. La distribución de los puntos para la toma de muestras de agua se dio en forma aleatoria a lo largo de las parroquias rurales La Avanzada, Bellavista y la parroquia urbana Santa Rosa, que comprende la cabecera cantonal de Santa Rosa. La *Figura 2.4* muestra la ubicación de los puntos de muestreo correspondiente a esta zona.

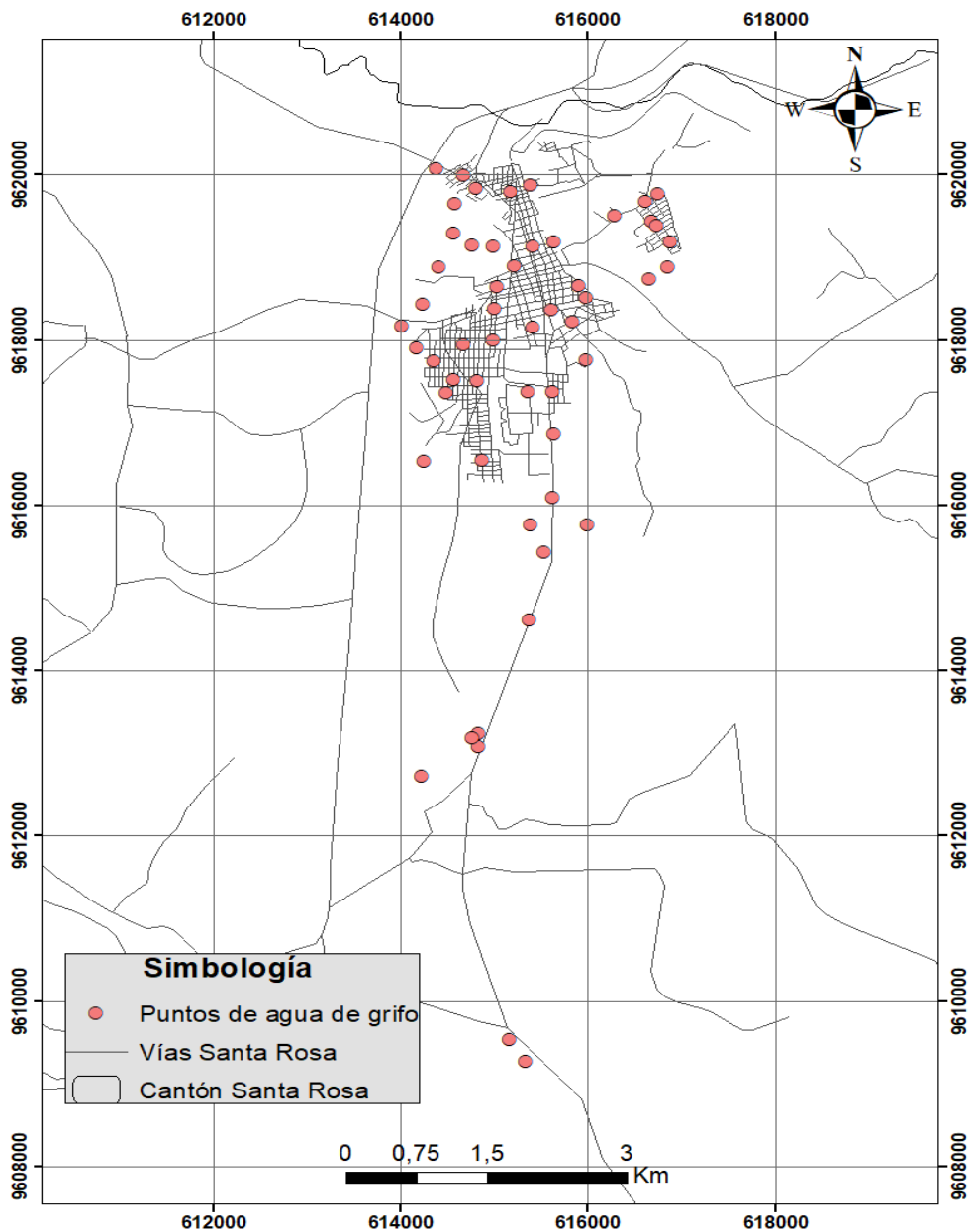


Figura 2.4 Localización de los puntos en la Zona 2.

Se utilizó la tecnología GPS para registrar las coordenadas de los puntos de muestreo. Los datos geográficos fueron procesados en ArcGIS 10.8.1. Además, se utilizaron las herramientas Microsoft 365 - Excel y el IDE RStudio para el procesamiento de datos.

2.3 Preparación de las muestras

2.3.1 Muestras de agua

Para garantizar la calidad de las muestras se debe cumplir con los parámetros de protección y conservación establecidas por el analista. Esto implica que, además de mantener la cadena de frío y en un lugar libre de luz, se debe realizar un pretratamiento que asegure la preservación cuando se trata de un análisis de detección de metales. La preparación de las muestras se llevó a cabo en el Laboratorio de Suelos y Nutrición Vegetal de la Facultad de Ciencias de la Vida (FCV) de ESPOL. Estas muestras fueron sometidas a procesos de: Agitación, filtración y acidificación. En el proceso se emplearon los siguientes equipos y materiales y reactivos:

Tabla 2.2 Equipos y materiales utilizados en la preparación de muestras de agua.

Equipos:	Agitador IKA – Ks 130 Medidor multiparamétrico de pH y conductividad de sobremesa Orion Star A215 Thermo Scientific
Materiales:	Soporte para embudos Embudos de bajo volumen Papel filtro chm F1001 grade Tubos esterilizados Falcon de 15 ml Soporte de tubos de ensayo Pipeta de volumen ajustable Finnpipette F2 Thermo Scientific Papel Tissue
Reactivo	HNO ₃ al 3% HNO ₃ al 1% Agua ultrapura

Se homogenizó las muestras mediante agitación, para disolver cualquier compuesto precipitado. Este proceso se realizó a una velocidad de 240 [1/min] durante un periodo de 5 minutos. Seguidamente las muestras se filtraron para remover la materia en suspensión u organismos que pueden interferir en el análisis. Con ayuda de un soporte, se colocaron embudos de bajo volumen y en estos reposaba el papel

filtro, teniendo en cuenta que, al momento de vaciar una porción de aproximadamente 13 ml de muestra, esta caiga por completo dentro del filtro.

El volumen filtrado se recolectó en tubos Falcon, los cuales tuvieron un pretratamiento que consistió en baño ácido por 24 horas con HNO₃ al 1% y posterior secado en estufa y rotulado, de esta manera se corroboró que no existan interferencias en el recipiente. Los tubos se colocaron en el soporte y se midió el pH para determinar la cantidad de HNO₃ al 3% a utilizar, ya que, se puede modificar la naturaleza física o química de los elementos o puede solubilizar a los sólidos. Se utilizó la pipeta para controlar el volumen de ácido, el cual varió en un rango entre 10 y 30 µl para lograr un pH de 3 aproximadamente.

Esto quiere decir que, mientras mayor era el pH antes de acidificar mayor volumen de ácido a usar. Luego de acidificar las muestras, estas estuvieron listas para efectuar los análisis, teniendo la seguridad de disminución de la incertidumbre en sus resultados debido a impurezas. El objeto del pretratamiento es evitar Interferencias químicas debido a la alteración del número total de átomos libres formados por unidad de volumen por la formación de compuestos químicos termoestables, o interferencias debido a la excesiva ionización de los átomos porque disminuye la población de átomos neutros y la sensibilidad.

2.3.2 Muestras de sedimentos

Las muestras de sedimentos tuvieron un pretratamiento el cual consistió en: secado, limpieza, tamizado y pesaje. Este procedimiento se realizó en el Laboratorio de Geotecnia y Construcción de la FICT – ESPOL. En el proceso se utilizaron los siguientes equipos y materiales:

Tabla 2.3 Equipos y materiales utilizados en la preparación de muestras de sedimentos.

Equipos	Horno ELICROM 30GC Lab Oven
	Balanza analítica ELICROM OHAUS Pioneer; precisión 0,1 mg
Materiales:	Jarra de acero inoxidable
	Guantes aislantes térmico
	Paleta de mano de acero inoxidable
	Bandeja de acero inoxidable
	Tamiz No. 10 (2 mm de abertura)
	Vasija de acero inoxidable
Fundas para muestras	

Al llegar las muestras al laboratorio, se colocaron en jarras de acero y se las llevó al horno para completar un proceso de secado por 36 horas aproximadamente a una temperatura de 60°C. El tiempo de secado depende de la temperatura a la cual están sometidas las muestras, y va de la mano con el contenido de agua.

Es recomendable que la temperatura no sea abrupta para no alterar las características fisicoquímicas de los sedimentos. Al culminar el secado, se retiró las muestras del horno y se las colocó en bandejas de acero para expandirlas y realizar una limpieza manual, en donde se retiró material orgánico y otras partículas no deseables. Seguidamente, con una paleta de mano, se recolectó las muestras y se las colocó en tamiz No. 10. La cantidad de muestra pasante fue cerca de 200g, del cual se llevó a pesaje un aproximado de 100g para realizar los análisis.

2.4 Análisis químico

La detección de metales en muestras de agua se realizó por espectroscopia de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) con un equipo Agilent 7700x, en la universidad de Leuven en Bélgica. El Agilent 7700x ICP-MS permite analizar un sin número de muestras complejas en tiempos relativamente cortos y con alta confiabilidad de detección de metales ultra trazas de alta pureza, permitiendo eliminar interferencias espectrales que son las responsables de cambiar la señal aun cuando se mantiene invariable la concentración del analito (Agilent, 2010).

Por otra parte, la detección de metales en muestras de sedimentos se realizó por espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), en el Laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias de la Vida de ESPOL. El plasma acoplado por inducción alcanza elevadas temperaturas (superior a las ordinarias) que, junto a la estabilidad y el entorno químico inerte del Argón permiten eliminar gran parte de las interferencias que se encuentran en las llamas. La temperatura determina el grado en el cual una muestra de átomo se encuentra en su estado fundamental, excitado o ionizado y también el grado en el que se descompone. Modificando la magnitud de la señal observada con cada uno de estos efectos (Harris, 2016).

Como medida de control de calidad en los análisis de metales en aguas y sedimentos se establecieron duplicados en las muestras para determinar la confiabilidad de sus resultados. Además, se emplearon materiales de referencia certificados.

2.5 Evaluación de la contaminación

Para determinar si un ecosistema se encuentra contaminado es necesario conocer las concentraciones naturales de los metales en el entorno que no haya sufrido actividad antropogénica. Estas concentraciones se conocen como niveles de fondo geoquímicos o simplemente valores de fondo natural, los cuales permiten realizar un contraste con los valores obtenidos en determinada zona de estudio.

Teóricamente, los niveles de fondo permiten caracterizar las condiciones reales “naturales” de una región en el momento de estudio, indicando la concentración de los diferentes elementos químicos. La descripción se lleva a cabo mediante la distribución de frecuencias de valores en la población real, quedando expresada de la mejor manera posible en un histograma obtenido a partir del muestreo adecuado. Pero esta información puede ser muy compleja de interpretar, así que se acompaña de valores característicos más estables como valores de centramiento de la distribución, valores de dispersión y valores de ordenamiento (Instituto Geológico y Minero de España, 2002).

Además, es necesario conocer los criterios de la calidad de los recursos agua y suelo para sus diferentes usos, ya que esta información sirve determinar si los valores del estudio se encuentran dentro de los límites máximos permisibles. Los diagramas de distribución de la concentración permiten comparar los parámetros analizados con la normativa vigente. Además, con esta información es posible determinar el índice de metal (Metal Index), índice de riesgo ecológico y el índice de geo acumulación.

2.5.1 Valores de fondo natural

Los valores de fondo Bi ($\mu\text{g/L}$) de As, Cd, Cu, Pb, Zn utilizados en este estudio para agua fueron tomados del estudio PRODEMINCA (1998), y corresponden a datos medidos en agua superficial y sedimentos del Río Santa Rosa en zonas consideradas sin actividad antropogénica, como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 2.4 Valores de fondo (Bi) de agua superficial y sedimentos según PRODEMINCA.

Metal	Agua Bi (mg/L)	Sedimentos Bi (mg/kg)
Arsénico	4.70	19.00
Cadmio	0.029	0.26
Cobre	3,6	35
Plomo	1,1	11
Zinc	14	50

2.5.2 Límites permisibles acorde a la normativa vigente

Los resultados del contenido de metales pesados en agua superficial fueron comparados con los parámetros máximos que establece el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (2015). Se analizó la concentración de los siguientes metales pesados: As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn en el Río Santa Rosa. Por otro lado, los resultados en aguas de grifo fueron comparados con Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108 y con la Guías para la calidad del agua de consumo humano de la Organización Mundial de la Salud.

Los metales pesados que se analizaron en aguas de grifo fueron: As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn.

Tabla 2.5 Límites máximos permisibles (LMP) para aguas superficiales y aguas de grifo.

Metal	LMP Agua superficial (µg/L)	LMP Agua de grifo (µg/L)
Arsénico	50.00	10.00
Cadmio	1.00	3.00
Cobalto	200.00	-
Cromo	32.00	50.00
Cobre	5.00	2000.00
Hierro	300.00	-
Manganeso	100.00	100.00
Níquel	25.00	70.00
Plomo	1.00	10.00
Zinc	30.00	3000.00

2.5.3 Evaluación de la calidad del agua

2.5.3.1 Metal Índice

El índice de metales pesados (IM) (*ecuación 1*), es utilizado para determinar la calidad de aguas superficiales a través de la sumatoria de la relación entre los metales en estudio y su límite máximo permisible (Withanachchi et al., 2018), para luego ser clasificada de acuerdo con su resultado (*Tabla 2.6*).

$$MI = \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{(LMP)_i} \text{ (ecuación 1)}$$

Donde: C_i corresponde a la concentración de metales pesados en cada muestra de agua, y LMP es límite máximo permisible de acuerdo con la normativa vigente de cada país.

Tabla 2.6 Clasificación del índice de metales.

Rango	Clasificación
IM < 0.3	Muy pura
0.3 < IM < 1	Pura
1 < IM < 2	Ligeramente afectado
2 < IM < 4	Moderadamente afectado
4 < IM < 6	Fuertemente afectado
IM > 6	Gravemente afectado

2.5.4 Evaluación de la calidad de sedimentos

2.5.4.1 Índice del Riesgo ecológico

La determinación del grado de contaminación en las muestras de sedimentos se la realizó siguiendo la metodología de (Hakanson, 1980); en la que para hallar el índice de riesgo ecológico (IR) es necesario, en primer lugar, determinar el Factor individual de contaminación (E_{ri}). Ver ecuación 2. Dicho factor (E_{ri}), es el producto del factor de contaminación (C_{fi}), (relación entre la concentración de los metales pesados (C_i) y los valores de fondo (B_i) de los metales en estudio) y el factor de respuesta tóxica para los metales pesados (T_{ri}) (Velásquez-López et al., 2020).

Hakanson en su metodología propone los factores de respuesta tóxica para cada metal pesado: As (10), Cd (30), Cu (5), Hg (40), Pb (5) y Zn (1).

$$E_{ri} = C_{fi} \times T_{ri} \quad (\text{ecuación 2})$$

La *Tabla 2.7* muestra la clasificación del nivel de contaminación, según el Factor individual de contaminación.

Tabla 2.7 Clasificación del nivel de contaminación.

E_{ri}	Grado de contaminación
$E_{ri} < 40$	Baja
$40 < E_{ri} \leq 80$	Moderada
$80 < E_{ri} \leq 160$	Alto
$160 < E_{ri} \leq 320$	Seria
$E_{ri} > 320$	Severa

El índice de riesgo ecológico (IR) (ecuación 3), es la suma de todos los factores individuales de contaminación (E_{ri}). La Tabla 2.8 muestra la clasificación del índice de Riesgo ecológico.

$$IR = \sum_{i=1}^n E_{ri} \quad (\text{ecuación 3})$$

Tabla 2.8 Clasificación del riesgo ecológico.

IR	Riesgo ecológico
$IR \leq 150$	Bajo
$150 < IR < 300$	Moderado
$300 < IR < 600$	Considerable
$IR \geq 600$	Muy alta toxicidad

2.5.4.2 Índice de Geo acumulación

En Müller (1996), se comparó las concentraciones de metales pesados en suelos de sitios contaminados con valores de referencia de sitios que no presentaban contaminación. El objetivo de esta comparación era conocer el nivel de contaminación de dicho sitio y la denominó, índice de geo acumulación (Soto-Benavente et al., 2020).

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_i}{1.5 \times B_i} \right] \quad (\text{ecuación 4})$$

Donde:

C_i (mg/L): concentración del metal pesado en los sedimentos.

B_i (mg/L): concentración de referencia o fondo natural del metal pesado en estudio.

1.5: constante que se utiliza debido a posibles cambios en los valores de referencia.

El índice de geo-acumulación se clasifica en siete niveles de contaminación y se muestra en la *Tabla 2.9*.

Tabla 2.9 Nivel de contaminación del índice de Geo-acumulación.

Rango I_{geo}	Nivel contaminación
$I_{geo} \leq 0$	No contaminado
$0 < I_{geo} < 1$	No contaminado – moderada
$1 < I_{geo} < 2$	Moderada
$2 < I_{geo} < 3$	Moderada – alta
$3 < I_{geo} < 4$	Alta
$4 < I_{geo} < 5$	Alta – extrema
$I_{geo} > 5$	Extrema

2.5.4.3 Nivel de efecto umbral (TEL) y Nivel de efecto probable (PEL)

El Nivel de efecto umbral representa la concentración química límite por debajo de la cual se espera que ocurran efectos adversos solo raramente sobre los organismos que habitan en sedimentos. El nivel de efecto probable representa la concentración química sobre el que se espera que ocurran efectos adversos (Smith et al., 1996). Los valores TEL y PEL se presentan en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10 Directrices de calidad para metales en sedimentos.

	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn
TEL (mg/Kg)	9.79	0.99	31.6	0.18	35.8	121
PEL (mg/Kg)	33	5	149	1.06	128	459

De acuerdo con la concentración de cada metal pesado y conocer el TEL y PEL se puede determinar la clasificación de efecto biológico adverso que los metales ocasionan. Si la concentración es < TEL: los efectos adversos ocurren rara vez, si la concentración se encuentra entre TEL y PEL ocasionalmente ocurren efectos adversos y si la concentración de metal pesado en sedimentos supera el PEL los efectos adversos biológicos ocurren con frecuencia (MacDonald et al., 2000).

CAPÍTULO 3

3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Parámetros fisicoquímicos

El pH al ser comparado con la normativa (TULSMA), refleja que el 33% de los puntos muestreados están fuera del rango permisible, del cual, aproximadamente un 10% de las muestras presentan acidez. Esto puede atribuirse a las condiciones naturales de la geología de la zona. Además, al existir descarga continua o descontrolada de drenaje ácido de mina puede contribuir al aumento de la acidez del recurso hídrico. El pH al ser menor a 6 contribuye a la disolución de metales pesados. El porcentaje de saturación de oxígeno fue de 117%, valor que se encuentra dentro de los rangos permisibles por la normativa.

Tabla 3.1 Resumen estadístico de parámetros fisicoquímicos de agua superficial, Zona 1.

	pH	OD (% de saturación)	T (°C)	CE (µS/cm)	TDS (mg/L)
Criterio de calidad	6.5 – 9	> 80%	-	-	-
Mín	3.34	6.63	14.90	12.07	8.44
p50	8.12	8.24	24.80	123.05	62.70
Media	7.84	9.42	23.25	204.33	126.77
p95	9.42	11.40	26.98	808.50	587.00
Máx	9.84	38.50	28.20	975.00	670.00
SD	1.46	5.12	3.91	229.62	163.11

Nota. Mín: mínimo; p50: percentil 50; p95: percentil 95; Máx: máximo; SD: desviación estándar; pH: potencial hidrógeno; OD: oxígeno disuelto; T: temperatura; CE: conductividad eléctrica; TDS: total de sólidos disueltos.

En los resultados estadísticos del agua de grifo se pudo determinar que el 50% (percentil 50) de los valores de pH superan el rango permisible de agua para

consumo humano establecido por la NTE INEN 1108. El consumo frecuente de agua con un pH alcalino puede ser precursor de enfermedades como la alcalosis metabólica hipoclorémica ya que resulta de un incremento del HCO_2^- y CO_2 en la sangre (Rodríguez & Espinosa, 2016). A continuación, se muestra el resumen estadístico de los parámetros fisicoquímicos de la zona 2.

Tabla 3.2 Resumen estadístico de parámetros fisicoquímicos de agua de grifo, Zona 2.

	pH	OD (% de saturación)	T (°C)	CE (μS/cm)	TDS (mg/L)
Criterio de calidad	6.5 – 8	-	-	-	-
Mín	7.49	7.39	26.10	96.60	41.30
p50	8.38	9.11	28.90	143.60	62.95
Media	8.39	8.95	28.83	156.64	68.47
p95	8.98	9.83	30.59	251.35	108.81
Máx	9.04	10.21	34.60	349.00	156.90
SD	0.44	0.64	1.50	46.09	20.66

Mín: mínimo; p50: percentil 50; p95: percentil 95; Máx: máximo; SD: desviación estándar; pH: potencial hidrógeno; OD: oxígeno disuelto; T: temperatura; CE: conductividad eléctrica; TDS: total de sólidos disueltos.

3.2 Evaluación de la contaminación

3.2.1 Comparación con los valores de fondo natural

3.2.1.1 Agua superficial

Se realizó la comparación de los valores de fondo y la concentración de metales pesados en aguas superficiales y se pudo evidenciar que para los elementos: As, Cd y Cu el percentil 50 de sus datos analíticos superan los valores de fondo. La media o el promedio de los metales pesados Pb y Zn también superan los valores de fondo. No existen valores referenciales para Cr, Fe y Ni.

Esta comparación se la realizó para conocer si en el lapso en el que se realizaron estos estudios la concentración de metales pesados en el Río Santa Rosa se

mantuvo, disminuyó o aumentó. Además, sirve como preámbulo para conocer el grado de contaminación en el área de estudio.

En la *Tabla 3.3* se muestra el resumen estadístico y los valores de fondo de los metales pesados analizados en aguas superficiales.

Tabla 3.3 Comparación de estadísticos de agua superficial con valores de fondo.

$\mu\text{g/L}$	As	Cd	Cu	Cr	Fe	Ni	Pb	Zn
Bi	4,7	0,029	3,6	-	-	-	1,1	14
Mín	0,42	0,01	1,69	0,10	8,47	0,79	0,03	3,42
P50	5,44	0,08	6,92	0,16	39,60	8,65	0,12	10,23
Media	4,97	3,66	301,06	0,35	216,40	32,63	1,57	308,09
P95	8,44	26,45	1109,21	0,52	895,16	115,15	14,99	1950,32
SD	3.20	8.06	892.04	0.68	661.38	68.38	4.35	705.13
Máx	16,61	27,24	5142,16	4,25	2906,37	375,45	16,55	2904,12

Bi: Valores de fondo (PRODEMINCA, 1998); Mín: mínimo; p50: percentil 50; p95: percentil 95; Máx: máximo; SD: desviación estándar.

3.2.1.2 Sedimentos

En la comparación de la concentración de los metales pesados con los valores de fondo se pudo determinar que para los elementos: Cd, Cu, Pb y Zn el percentil 50 de sus datos analíticos supera a los valores de fondo. Y a partir del percentil 95 la concentración de As supera su valor de fondo. Los resultados que se obtiene por medio de esta comparación indica que si existe contaminación en sedimentos y se determinará su grado de contaminación siguiendo la metodología expuesta anteriormente.

Tabla 3.4 Comparación de estadísticos de sedimentos con valores de fondo.

mg/Kg	As	Cd	Cu	Pb	Zn
Bi	19	0,026	35	11	50
Mín	1,66	0,41	16,58	3,05	33,06
P50	6,05	1,51	59,76	12,21	95,14
Media	14,17	3,54	107,44	21,49	121,28
P95	47,82	11,96	297,84	45,23	320,85
SD	18,50	4,62	139,01	18,39	84,00
Máx	71,85	17,96	613,73	79,95	341,78

Bi: Valores de fondo (PRODEMICA, 1998); Mín: mínimo; p50: percentil 50; p95: percentil 95; Máx: máximo; SD: desviación estándar.

3.2.2 Comparación con la normativa vigente

3.2.2.1 Concentración de metales pesados en aguas superficiales

A partir del resumen estadístico se pudo determinar que el Cu es el metal con más presencia en los emplazamientos analizados en esta zona. Este metal superó lo establecido en la norma de calidad de agua en el 35% de los emplazamientos analizados, seguido del Zn en el 24% de las muestras, y Cd en el 22% de las muestras. La presencia de Ni está representada con un 18% y Mn 17% de las muestras analizadas respectivamente y se encuentra solamente en las Quebradas El Gringo y El Panteón (*Figura 3.1*). Por otro lado, los contenidos de As, Co y Cr no superan los LMP en ningún punto muestreado.

El contenido de Cu puede ser producto de la mineralización de la zona, pero también puede ser causado por actividades mineras, al igual que el Cd y Zn. Estos metales pueden asociarse para dar lugar a efectos tóxicos aditivo en el agua. La presencia de Fe puede deberse a interacción agua-roca en la boca minas El Panteón y Adriano, sin embargo, esta agua entra a un proceso de tratamiento antes de ser descargada al afluente.

En la siguiente tabla se muestra el resumen estadístico de los resultados de la zona 1.

Tabla 3.5 Resumen estadístico de los resultados de aguas superficiales.

Metal	LMP	Mín	P50	Media	P95	Máy	SD	% > LMP
As	50.00	0.42	3.72	4.97	8.44	16.61	3.20	0%
Cd	1.00	0.01	0.06	3.66	26.45	27.24	8.06	22%
Co	200.00	0.02	0.13	12.49	51.72	164.83	30.38	0%
Cr	32.00	0.10	0.14	0.35	0.52	4.25	0.68	0%
Cu	5.00	1.69	3.54	301.06	1109.20	5142.16	892.04	35%
Fe	300.00	8.47	31.36	216.40	895.16	2906.37	661.38	4%
Mn	100.00	0.52	9.37	278.53	1299.97	4112.63	764.43	17%
Ni	25.00	0.79	4.45	32.63	115.15	375.45	68.38	18%
Pb	1.00	0.03	0.06	1.57	14.99	16.55	4.35	11%
Zn	30.00	3.42	7.79	308.09	1950.31	2904.12	705.13	24%

LMP: límite máximo permitido; Mín: mínimo; p50: percentil 50; p95: percentil 95; Máx: máximo; SD: desviación estándar.

3.2.2.2 Concentración de metales pesados con aguas de grifo

Los resultados obtenidos de las muestras de agua de la zona 2 muestran que el 7% de los emplazamientos analizados sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la normativa ecuatoriana para Ni y el 2% para Cd. No se han realizado comparaciones de Fe y Mo debido a que no existen límites de referencia propuestos por la norma INEN 1108 y tampoco por la Guía para la calidad del agua de consumo humano de la OMS al no considerar un riesgo para la salud (OMS, 2011). Los demás elementos analizados: As, Cr, Cu, Mn, Pb y Zn no sobrepasan los límites que recomienda la normativa.

Tabla 3.6 Resumen estadístico de los resultados de aguas de grifo.

	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
LMP (µg/l)	10.00	3.00	50.00	2000.00	100.00	70.00	10.00	3000.00
Mín	0.54	0.08	0.08	1.55	1.05	1.45	0.04	8.88
P50	1.08	0.14	0.13	2.62	2.40	6.08	0.10	19.01
Media	1.02	0.29	0.19	2.87	2.52	24.59	0.14	27.08
P95	1.22	0.28	0.59	4.72	3.79	116.24	0.30	85.33
Máx	3.43	7.78	1.19	5.76	7.03	551.68	0.78	152.95
SD	0.40	1.04	0.20	0.88	1.00	79.37	0.14	26.73
%> LMP	0%	2%	0%	0%	0%	7%	0%	0%

LMP: límite máximo permitido; Mín: mínimo; p50: percentil 50; p95: percentil 95; Máx: máximo; SD: desviación estándar.

3.2.3 Distribución espacial del nivel de contaminación de aguas

3.2.3.1 Aguas superficiales

La distribución espacial de la concentración de metales pesados en la zona 1 (*Figura 3.1*) indican que existe zonas en donde el límite máximo permisible es superado por los metales: Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn. A continuación, se realizará un análisis de los metales mencionados. Las altas concentraciones de cadmio se las encuentra en las descargas de las quebradas y se da por actividades realizadas por hombre como la minería, situación que toma mayor peso con las denuncias presentada por los responsables de la concesión minera. Se le podría atribuir a actividades naturales como erupciones volcánicas, pero en la zona se descarta esta posibilidad.

El Cu presenta altas concentraciones en varios puntos muestreados a lo largo del Río Santa Rosa y también en las quebradas, estos resultados se le atribuye a la erosión de la roca, pues la mineralización de la zona cuneta con calcopirita mineral rico en Cu. La presencia de concentración de Fe que sobrepasa los límites permisibles solo existe en los frentes de explotación El Panteón y Adriano, esto

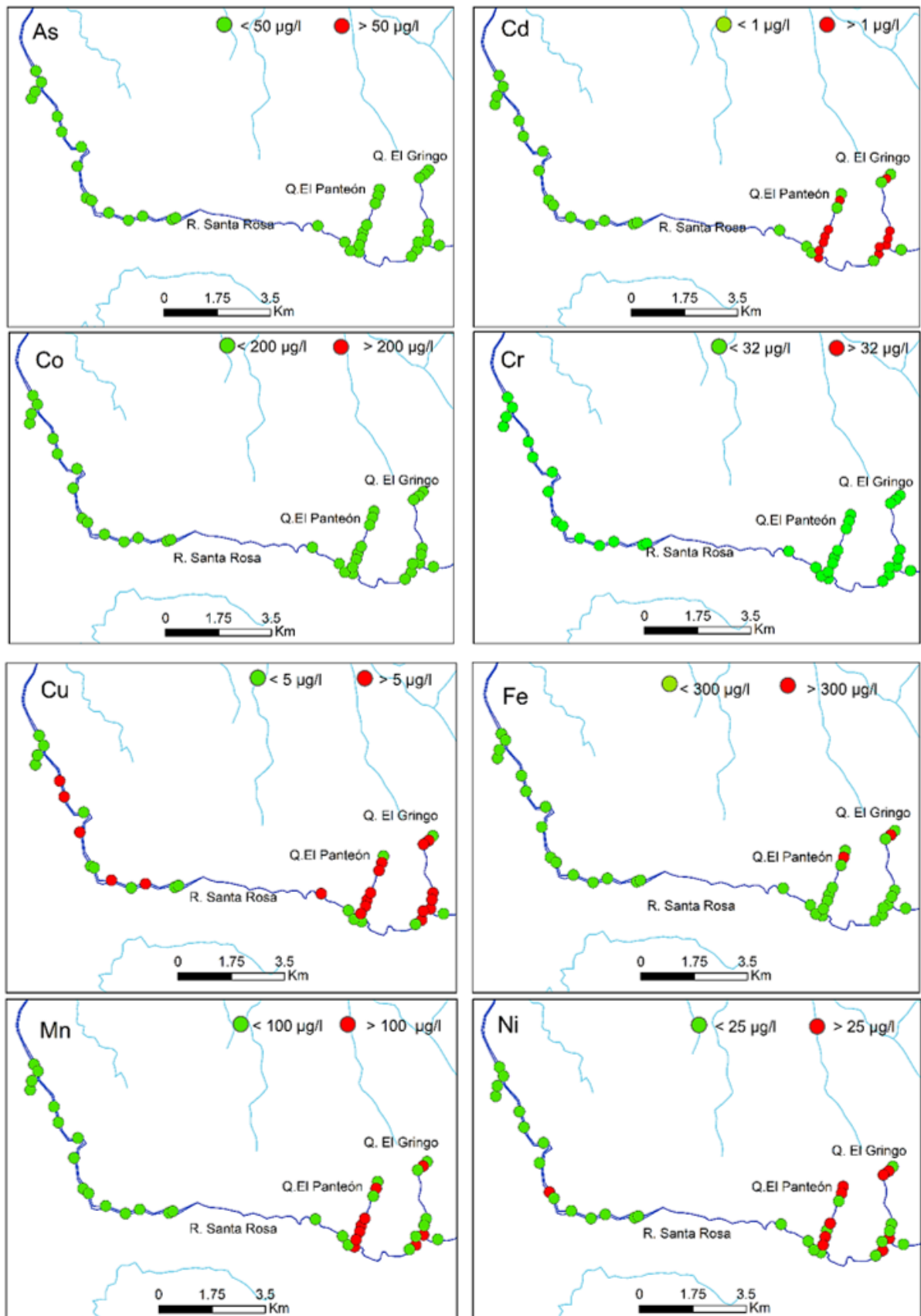
también se puede atribuir a la mineralización de la zona, pues hay evidencia de la existencia de pirita y pirrotina que son minerales ricos en Fe.

La concentración vuelve a estar por debajo de los límites de referencia luego de pasar por el proceso de tratamiento de aguas que se emplea en las concesiones. Realizando un análisis a la concentración de Mn se puede notar que aguas arriba de la quebrada no existen emplazamientos contaminados por este metal, las altas concentraciones empiezan en los frentes de explotación. Pero luego de pasar por el tratamiento de aguas los niveles bajan y vuelven a subir su concentración en las descargas de las quebradas.

Existen altas concentraciones de Ni en las quebradas, pero con la diferencia de que en El Panteón al pasar el tratamiento de aguas la concentración baja, pero en las descargas se eleva nuevamente, y en El Gringo, aunque el agua pasa por la planta de tratamiento se mantiene los niveles elevados al igual que en la descarga. A lo largo del río solo existe un punto en donde los niveles son elevados.

Las mayores concentraciones de Pb se las encuentra en El Panteón, la primera evidencia de índices altos es en la bocamina, pero luego del tratamiento de aguas refleja que el resultado se encuentra dentro de los límites permitidos. Con esto se llega a la conclusión que sus sistemas de tratamiento son los óptimos. La situación que preocupa es que en las descargas de la quebrada los niveles de concentración aumentan nuevamente y su relación puede ser con la minería ilegal, ya que es un metal utilizado en la extracción de minerales.

Los niveles de concentración altos de Zn se vuelven a notar únicamente en las quebradas. Analizando la quebrada El Panteón se identifica altas concentraciones en la bocamina, pero luego del tratamiento de aguas, sus niveles bajan. Caso contrario sucede en la quebrada El Gringo que, luego de pasar por el tratamiento los índices de concentración se mantienen fuera de lo permitido por la normativa. Y, en las descargas de estas dos quebradas sus concentraciones se mantienen elevadas. Los resultados se muestran en *Figura 3.1*.



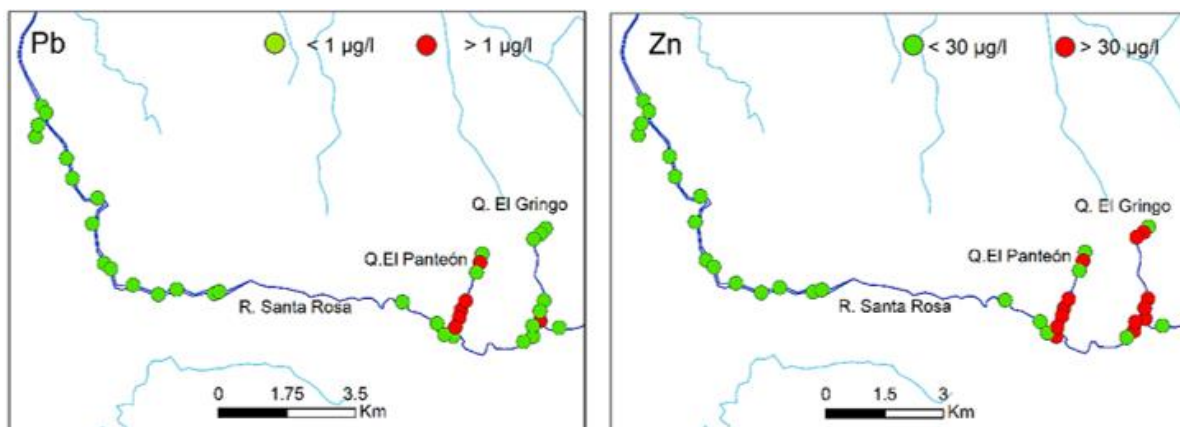


Figura 3.1 Análisis espacial de metales pesados en agua superficial.

Nota. Los puntos verdes hacen referencia a los sitios que están por debajo del LMP y los puntos rojos son los que superan el LMP del TULSMA.

3.2.4 Aguas de grifo

La *Figura 3.2* presenta la distribución espacial del contenido de metales pesados en aguas de grifo del cantón Santa Rosa. Estos valores fueron comprados con la Norma INEN 1108. El análisis que se realiza en la zona 2 muestra que para los metales pesados como: As, Cu, Cr, Mn, Pb y Zn no existen emplazamientos en los que los límites máximos permisibles sean superados. Es decir, todos los puntos muestreados se encuentran dentro de lo permitido según la normativa. Para Cd existe un único emplazamiento en el que su concentración supera lo permitido y para Ni existen 4 emplazamientos donde su concentración es elevada.

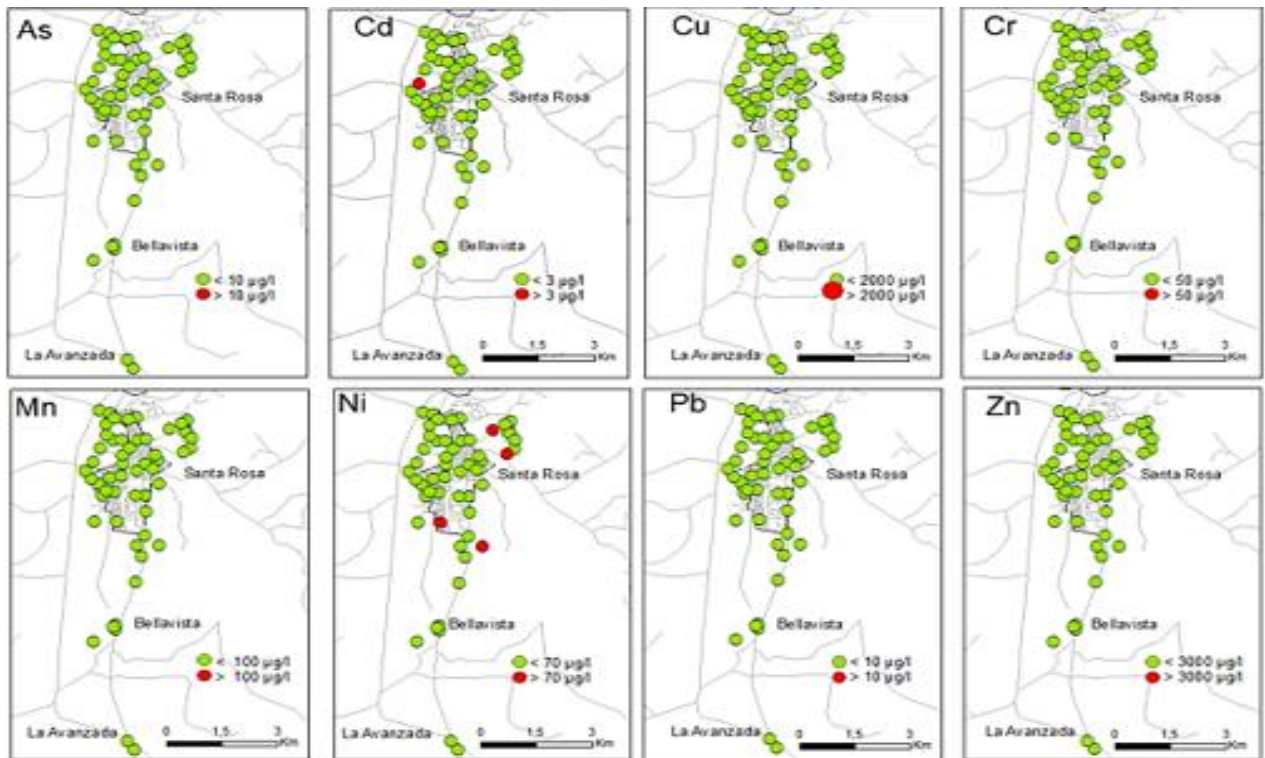


Figura 3.2. Distribución espacial de aguas de grifo.

3.2.5 Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el Metal índice.

3.2.5.1 Agua superficial

Según la clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el Metal Índice de la zona 1, se determinó que el 39 % de los puntos muestreados se encuentran gravemente afectados, y estos puntos se ubican en las quebradas El Gringo y El Panteón. Resultado que puede estar asociado a vertidos de desechos mineros resultantes de la actividad minera. El 3% de los emplazamientos analizados corresponden a la calidad de agua fuertemente afectada, y su ubicación corresponde a la Quebrada El Panteón. La calidad de agua moderadamente afectada corresponde al 19% de las muestras analizadas, la calidad de agua ligeramente afectada abarca el 28% de los emplazamientos analizados y la calidad de agua pura corresponde al 11% del total de las muestras de aguas superficiales.

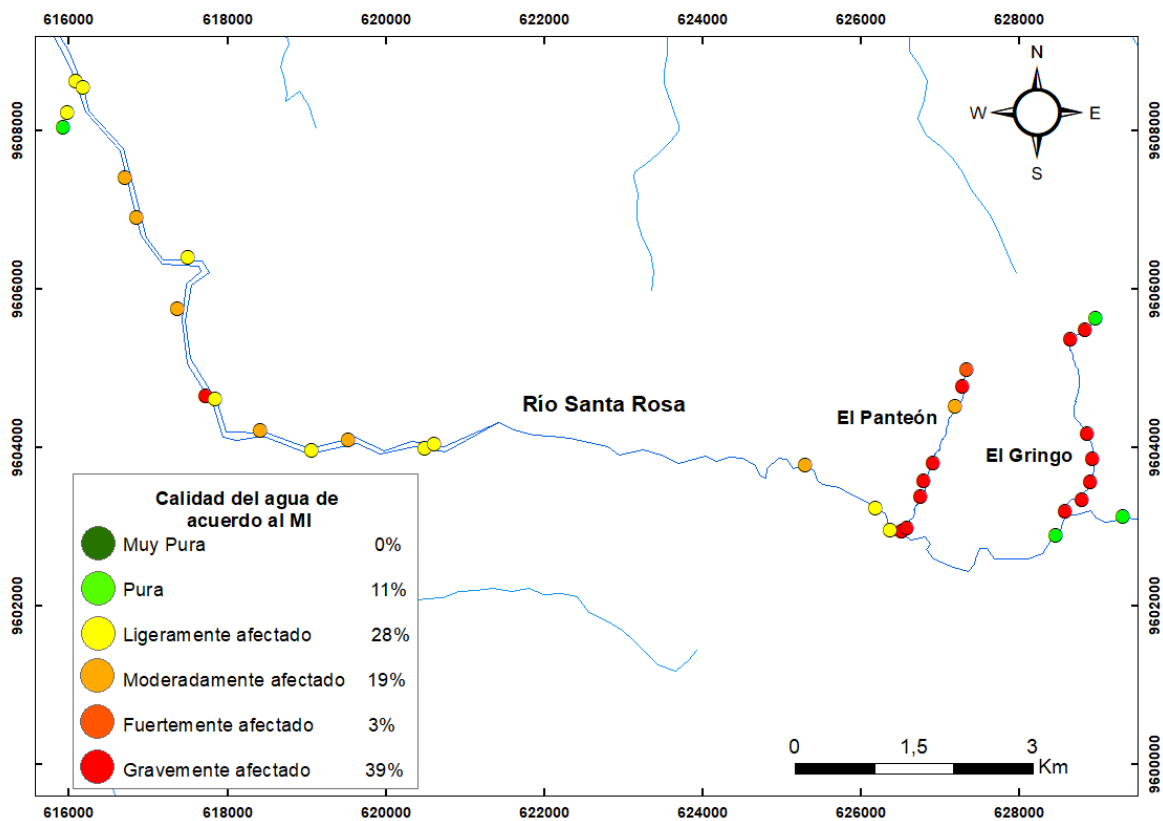


Figura 3.3 Clasificación de la calidad del agua superficial según el Metal Index.

3.2.5.2 Agua de grifo

Según la Clasificación de la calidad de aguas por el Metal Índice en la zona 2, se muestra que, el 48% de los emplazamientos analizados representan una calidad de agua Muy Pura, seguida de un 43% de muestras analizadas con calidad de agua Pura, lo que significa que el agua que llega a los domicilios del cantón Santa Rosa posee bajos índices de metales pesados y es apta para el consumo humano. Sin embargo, es necesario llevar un control y tomar acciones en los sectores: Barrio Nazareno con código de muestra AC – 046 (que representa un 2% de las muestras analizadas con calidad de agua Ligeramente afectada).

De la misma manera, los sectores Las Palmeras (AC - 003), Bosque 2 (AC - 021) y Nueva Esperanza (AC - 032) que representan el 5% de muestras analizadas con calidad de agua Moderadamente afectada; y además el Barrio Bosque 1 (AC - 014) que posee una calidad de agua Gravemente afectada y representa un 2% de las muestras analizadas de agua de grifo.

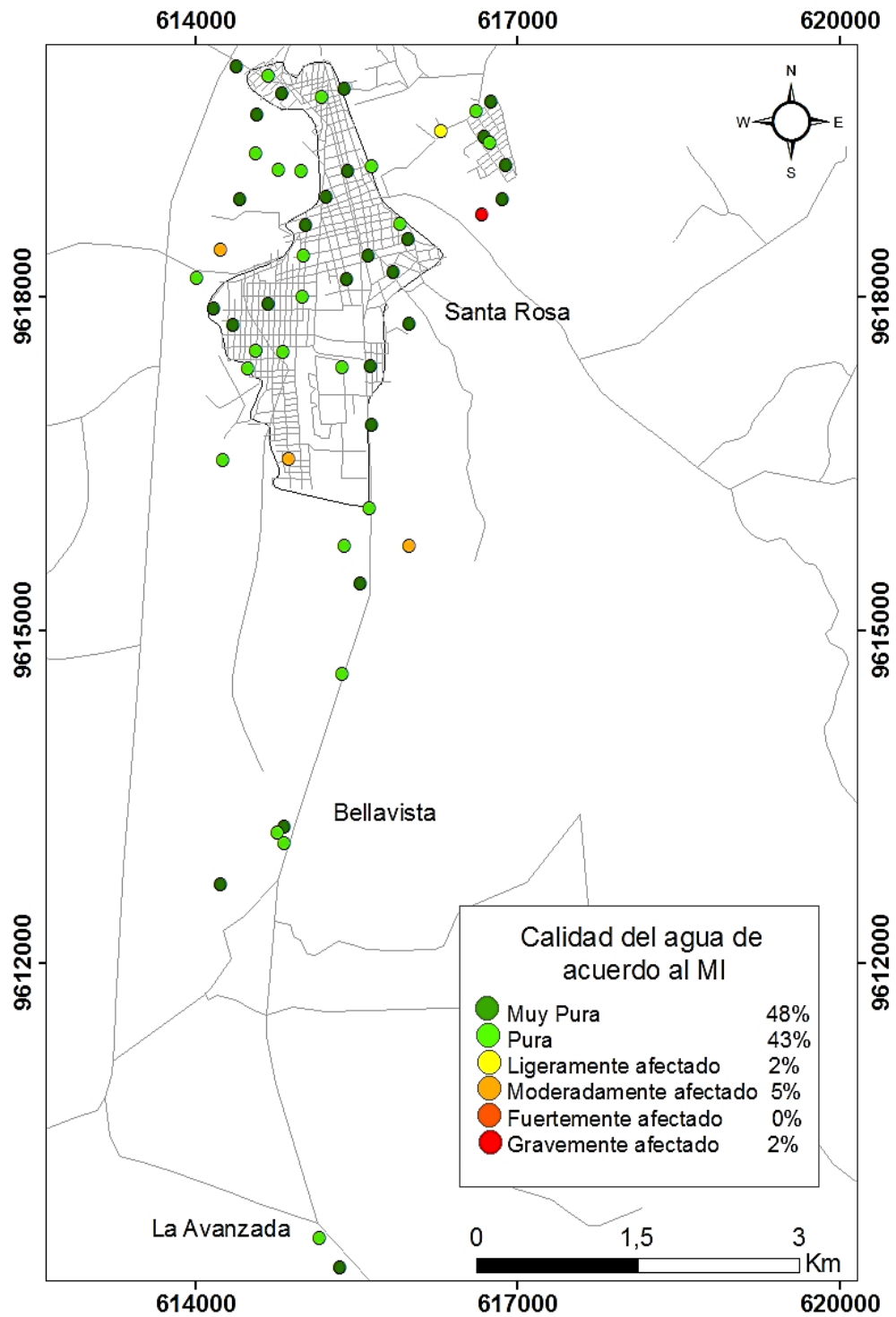


Figura 3.4. Clasificación de la calidad del agua de grifo según el Metal Índice.

3.2.6 Clasificación de la calidad de sedimentos

3.2.6.1 Factor individual de contaminación

De acuerdo con la *Tabla 3.7* que muestra el resumen estadístico del factor individual de contaminación se ha podido determinar que el 100% de la concentración de los metales: As, Pb y Zn se encuentran en la clasificación de contaminación BAJA. Caso contrario sucede para el Cd, que su grado de contaminación se encuentra sobre el nivel más alto dentro de la clasificación.

Tabla 3.7 Factor individual de contaminación.

	E_{ri} As	E_{ri} Cd	E_{ri} Cu	E_{ri} Pb	E_{ri} Zn
Min	0.87	47.84	2.37	1.39	0.66
p50	3.19	174.61	8.54	5.55	1.90
Media	7.46	408.71	15.35	9.77	2.43
p95	25.17	1379.47	42.55	20.56	6.42
Max	37.82	2072.58	87.68	36.34	6.84
SD	9.74	533.57	19.86	8.36	1.68

3.2.6.2 Índice de riesgo ecológico

Los resultados que se obtienen del grado de contaminación de las muestras de sedimentos en el Rio Santa Rosa son preocupantes, pues las que obtienen una clasificación de muy alta toxicidad son aquellas que se tomaron en las quebradas El Panteón y El Gringo y que representa el 20%. Las muestras que llegaron a obtener una clasificación de riesgo considerable están ubicadas en el balneario “La Laurelia” y la descarga de la quebrada El Panteón y El Gringo (*Figura 3.5*).

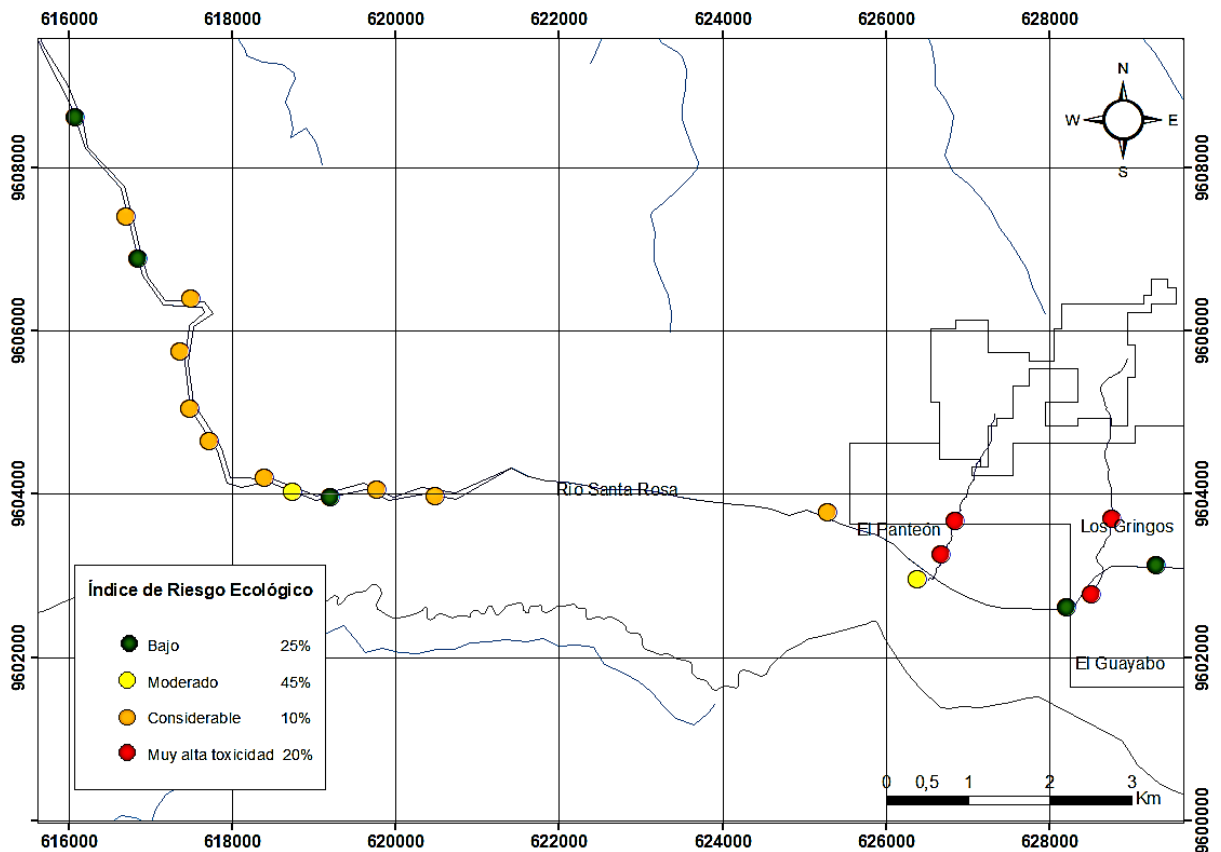


Figura 3.5 Distribución espacial de los resultados del índice de riesgo ecológico.

3.2.6.3 Índice de geo acumulación

Este índice se lo analizó realizando una distribución espacial para cada uno de los metales pesados y su resultado varía mucho entre cada uno, por ejemplo, la mayoría de los emplazamientos de arsénico tiene una clasificación de no contaminado, para cadmio la clasificación es muy variada presenta índices de contaminación alta a extrema en las quebradas. Analizando el índice de geo acumulación para cobre existen puntos donde su contaminación es moderadamente alta y alta, estos ocurren en las quebradas. Para los metales de plomo y Zinc el máximo índice que alcanzan es de contaminación moderada – alta, pero su gran mayoría corresponde a índices de no contaminada y contaminada – moderada distribuida a lo largo del río.

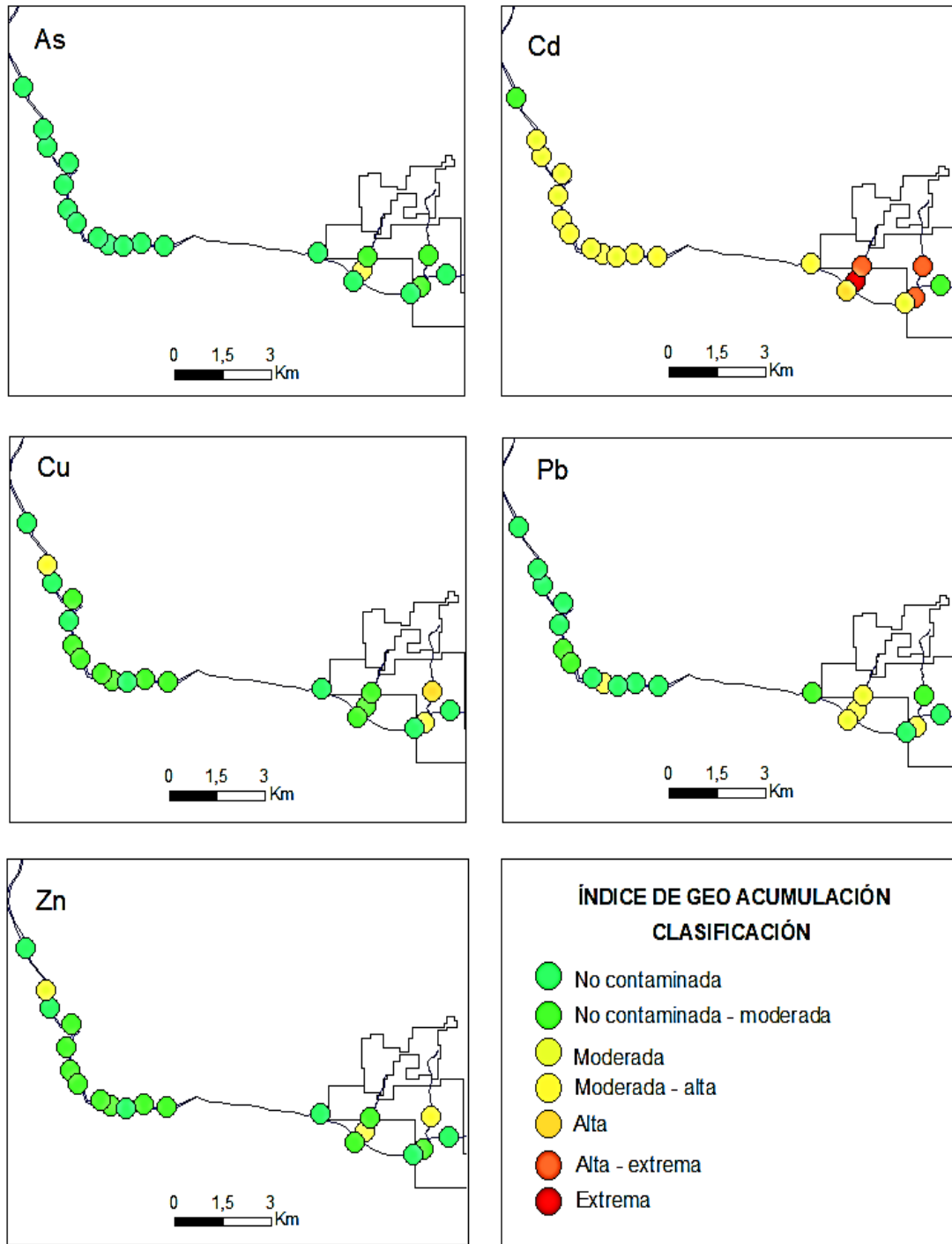


Figura 3.6. Índice de Geo acumulación para la zona 1.

3.2.6.4 Nivel de efecto umbral (TEL) y Nivel de efecto probable (PEL)

Según el análisis del TEL y PEL, el metal arsénico está produciendo efectos biológicos adversos en las quebradas El Gringo y El Panteón. En los sectores del balneario “La Laurelia” y en la cancha de la comunidad de la vía Satayán – Zambotambo, los emplazamientos analizados arrojaron resultados que el arsénico se encuentra entre el TEL y PEL lo que significa que ocasionalmente ocurren efectos biológicos adversos. Los emplazamientos restantes están por debajo del TEL.

El cadmio también está ocasionando efectos biológicos adversos en las quebradas. Lo preocupante es que la once de veinte emplazamientos analizados se encuentran entre el TEL y PEL, estos se encuentran distribuidos a lo largo del Río Santa Rosa. Esta situación puede empeorar si no se toman medidas a tiempo. Tan solo cinco emplazamientos están por debajo del límite del TEL para cadmio.

Para cobre los efectos biológicos adversos se presentan en dos sitios, en la quebrada El Gringo y en el balneario “Las Colinas”. Quince de veinte emplazamientos se encuentran entre el TEL y PEL, las muestras tomadas de la quebrada El Panteón están dentro de este rango, es un número muy alto de muestras tomadas que indican que ocasionalmente está ocurriendo efectos adversos biológicos. Dos emplazamientos están por debajo del TEL.

En comparación con los metales anteriormente analizados la situación cambia cuando se analiza al plomo, donde de los veinte emplazamientos analizados diecisiete indican que rara vez ocurren efectos biológicos adversos, es decir, están por debajo del TEL. Los tres emplazamientos restantes están dentro del rango del TEL y PEL, estos se ubican en las quebradas. Al realizar el análisis para zinc se puede determinar que la mayoría de los emplazamientos están por debajo del TEL. Existen emplazamientos que se encuentran entre el TEL y PEL, las quebradas están dentro de este rango al igual que el balneario “Las Colinas” y Limón Playa.

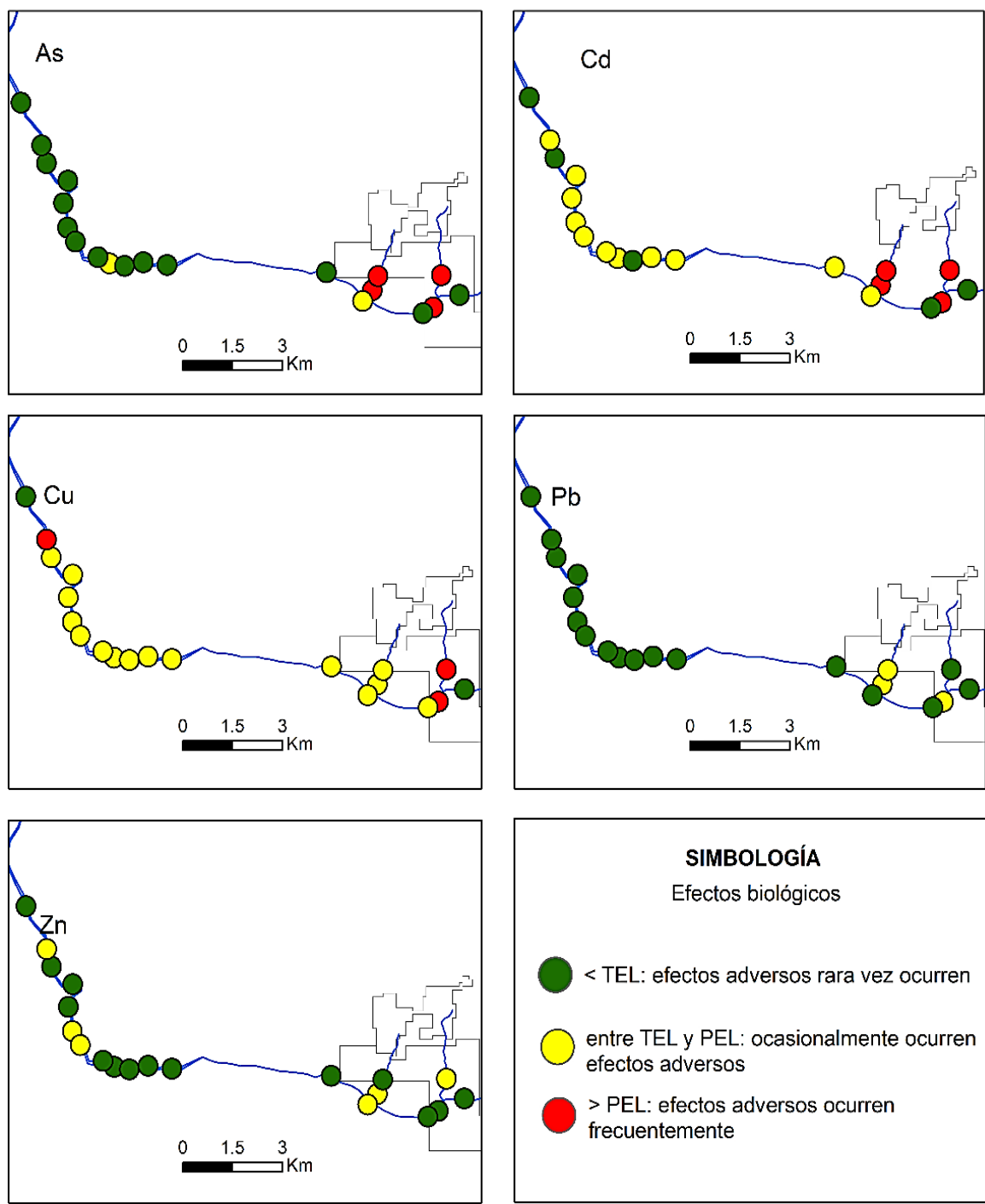


Figura 3.7. Resultados del análisis del TEL y PEL.

3.2.7 Diagramas de dispersión de la concentración de metales pesados

A continuación, se muestran diagramas del logaritmo de la concentración de los metales pesados analizados, los cuales fueron procesados en el IDE @Rstudio para el lenguaje de programación R.

En las muestras de agua superficial (*Figura 3.8*), la concentración de metales analizados se presenta en el siguiente orden: Cu>Zn>Mn>Fe>Ni>As>Co>Cd>Cr y Pb. El As, Cr y Fe son los metales pesados que presentan una menor dispersión de la concentración. Es decir, su rango intercuartil es muy pequeño, significa que los valores de concentración en cada punto de muestreo son similares. Mientras que los demás metales presentan una alta dispersión de la concentración de los datos, siendo mayor la dispersión del Co y Cu+. En general, los metales muestran una distribución asimétrica de los valores de concentración.

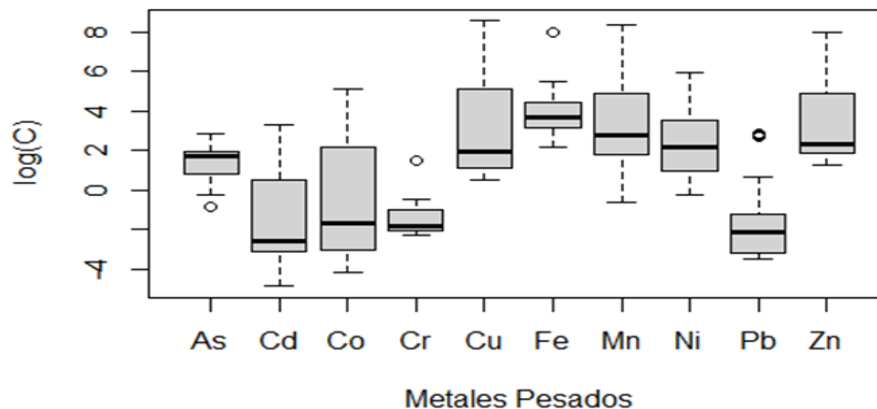


Figura 3.8 Diagramas de cajas de metales pesados en agua superficial vs el logaritmo de la concentración.

La variación de contenido de metales pesados en agua de grifo se expresa en la siguiente escala: Zn>Ni>Cu>Mn>As>Cd>Cr>Pb, como se observa en la *Figura 3.9*. La menor dispersión de la concentración se presenta en el As, seguido de Cr, Cu, Cd y Mn. Por otra parte, el Zn, Pb y Ni presentan una mayor dispersión de la concentración, con una distribución simétrica. Siendo el Ni el metal más disperso en este análisis.

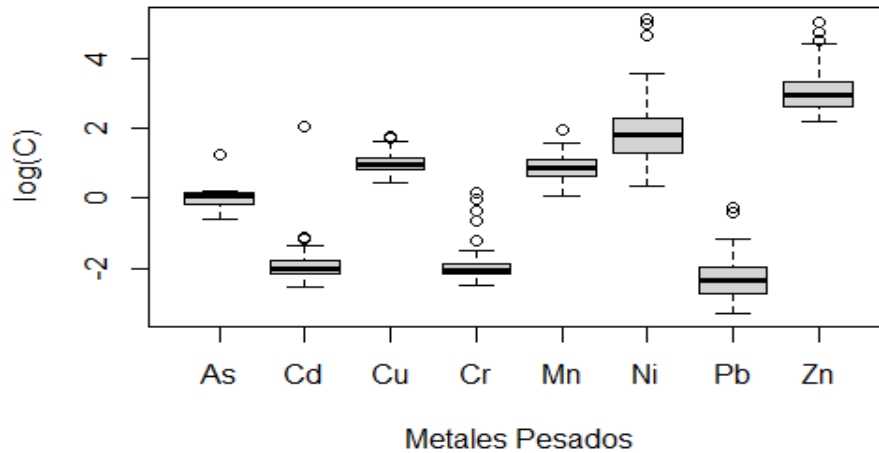


Figura 3.9. Diagrama de la distribución de la concentración en muestras de agua de grifo analizadas.

El análisis de las muestras de sedimentos (*Figura 3.10*) indica que, el Zn y Cu tienen una menor distribución de los valores de concentración. Siendo distinto para el Pb, As y Cd; quienes son los metales pesados con mayor dispersión en sus valores de concentración.

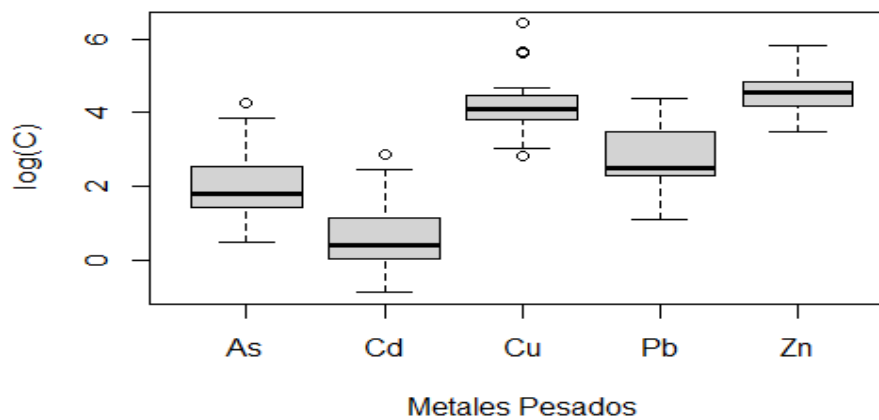


Figura 3.10. Diagramas de cajas de metales pesados en agua de casas vs el logaritmo de la concentración.

3.2.8 Correlación de Spearman

Se utilizó la correlación de Spearman para conocer la relación que tiene cada metal pesado en sus diferentes matrices. La matriz de correlación de aguas superficiales (*Figura 3.11*) es un caso muy particular, ya que siete de nueve elementos analizados tienen correlaciones negativas con el arsénico, es decir, que a medida

que Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn disminuye el arsénico aumenta y viceversa. Por otro lado, existen correlaciones muy fuertes positivas en esta matriz como: Zn – Co, Cu – Co, Mn – Co.

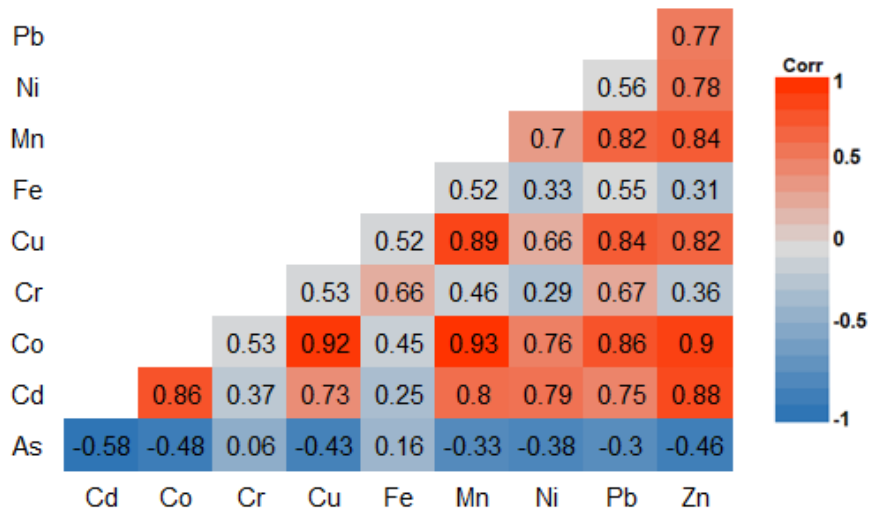


Figura 3.11 Correlación de Spearman para las aguas superficiales.

En la matriz de correlación para aguas de grifo (Figura 3.12) se pudo determinar que existen correlaciones positivas fuertes para Zn – Cu y Pb – Cu, lo que significa que a medida que las concentraciones de Zn y Pb aumenten también aumentará la concentración de cobre en la zona 2 de estudio. Existen relaciones negativas fuertes como la de Mn – As, que a razón de que uno de los metales aumente su concentración el otro disminuye y viceversa. Las correlaciones cercanas a cero como la de Cu – Cd indican que no hay una relación entre los metales pesados.



Figura 3.12 Correlación de Spearman para la matriz de agua de grifo.

De la matriz de correlación de Spearman para sedimentos (*Figura 3.13*) se puede concluir que todos los metales pesados tienen una correlación positiva, es decir, son directamente proporcionales. Por ejemplo, a mayor concentración de Pb mayor es la concentración de As y Cd. A mayor concentración de Zn mayor es la concentración de Cu. Esto se debe a que los iones de los metales pesados quedan atrapados en los sedimentos y su concentración seguirá siendo mayor mientras las actividades antropogénicas se sigan dando en la zona de estudio.

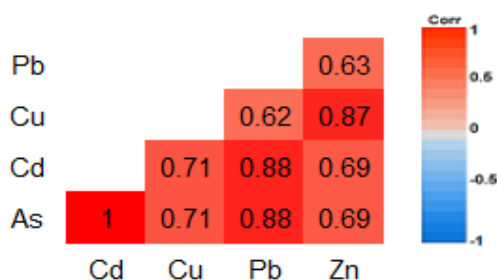


Figura 3.13. Correlación de Spearman para sedimentos.

3.3 Propuesta preliminar de mitigación para la reducción de la contaminación

El análisis de resultados determina que la fuente de contaminación proviene de las quebradas El Panteón y El Gringo, en donde se evidencia grave afectación de acuerdo con el Índice de Metales para aguas superficiales y muy alta toxicidad según el Índice de Riesgo Ecológico para sedimentos. Además, en las campañas de muestreo se pudo evidenciar descargas producto de la actividad minera ilegal.

Por otra parte, la empresa Torata Mining Resources TMR S.A. responsable de la concesión El Guayabo, se está encargando de manejar los pasivos ambientales heredados de anteriores administraciones dedicadas a la explotación de minerales. Para controlar el drenaje ácido de mina que se genera en los inactivos frentes de explotación, cuentan con sistemas mixtos de tratamiento de aguas (químico y biológico). Sin embargo, a pesar del tratamiento aplicado existen metales como el Cu, Ni y Zn que sobrepasan (en un bajo porcentaje) los límites máximos permisibles, específicamente en las descargas de las aguas residuales.

Ante esta situación se propone un plan de acción con la finalidad de minimizar los efectos adversos en la fuente de contaminación. El plan de acción consiste en adaptar canales abiertos con zeolita al final de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de los frentes El Panteón y Adriano en la concesión El Guayabo. También, se propone implementar canales de zeolita en conjunto con una especie acuática de Halófitas como la *Typha Latifolia* (Totora) en las quebradas El Panteón y El Gringo, formando humedales artificiales mixtos, para mejorar las condiciones del entorno y evitar el desplazamiento de contaminantes hacia el Río Santa Rosa.

3.3.1 Base conceptual de la propuesta

3.3.1.1 La zeolita como agente de retención de contaminantes

Las zeolitas naturales son aluminosilicatos de metales alcalinos, de sodio y calcio predominantemente. Presentan una estructura microporosa que le brindan propiedades adsorbentes y gran capacidad para intercambiar cationes por su desequilibrio de cargas que es función de la relación Si y Al. Por este motivo son muy utilizadas en el tratamiento de efluentes minero-metalúrgicos, en tratamiento de drenaje ácido de mina, entre otros usos. Existen estudios que tratan de las propiedades de los adsorbentes de iones metálicos de bajo costo, en donde se indica que la zeolita se encuentra entre las más eficientes (Curi et al., 2006).

El tipo de zeolita a utilizar es un factor importante; la Clinoptilolita es bastante utilizada en la remoción de contaminantes. La mayoría de los tipos de zeolitas presentan un alto nivel de adsorción, por lo cual, se tiene un amplio rango para su selección. A continuación, se listan propiedades más representativas del mineral zeolita.

- Alto potencial de retención de metales pesados, como: As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn; residuos radiactivos; entre otros.
- Gran oferta en el país y costos de adquisición considerablemente bajos en comparación con materiales químicos empleados para el mismo fin.
- Estabilidad a los procesos químicos y térmicos que permiten su reactivación y utilización en varios ciclos.
- Altamente selectiva para iones de amonio.

- No requiere un monitoreo continuo.
- Material relativamente económico.
- Ecológicamente amigable.

3.3.1.2 Typha Latifolia (Totora) como bioacumulador de contaminantes

La Totora Latifolia (anea, espadaña, enea, cola de gato, gladio, boga), es una especie de planta perenne originaria de Asia y Europa, e introducida en América, del género Typha. Esta especie se caracteriza por crecer en climas templados llegando a superar los 3 metros de altura, aparece en los bordes de los cursos de agua o zonas encharcadas, formando humedales. Tiene un gran acoplamiento a medios con pH ácidos y una gran habilidad para bioacumular contaminantes, por lo que se la denomina hiperacumuladora, siendo efectiva en la remoción de metales pesados (Lloclla Gonzales & Maxe Malca, 2016).

En un estudio realizado por Delgadillo-López et al. (2011), se indica que las plantas hiperacumuladoras logran retener al menos: 100 µg/g (0.01% peso seco) de Cd y As; 1000 µg/g (0.1% peso seco) de Co, Cu, Cr, Ni y Pb; 10 000 µg/g (1.0% peso seco) de Mn. En la *Tabla 3.8* se puede observar las ventajas y desventajas que presenta el uso de la Totora en humedales artificiales.

Tabla 3.8 Ventajas y desventajas del proceso de fitorremediación con especies hiperacumuladoras (Delgadillo-López et al., 2011).

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación In Situ • Sustentable • No requiere consumo de energía • Permite el reciclado del agua y la biomasa. • Puede tratar una gama de metales pesados, hidrocarburos, pesticidas. • Aceptación por la sociedad, ya que es una medida ecológicamente amigable. • Cumplimiento con la normativa vigente. • Bajo costo implementación, operación y mantenimiento. • Permite analizar la evolución de la contaminación en el tiempo, considerando parámetros fisicoquímicos como: pH, OD, STD, CE, Temp, entre otros. • La inmovilización de los contaminantes no requiere la aplicación de un posterior tratamiento. • No se necesita una remoción definitiva de la especie (Desmantelamiento del humedal). • No es necesario un tipo de suelo específico y es capaz de tolerar amplia variedad de temperaturas. 	<ul style="list-style-type: none"> • De las partes aéreas de las plantas se obtienen residuos peligrosos que son obtenidos por recolección y calcinación, al igual que otras especies bioaculadoras. Pero no existe conocimiento del destino de los contaminantes volatilizados. • El nivel de la contaminación influye en el tiempo de remediación. • Puede favorecer la proliferación de plagas. • La base blanca de tallo y los rizomas gruesos de esta especie también es aprovechada en base culinaria, sin embargo, esto podría ser potencialmente peligroso para la salud humana. • Por su rápido crecimiento se considera una especie invasora, puede alcanzar de 300 a 400 plantas por metro cuadrado, por esta razón, necesita ser controlada. • Disposición final de la biomasa.

3.3.2 Consideraciones para la implementación

La propuesta de mitigación se considera viable si y solo sí se eliminan los focos de contaminación, para esto es primordial que los entes estatales de minería y ambiente respalden la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, regulando las actividades que puedan afectar la calidad y cantidad de agua y equilibrio del ecosistema, como se estipula en el Art. 411 de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, (2015). Las actividades ilegales que se realizan en este sector se deben combatir, ya que, de no ser así,

ninguna propuesta de remediación será efectiva. Asimismo, las empresas mineras deben cumplir con el compromiso de preservación ambiental.

El plan de acción tiene el enfoque de ser una propuesta de remediación piloto de bajo costo de implementación y con opción de replicarse en otras zonas afectadas por este tipo de contaminación. Se debe evaluar cada uno de los sistemas en un periodo de tiempo establecido según las propiedades de los materiales utilizados, para determinar su comportamiento con el entorno y la efectividad en la retención de contaminantes, de esta manera, considerar posibles cambios que mejoren la eficiencia de la propuesta.

Los canales que se pretenden implementar en las descargas de las plantas de tratamiento tendrán un diseño zigzagueante y escalonado. Este diseño responde a la necesidad de que el agua que ingrese al canal disminuya su velocidad, disipe su energía y sobre todo que el agua tenga un mayor tiempo de contacto con las zeolitas, para que de esta manera se pueda retener los metales pesados con altas concentraciones. Por lo tanto, se reemplazaría la tubería unidireccional que conectan las cajas de paso de agua tratada para su descarga a las quebradas, por los canales abiertos con zeolita. A continuación, se muestran los diagramas de los canales zigzagueantes escalonado con sus respectivas dimensiones.

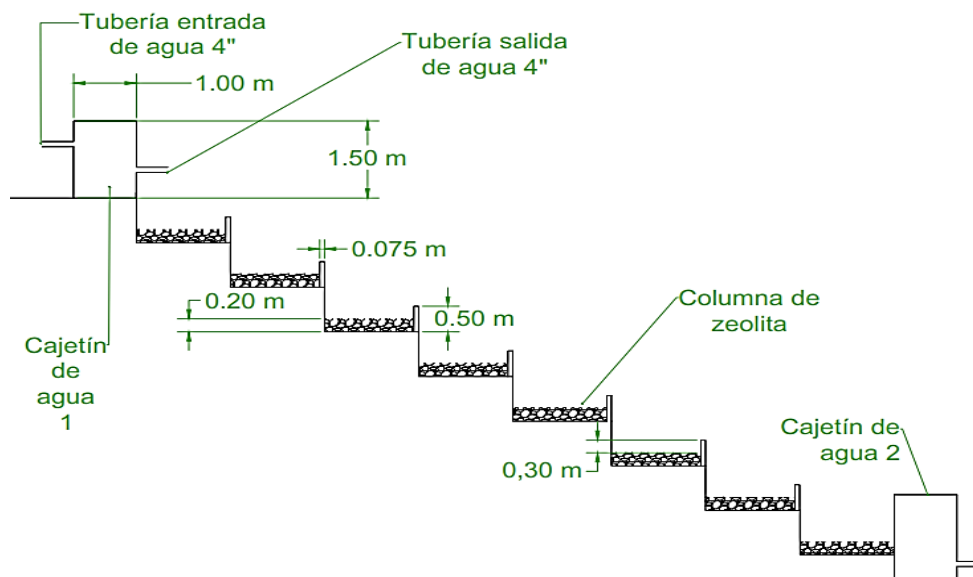


Figura 3.14. Vista lateral del canal zigzagueante escalonado - Tramo Cajetín 1 a Cajetín 2

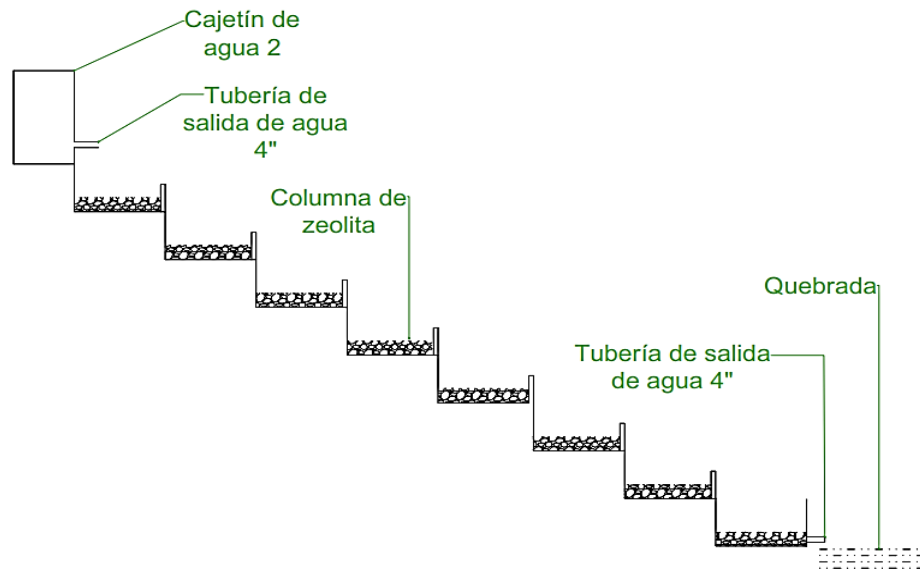


Figura 3.15. Vista lateral del canal zigzagueante escalonado - Tramo Cajetín 2 a descarga de la quebrada

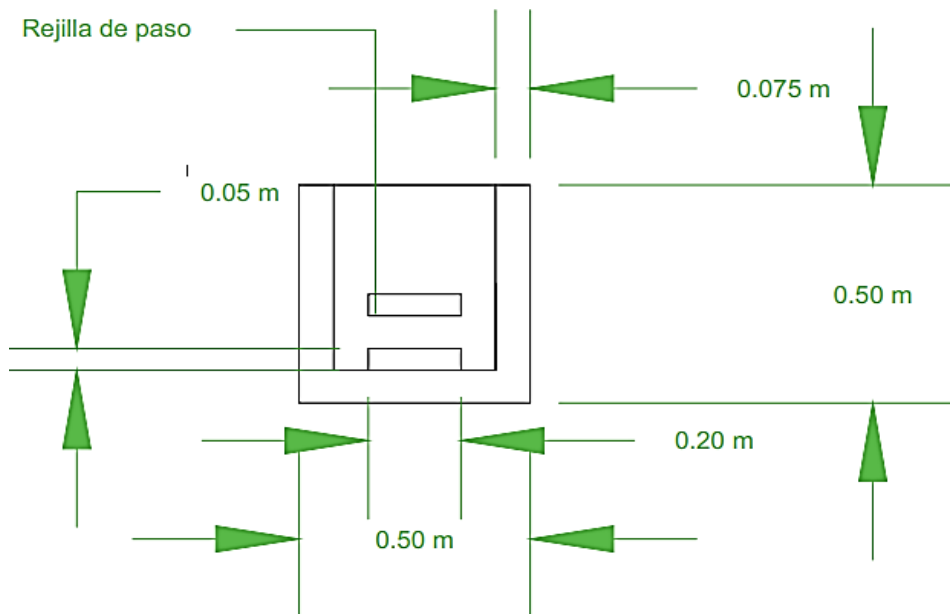


Figura 3.16. Vista frontal de escalón del canal zigzagueante

En cuanto a las quebradas, se caracterizan por tener pendientes fuertes en gran parte de sus longitudes, y el sistema de tratamiento mixto que se pretende implementar debe instalarse en terrenos relativamente planos (con una mínima inclinación para favorecer el movimiento del agua). Por esta razón, se sugiere

ubicarlas en los tramos junto a la vía Satayán – Zambotambo, en las coordenadas de las muestras As-006 en la quebrada El Panteón y As-005 en la quebrada El Gringo (Apéndice A), ya que estos sitios cumplen con esta condición, y, al estar junto a la vía favorece el acceso, construcción y monitoreo.

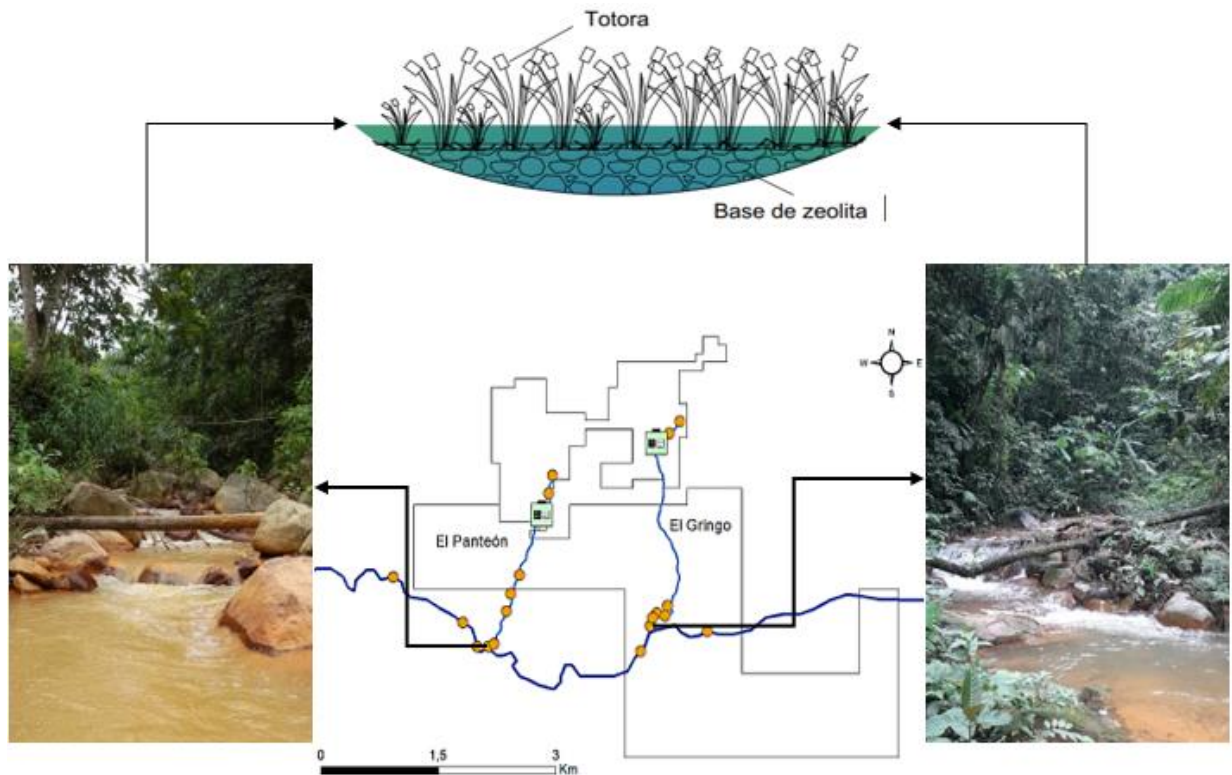


Figura 3.17 Diseño de implementación del sistema de tratamiento pasivo en las quebradas El Panteón y El Gringo.

Este sistema podría mejorar las condiciones del entorno en busca de que las descargas al Río Santa Rosa no sobrepasen los límites permisibles de la Normativa. Además, resulta de gran beneficio debido a que la fitorremediación es un conjunto de biotecnología que permite reducir la contaminación, de diversos compuestos. Acorde a la revisión de la literatura, las propiedades que brinda esta especie sobresalen en comparación con otras, por ejemplo, el carrizo, que se ha implementado en el sistema de tratamiento de agua residual en la concesión minera El Guayabo, o el lechuguín, que también es utilizado en este tipo de sistemas de remediación.

Las ventajas de la totora se describieron en la *Tabla 3.8*. Entre las más relevantes cabe resaltar que esta especie es capaz de adaptarse a cualquier tipo de suelo, y de resistir un amplio rango de temperatura. También, es resistente a altos niveles de acidez, siendo esta característica de gran importancia debido a que estudios indican que mientras más ácido es el medio, más rápida es su reproducción. Además, su biomasa es capaz de seguir reteniendo contaminantes luego de que la planta muere. Por estas razones, se la conoce como una especie hiperacumuladora y es de mucho interés implementarla en los sistemas propuestos para evaluar su eficiencia y determinar si su uso genera un mayor beneficio en comparación con las otras especies mencionadas. Cabe destacar que esta propuesta es preliminar y que necesita ser evaluada en laboratorio y campo para medir su efectividad.

Además de determinar el tipo de metal pesado y los niveles en que se presentan en la zona de estudio, también se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Superficie de implementación (preparación del terreno)

Los puntos en donde se plantea implementar los canales de zeolita en conjunto con humedales deben prepararse en cuanto a remoción de escombros, maleza, u otro tipo de material que se considere interferente. El área para utilizar en cada una de las quebradas es de aproximadamente 21 m² (7 m de largo x 3 m de ancho) por lo que la adecuación del terreno se puede realizar con herramientas manuales.

- Parámetros fisicoquímicos iniciales

Se deben medir los parámetros fisicoquímicos antes de instalar los sistemas de tratamiento para tener valores iniciales y poder verificar la evolución de la calidad del agua en el tiempo. Sin embargo, se puede utilizar como referencia los valores medidos en este estudio.

- Caudal en las quebradas

El flujo promedio de agua en las quebradas es menor a 1 m³/s, pero es importante determinar su variación en función de los cambios estacionales (época de lluvia y época seca), ya que este puede influir en la efectividad del sistema empleado.

Además, se debe tener en cuenta la magnitud de las primeras precipitaciones debido a que pueden desprender a las Totoras y arrastrar la zeolita.

- Tiempo de contacto

El tiempo que permanece en contacto el agua, desde que ingresa al sistema hasta su salida, está en función de la velocidad del flujo (la cual depende del caudal) y la longitud del canal (7 m). Se estima que el tiempo de contacto en las dos quebradas será similar ya que presentan las mismas condiciones geográficas y de diseño del sistema.

- Cantidad de Zeolita

La cantidad de zeolita utilizada en cada uno de los humedales está en función del espesor de la columna de agua, el cual se estima en 0.40 m en promedio, y del área a utilizar para el sistema. Por esta razón se plantea utilizar una capa de zeolita de aproximadamente 0.20 m de espesor, con el fin de que quede totalmente sumergida, y, con el producto de la sección circular y la longitud del canal, se estima un total de 4 m³ de Zeolita en cada quebrada.

- Inspección en campo.

Se propone un tiempo mínimo de 6 meses para las actividades de monitoreo y control de los sistemas de tratamientos en las quebradas, debido a que en este periodo la Totoras ha alcanzado una etapa madura y en el cambio de clima (entrada de la temporada invernal), se efectúa su cosecha. Además, en este mismo periodo se debe determinar el grado de saturación de la zeolita para evaluar su capacidad de retención de contaminantes.

La Tabla 3.9 presenta un cronograma propuesto para las actividades de monitoreo recomendadas.

Tabla 3.9. Cronograma de actividades de monitoreo y mantenimiento del sistema de tratamiento pasivo para las quebradas el Panteón y El Gringo.

Actividades	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Medición del pH en agua antes y después de ingresar al sistema		X				X								X										X
Control del crecimiento de la Titora	X				X				X				X				X							X
Control de la estabilidad del canal de zeolita	X				X				X				X				X							X
Limpieza del sistema de tratamiento				X			X				X				X				X					X
Monitoreo de actividades en las quebradas		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X

Es de muy alta relevancia el muestreo y análisis de laboratorio para medir la efectividad de la medida de remediación empleada. Los resultados expuestos en el presente trabajo sirven como datos iniciales de las condiciones del recurso antes de implementar los sistemas de tratamiento, luego de los 6 meses de debe realizar nuevamente los análisis para corroborar el cumplimiento de la normativa vigente y la efectividad del sistema.

Es necesario que las industrias mineras establecidas en la zona sean responsables con el tratamiento de las aguas de mina que genera sus labores y de sus relaves. Además, que los organismos de control y regulación locales sean los encargados de velar por el recurso hídrico de este afluente. Sin olvidar a la población del cantón Santa Rosa y medios de comunicación, quienes participarían como veedores del cumplimiento de las actividades de mitigación de la contaminación. Asimismo, las comunidades aledañas a las quebradas deben ser partícipes en el cuidado y monitoreo de sistema de tratamiento pasivo.

3.3.3 Costos preliminares

Los costos preliminares para la implementación de la propuesta incluyen materiales de construcción, transporte de los materiales, compra de zeolita entre otros. A continuación, se detallan los costos para cada ítem y no se toman en cuenta los costos de mano de obra para la construcción del canal zigzagueante escalonado. Es fundamental tener en cuenta que estos costos son estimativos bajo las condiciones actuales y que deberán ser actualizados una vez se tengan las consideraciones finales de diseño además de ser tomada en consideración la mano de obra la ejecución de esta propuesta.

Tabla 3.10 Costos de implementación de la propuesta

CANALES DE ZIGAZAGUEANTES DE ZEOLITA		
Descripción	Cantidad	Costo
Bloques de cemento	1104 (unid)	200,00
Concreto para paredes y base	79m ³	456,00
Zeolita	105 (Kilos)	163,49
Sub - TOTAL		819,49
HUMEDALES ARTIFICIALES DE TOTORA Y BASE DE ZEOLITA		
Descripción	Cantidad	Costo
Zeolita	2344 (Kilos)	3649,61
Semillas de totora	-	2,54
Sub - TOTAL		3651,15
GASTOS VARIOS		
Descripción	Cantidad	Costo
Transporte de materiales	-	250,00
Otros gastos	-	150,00
Sub - TOTAL		400,00
TOTAL		\$ 4871,15

CAPÍTULO 4

4 Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

Este trabajo permitió evaluar el contenido de metales pesados en aguas de grifo, aguas superficiales y sedimentos del cantón Santa Rosa y sus parroquias rurales aledañas, mediante el uso de la normativa ambiental nacionales, internacional y de diversos índices de contaminación. Esta información permitió caracterizar el nivel de afectación de los recursos naturales y proponer medidas de acción para mitigar la contaminación en las zonas de estudio.

- La comparación de las concentraciones de metales pesados con la normativa nacional e internacional indicó qué metales se encuentran por encima de los límites permisibles. Además, los indicadores de contaminación utilizados permitieron categorizar el riesgo ecológico e identificar las zonas que se encuentran afectadas para inferir las actividades que producen la contaminación y proponer medidas de remediación ambiental.
- Los resultados de los parámetros fisicoquímicos como el pH fueron el preámbulo para determinar la contaminación en la zona de estudio, en esta se determinó que el 33% de los emplazamientos analizados en las quebradas El Panteón, El Gringo y el Río Santa Rosa estaban fuera del rango permitido. Además, se determinó que el pH medido in situ en las muestras de agua de grifo de cabecera cantonal y las parroquias rurales La Avanzada y Bellavista estuvo fuera del límite máximo permisible que propone la normativa INEN 1108, en un 80% de las muestras analizadas, siendo catalogada como agua alcalina por ser superior a 8.
- Luego de realizar la comparación de las concentraciones de aguas superficiales en el Río Santa Rosa con el estudio de PRODEMINCA realizado en el año 1998 en la misma zona, se determinó que las actividades antropogénicas han afectado al río, con niveles de As, Cd, Cu, Pb y Zn por encima de los valores de fondo. A la vez, estos cuatro últimos elementos superan los límites máximos permisibles establecidos en la normativa. De la misma manera, metales como;

Cd, Cu, Pb y Zn en sedimentos se encuentran por encima de los valores de fondo. Esto refleja que los controles y monitoreos ambientales son escasos en la zona y que al mantenerse o aumentar la contaminación, la amenaza de riesgo para los usuarios de los recursos hídricos es cada vez mayor.

- En aguas superficiales, el Cu es metal de más alta concentración. Así mismo, se evidenció altos niveles de Fe, que pueden estar relacionados con el drenaje ácido de mina que se origina en las labores mineras abandonadas de la concesión El Guayabo. Por otra parte, Cd y Ni son los únicos metales pesados que se evidencian en el casco urbano del cantón, y que se encuentran por encima de los límites máximos permisibles.
- La Clasificación de la calidad del agua superficial según el Metal Índice, indica que el 39% de los sitios muestreados están gravemente afectados y corresponde a muestras tomadas en las quebradas El Gringo y El Panteón. Con respecto a las aguas de grifo, los resultados del Metal Índice indican que el 91% de las muestras entran en la categoría de muy pura a pura.
- De acuerdo con el análisis de resultados de agua de grifo, se evidencia que las concentraciones de metales pesados no representan un riesgo para la salud. Además, de que las afectaciones en la población se tornan a largo plazo producto de estos elementos, lo que contrasta con los eventos repentinos del pasado febrero de 2021.
- Para sedimentos, el índice de riesgo ecológico reflejó que en las quebradas El Panteón y El Gringo es donde más concentración de metales pesados existe. En dichas zonas existe una clasificación de Muy alta toxicidad, siendo la clasificación más alta, lo que realmente preocupa. Esto puede ser producto del vertido de aguas con altos índices de metales pesados y a la minería ilegal que se realiza en la zona. Los índices de metales pesados a lo largo del río responden a la forma de transportarse los iones de metales pesados, por esta razón existen índices de moderado a considerable en un 55% de los emplazamientos analizados.
- Para el índice de Geo-acumulación, el Cd es el metal que presenta categoría de contaminación alta a extrema en las quebradas El Panteón y El Gringo, mientras que a lo largo del Río Santa Rosa la contaminación va de moderada a alta. Así

mismo, el Pb es el metal que presenta índice de clasificación moderada a alta en las quebradas, aunque aguas abajo, es decir, a lo largo del Río Santa Rosa el Pb arroja índices de contaminación de no contaminada a moderadamente contaminado, al igual que el Zn. Por otro lado, As es el metal que menos problemas ocasiona, pues los resultados del análisis de índice de Geoacumulación reflejan que sus emplazamientos se ubican en la categoría de no contaminado.

- Los efectos adversos biológicos que pueden ocurrir por altas concentraciones de metales pesados se lo clasifican mediante los índices TEL y PEL, según esto, se determinó que el As provoca efectos adversos biológicos frecuentemente y el Cd al igual que el Cu, provocan efectos adversos biológicos ocasional y frecuentemente.
- Con base en los resultados obtenidos en este estudio, se propuso implementar canales de zeolita en los efluentes de la concesión minera El Guayabo y en las quebradas El Panteón y El Gringo, como material filtrante para disminuir la contaminación. Esta metodología ha sido aplicada en ríos de Canadá y Estados Unidos, obteniendo consecuencias muy favorables para el ecosistema, con la diferencia que utilizan caliza, ya que, es un material abundante y de bajo costo. Sin embargo, la variación con el mineral zeolita se da por la disponibilidad en nuestro país y por su mayor efectividad para retener metales pesados. Además, la implementación de humedales es una técnica en auge, con potencial para aplicarse a gran escala debido a que es eco amigable, efectivo y común en América Latina. Así como la especie herbácea Totorá que tiene la capacidad de absorber, acumular y estabilizar contaminantes orgánicos e inorgánicos, con muy buenos resultados en el tratamiento de aguas ácidas.
- Esta propuesta puede ser tomada como una línea base para futuros estudios en la zona; que, deberán estar enfocados en la generación de propuestas detalladas, tomando en cuenta simulaciones y/o ensayos pilotos. Ya sean métodos activos o pasivos para el tratamiento de drenaje ácido de mina.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda implementar monitoreos periódicos en el recurso hídrico de la zona de estudio para determinar la variabilidad del contenido de metales pesados entre temporadas de constante precipitación y temporadas secas.
- Es importante que las autoridades pertinentes realicen trabajos de control de las actividades mineras, agrícolas, ganadera y otras que fueron identificadas en la zona de estudio, para reducir la afectación en la cuenta del Río Santa Rosa.
- Se debe realizar monitoreo y control de la calidad del agua por parte de las autoridades y organismos competentes en los sectores: Las Palmeras, Bosque 1, Bosque 2, Nueva Esperanza y Nazareno con los códigos de muestra AC - 003, AC - 014, AC - 021, AC - 032 y AC – 046 respectivamente ya que la calidad de agua se encuentra en categoría de ligeramente afectada a gravemente afectada en un 9% de sitios, según el Metal Índice. La contaminación por el contenido de metales pesados en agua de grifo puede causar graves afectaciones a largo plazo en la salud humana.
- Se recomienda mantener una buena comunicación entre las autoridades del cantón, el sector productivo y recreativo para normalizar un trabajo en conjunto que permita combatir las malas prácticas ambientales en la zona de estudio, de cara a mejorar las condiciones naturales y sociales del cantón Santa Rosa.
- La categorización del riesgo sistémico y cancerígeno para la población que interactúa constantemente con el recurso hídrico del cantón, así como la evaluación del contenido de metales pesados en cultivos y animales de granja sería de mucho interés, con base en los resultados observados en este trabajo de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Agilent. (13 de Julio de 2010). *Agilent Technologies*. Obtenido de <https://www.agilent.com/cs/library/brochures/5990-4025EN.pdf>
- Andrew L. Friedman, S. M. (2006). *Stakeholders: Theory and Practice* .
- Appleton et al., J. (2001). Contaminación fluvial asociada a la minería artesanal de oro en las áreas de Ponce Enríquez, Portovelo-Zaruma y Nambija, Ecuador. *Springer*.
- BCE. (2021). *Cartilla Informativa SECTOR MINERO*.
- Bustamante, T., & Lara, R. (2010). *El Dorado o Caja de Pandora, Matices para pensar en la minería en Ecuador*. Quito: FLACSO.
- Delgado, G. (2010). *Ecología Política de la Minería en América Latina*. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades Universidad Nacional Autónoma de México.
- Egas, G. C. (2009). *Caracterización y evaluación de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa*. Guayaquil. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/118/1/141.pdf>
- GAD Santa Rosa. (2018). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Santa Rosa 2014 - 2017 (Actualizado 2018)*. Santa Rosa.
- García, A. (12 de Febrero de 2021). *El Comercio*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/metales-pasados-intoxicacion-agua-santarosa.html#:~:text=El%20Municipio%20de%20Santa%20Rosa,desde%20la%20tarde%20del%20pasado>
- Harris, D. C. (2016). *Análisis Químico Cuantitativo* (Tercera ed.). California: Reverté SA.
- Herrera, E. C. (2021). *Resultados de análisis realizados en la ciudad de Santa Rosa* . Santa Rosa.

- IGM. (29 de Octubre de 2020). *Cartografía de libre acceso, escala regional*. Obtenido de <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/descargas/cartografia-de-libre-acceso/cartografia-de-libre-acceso-escala-regional/>
- INEC. (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. Obtenido de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/FICHAS%20F/0712_SANTA%20ROSA_EL%20ORO.pdf
- Instituto Geológico y Minero de España. (2002). *Determinación de niveles de fondo y niveles de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la comunidad de Madrid*. Madrid. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=xzfwX3AXziMC&printsec=frontcover&dq=valores+de+fondo+de+metales+pesados&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjstvzDyafwAhUPMVkFHZ4jB6AQ6AEwAHoECAIQAg#v=onepage&q&f=true>
- Lenntech. (s.f.). *Propiedades químicas de los elementos-Efectos en la salud*. Obtenido de <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/index.htm>
- Maine et al., M. (1999). *Información Tecnológica*. (J. O. Valderrama, Ed.) Santa Fe.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua*. Quito.
- OMS. (15 de febrero de 2018). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- Pereyra, G. (2015). Reporte de Investigación - Sector Minería. *Boletín Científico de la Escuela Superior Atotonilco De Tula*. Obtenido de <https://doi.org/10.29057/esat.v2i4.1469>
- PRODEMINCA. (1998). *Moitoreo Ambiental de las Áreas Mineras en el Sur de Ecuador*. Quito.
- Rodriguez, D. A., & Espinosa, O. J. (2016). Alcalosis metabólica hipoclorémica o alcalosis de iones fuertes: una revisión. *SciELO*.
- Smith et al., S. (1996). Una evaluación preliminar de los valores de evaluación de la calidad de los sedimentos para los ecosistemas de agua dulce. *ScienceDirect*.

Obtenido

de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0380133096709851>

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2020). *Plomo - ToxFAQs™*.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2012). *ToxFAQs™ sobre el manganeso*. 1–2.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (1999). Resumen de Salud Pública Cadmio Resumen de Salud Pública Cadmio. *Medicina*, 10. www.atsdr.cdc.gov/es

Angamarca, D. J., & Valarezo, L. A. (2020). *Determinación de la contaminación del recurso hídrico provocado por la actividad minera en la cuenca alta del Río Santa Rosa, provincia de El Oro*. 1–110. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19334/1/UPS-CT008839.pdf>

ATSRD. (1999). Resumen de Salud Pública Cadmio Resumen de Salud Pública Cadmio. *Medicina*, 10. www.atsdr.cdc.gov/es

Cañizares-Villanueva, R. O. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 42(3), 131–143.

Carling, G. T., Diaz, X., Ponce, M., Perez, L., Nasimba, L., Pazmino, E., Rudd, A., Merugu, S., Fernandez, D. P., Gale, B. K., & Johnson, W. P. (2013). Particulate and dissolved trace element concentrations in three southern ecuador rivers impacted by artisanal gold mining. *Water, Air, and Soil Pollution*, 224(2). <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1415-y>

Cisneros, P. (2014). *La realidad de la minería ilegal en países amazónicos*.

Constitución de la Republica del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador 2008 [Constitution of the Republic of Ecuador 2008]. *Incluye Reformas*, 1–136.

Curi, A., Granda, W. J. V., Lima, H. M., & Sousa, W. T. (2006). Las zeolitas y su aplicación en la descontaminación de efluentes mineros. *Informacion Tecnologica*, 17(6), 111–118. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642006000600017>

- Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597–612. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- García, P., Esmeralda, P., Cruz, A., & Isabel, M. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 17(3), 199–205.
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach. *Water Research*, 14(8), 975–1001. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8)
- Ley de Minería, L. de M. (2009). *Ley de Minería 2009*. 47.
- Llolla Gonzales, H., & Maxe Malca, M. (2016). Microorganismos depuradores asociados con eneas (*Typha latifolia*) en la depuración de aguas residuales. *UCV - HACER: Revista de Investigación y Cultura*, 5(1), 10–15.
- MacDonald, D. D., Ingersoll, C. G., & Berger, T. A. (2000). Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39(1), 20–31. <https://doi.org/10.1007/s002440010075>
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Reforma de Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente* (pp. 1–184).
- OMS. (2011). Guías para la calidad del agua de consumo humano. *Organización Mundial de La Salud*, 4, 608.
- Pardo, Á. (2015). *Análisis de la contaminación por metales pesados en el río Santa Rosa como fuente de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Santa Rosa*. 93.
- Reyes-navarrete, M. G., Irene, A., Peña, A., Magdalena, D., Vargas, A. G.-, González-valdez, L. S., & Vázquez, C. (2007). Metales Pesados : Importancia Y Analisis. *Repositorio Digital IPN*, 1–3.
- Reyes, Y. C. ., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M., & González, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y

seguridad alimentaria. *The Indian Journal of Pediatrics*, 16(1), 14.
<https://doi.org/10.1007/BF02796157>

Rodrigo Oviedo, A., Moína-Quimí, E., Naranjo-Morán, J., & Barcos-Arias, M. (2017). Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera. *Bionatura*, 2(4), 437–441. <https://doi.org/10.21931/rb/2017.02.04.5>

Sierra, C., Ruíz-Barzola, O., Menéndez, M., Demey, J. R., & Vicente-Villardón, J. L. (2017). Geochemical interactions study in surface river sediments at an artisanal mining area by means of Canonical (MANOVA)-Biplot. *Journal of Geochemical Exploration*, 175, 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.01.002>

Soto-Benavente, M., Rodríguez-Achata, L., Olivera, M., Arostegui, V., Colina, C., Garate, J., Soto-Benavente, M., Rodríguez-Achata, L., Olivera, M., Arostegui Sanchez, V., Colina Nano, C., & Garate Quispe, J. (2020). Health risks due to the presence of heavy metals in agricultural products cultivated in areas abandoned by gold mining in the Peruvian Amazon. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 49–59. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.06>

Tostado-Madrid, T., Benítez-Ruiz, I., Pinzón-Navarro, A., Bautista-Silva, M., & Ramírez-Mayans, J. A. (2015). News of the characteristics of iron and its use in pediatrics. *Acta Pediátrica de México*, 36(3), 189–200. <https://doi.org/10.18233/apm36no3pp189-200>

Velásquez-López, P. C., López-Sánchez, I. Y., Rivera-Velásquez, M. F., Velásquez-López, P. C., López-Sánchez, I. Y., & Rivera-Velásquez, M. F. (2020). Estimación del riesgo ecológico y a la salud humana del mercurio en una zona de manglar del estuario La Puntilla, provincia de El Oro, sur del Ecuador. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 49(1), 81–100. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2020.49.1.775>

Withanachchi, S., Ghambashidze, G., Kunchulia, I., Urushadze, T., & Ploeger, A. (2018). Water Quality in Surface Water: A Preliminary Assessment of Heavy Metal Contamination of the Mashavera River, Georgia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(4), 621. <https://doi.org/10.3390/ijerph15040621>

APÉNDICES

APÉNDICE A

Coordenada de los emplazamientos muestreados

Código	Tipo de muestra	Coor_X	Coord_Y	Sitio
AS-001	A. Superficial	627328	9604933	Quebrada El Panteón, Concesión El Guayabo
AB-001	A. Superficial	627291	9604865	Boca mina El Panteón, Concesión El Guayabo
AS-002	A. Superficial	627257	9604583	Planta de tratamiento de agua El Panteón, Concesión El Guayabo
AS-003	A. Superficial	628870	9605538	Quebrada El Gringo, Concesión El Guayabo
AB-002	A. Superficial	628828	9605491	Frente minero El Adriano, Concesión El Guayabo
AS-004	A. Superficial	628748	9605430	Planta de tratamiento de aguas El Gringo, Concesión El Guayabo
AS-005	A. Superficial	628525	9602778	Quebrada El Gringo, Concesión El Guayabo
AS-006	A. Superficial	626514	9602949	Quebrada El Panteón
AS-007	A. Superficial	626196	9603251	Río Santa Rosa, Vía Satayán - Zambotambo
AS-008	A. Superficial	628465	9602897	Quebrada El Gringo
AS-009	A. Superficial	626391	9602960	Quebrada El Panteón
AS-010	A. Superficial	620486	9603987	Rio Santa Rosa, sector El Playón
AS-011	A. Superficial	620486	9603987	Rio Santa Rosa, sector El Playón
AS-012	A. Superficial	619056	9603964	Rio Santa Rosa, Balneario "La Aurelia"

AS-013	A. Superficial	617728	9604658	Río Santa Rosa, Limón Playa
AS-014	A. Superficial	617728	9604658	Río Santa Rosa, Limón Playa
AS-015	A. Superficial	617497	9606398	Río Santa Rosa, Represa EMAPA
AS-016	A. Superficial	615934	9608167	Planta de Tratamiento de agua Los Jardines, antes del tratamiento
AS-017	A. Superficial	615979	9608233	Planta de Tratamiento de agua Los Jardines, luego del tratamiento
AS-018	A. Superficial	616084	9608627	Río Santa Rosa, puente de La Avanzada
AS-019	A. Superficial	616084	9608627	Río Santa Rosa, puente de La Avanzada
AS-020	A. Superficial	628671	9603349	Quebrada El Gringo
AS-021	A. Superficial	629310	9603132	Quebrada El Gringo
AS-022	A. Superficial	626589	9602989	A Quebrada El Panteón
AS - 023	A. Superficial	625297	9603779	Río Santa Rosa, vía Zambotambo
AS-024	A. Superficial	619526	9604096	Río Santa Rosa, Balneario El Remolino
AS-025	A. Superficial	618408	9604210	Río Santa Rosa, entre los sitios La Laurelia y Limón Playa
AS-026	A. Superficial	617366	9605753	Punto tomado entre Limón Playa y la Represa
AS-027	A. Superficial	616853	9606897	Río Santa Rosa, al frente del comedor "Sitio de amor"
AS-028	A. Superficial	616706	9607404	Río Santa Rosa, Balneario "Las Colinas"
AS-029	A. Superficial	628671	9603349	Quebrada El Gringo

AS-030	A. Superficial	628583	9603195	Quebrada El Gringo
AS-031	A. Superficial	628525	9602778	Quebrada El Gringo
AS-032	A. Superficial	626529	9602959	Quebrada El Panteón
AS-033	A. Superficial	626589	9602989	Quebrada El Panteón
AS-034	A. Superficial	626514	9602949	Quebrada El Panteón
AC-001	A. Grifo	614833	9613077	Barrio Centenario
AC-002	A. Grifo	614833	9613226	Barrio Chilla
AC-003	A. Grifo	614873	9616538	Cdla. Las Palmeras
AC-004	A. Grifo	614679	9617942	Barrio Tnte. Hugo Ortíz
AC-005	A. Grifo	615617	9618368	Barrio 24 de mayo
AC-006	A. Grifo	615982	9618516	Barrio Mi Rosita
AC-007	A. Grifo	615424	9619137	Barrio Central
AC-008	A. Grifo	614580	9619641	Cdla. Reina del Cisne
AC-009	A. Grifo	615389	9619870	Barrio 15 de octubre
AC-010	A. Grifo	616692	9619442	Barrio Los Ceibos
AC-011	A. Grifo	614413	9618877	Barrio Virgen de Chilla
AC-012	A. Grifo	614385	9620077	Barrio Miguel Concha Álvarez
AC-013	A. Grifo	616860	9618879	Barrio Bosque 1
AC-014	A. Grifo	616666	9618741	Barrio Bosque 1
AC-015	A. Grifo	615343	9609258	La Avanzada
AC-016	A. Grifo	615160	9609530	La Avanzada
AC-017	A. Grifo	614233	9612709	Cdla. Santa Fe
AC-018	A. Grifo	614765	9613172	Bellavista

AC-019	A. Grifo	615541	9615423	Cdla. Febres Cordero
AC-020	A. Grifo	615389	9615760	Cdla. El Prado
AC-021	A. Grifo	615995	9615762	Barrio El Bosque 2
AC-022	A. Grifo	615623	9616094	Barrio El Bosque 2
AC-023	A. Grifo	615645	9616850	Barrio El Paraíso
AC-024	A. Grifo	615634	9617375	Barrio El Paraíso
AC-025	A. Grifo	615991	9617754	Cdla. 10 de agosto
AC-026	A. Grifo	614817	9617501	Barrio Atahualpa
AC-027	A. Grifo	614495	9617358	Barrio teniente Hugo Ortíz
AC-028	A. Grifo	614253	9616529	Barrio Las Palmeras 2
AC-029	A. Grifo	614356	9617745	Barrio teniente Hugo Ortíz
AC-030	A. Grifo	614178	9617900	Barrio teniente Hugo Ortíz
AC-031	A. Grifo	614011	9618168	Barrio Las Morenitas
AC-032	A. Grifo	614237	9618430	Barrio Nueva Esperanza
AC-033	A. Grifo	615011	9618377	Barrio Calderón
AC-034	A. Grifo	614996	9617998	Barrio Atahualpa
AC-035	A. Grifo	615030	9618647	Barrio Ernesto Nieto
AC-036	A. Grifo	615372	9614608	Bellavista
AC-037	A. Grifo	614775	9619142	Cdla. 15 de agosto
AC-038	A. Grifo	614677	9619994	Barrio Conchador
AC-039	A. Grifo	614810	9619834	Barrio Miguel Concha Álvarez
AC-040	A. Grifo	614568	9619295	Barrio Fausto Ramón
AC-041	A. Grifo	615178	9619799	Barrio 29 de noviembre

AC-042	A. Grifo	615219	9618896	Barrio Central
AC-043	A. Grifo	615845	9618221	Barrio 24 de mayo
AC-044	A. Grifo	615412	9618159	Barrio Centenario
AC-045	A. Grifo	615912	9618656	Barrio Quito
AC-046	A. Grifo	616287	9619497	Barrio El Nazareno
AC-047	A. Grifo	616752	9619763	Barrio Los Ceibos
AC-048	A. Grifo	616745	9619387	Barrio Nuevo Santa Rosa
AC-049	A. Grifo	616892	9619185	Barrio Nuevo Santa Rosa
AC-050	A. Grifo	615644	9619178	-
S-001	Sedimentos	628525	9602778	Quebrada Los Gringos
S-002	Sedimentos	626514	9602949	Quebrada El Panteón
S-003	Sedimentos	628465	9602897	Río Santa Rosa a 100m de la descarga de la quebrada Los Gringos
S-004	Sedimentos	626391	9602960	Río Santa Rosa, Vía Satayán - Zambotambo
S-005	Sedimentos	620486	9603987	Río Santa Rosa, sitio El Playón
S-006	Sedimentos	619056	9603964	Río Santa Rosa, balneario La Laurelia
S-007	Sedimentos	617728	9604658	Río Santa Rosa, sitio Limón Playa
S-008	Sedimentos	617497	9606398	Represa del Río Santa Rosa
S-009	Sedimentos	616084	9608627	Río Santa Rosa, puente de la Avanzada
S-020	Sedimentos	628671	9603349	A 200m aguas arriba de la descarga de la quebrada El Gringo

S-021	Sedimentos	629310	9603132	A 1Km antes de la descarga de la quebrada El Gringo
S-022	Sedimentos	626589	9602989	Quebrada El Panteón a 200m aguas arriba
S-023	Sedimentos	625297	9603779	A 1Km del puente de ubicado en la vía Zambotambo
S-024	Sedimentos	619526	9604096	Río Santa Rosa, balneario El Remolino
S-025	Sedimentos	618408	9604210	Río Santa Rosa, entre los sitios La Laurelia y Limón Playa
S-026	Sedimentos	617366	9605753	Río Santa Rosa, entre los sitios Limón Playa y la represa de agua
S-027	Sedimentos	616853	9606897	Río Santa Rosa, al frente del comedor "Sentimiento de amor"
S-028	Sedimentos	616706	9607404	Río Santa Rosa, balneario Las Colinas
S-029	Sedimentos	617728	9604658	Río Santa Rosa, sitio Limón Playa
S-030	Sedimentos	61056	9603964	Río Santa Rosa, balneario La Laurelia

APÉNDICE B

Registro fotográfico de las campañas de muestreo

Muestreo de agua superficial



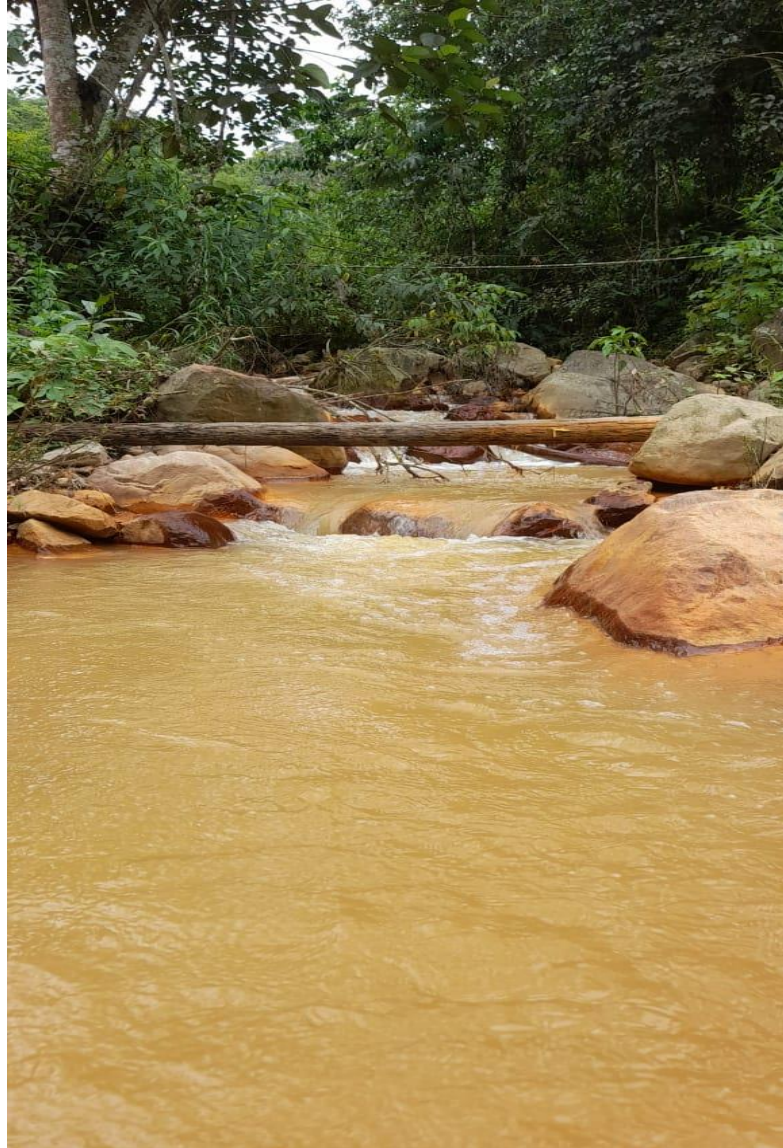
Sitio: Limón playa.



Sitio: Quebrada El Gringo.



Sitio: Quebrada El Panteón.



Sitio: Quebrada El Panteón

Toma de muestra de agua en residencias



Sitio: centro del cantón Santa Rosa



Sitio: centro del cantón Santa Rosa