



UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

**“Caracterización físico química para determinar la
calidad del agua del Río El Toro, Huamachuco,
contaminado por actividades mineras con fines de
Evaluación Ambiental”**

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

LUIS MIGUEL AZABACHE LOYOLA

ASESOR:

Ing. Carlos Octavio Purizaca Jacinto.

TRUJILLO - PERÚ

2017

DEDICATORIA

A DIOS;

Esta tesis está dedicada a Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, siendo el mejor amigo con el que alguien podría contar.

A mis padres;

Por el cariño, la confianza, el sacrificio y el esmero en la realización de mi superación personal.

A quienes no me alcanza la vida para demostrarles mi profunda admiración.

AGRADECIMIENTOS

Un gran agradecimiento a todos mis docentes, por cada uno de sus conocimientos y vivencias aportadas durante esta etapa académica, las cuales sirvieron para enriquecer el cariño a esta humilde profesión, dedicada a servir y pensar en el común bienestar de aquellos que nos acompañan en este viaje incluso por aquellos quienes no tienen voz.

En especial, expresar mi agradecimiento a todos mis familiares, amigos y compañeros que de una u otra forma han contribuido a la realización del presente trabajo de investigación.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	3
TABLA DE CONTENIDOS	4
ÍNDICE DE GRÁFICOS	7
ÍNDICE DE TABLAS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	
1.1 Descripción de la Realidad Problemática.	14
1.2 Delimitaciones y Definición del Problema.	14
1.2.1. Delimitaciones.	14
1.2.2. Definición del Problema.	15
1.3 Formulación del Problema.	16
1.4 Objetivo de la Investigación.	16
1.4.1. Objetivo General.	16
1.4.2. Objetivos Específicos.	16
1.5 Hipótesis de la investigación.	17
1.6 Variables e Indicadores.	17
1.6.1. Variable Independiente.	17
1.6.2. Variable Dependiente.	18
1.7 Viabilidad de la investigación.	19
1.7.1. Viabilidad Técnica.	19

1.7.2. Viabilidad Operativa.	19
1.7.3. Viabilidad Económica.	19
1.8 Justificación e Importancia de la Investigación.	20
1.8.1. Justificación.	20
1.8.2. Importancia.	21
1.9 Limitaciones de la Investigación.	21
1.10 Tipo y Nivel de la Investigación.	22
1.10.1. Tipo de Investigación.	22
1.10.2. Nivel de Investigación.	22
1.11 Método y Diseño de la investigación.	22
1.11.1. Método de Investigación.	22
1.11.2. Diseño de Investigación.	22
1.12 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información.	23
1.12.1. Técnicas.	23
1.12.2. Instrumentos.	24
1.13 Cobertura de Estudio.	25
1.13.1. Población.	25
1.13.2. Muestra.	25
1.13.2. Unidad de análisis	25
1.14. Informe Final	25
1.15. Operacionalización de las variables	26
1.16. Cronograma y Presupuesto	27
1.16.1. Presupuesto	28
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la Investigación.	29

2.1.1. Marco teórico referencial	29
2.1.2. Marco teórico doctrinal.	39
2.1.3. Marco teórico conceptual	45
CAPÍTULO III: CONSTRUCCIÓN DEL MODELO	
3.1. Generalidades.	66
3.1.1. Marco Normativo vinculado al agua categoría 4	66
3.2. Estudio de Factibilidad.	67
3.2.1. Factibilidad Técnica.	67
3.2.2. Factibilidad Operativa.	67
3.2.3. Factibilidad Económica.	67
3.3. Diseño del modelo Herramienta.	67
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	
4.1. Análisis de Resultados.	69
4.1.1. Resultados de la medición de las aguas del Rio El Toro.	69
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1. Conclusiones.	78
5.2. Recomendaciones.	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
ANEXOS	83
GLOSARIO DE TÉRMINOS	90

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 01.	Puntos de monitoreo de un río	59
Gráfico 02.	Resultados de los Análisis de Laboratorio de Cobre	70
Gráfico 03.	Resultados de los Análisis de Laboratorio de Plomo	71
Gráfico 04.	Resultados de los Análisis de Laboratorio de Cadmio	72
Gráfico 05.	Resultados de los Análisis de Laboratorio de Zinc	73
Gráfico 06.	Resultados de los Análisis de Laboratorio de Cromo	74
Gráfico 07.	Resultados de los Análisis de Laboratorio de Mercurio	75
Gráfico 08.	Resultados de los Análisis de Laboratorio de Selenio	76
Gráfico 09.	Resultados de los Análisis de Laboratorio de Arsénico.	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01: Operacionalización de variables	26
Tabla N° 02: Cronograma de actividades	27
Tabla N° 03: Presupuesto para el financiamiento del proyecto	28
Tabla N° 04: Estándar de Calidad Ambiental para agua tipo 4. Conservación del medio acuático según DS 004-2017- MINAM	66
Tabla N° 05: Resultados de los análisis de laboratorio de los parámetros físico químicos de los puntos de muestreo en el Rio El Toro	69

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como principal objetivo, determinar la calidad de agua y evaluar el grado de contaminación de la cuenca del río El Toro causado por el vertido de relaves de las actividades mineras en la zona de Huamachuco. La determinación de la calidad del agua se desarrolló, tomando como patrones de análisis a los iones metálicos; a los cuales se les realizó un análisis comparativo con las normativas legales ambientales nacionales como son los Estándares Nacionales de Calidad del Agua (ECA) para la Categoría 4 aprobados mediante Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, siendo éste el marco legal ambiental decisivo para el análisis de la calidad del agua del año 2017, ya que constituyen los valores óptimos que aseguran la calidad de los recursos hídricos superficiales del país para la conservación de los ambientes acuáticos.

Para el muestreo de aguas se procedió teniendo en cuenta los métodos y técnicas propuestas por Aquino et al. (1989) para el agua se tomaron tres muestras: una por cada punto establecido en el presente proyecto, en frascos estériles de polietileno de 1L de capacidad, las que fueron refrigeradas para su transporte al laboratorio. Los análisis físico químicos se realizaron en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Química en la Universidad Nacional de Trujillo.

Se determinaron la concentración de: cobre (Cu), plomo (Pb), Cadmio (Cd), zinc (Zn), Cromo (Cr), mercurio (Hg), Selenio (Se) y arsénico (As), siguiendo

la metodología de espectrofotometría de absorción atómica (Horwitz, 1984 y Cano et al., 1984). Usando ICP masas

La toma de muestra se ubicó, específicamente en 3 puntos estratégicos: Primer punto en la descarga del relave. Segundo punto: 500 metros aguas arriba de la descarga de los relaves de las actividades mineras. Tercer punto: 500 metros aguas debajo de la descarga de los relaves de las actividades mineras.

Los resultados de los puntos fueron comparados con la Normatividad Ambiental vigente y se evaluó la contaminación de las aguas que tienen los relaves de la minera y su impacto en la contaminación del río El Toro.

De los resultados se concluyó que existe contaminación de agua de la cuenca del río El Toro debido a la descarga de relaves de las actividades mineras realizadas en la zona de estudio.

Palabras clave: Contaminación, parámetros físico químicos, calidad de agua, relaves y evaluación de la contaminación.

ABSTRACT

The main objective of this research work was to determine the quality of water and evaluate the degree of contamination of the Toro river basin caused by tailings discharge from mining activities in the Huamachuco area. The determination of water quality was developed, taking metal ions as analysis patterns; to which a comparative analysis was made with the national environmental legal regulations such as the National Water Quality Standards (ECA) for Category 4 approved by Supreme Decree N ° 004-2017-MINAM, this being the decisive environmental legal framework for the analysis of the water quality of the year 2017, since they constitute the optimal values that ensure the quality of the surface water resources of the country for the conservation of aquatic environments.

For water sampling, we proceeded taking into account the methods and techniques proposed by Aquino et al. (1989) for water three samples were taken: one for each point established in the present project, in sterile polyethylene bottles of 1L capacity, which were refrigerated for transport to the laboratory. The physical and chemical analyzes were carried out in the Research and Development Laboratory of the Environmental Engineering School of the Faculty of Chemical Engineering at the National University of Trujillo.

The concentrations of: copper (Cu), lead (Pb), Cadmium (Cd), zinc (Zn), Chromium (Cr), mercury (Hg), Selenium (Se) and arsenic (As) were determined, following the methodology of Atomic absorption spectrophotometry (Horwitz, 1984 and Cano et al., 1984). Using ICP masses

The sampling was located, specifically at 3 strategic points: First point in tailings discharge. Second point: 500 meters upstream of tailings discharge from mining activities. Third point: 500 meters downstream of tailings discharge from mining activities.

The results of the points were compared with the current Environmental Regulations and the contamination of the waters of the mine tailings and its impact on the contamination of The Toro River was evaluated.

From the results it was concluded that there is water contamination of the Toro river basin due to tailings discharge from the mining activities carried out in the study area.

Keywords: Pollution, physical-chemical parameters, water quality, tailings and pollution assessment.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día la contaminación del agua en nuestro país y especialmente en la región La Libertad es un problema muy grave, esto debido quizás a que en nuestra región se encuentran operando muchas empresas mineras de manera informal y otras de manera ilegal, las cuales producen un sin número de impactos al medio ambiente. Numerosas empresas mineras del medio de la mediana y gran minería vienen operando de manera responsable, las cuales están mitigando los impactos producto de sus operaciones; utilizando tecnologías de punta como por ejemplo plantas de tratamiento de aguas ácidas, plantas de tratamiento de aguas por osmosis inversa entre otras.

Es por ello que el presente trabajo de investigación pretende caracterizar física y químicamente las aguas del río El Toro, en el distrito de Huamachuco, el cual viene siendo contaminado por las descargas de efluentes procedentes de la actividad minera en la región, lo cual nos dará la posibilidad de analizar y determinar si existe o no contaminación ambiental en el lugar.

También hemos visto por conveniente realizar una serie de muestreos en un sector del río El Toro; por lo tanto, los parámetros que se analizarán serán las concentraciones de cobre (Cu), plomo (Pb), Cadmio (Cd), zinc (Zn), Cromo (Cr), mercurio (Hg), Selenio (Se) y arsénico (As); además determinar el pH, temperatura y caudal del referido río.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. Descripción de la Realidad problemática.

El río El Toro en Huamachuco es una fuente de agua para muchos agricultores en la región y no es ajeno a la problemática de contaminación por la actividad minera, siendo éste la única fuente de abastecimiento de agua superficial para muchas familias del lugar es que se hace necesario realizar una caracterización y diagnóstico de la calidad física y química de sus aguas con fines de evaluación ambiental.

La irresponsabilidad y los deficientes procesos de la minería informal e ilegal en la zona, han generado, una creciente problemática de contaminación ambiental en las fuentes de agua superficial, limitando así la disponibilidad del recurso hídrico y restringiendo su uso para diferentes actividades.

Por otro lado, la utilización del agua de río, con altos contenidos de metales pesados y cianuro, en la agricultura y la crianza de ganado trae consigo muchos problemas ambientales (por ejemplo, la bioacumulación y biomagnificación de los elementos pesados), además de serios efectos a la salud humana, afectando claramente al desarrollo económico de la región.

1.2. Delimitaciones y Definición del problema

1.2.1. Delimitaciones

A. Delimitación espacial

El presente trabajo de tesis se desarrollará en una parte del río El Toro, en el distrito de Huamachuco, provincia de Sánchez Carrión, región de La Libertad entre las coordenadas: Latitud Sur: 7° 48';

longitud oeste: 78° 4' 0.12" a una altura promedio de 3000 a 3100 msnm.

B. Delimitación temporal

El presente trabajo de investigación se delimitará en el tiempo; pues su duración será de aproximadamente 5 meses, desde Junio del 2017 hasta Octubre de 2017 para lo cual la toma de muestras se realizarán en los meses de Julio y Agosto de 2017.

C. Delimitación social

El proyecto de tesis involucra a los pobladores del distrito de Huamachuco que pertenece a la provincia de Sánchez Carrión, región de la Libertad.

D. Delimitación conceptual

La presente investigación abarca conceptos fundamentales como la caracterización física y química del agua del río El Toro, en Huamachuco contaminado por los drenajes y efluentes de las actividades mineras formales, informales e ilegales, las que generan contaminación de aguas y suelos en el lugar.

1.2.2. Definición del problema

En los últimos años a nivel nacional se han iniciado campañas para concientizar a las personas sobre el uso adecuado y responsable del agua, pero aun vemos un incremento alarmante de contaminación en los cuerpos hídricos a nivel nacional.

El uso del agua de los ríos desde un punto de vista estético, paisajístico, recreacional, de conservación de la vida acuática, o para consumo humano mediante la potabilización determinan la calidad

que deben tener estas aguas, por lo tanto, las características de estas aguas deben garantizar dichos usos.

La cuenca del río El Toro presenta una actividad antrópica, básicamente minera y agropecuaria, lo cual tiene como consecuencia alteraciones en el medio ambiente y deterioro de los recursos naturales. Es en este sentido que se ha generado una alarmante y creciente preocupación sobre la calidad del agua que se consume y su impacto sobre la salud de los habitantes del lugar.

Por ello para responder a las situaciones ambientales de contaminación de los cuerpos de agua y su eficiente uso se requiere de información real y relevante del comportamiento físico y químico del mismo, el cual es obtenido mediante muestreos y evaluaciones periódicas, tal es así que sean capaces de brindar información necesaria para la prevención, preservación y conservación del agua para uso humano, de recreación, entre otros.

1.3. Formulación del problema.

¿Caracterizando física y químicamente el agua del río El Toro, Huamachuco, podremos evaluar y determinar su contaminación ambiental por la actividad minera?

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo general

Caracterizar física y químicamente el agua del río El Toro, Huamachuco, para evaluar y determinar su contaminación ambiental por la actividad minera.

1.4.2. Objetivos específicos

OE1. Caracterizar física y químicamente la presencia de cobre (Cu), plomo (Pb), Cadmio (Cd), zinc (Zn), Cromo (Cr), mercurio (Hg), Selenio (Se) y arsénico (As) presentes en el agua del río El Toro, Huamachuco en tres puntos específicos previamente determinados por el investigador.

OE2. Comparar y evaluar los parámetros físicos y químicos en estudio con los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua categoría 4, de acuerdo al Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

OE3. Proponer medidas de control para minimizar los problemas ambientales del lugar.

1.5. Hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis

La caracterización fisicoquímica del agua del río El Toro, Huamachuco, es determinante para conocer si existe contaminación ambiental por la actividad minera.

1.6. Variables e Indicadores

1.6.1. Variable Independiente

a) Dimensiones

Caracterización fisicoquímica del agua: Caracterización física y química del agua del río El Toro, Huamachuco en tres puntos de monitoreo.

b) Indicadores

- Concentración de cobre, plomo, cadmio, zinc, cromo, mercurio, selenio y arsénico.
- Medición de pH.
- Medición de temperatura.
- Determinación de caudales.

c) Índices

- Cu en mg/L.
- Pb en mg/L.
- Cd en mg/L.
- Zn en mg/L.
- Cr en mg/L.
- Hg en mg/L.
- Se en mg/L.
- As en mg/L.
- pH.
- Temperatura.
- Caudal (Q) en m³/s.
- Caudal.

1.6.2. Variable Dependiente

a) Dimensiones

Determinación de la calidad del agua del río El Toro: La contaminación del agua es una modificación de esta, generalmente provocada por el ser humano, que la vuelve impropia o peligrosa

para su consumo, industria, agricultura, pesca y actividades recreativas; así como también para los animales.

b) Indicadores

- Estándares de Calidad Ambiental para agua categoría 4: Conservación del ambiente acuático, de acuerdo al Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

c) Índices

- Concentración en mg/L
- Unidades de pH.
- Grados Celsius (°C).

1.7. Viabilidad de la investigación

1.7.1. Viabilidad técnica

El presente proyecto de tesis tiene viabilidad técnica puesto que es posible aplicar una serie de técnicas y utilizar varios instrumentos de recolección y procesamiento de datos para obtener la información relevante para el presente estudio; como son por ejemplo los muestreos de agua en el río y su respectivo análisis en laboratorios certificados y acreditados.

1.7.2. Viabilidad operativa

El presente proyecto de investigación es viable operativamente puesto que es posible desarrollar mediante técnicas sencillas de análisis de aguas (espectrofotométricas y otros) para caracterizar física y químicamente las aguas del río El Toro, Huamachuco.

1.7.3. Viabilidad económica

El proyecto de investigación es viable en la medida que los costos que ocasione su ejecución serán autofinanciados por el tesista y el apoyo de familiares, dadas las razones que implica el trabajo de investigación.

1.8. Justificación e Importancia de la Investigación

1.8.1. Justificación

- **Justificación teórica:**

Debido a la influencia minería, existen numerosos indicios ambientales para sospechar que se están contaminando las aguas de nuestros ríos, por lo que es a través de muestreos y análisis fisicoquímicos en laboratorio que podremos determinar y confirmar si realmente se está contaminando el río El Toro en Huamachuco por la actividad minera del lugar.

- **Justificación metodológica:**

El presente proyecto de investigación se justifica por la utilización del método científico y otras técnicas de recolección de datos, lo cumplirá con los pasos establecidos desde la descripción de la realidad problemática, la formulación del problema de investigación hasta las conclusiones o recomendaciones.

- **Justificación práctica:**

El presente estudio de investigación permitirá conocer la situación actual de la calidad de las aguas del río El Toro de Huamachuco, los cuales están siendo impactados por la creciente actividad minera en

el lugar, incrementando los problemas sociales, económicos y ambientales de la región.

- **Justificación social:**

Con el presente trabajo de investigación se podrá conocer los diferentes impactos ambientales que causan los diferentes vertidos producto de la creciente minería en el lugar sobre los factores ambientales, con lo cual se plantearan recomendaciones y algunas alternativas de solución viables para mejorar las condiciones del lugar.

- **Justificación Ambiental:**

El presente trabajo de investigación permitirá conocer el comportamiento de las aguas del rio El Toro de Huamachuco y la contaminación que está causando las diferentes actividades antrópicas, en especial la minería en los ecosistemas de la zona.

1.8.2. Importancia

Este trabajo de investigación es importante porque nos permitirá caracterizar, analizar, conocer y elaborar recomendaciones que conlleven al planteamiento de posibles soluciones a los altos niveles de contaminación producto de las diferentes actividades antrópicas, los cuales tienen graves consecuencias en los sistemas ecológicos, generando además de repercusiones en el desarrollo social y económico de la región.

1.9. Limitaciones de la Investigación

Las posibles limitaciones que se pueda presentar pueden ser las siguientes:

- a) Dificultad en la disponibilidad de acceso al lugar para el muestreo de las aguas del río El Toro de Huamachuco debido a los intereses de los mineros del lugar.
- b) Pequeñas dificultades para la obtención de las muestras y análisis de laboratorio, que puedan retrasar el presente trabajo de investigación.

1.10. Tipo y Nivel de la Investigación

1.10.1. Tipo de investigación

Es aplicada, siendo que la investigación aplicada recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. El uso del conocimiento y los resultados de investigación que da como resultado una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad. (Murillo 2008).

1.10.2. Nivel de investigación

Por la naturaleza del estudio de la presente tesis, corresponde a un nivel de Investigación Experimental – de acuerdo al grado de profundidad con el que se va a realizar la investigación (Sampieri, 2010).

1.11. Método y Diseño de la investigación

1.11.1. Método de la investigación

El método que se usará será el método inductivo - deductivo y analítico - sistemático.

1.11.2. Diseño de la investigación

El diseño empleado en la presente investigación es pre-experimental (pre-prueba / post-prueba), donde no se realizará la manipulación deliberada de variables, en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos y los datos serán recolectados en un tiempo único (Sampieri, 2014).

El esquema es el siguiente:

G O₁ X O₂

Donde:

G: Grupo de estudio.

O₁: Pre-prueba, se recolectan datos y se describe categoría, concepto y variable.

O₂: Post-prueba, se recolectan datos y se describe categoría, concepto y variable.

X: Tratamiento y/o estímulo.

1.12. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información

1.12.1. Técnicas

El muestreo para la recolección de agua de río se realizará teniendo en cuenta los protocolos de muestreo. Los parámetros de análisis seleccionados serán los siguientes: las concentraciones de Cu, Pb, Cd, Zn, Cr, Hg, Se y As; además de determinar el pH, temperatura y caudal.

Las muestras de agua de río se colocarán en unas botellas plásticas previamente esterilizadas etiquetadas acondicionado en un freezer las que inmediatamente serán enviadas al Laboratorio

de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Trujillo para el análisis respectivo con el equipo ICP MS.

Para la obtención de información se empleará las siguientes técnicas:

- **Observación:** La observación es fundamental para el desarrollo del presente trabajo de investigación. Álvarez (2009) habla de la observación como una de las principales herramientas que utiliza el ser humano para ponerse en contacto con el mundo exterior; cuando la observación es cotidiana da lugar al sentido común y al conocimiento cultural y cuando es sistemática y propositiva, tiene fines científicos. En la observación no sólo interviene el sentido de la vista, sino prácticamente todos los demás sentidos y permite obtener impresiones del mundo circundante para llegar al conocimiento.

Según Hernández (2010) este método de recolección de datos consiste en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos y situaciones observables, a través de un conjunto de categorías y subcategorías.

- **Medición:** Para poder llevar a cabo la investigación se hace necesario la medición o cuantificación de parámetros fisicoquímicos como el pH y temperatura; ello se realizará mediante instrumentos electrónicos de medición del pH como el pH-metro portátil y para las concentraciones de metales pesados presentes en el agua de río mediante un muestreo de aguas. Los

caudales se determinarán mediante la técnica de aforo del flotador.

1.12.2. Instrumentos

- pH-metro.
- Cámara fotográfica.
- Recipientes para tomar muestras de agua (botellas de plástico de 1 litro).
- Wincha.
- Flotadores.
- Cordeles.
- Biodigestor.
- ICP MS

1.13. Cobertura de Estudio

1.13.1. Población

La población (N) está conformada por todas las aguas del río El Toro del distrito de Huamachuco.

1.13.2. Muestra

Se han establecido 3 puntos de muestreo a lo largo del río, ubicados en zonas identificadas donde no se ha generado ningún tipo de contaminación, otra donde se vierten los efluentes de las diversas actividades mineras en el lugar y por ultimo a 500 m aguas abajo de dichos vertimientos.

1.13.3. Unidad de análisis

Un litro de agua del río El Toro, Huamachuco en cada punto de muestreo.

1.14. Informe Final

El trabajo de investigación se desarrollará acorde a la estructura proporcionada por la Universidad Alas Peruanas.

1.15. Operacionalización de las variables

La operacionalización de las variables en estudio está dado en la tabla 1 que se muestra a continuación:

Tabla N° 1. Operacionalización de variables

VARIABLES		DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	INDICES
INDEPENDIENTE	Caracterización física y química del agua del río El Toro, Huamachuco.	Características cuantificables del agua de los ríos que comprende partes como el curso alto, medio o bajo.	Para caracterizar física y químicamente es necesario muestrear en el río donde se manifestará su concentración, pH, temperatura y caudal.	Parámetros Químicos (concentración de algunos metales pesados)	Cu (mg/L)
					Pb (mg/L)
					Cd (mg/L)
					Cr (mg/L)
					Zn (mg/L)
					Hg (mg/L)
					Se (mg/L)
					As (mg/L)
				Parámetros Físicos (pH, temperatura y caudal)	Unidad de pH
					°C
m ³ /s					
DEPENDIENTE	Determinación de la calidad del agua del río El Toro, Huamachuco.	La determinación de la contaminación del agua es una modificación de esta, generalmente provocada por el ser humano, que la vuelve impropia o peligrosa para su consumo, industria, agricultura, pesca y actividades recreativas; así como también para los animales.	La contaminación del agua por metales pesados presentes se comprueba con los resultados obtenidos por el reporte del laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Trujillo, los cuales sirven para tomar decisiones y compararlos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua tipo 4.	Estándares de Calidad Ambiental para agua tipo 4	mg/L

Fuente: Elaboración propia.

1.16. Cronograma y Presupuesto:

Tabla N°2. Cronograma de actividades

ITEM	ACTIVIDADES	AÑO	2017																			
		MESES	JUNIO				JULIO				AGOSTO				SETIEMBRE				OCTUBRE			
		SEMANAS	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Recojo de información preliminar	4	■	■	■	■																
2	Análisis de información preliminar	4			■	■	■	■														
3	Elaboración de proyecto de investigación	4					■	■	■	■												
4	Selección del marco teórico	4							■	■	■	■										
5	Desarrollo del proyecto	5							■	■	■	■			■							
6	Trabajo de Campo	4			■	■										■	■					
7	Procesamiento de Datos	7											■	■	■	■	■	■	■	■	■	
8	Análisis de Resultados	2						■											■			
9	Discusión de Resultados	2																	■	■		
10	Elaboración del Informe Preliminar	1																		■		
11	Presentación del Informe Final	1																			■	
12	Presentación del Informe	1																			■	
13	Sustentación	1																			■	

Fuente: Elaboración propia.

1.16.1. Presupuesto

El presupuesto será autofinanciado por el autor.

Tabla N° 3. Presupuesto para el financiamiento del proyecto

ITEM	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	CANT.	UNID.	DIAS	PRECIO UNIT. (\$/)	PRECIO TOTAL (\$/)
1	Trabajo de recolección de muestras					
1.1	Vehículo	1	Unid.	4	150	600
1.2	Combustible	30	gal	-	15	450
1.3	Alimentación	3	Unid.	4	25	300
1.4	GPS	1	Unid.	-	50	50
1.5	Bolsas para recolección de muestras	1	Pqt.	-	10	10
1.6	Botellas para recolección de muestras	12	Unid.	-	2	24
1.7	Etiquetas de identificación	12	Pqt.	-	0,5	6
1.8	Ácido Nítrico	0,5	L	-	10	10
1.9	Bolsas de hielo	2	kg	-	4	8
2	Herramientas de campo y escritorio					
2.1	Cámara fotográfica	1	Unid.	-	15	30
2.2	EPP	1	Unid.	-	120	120
2.3	Picota	1	Unid.	-	10	10
2.4	Palana	1	Unid.	-	10	10
2.5	Barreta	1	Unid.	-	10	10
2.6	Linterna	1	Unid.	-	45	45
2.7	Libreta de campo	1	Unid.	-	5	5
2.8	Lapiceros	1	Unid.	-	1	1
2.9	Caja de tecnopor para muestras	1	Unid.	-	5	10
3	Trabajo de laboratorio - Análisis de muestras					
3.1	Análisis de muestras líquidas: Laboratorio de Investigación y Desarrollo de la UNT.	8	Unid	-	200	1400
4	Trabajo de gabinete					
4.1	Asesoramiento	1	Ases.	-	500	500
4.2	Laptop	1	Unid.	-	200	200
4.3	Papel A4	1	Millar	-	22	22
4.4	Fotocopias	200	Unid.	-	0,1	20
4.5	Impresiones	150	Unid.	-	0,3	45
Total de inversión						S/ 3 886,00

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Marco teórico referencial

Pineda (1981) en el estudio titulado “*Determinación de cobre, mercurio y plomo en aguas y sedimentos del Lago de Amatitlán*”, reportó los siguientes resultados:

Cobre (Cu)

- En aguas como metales en solución = no detectable
- En aguas como metal extraíble = no detectable
- En aguas como metal total = 0,414 mg/L
- En sedimentos como metal total = 167,31 mg/kg

Plomo (Pb)

- En aguas como metal en solución = no detectable
- En aguas como metal extraíble = no detectable
- En aguas como metal total = 1,583 mg/L
- En sedimentos como metal total = 149,07 mg/kg

El mercurio (Hg) no se detectó en ninguna de las muestras, tanto en aguas como en sedimentos.

García (1997) en la investigación titulada: “*Determinación y cuantificación de metales pesados (Pb, As, Cd y Cr⁺⁶) y sustancias tóxicas (PO₄, NO₂ y CN) por métodos espectrofotométricos en tejido muscular de *Chichlasoma manguense* (Gunter), guapote o pez tigre en el Lago de Amatitlán*”. Reportó los resultados siguientes:

- Plomo (Pb) 16,21 mg/L
- Arsénico (As) 0,2 mg/L

- Cadmio (Cd) 1,1 mg/L
- DBO 15,0 mg/L
- DQO 35,0 mg/L
- Cromo (Cr⁺⁶) 5,0 mg/L
- Cobre (Cu) 0,8 mg/L

Tetzaguic (2003), realizó una sistematización de la información de la calidad del agua del Lago de Amatitlán, con parámetros que determinan su contaminación, en la cual demuestra que la contaminación del Lago de Amatitlán, se ha incrementado durante las últimas décadas, por lo que en la actualidad es el cuerpo de agua de Guatemala, que presenta la mayor contaminación física, química y biológica, debido a las descargas de agua servidas domésticas e industriales, que sin ningún tratamiento son transportadas por corrientes de agua (ríos y riachuelos) los cuales finalmente vierten estas aguas al Río Villalobos y éste transporta directamente al Lago de Amatitlán.

Esquivel (2006), determinó la presencia de metales pesados en el agua de origen termal del Lago de Amatitlán, y en zonas aledaña. Pudo demostrar la presencia de metales pesados, en aguas termales, pero la concentración de los mismos no sobrepasa los límites máximos permisibles de las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS), para fuentes de agua y de la norma guatemalteca de agua potable COGUANOR, NGO 29.001.99. También demostró la presencia de los mismos en aguas de pozos de zonas aledañas al Lago de Amatitlán, las cuales no cumplen con los límites máximos

permisibles en la guía y norma, por lo que las aguas no son aptas para consumo humano, sin un tratamiento previo.

Según LI (2013) en su tesis *Medición del potencial de generación de agua ácida para un relave en la zona central del Perú y sus necesidades de neutralización*, concluye que los minerales más comunes, en las muestras tomadas de las minas del centro del Perú, generadoras de drenaje ácido son: la piritita (sulfuro de fierro, FeS_2), calcopiritita (sulfuro de cobre y fierro, CuFeS_2), pirrotita (sulfuro de fierro, $\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$), galena (sulfuro de plomo, PbS), esfalerita (sulfuro de zinc, ZnS) y la tetraedrita (sulfoantimoniuro de cobre, fierro, plata y zinc; $(\text{Cu}, \text{Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$). Los principales minerales neutralizantes para la generación de agua ácida son la calcita (carbonato de calcio, CaCO_3), dolomita (carbonato de calcio y magnesio, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), siderita (carbonato de fierro, FeCO_3) y la ankerita (carbonato de fierro y magnesio, $\text{CaFe}^{2+}(\text{CO}_3)_2$).

Cervantes (2014) en su tesis *Caracterización del drenaje ácido y de las rocas asociadas a una mina para evaluar su posible aplicación en un sistema de tratamiento pasivo* concluye que con la caracterización del DAM se conoce que éste presenta valores de pH que oscilan de 2,44 y 3,38; altas concentraciones de metales disueltos entre los que destacan cadmio, cobre, fierro, manganeso y zinc además de presentar un alto contenido de sulfatos y cationes (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+}). Por lo tanto, el sistema que se proponga deberá ser capaz, en primera instancia, de elevar el pH del agua ya que bajo condiciones neutras la mayoría de metales presentan baja

solubilidad y precipitan en forma de hidróxidos u oxihidróxidos metálicos, y por el lado del sulfato este es químicamente estable en un amplio rango de pH. Sin embargo, se deberá tener especial cuidado con el Zn y el Cd, ya que son de los pocos metales pesados que se pueden liberar aun elevando el pH a neutro.

García, C. (1998) en la tesis para optar el grado de doctor titulada *Estudio del mecanismo de generación de drenajes ácidos en una presa de estériles piríticos* menciona que los residuos procedentes de la planta de flotación, que se almacenaron en la presa de decantación de estériles, sufrieron importantes transformaciones durante su confinamiento dando lugar a un empeoramiento en la calidad del agua. Estas transformaciones tuvieron lugar en la presa, ya que fue aquí donde se dispuso de un tiempo de reacción suficiente para que sucedieran. A pesar de la importante oxigenación de la pulpa en su caída desde la planta de flotación hasta la presa, no se han observado cambios a lo largo del recorrido que indicaran que las transformaciones se iniciaron antes del estancamiento.

Las transformaciones en el sistema estudiado consistieron básicamente en una importante acidificación del agua que acompañaba a la pulpa, la cual llegó a alcanzar valores de pH del orden de 2,5 - 3,0, así como en un incremento notable en la concentración de metales y sulfatos disueltos. Por su parte, el ion sulfito, presente en el punto de vertido en concentración del orden de las 100 ppm, desapareció durante el estancamiento en la presa.

Medina et al., (2006), determinaron la caracterización fisicoquímica y microbiológica del río Chicama, regiones La Libertad y Cajamarca, Perú. Ellos concluyen que las muestras de aguas superficiales, muestran rangos variables de perturbación por contaminación difusa, producto de la actividad agropecuaria de la zona de estudio, la temperatura del agua muestra cambios significativos durante el día; debido a la altitud y las épocas de muestreo, existen importantes concentraciones de nitrógeno en sus tres formas (nitrato, nitrito y nitrógeno amoniacal), en la mayoría de las estaciones y épocas de muestreo y cuyo enriquecimiento con nitrógeno afecta a las comunidades microbianas presentes en estas aguas. Las concentraciones más significativas de nitritos y nitratos se localizan en los puntos con mayor actividad agrícola. Los niveles más significativos de contaminación difusa se han registrado en las estaciones pertenecientes a los afluentes de los ríos Membrillo y Cospán, que se encuentran impactados por coliformes fecales provenientes de los poblados adyacentes que no disponen de alcantarillado y por coliformes totales provenientes de la actividad ganadera de la zona.

Balmaceda et al., (2009), realizaron un estudio sobre el potencial hidrobiológico del río Huancabamba sector presa Limón. Para el análisis de los parámetros físico-químicos concluyen que, para los valores encontrados de la alcalinidad total, turbiedad y temperatura, no se encuentra valores de comparación en nuestra legislación, las concentraciones que se presentan son naturales y representativas

del río Huancabamba y no representan o evidencian contaminación alguna.

Respecto a los bicarbonatos, sólidos totales disueltos y conductividad eléctrica, las concentraciones que se presentan son todos valores menores a lo establecido en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua (DS 002-2008-MINAM). Y en general, la superficie de la cuenca drenada y la distancia al origen del río, provoca una mayor concentración de estas variables en las aguas, incrementándose progresivamente con el discurrir de las aguas hacia las partes más bajas.

Los cambios, en las concentraciones de los sólidos suspendidos totales y en el color aparente y real, se evidencian posteriormente a los aumentos de avenidas o precipitaciones esporádicas arriba de la cuenca, que traen como consecuencia procesos de erosión del substrato superficial, debido a la fuerte escorrentía generada, esto también afectó la concentración de oxígeno disuelto, pero sin llegar a afectar las condiciones de oxigenación en los cuerpos de agua evaluados.

Las concentraciones de cloruros, sulfatos, nitratos, nitritos, oxígeno disuelto y aceites y grasas cumplen con lo establecido en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua (DS 002-2008-MINAM).

La presencia esporádica en una estación de muestreo de concentraciones por encima de los límites permisibles de fosfatos,

evidenciaría contaminación inorgánica, por descargas de aguas con residuos detergentes y abonos orgánicos.

La concentración de nitrógeno amoniacal sobre los límites permisibles está íntimamente relacionada con descargas recientes de desagües de pequeños poblados y ganadería local, siendo un indicador de contaminación por aguas residuales domésticas, común en zonas rurales como las evaluadas, aunque se le considera un constituyente normal de las aguas superficiales, por su rápida depuración natural.

Garbagnati et al., (2005), determinaron las características fisicoquímicas, capacidad buffer y establecimiento de la línea base ambiental del Río Grande, San Luis, Argentina. Concluyendo que, luego de muestreos periódicos durante 3 años consecutivos, se pudo corroborar que el sistema es capaz de mantener su condición base evidenciando la no existencia de variaciones significativas en los parámetros analizados, salvo en la conductividad. Los parámetros en estudio pueden utilizarse para monitorear este sistema a través de la construcción de cartas de control.

Para su correcta utilización, se deberá observar cuando un valor experimental (muestreo aleatorio) cae dentro del área comprendida entre los límites de advertencia y de acción, y se deberá adoptar una actitud alerta. Esta actitud será realizar un muestreo con mayor frecuencia o buscando causales en el entorno. Si el valor encontrado supera cualquiera de los límites de acción se deberán tomar de inmediato medidas correctivas. La variabilidad en el tiempo de las

características físicas y químicas de un sistema, que muestran los gráficos de control, puede deberse a causas naturales o pueden originarse en acciones antropogénicas. Por lo tanto, es de primordial importancia efectuar simultáneamente con la adquisición de datos de acuerdo a un plan de monitoreo definido, una estrecha vigilancia de la zona en estudio para detectar tal tipo de causales.

En el periodo en el que se ejecutó este trabajo, y hasta el presente, no se ha observado influencia antropogénica significativa, por lo que las fluctuaciones que se ponen en evidencia en los gráficos de control se pueden considerar como totalmente naturales reflejando lo que se denomina como 'la condición ambiental base del curso de agua estudiado'.

Los valores de los distintos parámetros evaluados y su comportamiento a través del tiempo muestran un agua de excelente calidad, que se ajusta a los parámetros estipulados por los distintos organismos internacionales para distintos usos.

En las actuales condiciones de la zona bajo estudio, la capacidad buffer del sistema carbonato/ bicarbonato/ácido carbónico es suficiente para mantener los valores de pH en un rango muy estrecho, a pesar de las variaciones naturales.

Los bajos valores encontrados del índice buffer y concentración del anión hidrógeno carbonato determinan un sistema hídrico con una vulnerabilidad intrínseca elevada, pudiendo sufrir variaciones o cambios de pH en respuesta a diferentes alteraciones. Estos

cambios de pH pueden ocasionar desequilibrios físico-químicos-biológicos del sistema estudiado.

Castillo (2001) en su trabajo de investigación, "Contaminación por Metales Pesados en Agua, Sedimento y Biota del Lago Junín, enero a diciembre del 2000", en la que llegó a determinar niveles de concentración por metales pesados en agua, además reporta indicios de diferencias concentración de metales pesados en organismos, pero de una manera general.

Contaminación de Metales Pesados, La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables, por lo que una vez emitidos pueden permanecer en el medio ambiente durante cientos de años. Los elementos que han experimentado mayores incrementos en su producción en los últimos años son: Al, Ni, Cr, Cd. La minería en sus actividades de transporte, transferencia y procesado de minerales, desarrollada desde hace miles de años. Durante toda la vida minera de Oruro, más de 120 minas estatales y privadas, han dejado concentraciones altas de metales pesados con daños irreversibles para los ecosistemas terrestres, acuáticos. Lagos Poopó y Uru Uru, para lo cual se establecerán mecanismos de alternativas de solución, mediante el gobierno para establecer normas y estándares de los límites permisibles para los efluentes industriales mineros con la finalidad de proteger y preservar el los ecosistemas acuáticos y terrestres de País. (Ríos C. 2001).

Los metales pesados como el Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, Se, As, Cd, Hg, etc.; y algunos reactivos químicos utilizados en las plantas de procesamiento de minerales, no se degradan biológica ni químicamente en la naturaleza; por lo que son considerados tóxicos para la mayor parte de organismos vivos (Chiang, 1989).

Un aspecto importante del estudio de la contaminación acuática, es la aplicación de programas de vigilancia y monitoreo, cuya actividad principal está destinada a mitigar la contaminación actual, eliminarla o impedirle en el futuro; y debe estar dirigida a evaluar durante un tiempo determinado el estado de ciertos parámetros que se consideren indicativos del proceso de deterioro de las aguas por la contaminación (Millones, 1995).

Son muchos los ríos y lagunas del país, donde han ocurrido desastres por contaminación minera; el caso más notable es la contaminación del río Mantaro, donde el alto grado de polución química de sus aguas ha motivado la desaparición de flora y fauna de éste río, en la mayor parte de su recorrido (OSASA, 1984). Paredes (1984), hace un estudio sobre los efluentes líquidos de la minería y su comportamiento químico en la potabilización del agua; Corzo (1986), hace una evaluación del problema de los residuos mineros en el Perú; la Southern Perú Copper Corporation (1986), relaciona la ecología con la actividad minera en Cuajone; León (1992), evalúa algunos metales que afectan la calidad del agua del río Moche; asimismo, Millones (1995), sustenta el seguimiento y evaluación ambiental en el manejo de cuencas.

El crecimiento de la población humana y el desarrollo de las grandes ciudades y las diversas industrias, han ocasionado la descarga de enormes cantidades de aguas residuales y de desechos industriales en los lagos y mares, causando gran contaminación hasta el grado de no poder utilizarse para la bebida, el uso doméstico y la irrigación (Odum, 1986).

2.1.2. Marco teórico doctrinal

Los primeros trabajos sobre los mecanismos de oxidación de los sulfuros y los principales factores bióticos y abióticos implicados en el origen del DAM aparecen en la segunda mitad del siglo XX. Uno de los primeros estudios de contaminación y recuperación de áreas mineras ha sido realizado en el complejo minero Inco Limited (Sudbury, Canadá) a través de un programa que comenzó en la década de los 50 y que se llevó a cabo durante 30 años (Allan, 1995). La adición de diferentes enmiendas a residuos pirríticos y un detallado programa de revegetación consiguieron reducir la lixiviación de metales pesados a las aguas naturales del entorno. En Estados Unidos el DAM afecta a más de 17 000 km de ríos y arroyos (Sainz Silván, 2000) y sólo en Pensilvania existen 4 000 km contaminados, la mayoría de ellos debido al abandono de minas de carbón mineral (Fernández Rubio et al.1986; Hellier, 1999). En Canadá hay numerosos casos de contaminación por DAM entre los que destacan la lixiviación de drenaje ácido de la mina “Britannia Copper Mine” durante 75 años, en la British Columbia (Ellis y Robertson, 1999), la contaminación del río Tsolum por la mina de

cobre “Mount Washington” en la isla Vancouver (Deniseger y Kwong, 1996) o la descarga de lodos mineros a lo largo de lodos mineros a lo largo de la costa tras la rotura de una relavera de la mina “Jordan River Mine”, también en la Isla Vancouver (Ellis y Robertson, 1999). En Australia a pesar de ser el continente más árido, el drenaje ácido procedente de la mina “Rum Jungle” en el territorio del Norte contaminó el río Alligator Sur, en el que se tuvieron que invertir más de 17 millones de dólares australianos para su limpieza (Maxwell y Govindarajalu, 1999). La restauración de la mina “Captains Flat” por 3 millones de dólares australianos es otro ejemplo en Nueva Gales del Sur (Maxwell y Govindarajalu, 1999).

En la mina de Bunker Hill de plomo-zinc (Idaho, EE.UU.) se detectaron valores de pH inferiores a 2 y concentraciones de Zn de hasta 20 000 mg/L en algunos de los efluentes (Fernández-Rubio et al., 1986). En Captains Flat (Australia) los lixiviados de las escombreras de mina vertían 6 200 mg/L de Zn, 720 mg/L de Pb y 8 mg/L de Cd al río Molonglo (Fernández-Rubio et al., 1986). El beneficio de oro en la mina Newmont Gold Facility (Nevada; EE.UU.) producía casi 30 000 toneladas por día de estériles formados por óxidos con restos de sulfuros (80 %), rocas carbonáceas con sulfuros (15 %), y rocas calcáreas (5 %) (US EPA, 1994). A pesar de los carbonatos, los lixiviados de las escombreras produjeron aguas ácidas con valores de pH comprendidos entre 2,4 y 3,2, 46 mg/L de As y 190 ppb de Hg. En Lake County (Colorado, EE.UU.) el desagüe de una mina abandonada de Pb, Zn y Au durante la década de los

80 descargaba un total de 210 toneladas de Cd, Pb, Cu, Mn, Fe (total) y Zn combinados, lo que provocó la desaparición total de la biota en el arroyo California Gulch, afluente del río Arkansas (US EPA, 1994).

En el área minera de Cu de Libiola (Italia) los estériles formados por rocas básicas y ultrabásicas, con un 0,3 % de Azufre, originan efluentes con bajos valores de pH (2,5), 775 mg/L de Fe total y 175 mg/L de Cu y tierras raras entre las que se destacan 86 mg/L de Ce, 181 mg/L de Sc y 290 mg/L de Y (Dinelli et al. 1999; Dinelli et al. 2001). En la mina Iron Duke de pirita masiva (Zimbabwe) se han registrado valores de pH de 0.52 y contenidos superiores a 100 mg/L de Fe total, 300 mg/L de Sulfatos y 70 mg/L de As procedentes de los lixiviados de escombreras (Williams y Smith, 2000). Pero los valores más extremos de acidez se han hallado en la mina Richmond, del depósito de Cu Iron Mountain (EE.UU.) donde varios de los efluentes de las galerías subterráneas presentaron valores de pH negativos, con máximos de hasta 3,6 (Nordstrom et al., 1999b y Nordstrom et al., 2000). Asociados a valores de pH 2,5 se registraron además elevadas concentraciones de elementos, entre los que destacan 760 mg/L de sulfatos, 111 mg/L de Fe total, 23,5 mg/L Zn y 211 mg/L de Cd.

En otros países cabe destacar, de forma muy resumida los drenajes ácidos producidos en las innumerables minas de carbón de Escocia y metalíferas de Gran Bretaña, la contaminación producida en Vístula y el Oder por las casi 70 minas de carbón de la Alta Silesia

en el sur de Polonia, o la generada en las minas de uranio de la republica Checa, en las minas de hierro de Lorraine y de sulfuro de plomo de Carnoulés, en Francia, en las minas de lignito de Alemania; la creada por las de 1 000 pequeñas minas de sulfuros de Suecia, la de los depósitos mineros del norte y centro del Perú, con su abundancia en enargita (sulfuro de arsénico y cobre) y los problemas ambientales creados por las minas de cobre de Cuajone y Toquepala de nuestro país.

Cuando estos depósitos contienen sulfuros (pirita) y hay acceso de oxígeno, se obtienen resultados de drenaje ácido de mina (DAM). Dependiendo de la naturaleza de los desechos de rocas y depósitos de relaves, este DAM contendrá elevados niveles de metales pesados (Romero, 2008).

Las principales herramientas que actualmente existen para medir el deterioro ambiental. Entre ellas podemos mencionar el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) y los Límites Máximo Permisibles (LMP). (Sociedad Nacional de Minería y Petróleo y Energía, Noviembre II-2004).

El drenaje ácido de la mina ocurre cuando los minerales del sulfuro se ponen en contacto con el oxígeno y el agua, condiciones favorables para su oxidación química o a la oxidación rápida por bacterias tales como *Thiobacillus ferrooxidans*. Algunos autótrofos de hierros oxidados tales como *Leptospirillum ferrooxidans*, *Thiobacillus thiooxidans*, *Sulfolobolus brierleyii* se pueden asociar también a la oxidación mineral biológica. (Gamonal 2004).

Como resultado de esa oxidación, el ácido sulfúrico se genera dando condiciones ácidas a los efluentes de la mina. La pirita es comúnmente asociada tanto con las situaciones de minas de carbón como las minas de metal, "pero el drenaje ácido de minas de metal presenta un problema más severo que la mayoría de drenajes de mina de carbón porque los agentes prioritarios de contaminación tal como AS, Cd, Pb, Hg, Cu y Zn pueden estar presentes en peligrosas concentraciones" (Wildeman & Laudon 1989).

El alcance y la magnitud de estos fenómenos también han sido objeto de atención por parte de diversos organismos y autores. En 1985 la USEPA

(United States Environmental Protection Agency) estimó que en Estados Unidos existían cerca de 5×10^{10} toneladas de residuos mineros con altos contenidos de metales pesados con riesgo de producir drenajes ácidos, y que cada año se venían generando más de 109 toneladas de estériles de mina y residuos de plantas de beneficio que deberían ser tratados para que no generen aguas ácidas. (López 2002).

De igual forma, en 1994, la USEPA en el Documento Técnico Acid Mine Drainage Prediction, incluye información del U.S. Forest Service (1993) en donde se estimaba que en el Oeste de Estados Unidos existían entre 20 000 y 50 000 minas que estaban generando drenajes ácidos que afectaban y contaminaban de 8 000 a 16 000 km de riberas de ríos con metales como cadmio, cobre, plata, cinc y arsénico. Este documento también hace referencia a un informe de

Kim et al. (1982) donde se describe que en el Este de los Estados Unidos existen más de 7 000 km de cursos de aguas superficiales afectados por drenajes ácidos de minas de carbón, cuyo tratamiento es muy costoso y de gran dificultad. (López 2002).

En la última conferencia internacional sobre Drenaje Acido de Roca (International Conference on Acid Rock Drainage) (ICARD 2000), el Departamento del Interior de EEUU informó que en su Programa de Clausura de Minas tienen localizadas más de 100 000 zonas mineras en estado de abandono con problemas de aguas ácidas, en el mismo evento Canty informa que existen cerca de 16 000 km de ríos y 117 km² de embalses afectados por drenajes ácidos. En el año 2000 la USEPA llega a estimar la existencia de más de 4 400 km² de zonas abandonadas por minas de carbón, 15 625 km de cauces de ríos contaminados por drenajes ácidos, 66 km² de escombreras peligrosas y 3,5 km² de presas inestables.

Este panorama de las aguas ácidas descrito para Norteamérica es extrapolable al resto de países con cierta actividad minera (Reino Unido (Younger, 1997), Canadá (Morin y Hutt, 2001), Australia (Environment Australia, 1997), etc.), de ahí la necesidad de buscar soluciones de fácil aplicación y de bajo coste para reducir esta contaminación, con el fin de salvaguardar el recurso hídrico y el medio físico en el que habitamos.

2.1.3. Marco teórico conceptual

A. Contaminación del Agua

Se considera que se genera contaminación en el agua por la adición de cualquier sustancia en cantidad suficiente para que cause efectos dañinos mensurables en la flora, la fauna (incluido el humano).

El agua de los ríos ha sido usada tradicionalmente como medio de evacuación de los desperdicios humanos y los ciclos biológicos del agua. Pero actualmente, ya no son solamente estos desperdicios orgánicos los que son arrojados a los ríos sino cantidades mayores de productos químicos nocivos que destruyen la vida animal y vegetal del ecosistema acuático y anulan o exceden la acción de las bacterias y las algas en el proceso de biodegradación de los contaminantes orgánicos y químicos de las aguas.

Los contaminantes más frecuentes de las aguas son: materias orgánicas y bacterias, hidrocarburos, desperdicios industriales, productos pesticidas y otros utilizados en la agricultura, productos químicos domésticos y desechos radioactivos. Lo más grave es que una parte de los derivados del petróleo son arrojados a los ríos y el mar y son absorbidos por la fauna y flora acuática que los retransmiten a los consumidores de peces, crustáceos, moluscos, algas, etc.

Los contaminantes en forma líquida provienen de las descargas de desechos domésticos, agrícolas e industriales en las vías acuáticas, de terrenos de alimentación de animales, de terrenos de relleno sanitario, de drenajes de minas y de fugas de fosas sépticas. Estos

líquidos contienen minerales disueltos, desechos humanos y de animales, compuestos químicos sintéticos y materia coloidal y en suspensión. Entre los contaminantes sólidos se encuentran arena, arcillas, tierra, cenizas, materia vegetal agrícola, grasas, brea, papel, hule, plásticos, madera y metales.

Clasificación de la contaminación del agua

Según el origen la contaminación es de dos tipos:

- a. La contaminación producida por causas naturales o geoquímicas y que generalmente no está influenciada por el hombre, y
- b. La contaminación provocada por las actividades del hombre y se le llama contaminación antropogénica.

Entre los efectos nocivos para organismos, poblaciones y ecosistemas destacan los siguientes:

- i. Perjuicios a la salud humana (intoxicaciones, enfermedades infecciosas y crónicas, muerte).
- ii. Daños a la flora y fauna (eutrofización, enfermedad y muerte).
- iii. Alteraciones de ecosistemas (erosión, eutrofización, acumulación de compuestos dañinos persistente, destrucción).
- iv. Molestias estéticas (malos olores, sabores y apariencia desagradable).

Tipos de contaminantes

1. Contaminantes físicos

Afectan el aspecto del agua y cuando flotan o se sedimentan interfieren con la flora y fauna acuáticas. Son líquidos insolubles o sólidos de origen natural y diversos productos sintéticos que son

arrojados al agua como resultado de las actividades del hombre, así como, espumas, residuos oleaginosos y el calor (contaminación térmica).

2. Contaminantes químicos

Incluyen compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos o dispersos en el agua. Los contaminantes inorgánicos son diversos productos disueltos o dispersos en el agua que provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo. Los principales son cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos. También desechos ácidos, alcalinos y gases tóxicos disueltos en el agua como los óxidos de azufre, de nitrógeno, amoníaco, cloro y sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico). Gran parte de estos contaminantes son liberados directamente a la atmósfera y son arrastrados por la lluvia. Esta lluvia ácida, tiene efectos nocivos que pueden observarse tanto en la vegetación como en edificios y monumentos de las ciudades industrializadas.

3. Los contaminantes orgánicos

También son compuestos disueltos o dispersos en el agua que provienen de desechos domésticos, agrícolas, industriales y de la erosión del suelo. Son desechos humanos y animales, de rastros o mataderos, de procesamiento de alimentos para humanos y animales, diversos productos químicos industriales de origen natural como aceites, grasas, breas y tinturas, y diversos productos químicos sintéticos como pinturas, herbicidas, insecticidas, etc. Los

contaminantes orgánicos consumen el oxígeno disuelto en el agua y afectan a la vida acuática (eutrofización).

4. Contaminantes biológicos

Incluyen hongos, bacterias y virus que provocan enfermedades, algas y otras plantas acuáticas. Algunas bacterias son inofensivas y otras participan en la degradación de la materia orgánica contenida en el agua.

Ciertas bacterias descomponen sustancias inorgánicas. La eliminación de los virus que se transportan en el agua es un trabajo muy difícil y costoso. La contaminación de los suelos afecta principalmente a las zonas rurales agrícolas y es una consecuencia de la expansión de ciertas técnicas agrícolas. Los fertilizantes químicos aumentan el rendimiento de las tierras de cultivo, pero su uso repetido conduce a la contaminación de los suelos, aire y agua. Además, los fosfatos y nitratos son arrastrados por las aguas superficiales a los lagos y ríos donde producen eutrofización y también contaminan las corrientes freáticas. Los pesticidas minerales u orgánicos utilizados para proteger los cultivos generan contaminación a los suelos y a la biomasa. También los suelos están expuestos a ser contaminados a través de las lluvias que arrastran metales pesados como el plomo, cadmio, mercurio y molibdeno, así como, sulfatos y nitratos producidos por la lluvia ácida.

En relación a estos drenajes ácidos existen informes sobre la mortandad de peces y crustáceos de ríos, afecciones al ganado, y

destrucción de cultivos y riberas; siempre asociado a una coloración ocre-amarillenta de los lechos de ríos y lagos afectados y un incremento de la turbiedad de las aguas.

Contaminación por metales pesados

El término de metal traza refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas. Los ejemplos de metales pesados incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd) el arsénico (As), el cromo (Cr), el talio (Tl), y el plomo (Pb). Los metales pesados son componentes naturales de la corteza de tierra. No pueden ser degradados o ser destruidos. En un grado pequeño se incorporan a nuestros cuerpos vía el alimento, el agua potable y el aire. Como elementos de rastro, algunos metales pesados (cobre, selenio, zinc) son esenciales mantener el metabolismo del cuerpo humano. Sin embargo, en concentraciones más altas pueden conducir al envenenamiento. El envenenamiento por metales traza podría resultar, por ejemplo, de la contaminación del agua potable (tuberías del plomo), las altas concentraciones en el aire cerca de fuentes de la emisión, o producto vía la cadena de alimento.

Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse, la bioacumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo, comparada a la concentración del producto químico en el ambiente. Se analizan (metabolizado) o se excretan los compuestos acumulan en cosas vivas cualquier momento se

toman y se almacenan más rápidamente que ellos. Los metales pesados pueden entrar un abastecimiento de agua por medio de residuos industriales y de deposita corrientes, los lagos, los ríos, etc.

Efecto de la contaminación por metales pesados

a) Efectos ambientales del Arsénico

El Arsénico puede ser encontrado de forma natural en la tierra en pequeñas concentraciones. Esto ocurre en el suelo y minerales y puede entrar en el aire, agua y tierra a través de las tormentas de polvo y las aguas de esorrentía.

En realidad, el Arsénico es específicamente un compuesto móvil, básicamente significa que grandes concentraciones no aparecen probablemente en un sitio específico. Esto es una buena cosa, pero el punto negativo es que la contaminación por Arsénico llega a ser un tema amplio debido al fácil esparcimiento de este. Debido a las actividades humanas, mayormente a través de la minería y la fundición, naturalmente el Arsénico inmóvil se ha movilizado también y puede ahora ser encontrado en muchos lugares donde ellos no existían de forma natural.

El Arsénico es mayoritariamente emitido por las industrias productoras de cobre, pero también durante la producción de plomo y zinc y en la agricultura. Este no puede ser destruido una vez que este ha entrado en el Ambiente, así que las cantidades que hemos añadido pueden esparcirse y causar efectos sobre la salud de los humanos y los animales en muchas localizaciones sobre la tierra.

Las plantas absorben Arsénico con bastante facilidad, así que alto rango de concentraciones pueden estar presentes en la comida. Las concentraciones del peligroso Arsénico inorgánico que está actualmente presente en las aguas superficiales aumentan las posibilidades de alterar el material genético de los peces. Esto es mayormente causado por la acumulación de Arsénico en los organismos de las aguas dulces consumidores de plantas. Las aves comen peces que contienen eminentes cantidades de Arsénico y morirán como resultado del envenenamiento por Arsénico como consecuencia de la descomposición de los peces en sus cuerpos.

b) Efectos ambientales del Cobre

El Cobre puede ser liberado en el medioambiente tanto por actividades humanas como por procesos naturales. Ejemplo de fuentes naturales son las tormentas de polvo, descomposición de la vegetación, incendios forestales y aerosoles marinos. Unos pocos de ejemplos de actividades humanas que contribuyen a la liberación del Cobre han sido ya nombrados. Otros ejemplos son la minería, la producción de metal, la producción de madera y la producción de fertilizantes fosfatados.

El Cobre no se rompe en el ambiente y por eso se puede acumular en plantas y animales cuando este es encontrado en suelos. En suelos ricos en Cobre sólo un número pequeño de plantas pueden vivir. Por esta razón no hay diversidad de plantas cerca de las fábricas de Cobres, debido al efecto del Cobre sobre las plantas,

es una seria amenaza para la producción en las granjas. El Cobre puede seriamente influir en el proceso de ciertas tierras agrícolas, dependiendo de la acidez del suelo y la presencia de materia orgánica. A pesar de esto el estiércol que contiene Cobre es todavía usado.

c) Efectos ambientales del Mercurio

El mercurio inorgánico (mercurio metálico y compuestos de mercurio inorgánicos) pasa al aire durante la extracción de depósitos minerales, al quemar carbón y basura y de plantas industriales.

El mercurio pasa al agua o a la tierra de depósitos naturales, de basurales y de actividad volcánica. El metil-mercurio puede ser formado en el agua y el suelo por pequeños organismos llamados bacterias. El metil-mercurio se acumula en los tejidos de peces. Peces de mayor tamaño y de mayor edad tienden a tener niveles de mercurio más altos.

d) Efectos ambientales del Plomo.

Una vez que el plomo ha llegado al suelo permanece ahí indefinidamente y sólo una pequeña parte es transportada por la lluvia. Por ello, se debe considerar al plomo como uno de los principales depósitos de este contaminante. Mientras que, en suelos de sitios urbanos, la concentración de plomo llega a ser extremadamente elevada. En algunas ocasiones, por ejemplo, el contenido medio de plomo en las calles de algunas zonas residenciales y comerciales llega a ser de 1 600 a 2 400 µg/g. Esto

representa un serio problema para la salud, en especial para los niños.

Se sabe que el plomo afecta adversamente a todos los organismos, aunque todavía se carece de suficiente información al respecto. En concentraciones de 0,1 a 0,5 mg/mL, este elemento retarda la ruptura heterolítica de la materia orgánica.

Las plantas que crecen en suelos contaminados por este elemento tienden a concentrarlo sobre todo en su sistema radicular. La contaminación se ha atribuido principalmente al plomo atmosférico. Algunos animales, por ejemplo, las lombrices de tierra, tienden a acumular plomo y pueden ser una de las rutas por las que este elemento entra a las cadenas alimenticias. En este caso, los demás eslabones serán los principales afectados.

Calidad del agua

En todas las minas del mundo se están formulando las mismas preguntas concernientes a la protección del medio ambiente ¿qué calidad de agua de efluente es necesaria para la protección ambiental? un programa de muestreo de calidad de aguas superficiales es ayudar a absolver tales preguntas. No obstante, debe reconocerse que el programa de monitoreo será específico por sitio y que los diferentes tipos de minas e instalaciones de procesamiento, etapa o nivel de desarrollo, geología, hidrología y topografía determinarán en conjunto el referido programa.

Las áreas mineras en el Perú se ubican a lo largo del país, en una variedad de regiones geológicas, topográficas y climatológicas. La

precipitación pluvial mensual puede oscilar entre 2 mm en la región costera hasta 460 mm en las regiones selváticas. En la zona montañosa, las precipitaciones pueden variar entre “0” mm a más de 100 mm en un año. De ese modo, la ubicación de la mina determinara el balance de agua del sitio, lo que puede variar considerablemente de lugar a lugar.

La calidad de agua de los efluentes (por ejemplo, cualquier agua que se descarga de la mina o de la planta procesadora) que drenan de cada sitio minero se especifica de dicho sitio. Parece ser que los principales problemas que se someterán a monitoreo sobre calidad de agua en las minas, incluyen: drenaje ácido con elevadas concentraciones de sulfatos y metales disueltos; sólidos en suspensión y contenido de metales totales asociados; drenaje casi neutro con elevadas concentraciones de metales disueltos y nutrientes; reactivos químicos de proceso, especialmente cianuro; y aguas negras o servidas.

Monitoreo de la calidad del agua

El término agua superficial, se utiliza en referencia a cualquier tipo de agua que se encuentre al nivel de la superficie o por encima de la misma (por ejemplo, un lago, río o corriente) o al agua que se dirige a un cuerpo de agua superficial (como agua bombeada de labores subterráneas a la superficie). En muchos casos, las aguas freáticas se vuelven aguas superficiales mediante patrones de flujos naturales. Se refiere a cualquier tipo de agua que pueda

muestrearse sin usar un pozo artesiano o una instalación artesiana de monitoreo.

En cada área de influencia de una mina normalmente se encuentran capacitados para llevar a cabo los trabajos correspondientes a un programa de monitoreo. Para garantizar la obtención de resultados consistentes y confiables de un programa de monitoreo, es importante contar con un grupo homogéneo de personas, debidamente capacitadas, que tengan bajo su responsabilidad el monitoreo de calidad de agua.

Estaciones de muestreo

El área de influencia de una mina puede abarcar una gran superficie, combinando labores antiguas, abandonadas (y algunas veces olvidadas) con las operaciones actuales. Independientemente de la complejidad de la mina, existen características comunes para todas las minas que proporcionan la base para identificar donde efectuar el muestreo.

Alcance

El primer paso para decidir donde efectuar el muestreo por calidad de agua es identificar el balance de agua de la propiedad minera: de donde ingresa el agua y por donde sale de la propiedad minera. El segundo paso es identificar todas las fuentes posibles de contaminantes y seleccionar las estaciones que se encuentran aguas arriba y aguas abajo de cada fuente. Marque todos los cursos naturales de agua (ríos, corrientes, lagos) y la dirección y volumen del flujo (aproximadamente). En el plano, marque todas

las corrientes de agua del proceso, relacionadas con la mina, incluyendo la dirección y volumen del flujo.

Ubique todos los principales componentes de la mina: tajo abierto, labores subterráneas, embalses de relaves, botaderos, apilamientos de mineral de baja ley o desechos, instalaciones de procesamiento, poblados aledaños y/o campamentos.

Utilice las cartas hidrográficas estacionales, los registros de precipitaciones en el área minera y observaciones para identificar los flujos que se presentan todo el año y aquellos que solo son estacionales. Los flujos que se presentan todo el año deben monitorearse regularmente. Puede establecerse estaciones en los flujos estacionales. Debe muestrearse todas las aguas que fluyan en el área de influencia de toda la mina, incluyendo los efluentes del procesamiento que se descargan a los cursos naturales de agua.

Medio Ambiente Receptor

El motivo para realizar el muestreo y el monitoreo de la calidad del agua es garantizar la protección del medio ambiente natural local. El medio ambiente receptor de aguas superficiales en el área de influencia de una mina se refiere a todos los cursos naturales de agua que dicha mina afecta. Generalmente, estos son los ríos superficiales, corrientes, lagos o sierras pantanosas en el área. El flujo de aguas freáticas dará su aporte a los mencionados cursos de agua. En cada curso de agua importante debe existir una

estación de muestro aguas arriba y aguas abajo con relación a la mina.

Lo anterior es decisivo para determinar: cuáles son las condiciones naturales o de base para el curso de agua; si la mina está aportando contaminantes a las aguas naturales: si existen otras fuentes de contaminantes, ya sea naturales o antropogénicas; y hasta qué nivel se necesita controlar la descarga de contaminante desde la mina.

Todos los parámetros que se miden en la(s) fuente(s) deben medirse en el medio ambiente receptor. Además, debe realizarse una serie completa de análisis en las muestras extraídas aguas arriba para caracterizar las condiciones de base.

e) Muestreo de efluentes

Los objetivos del muestreo de efluentes son: establecer los procedimientos para la selección de puntos de muestreo, toma de muestras en cuerpos de agua y efluentes, asegurando la calidad de datos y custodia de las muestras con la finalidad de determinar la calidad y composición de las mismas, en el marco del procedimiento de autorización sanitaria de vertimiento.

Su aplicación en el ámbito nacional, servirá como procedimiento para los muestreos previa y post a la autorización sanitaria de vertimiento, acatada por los profesionales de la Dirección General de Salud Ambiental.

Previo al trabajo de campo y como parte del plan de muestreo deberá determinarse los puntos de muestreo y parámetros de análisis según los siguientes criterios.

Selección de puntos de muestreo

a. En el vertimiento

Las tomas de muestra se realizarán para efluentes que serán descargados o cuyo destino final son los ríos y sus afluentes, arroyos, torrentes y manantiales, lagos, lagunas y embalses de formación natural o artificial en sus diversas dimensiones y estados físicos durante épocas de estiaje y/o lluvias dependiendo de la fecha de la inspección, incluyendo al mar y sus diversas formaciones hidrogeomorfológicas.

- 1) Para el caso de plantas de producción que cuenten con línea de emisión subacuática, la muestra y mediciones de caudal se tomará en la caja de registro o su equivalente.
- 2) De existir sistema de tratamiento de aguas residuales industriales y/o domésticas, se colectará muestras en el ingreso y salida de la planta, a fin de verificar la eficiencia de tratamiento.
- 3) Se tendrá la identificación y localización satelital del punto de muestreo, estableciendo en el equipo del sistema posicionamiento global (GPS), los datos de: DATUN DE MAPA.

b. En el recurso hídrico de descarga de cada vertimiento

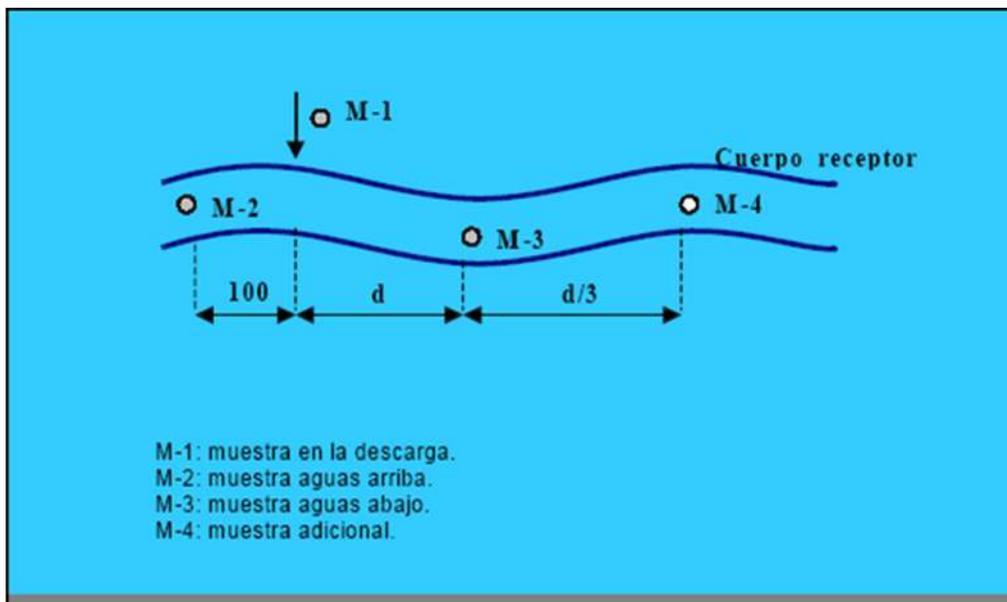
1) En caso de ríos

- Elija una sección en donde el río esté lo más regular, accesible y uniforme en profundidad, por lo menos 100

metros aguas arriba de una confluencia, y cerca de un punto de referencia tal como un puente, roca grande, árbol, kilometraje vial, etc.

- Se tendrá la identificación y localización satelital del punto de muestreo y de referencia (Ejemplo: puente, desagüe, aforo, etc.) en un mapa con un esquema y fotografías, estableciendo en el equipo del sistema de posicionamiento global (GPS), los datos de: DATUN DE MAPA.

Gráfico N° 1: Puntos de monitoreo en un río.



Fuente: Elaboración propia.

- De existir efluentes (vertimientos) en el curso de agua, la toma de muestra en el cuerpo receptor será aguas abajo de la descarga y en el punto que asegure la mezcla completa. Se recomienda seguir los criterios siguientes para determinar las distancias aguas abajo:
- Además de la muestra tomada aguas abajo de la descarga, se recomienda tomar una muestra adicional más abajo de

manera que se confirme la mezcla total de la descarga con el cuerpo receptor, a una distancia equivalente a la tercera parte de la muestra inicial (la distancia mínima será de 50 m), tal como se indica en el Gráfico. Esta muestra adicional se efectuará solo de verificarse que no existe ninguna descarga adicional en el tramo.

- Para el caso de vertimiento próximos; al contar con efluentes próximos entre sí, debiéndose tomar la distancia media entre el punto de descarga del efluente a evaluar y el punto de descarga del efluente aguas abajo.
- Para la toma de muestra del blanco, se considerará un punto que se encuentre fuera del área de influencia de cualquier efluente aguas arriba, en el caso que dicha distancia sea menor a 200 metros.
- De haber más de una descarga en un tramo corto del río, de manera tal, se tomará la muestra aguas abajo de la descarga, inmediatamente antes de la siguiente (de preferencia 50 metros antes).

c) Análisis de la calidad del agua

Los parámetros típicos de monitoreo para determinar la calidad del agua pueden describirse en dos grupos principales:

- Parámetros orgánicos
- Parámetros inorgánicos.

Con frecuencia dichos parámetros se describen en los siguientes términos:

A. Tipos de parámetros

▪ Parámetros Inorgánicos

Incluyen los sólidos totales en suspensión (o turbidez), temperatura, flujo, color, olor y sabor. Por conveniencia, el pH, Eh, conductividad, sólidos totales disueltos y oxígeno disuelto algunas veces se reportan con los parámetros físicos; iones principales, incluyendo sulfato, alcalinidad, acidez, cianuro y nutrientes tales como las especies de nitrógeno y fosfatos; metales disueltos que incluyen todos los iones metálicos cuyo tamaño de partícula sea menor de 0,45 μm y metales totales que incluyen todos los iones metálicos en una muestra no filtrada.

▪ Parámetros orgánicos

Incluyen componentes de reactivos de procesamiento, fenol, petróleo y grasa, etc. Algunos parámetros se usan directamente para evaluar el impacto ambiental o la toxicidad del agua, ya sea para la salud humana, recursos acuáticos o para uso agrícola. Estos parámetros incluyen principalmente metales totales y disueltos, cianuro y iones principales como el amoníaco.

Algunos parámetros determinados deben medirse en todos los lugares de muestreo y para la mayoría de muestras. Estos se denominan parámetros básicos.

Los parámetros básicos pueden incluir pH, Eh, temperatura, conductividad, alcalinidad/acidez y sólidos totales disueltos (TDS) y sólidos totales en suspensión (TSS). Dependiendo de la geología de la mina y de los reactivos que se usan en el

procesamiento, algunas mediciones son más apropiadas que otras. Estos parámetros específicos por lugar se seleccionan de una lista completa de metales, iones principales y orgánicos.

Es importante reconocer que no todos los parámetros deben medirse en cada muestra – la selección dependerá de la variabilidad del parámetro en la muestra de agua (la variabilidad más alta generalmente requiere de un análisis más frecuente), el nivel del problema asociado con los parámetros y el componente que se somete a muestreo.

B. Frecuencia

El cronograma de muestreo y análisis en cada área de influencia de una mina depende de las cartas hidrográficas de dicho lugar y del programa de manejo de aguas, así como de la etapa de operación. No obstante, todas las descargas de la mina al medio ambiente receptor debe someterse regularmente a muestreo y análisis; el muestreo debe ser más frecuente durante e inmediatamente después de un evento fuera de control, por ejemplo, derrame de reactivo, derrame de relaves, falla en la presa, etc. el muestreo debe ser más frecuente antes, durante e inmediatamente después de un cambio en el procesamiento, manejo de agua o de desechos si es que existe un impacto en la calidad del agua receptora.

Identifique los componentes para los que se producen cambios en el balance de agua y carga de contaminantes durante el año, en relación con otros, mostraran un mayor cambio con las influencias

estacionales. Está directamente relacionada con el régimen climático.

C. Tipos de muestras

El tipo de muestra a tomarse de un cuerpo superficial de agua se determinará considerando las características de la estación de muestreo y el flujo de agua; asimismo, la velocidad de flujo, tamaño o área de la masa de agua, homogeneidad, clima, flujo discreto o distribuido y los requisitos de precisión. Además, deberá considerarse el tipo de equipo que está disponible y la seguridad del técnico durante la toma de muestras.

- **Muestras tomadas al azar (puntuales)**

El tipo de muestra más común para el monitoreo regular de las aguas superficiales en la mina es una muestra "tomada al azar o puntual". La muestra se colecta en determinado momento y lugar en el recorrido del flujo de agua. Las muestras tomadas al azar en un río o poza también pueden tomarse en puntos separados sobre la profundidad en la columna de agua.

- **Muestras compuestas**

Se puede preparar muestras compuestas en un intervalo de tiempo discreto, extraídas de un lugar de muestreo seleccionado, a fin de determinar las condiciones "promedio". Puede obtenerse una muestra compuesta, ya sea por recolección continua, en un intervalo de tiempo, de una corriente de flujo bajo (muestra compuesta de una ida de un rezumadero

de bajo flujo) o mezclando volúmenes recolectados a intervalos mayores sobre un período de tiempo de un flujo de descarga elevado (muestra compuesta de 24 horas colectada a partir de muestras individuales, cada hora, desde una tubería de relaves). No es aceptable juntar muestras compuestas de dos lugares diferentes debido a los cambios potenciales en la química del agua resultantes del mezclado de dichas muestras. Para calcular la composición promedio de agua a lo largo de una gran área, las muestras individuales deben analizarse y promediarse matemáticamente o usando un modelo geoquímico de mezcla.

D. Toma de Muestras

La topografía, lugar de colección, tipo de muestra y las condiciones determinaran los procedimientos específicos para cada estación en general:

- En un cuerpo de agua con más de una estación de muestreo, inicie éste en el punto más lejano aguas abajo, particularmente si alguna alteración física en un área pudiera influir en una estación aguas abajo; siempre muestre aguas arriba en cualquier camino, cruce o puente, a menos que la influencia de la estructura sea el objetivo del muestreo;
- Siempre muestree en el mismo lugar;
- Asegúrese de que la muestra pueda colectarse de manera segura, sin representar un riesgo para el técnico. Si existiera un riesgo bajo ciertas condiciones, la estación de muestreo deberá reubicarse.

Al momento de tomar las muestras:

- Ubíquese de frente aguas arriba mientras muestrea para evitar la contaminación del agua por sedimentos en suspensión;
- Si se tiene que tomar varias botellas de muestra en el mismo lugar, ello deberá hacerse al mismo tiempo. Si fuera posible, es mejor recolectar una gran muestra y dividirla en sub muestras;
- Recolecte muestras para someter a QA/QC;
- Enjuague tres veces con agua destilada (sondas para los medidores) o con la solución a muestrear (ya sea la muestra original de la botella de 1L o la muestra filtrada de la botella de metales disueltos) el equipo de muestreo y filtración, equipo de análisis y botellas de muestreo de plástico; manipule los papeles de filtro únicamente con pinzas limpias. No toque con las manos el interior de las botellas, tapes o equipo de filtración;
- Complete las mediciones de campo en una sub muestra y registre estos datos en las hojas de campo (casillero B de la hoja de datos);
- Preserve las muestras. Rotule las muestras y registre el número de estas y los requerimientos analíticos en la hoja de datos. Almacene las muestras en un enfriador (alejado de la luz solar).

CAPÍTULO III: CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

3.1. Generalidades

3.1.1. Marco Normativo vinculado al agua categoría 4.

En las Tablas N° 04, se muestra la normatividad vinculante a agua tipo 4 referente a los parámetros que han sido analizados en el presente proyecto.

**Tabla N°4: Estándar de Calidad Ambiental para agua tipo 4.
Conservación del medio acuático según DS 004-
2017-MINAM**

CATEGORÍA 4						
PARÁMETRO	UNIDAD	E1: LAGUNAS Y LAGOS	E2: RÍOS		E3: ECOSISTEMAS MARINO COSTERAS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
FÍSICOS – QUÍMICOS						
Aceites y grasas (MEH)	mg/L	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Cianuro Total	mg/L	0.0052	0.0052	0.0052	0.001	0.001
Color (b)	Color verdadero escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0.008	**	**	**	**
Conductividad	(uS/cm)	1000	1000	1000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2.56	2.56	2.56	5.8	5.8
Fósforo Total	mg/L	0.035	0.05	0.05	0.124	0.062
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco	mg/L	1.9	1.9	1.9	0.4	0.55
Nitrógeno Total	mg/L	0.315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (Valor Mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5 a 9.0	6.5 a 9.0	6.5 a 9.0	6.8 - 8.5	6.8 - 8.5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤25	≤100	≤400	≤100	≤30
Sulfuros	mg/L	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Temperatura	°C	Δ3	Δ3	Δ3	Δ2	Δ2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0.64	0.64	0.64	**	**
Arsénico	mg/L	0.15	0.15	0.15	0.036	0.036
Bario	mg/L	0.7	0.7	1	1	**
Cadmio	mg/L	0.00025	0.00025	0.00025	0.0088	0.0088
Cobre	mg/L	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05
Cromo VI	mg/L	0.011	0.011	0.011	0.05	0.05
Mercurio	mg/L	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Níquel	mg/L	0.052	0.052	0.052	0.0082	0.0082
Plomo	mg/L	0.0025	0.0025	0.0025	0.0081	0.0081
Selenio	mg/L	0.005	0.005	0.005	0.071	0.071
Talio	mg/L	0.0008	0.0008	0.0008	**	**
Zinc	mg/L	0.12	0.12	0.12	0.081	0.081

Fuente: DS N° 04-2017-MINAM

3.2. Estudio de factibilidad

3.2.1. Factibilidad técnica

El presente trabajo de investigación tiene factibilidad técnica ya que se utilizó el material humano técnico y profesional que nos garantiza un perfecto análisis de resultados de acuerdo a los conocimientos adquiridos para muestreos y análisis de aguas que nos permitió realizar los diferentes procesos para obtención de resultados y los análisis correspondientes

3.2.2. Factibilidad operativa

Es factible operativamente debido a que se utilizaron los materiales y equipos necesarios que nos permitieron llegar a obtener los resultados para el análisis y evaluación del presente estudio.

3.2.3. Factibilidad económica

El costo del trabajo de investigación es asumido en el desarrollo del trabajo de investigación y conllevara a una serie de beneficios para el cuidado del medio ambiente en lo que respecta a los recursos hídricos.

3.3. DISEÑO DEL MODELO Y HERRAMIENTA

El presente trabajo de investigación ha exigido el desarrollo de un modelo conceptual integral y práctica que comprende todos los elementos intervinientes para el muestreo y análisis de aguas del Rio El Toro, las mismas que reciben relaves de la industria minera lo que nos permitió principalmente:

- Recolectar muestras de aguas del Rio El Toro a 500 metros aguas arriba de donde se reciben los relaves

- Recolectar muestras de aguas del Rio El Toro desde el punto donde se reciben los relaves
- Recolectar muestras de aguas del Rio El Toro a 500 metros aguas abajo de donde se reciben los relaves
- Emplear materiales de fácil adquisición para la recolección de muestras y su posterior transporte a los laboratorios de análisis
- Determinar los puntos de muestreo para la cuantificación de los parámetros a estudiar en el proyecto de investigación.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.1. Resultados de la medición de las aguas del Rio El Toro

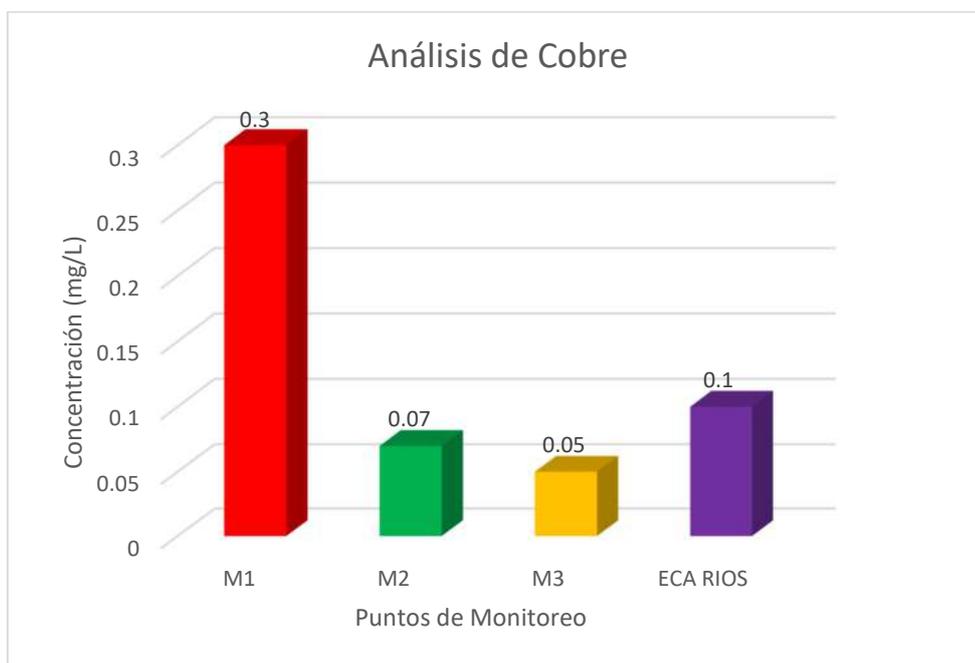
Para caracterizar la calidad de agua del Rio El Toro en los puntos establecidos en el presente proyecto se procedió con el respectivo muestreo y la determinación de los parámetros analizados en el laboratorio de Investigación y Desarrollo de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla N° 05: Resultados de los análisis de laboratorio de los parámetros físico químicos de los puntos de muestreo en el Rio El Toro

PARAMETROS	UNID.	M1	M2	M3	ECA RIOS
Cobre	mg/L	0.3	0.07	0.05	0.1
Plomo	mg/L	0.02	0.01	0.004	0.0025
Cadmio	mg/L	0.007	0.0004	0.0006	0.00025
Zinc	mg/L	0.56	0.035	0.068	0.12
Cromo	mg/L	0.004	0.004	0.004	0.011
Mercurio	mg/L	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001
Selenio	mg/L	0.008	0.005	0.004	0.005
Arsénico	mg/L	2.25	0.3	0.39	0.15

Fuente: Elaboración propia

Grafico N° 02: Resultados de los Análisis de Laboratorio de Cobre

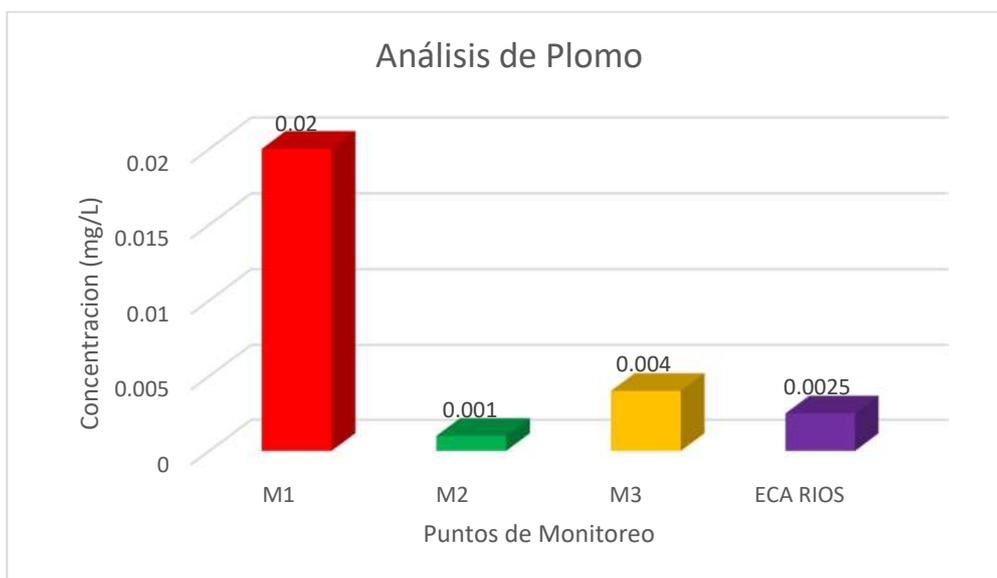


Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

En grafico 02, se muestra los resultados del análisis de cobre en las cuales en el punto M1, que es en donde llegan los relaves; la concentración del cobre es de 0.30 mg/L la misma que se encuentra por encima del valor establecido en los Estándares de Calidad Ambiental para agua tipo 4. Asimismo en el punto M2 que es 500 m aguas arriba de donde llegan los relaves mineros es de 0.07 mg/L y en el punto M3 que es 500 m aguas abajo de donde llegan los relaves es de 0.05; en ambos casos no superan los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental. Como podemos analizar del gráfico que por la contaminación de los relaves de la industria minera solo existe contaminación de cobre en el punto M1 que en el lugar de descarga de los relaves mineros.

Grafico N° 03: Resultados de los Análisis de Laboratorio de Plomo.

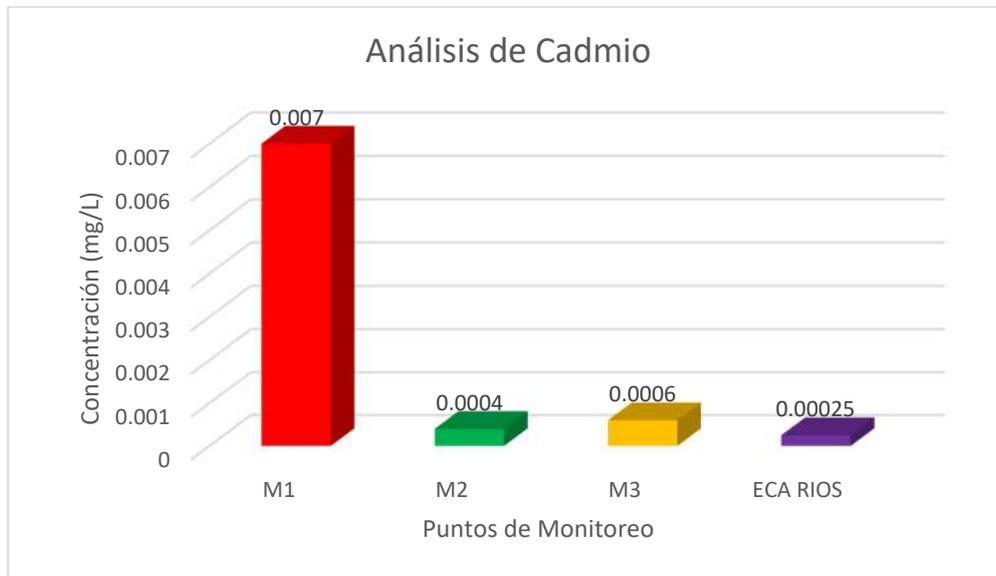


Fuente: Elaboración Propia

Interpretación

En grafico 03, se muestra los valores de plomo en las cuales en el punto M1, que es en donde llegan los relaves; la concentración es de 0.02 mg/L la misma que se encuentra por encima del valor establecido en la normatividad de los Estándares de Calidad Ambiental para agua categoría 4. Asimismo en el punto M2 es de 0.001 mg/L está por debajo del valor establecido en la norma de Estándares de Calidad Ambiental para estas agua y en el punto M3 es de 0.004 mg/L que superan los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental. Del presente grafico nos damos cuenta que por la contaminación de los relaves de la minera en el punto M3 la concentración aumenta y no se cumple con la normatividad.

Gráfico N° 04: Resultados de los Análisis de Laboratorio de Cadmio

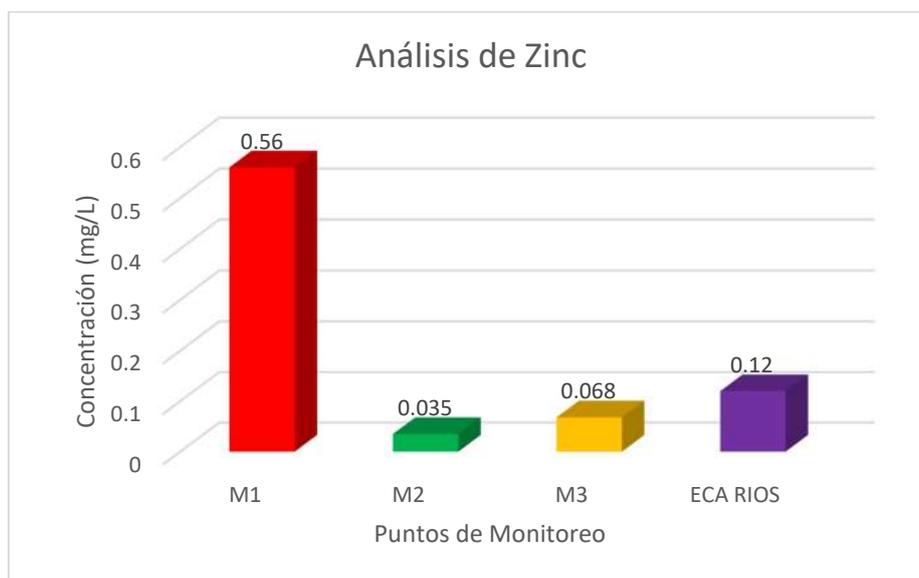


Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

En gráfico 04, se muestran los resultados de análisis del cadmio en los cuales en el punto M1, que es en donde llegan los relaves de las actividades mineras; la concentración es de 0.007 mg/L la misma que supera los valores establecidos de los Estándares de Calidad Ambiental para agua categoría 4. Asimismo en el punto M2 es de 0.00040 mg/L y en el punto M3 superan ligeramente los valores establecidos en la norma de Estándares de Calidad Ambiental para estas aguas. Del análisis nos damos cuenta que existe contaminación de este componente en los tres puntos monitoreados.

Grafico N° 05: Resultados de los Análisis de Laboratorio de Zinc

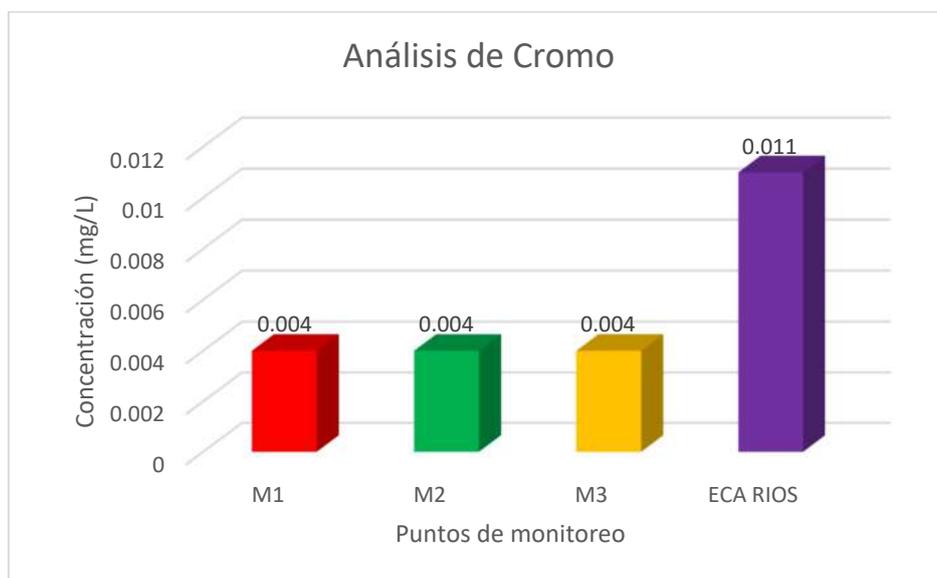


Fuente: Elaboración Propia

Interpretación

En grafico N° 05, se muestra los valores del análisis de Zinc en las cuales en el punto M1, que es en donde llegan los relaves; la concentración es de 0.56 mg/L la misma que se encuentra por debajo del valor de los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para estas aguas. Asimismo en el punto M2 es de 0.035 mg/L y en el punto M3 es de 0.068 que están por debajo de lo establecido en la norma de los Estándares de Calidad Ambiental para estas aguas. Del análisis nos damos cuenta que existe contaminación en el lugar donde descargan los relaves provenientes de las actividades mineras para este componente; sin embargo aguas arriba y aguas abajo no existe contaminación alguna.

Grafico N° 06: Resultados de los Análisis de Laboratorio de Cromo.

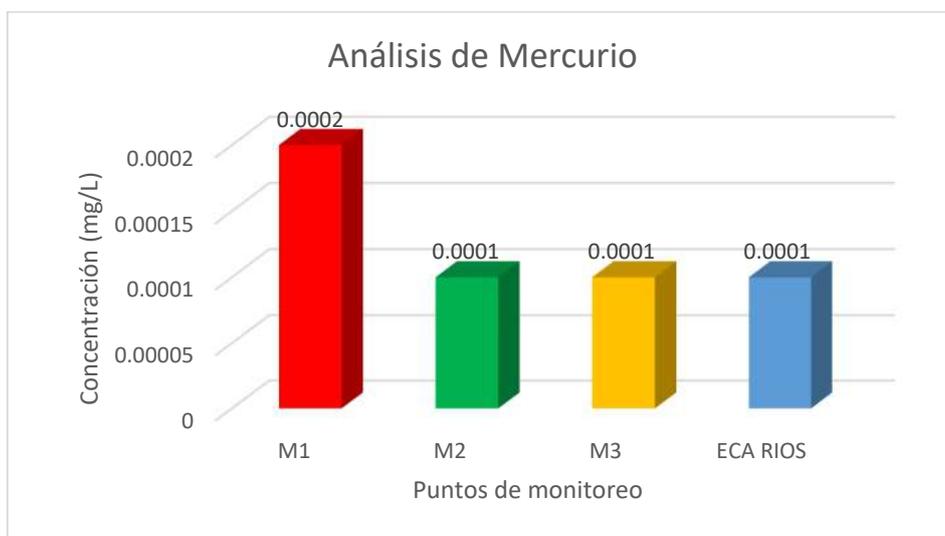


Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

En grafico 06, se muestra los resultados de los análisis del cromo en las cuales en el punto M1, que es en donde llegan los relaves; la concentración es de 0.004mg/L la misma que se encuentra por debajo del valor establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para aguas categoría 4. Asimismo en el punto M2 es de 0.004 mg/L y punto M3 es de 0.004 mg/L que se encuentran por debajo de los valores establecidos en la norma de Estándares de Calidad Ambiental para estas aguas. Del análisis podemos decir que para este componente se cumple con los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental.

Grafico N° 07: Resultados de los Análisis de Laboratorio de Mercurio.

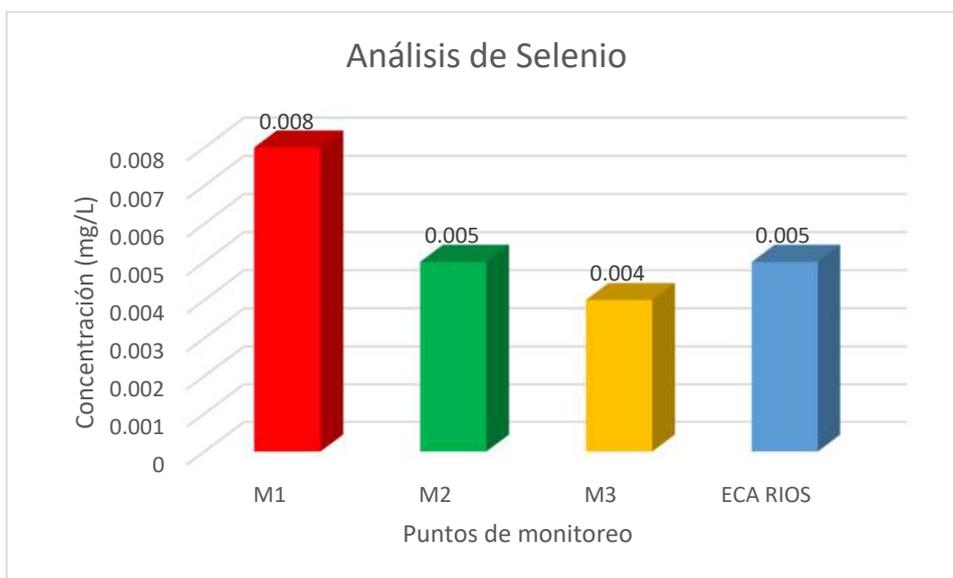


Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

En gráfico 07, se muestra los valores de mercurio en las cuales en el punto M1, que es en donde llegan los relaves; la concentración es de 0.0002 mg/L la misma que supera los valores establecidos en la normatividad de los Estándares de Calidad Ambiental para aguas categoría 4. Asimismo en el punto M2 es de 0.0001 mg/L y en el punto M3 es de 0.0001 que está dentro de los valores establecidos en los Estándares de calidad Ambiental. Del análisis de estos resultados podemos afirmar que hay una ligera contaminación en el punto de descarga de los relaves, pero, sin embargo no hay contaminación de estas aguas en los puntos de aguas arriba y aguas abajo por parte de este componente.

Grafico N° 08: Resultados de los Análisis de Laboratorio de Selenio.

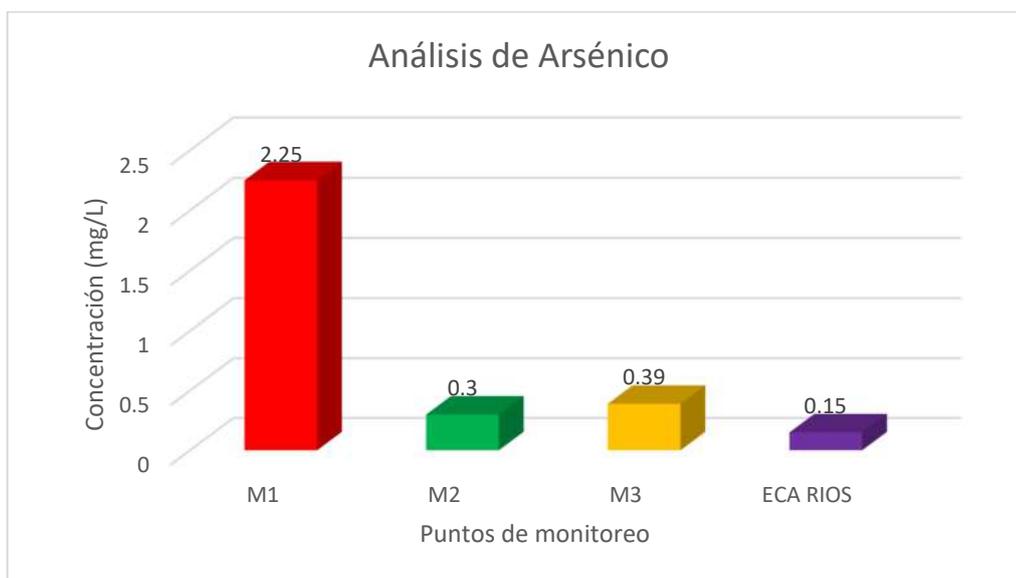


Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

En grafico 08, se muestra los valores de Selenio en las cuales en el punto M1, que es en donde llegan los relaves; la concentración es de 0.008 mg/L la misma que supera ligeramente los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para aguas categoría 4. Asimismo en el punto M2 es de 0.005 mg/L y cumple con los estándares de Calidad Ambiental para estas aguas. En el punto de muestra M3 es de 0.005 mg/L y está por debajo de los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental. Del análisis de estos resultados nos damos cuenta que existe una ligera contaminación en el punto donde descargan los relaves de las actividades mineras pero en los puntos M2 y M3 se cumple con la normatividad para este componente.

Grafico N° 09: Resultados de los Análisis de Laboratorio de Arsénico



Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

En grafico 09, se muestra los valores de Arsénico en las cuales en el punto M1, que es en donde llegan los relaves; la concentración es de 2.25 mg/L la misma que supera los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para aguas categoría 4. Asimismo en el punto M2 es de 0.30 mg/L y en el punto M3 es de 0.39, estos valores superan ligeramente los estándares de Calidad Ambiental para estas aguas. Del análisis de estos resultados nos damos cuenta que existe contaminación en los tres puntos monitoreados ya que no cumplen con los valores establecidos en la normatividad para este componente.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

5.1.1. Se determinó los valores físico químico de los parámetros establecidos en la que se pudo establecer que para el punto M1, que es donde llegan los relaves de las actividades mineras, existe contaminación para los parámetros de Cobre, Plomo, Cadmio, Zinc, Mercurio, Selenio y Arsénico y que solo el Cromo cumple con los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para agua categoría 4: Conservación del ambiente acuático según D.S. 004 – 2017 – MINAM.

5.1.2. Se determinó que en el punto de monitoreo M2 que es 500 m aguas arriba de donde llegan los relaves de las actividades mineras se cumple con los Estándares de Calidad Ambiental para los elementos de cobre, plomo, zinc, cromo, mercurio y selenio sin embargo no se cumple para cadmio y arsénico en lo referente a aguas categoría 4: Conservación del ambiente acuático según D.S. 004 – 2017 – MINAM.

5.1.3. Se determinó que en el punto de monitoreo M3 que es 500 m aguas abajo de donde llegan los relaves de las actividades mineras se cumple con los Estándares de Calidad Ambiental para los elementos de cobre, zinc, cromo, mercurio y selenio y no se cumple para el plomo, cadmio y arsénico en lo referente a aguas categoría 4: Conservación del ambiente acuático según D.S. 004 – 2017 – MINAM.

5.1.4. Se determinó que debido a la presencia de los relaves de las actividades mineras, existe una ligera contaminación en la calidad del agua de la cuenca del Río El Toro según los Estándares de Calidad Ambiental para aguas categoría 4: Conservación del ambiente acuático establecidos en el DS N° 004-2017-MINAM a tal punto que para algunos parámetros analizados supera los valores establecidos en la norma.

5.2. RECOMENDACIONES

5.2.1. Se recomienda a las autoridades locales en conjunto con la competencia ambiental sectorial realizar un trabajo mancomunado con las empresas informales a fin de regularizar su situación mediante el Instrumento de Gestión Ambiental para la Formalización de Actividades de Pequeña Minería y Minería Artesanal (IGAFOM).

5.2.2. Se recomienda que las autoridades de competencia ambiental realicen monitoreos de las aguas de la cuenca del Río El Toro a fin determinar responsabilidades de los puntos de contaminación críticos.

5.2.3. Se debe realizar estudios de caracterización de metales traza de los efluentes de las actividades mineras que se encuentran desembocando en el punto de mezcla de contaminación del Río El Toro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aduvire, O. (2006). Drenaje Ácido de Mina, Generación y Tratamiento, Instituto Geológico y Minero de España, Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente.
- Allan, J. (1995). Stream ecology. Structure and function of running waters. Chapman & Hall, New York. ISBN 0-4 12- 35530-2. 388 p.
- Balmaceda, J.; W. Zelada; C. Medina; F. Pelaez. 2009. Estudio del potencial hidrobiológico del río Huancabamba sector presa Limón. Estudio Preparado para el Proyecto Olmos-Tinajones. Lambayeque.
- Cervantes, A. (2014). Caracterización del drenaje ácido y de las rocas asociadas a una mina para evaluar su posible aplicación en un sistema de tratamiento pasivo. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F., México.
- Decreto Supremo N° 059-2005-EM
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM
- Dinelli et al. (1999). REE mobility associated to acid mine drainage: investigations in the Libiola area (northern Italy). In: Ármannsson H. (ed.), Geochemistry of the Earth Surface (GES-5, Reykiavik, 16 - 20 August 1999). Balkema, Rotterdam, 173-176.
- Dinelli et al. (2001). Environmental problems related to sulfide oxidation: investigations in the Libiola Cu-mine (Ligurian Apennines, Italy). Journal of Geochemical Exploration 74, 141- 152.
- Ecoamérica, Minería y Medio Ambiente (2007). Drenaje Ácido de Mina.
- Esquivel López, DA. 2006. Determinación de la presencia de metales pesados en el agua de origen termal del Lago de Amatitlán y zonas aledañas. Tesis Ing. 77 p.
- Fernández et al. (1986). Abandonado de minas, impacto hidrológico. Univ. Politec. De Madrid. Cátedra de Hidrogeología, pp. 267.
- Gamonal, P. (2004) Tratamiento de drenaje ácido de minas en humedales construidos, pag.1-14.
- Biblioteca.unmsm.edu.pe/redlieds/Recursos/.../DAMhumedales.pdf. Consultado abril de 2017.
- García García, H. O. (1997). Determinación y cuantificación de metales pesados (Pb, As, Cd y Cr⁺⁶) y sustancias tóxicas (PO₄⁻², NO₂⁻, y CN) por métodos espectrofotométricos en tejido muscular de *Cichlasoma managuense*

(*Gunter*) guapote o pez tipo tigre, en el Lago de Amatitlán. Tesis Lic. Biol. Guatemala, USAC. 62 p.

García, C. (1998) Estudio del mecanismo de generación de drenajes ácidos en una presa de estériles piríticos. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España.

Guía Ambiental del DS-059-93-EM.

Hernández Sampieri, R. (2010) Metodología de la investigación. Quinta Edición. McGraw-Hill / Interamericana editores, S.A. de C.V. Impreso en México. 656 pág.

Kleinmann et al. (1981). Biogeochemistry of acid mine drainage and a method to control acid formation. Mining Eng. 300 – 305.

Lefebvre et al. (2001). Multiphase transfer process in waste rock piles producing acid mine drainage. 2. Applications of numerical simulation, Journal of Contaminant Hydrology, 52:165-186.

Li, S. (2013). Medición del Potencial de Generación de Agua Ácida para un Relave en la Zona Central del Perú y sus Necesidades de Neutralización. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

López et al. (2002) Tratamientos pasivos de drenajes ácidos de mina: estado actual y perspectivas de futuro. Boletín Geológico y Minero, 113 (1): 3 - 21. Consultado abril de 2017.

Medina, C., J. Balmaceda y J. Puhe. 2006. caracterización físico-química y microbiológica del río Chicama. Regiones La Libertad y Cajamarca. Perú. Revista Sciendo, 10(2): 41-52.

Monterroso, C.; Macías, F. (1998). Aguas de drenaje de mina afectadas por la oxidación de sulfuros. Variaciones estacionales de su composición. Edafología 5, 71 - 82.

Morin, K. & N. Hutt (2001) Description and assessment of drainage geochemistry. En: MDAG Publishing (ed.), Environmental geochemistry of mine site drainage: practical theory and case studies. Vancouver, British Columbia, Canadá. Capítulo 4, 63 - 138. Consultado abril 2017.

Nordstrom et al. (2000). Negative pH and extremely acidic mine waters from Iron Mountain, California. Environ Sci Technol.

Nordstrom, D.K. & Alpers, C.N. (1999b). Negative pH, efflorescent mineralogy, and consequences for environmental restoration at the Iron Mountain Superfund site, California. Proc. Natl. Acad. Sci.

- Pineda González, J. R. (1981). Determinación de cobre, mercurio y plomo en aguas y sedimentos del Lago de Amatitlán. Tesis Lic. Químico. Guatemala, USAC. 30 p.
- Ritchie, A. (1994). Sulphide oxidation mechanisms: Controls and rates of oxygen transport. Chapter 8: Short Course Handbook on Environmental Geochemistry of Sulfide Mine-Waste (Eds: J L Jambor and D W Blowes) pp 201-245 (Mineralogical Association of Canada).
- Sracek et al. (2004). Geochemical characterization of acid mine drainage from a waste rock pile, Mine Doyon, Québec, Canada. J. Contam. Hydrol. 69, 45 – 71.
- Tetzaguic Car, C. E. (2003). Sistematización de la información de calidad del agua del Lago de Amatitlán con parámetros que determinan su contaminación secuencial. Tesis Ma. Ing. Sanitaria. Guatemala, USAC. 62 p.
- US Environmental Protection Agency (1994). Report to Congress on Inventory of 403(c) Ocean Discharges. Washington, DC: EPA.
- USEPA 1994. Acid mine drainage prediction. Thechnical Document. Consultado abril 2017.
- Watzlaf et al. (2004). The passive treatment of coal mine drainage. National Energy Technology Laboratory, US Department of Energy. Information Circular.
- Wildeman et al. (1991). Wetland design for mining operations. Draft handbook presented at the 1991 American Society for Surface Mining and Reclamation Conference, Durango, CO.
- Wildeman, T. & L. Laudon (1989) La utilización de los humedales para el tratamiento de los problemas ambientales de la minería: las aplicaciones de minería no de carbón, pág. 221 - 231. En Humedales Artificiales para el Tratamiento de Aguas Residuales, DA Hammer, ed. Lewis Publishers, Ann Arbor, MI.
- Younger, P. (1998) Design, construction and initial operation of full - scale compost - based passive systems for treatment of coal mine drainage and spoil leachate in the UK. IMWA Symposium, Johannesburg, pág. 413 - 424. Consultado marzo 2017.
- Younger, P. L. (2007). The longevity of mine water pollution: a basis for decision-making. The Science of the Total.

ANEXOS

Matriz de consistencia

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables	Dimensiones	Indicadores	Índices		
¿Caracterizando física y químicamente el agua del río El Toro, distrito de Huamachuco, podremos evaluar y determinar su contaminación ambiental por la actividad minera?	Caracterizar física y químicamente el agua del río El Toro, Huamachuco, para evaluar y determinar su contaminación ambiental por la actividad minera.	La caracterización fisicoquímica del agua del río El Toro, Huamachuco, es determinante para conocer si existe contaminación ambiental por la actividad minera.	Independiente: Caracterización fisicoquímica del agua del río El Toro	Características cuantificables del agua de los ríos en algunos de sus parámetros físicos y químicos.	Concentración de parámetros físico químicos	Cu (mg/L)		
						Pb (mg/L)		
	Cd (mg/L)							
	Zn (mg/L)							
	Hg (mg/L)							
	Se (mg/L)							
	Objetivos Específicos		<p>OE1. Caracterizar física y químicamente la presencia de metales pesados como cobre (Cu), plomo (Pb), Cadmio (Cd), zinc (Zn), cromo (Cr), mercurio (Hg), Selenio (Se) y arsénico (As) presentes en el agua del río El Toro, Huamachuco en tres puntos específicos previamente determinados por el investigador.</p> <p>OE2. Comparar y evaluar los parámetros físicos y químicos en estudio con los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua tipo 4, de acuerdo al Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.</p> <p>OE3. Proponer medidas de control para minimizar los problemas ambientales del lugar.</p>	<p>Parámetros Físicos de pH, T° y Caudal</p>	<p>Dependiente: Determinar la calidad del agua del río El Toro, Huamachuco</p>	<p>La contaminación del agua es una modificación de esta, generalmente provocada por el ser humano, que la vuelve impropia o peligrosa para su consumo, industria, agricultura, pesca y actividades recreativas; así como también para los animales.</p>	<p>Estándares de Calidad Ambiental para agua tipo 4, de acuerdo al Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.</p>	As (mg/L)
								Unidad de pH
								°C
								m ³ /s
						mg/L		
						Unidad de pH		
						Caudal (Q) en m ³ /s		

Fuente: Elaboración propia.

SACANDO LAS MUESTRAS EN LOS PUNTOS ESTABLECIDOS



**PRESERVANDO LAS MUESTRAS PARA SU TRASLADO AL
LABORATORIO**



ROTULADO DE MUESTRAS



**ALMACENADO DE MUESTRAS PARA SU TRASLADO AL
LABORATORIO**

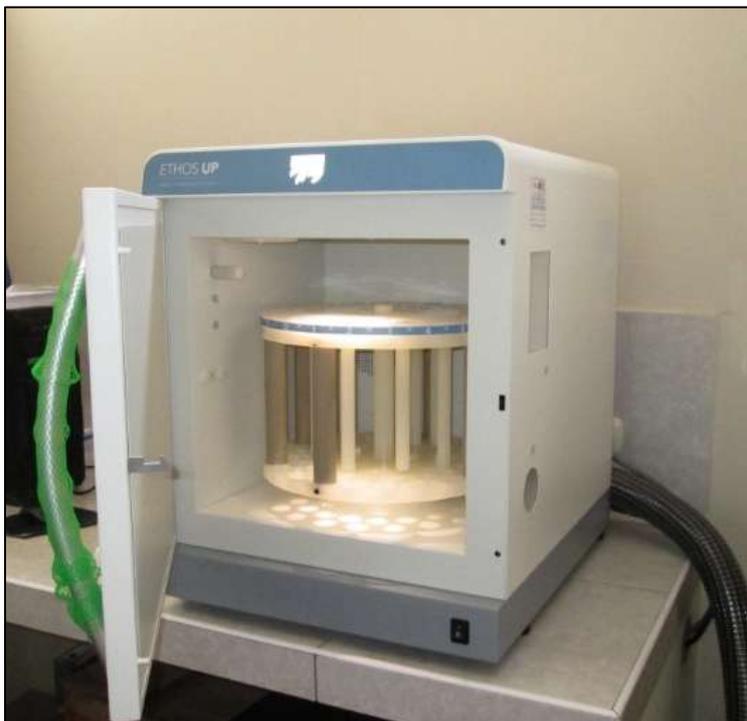


INGRESANDO MUESTRAS AL BIODIGESTOR



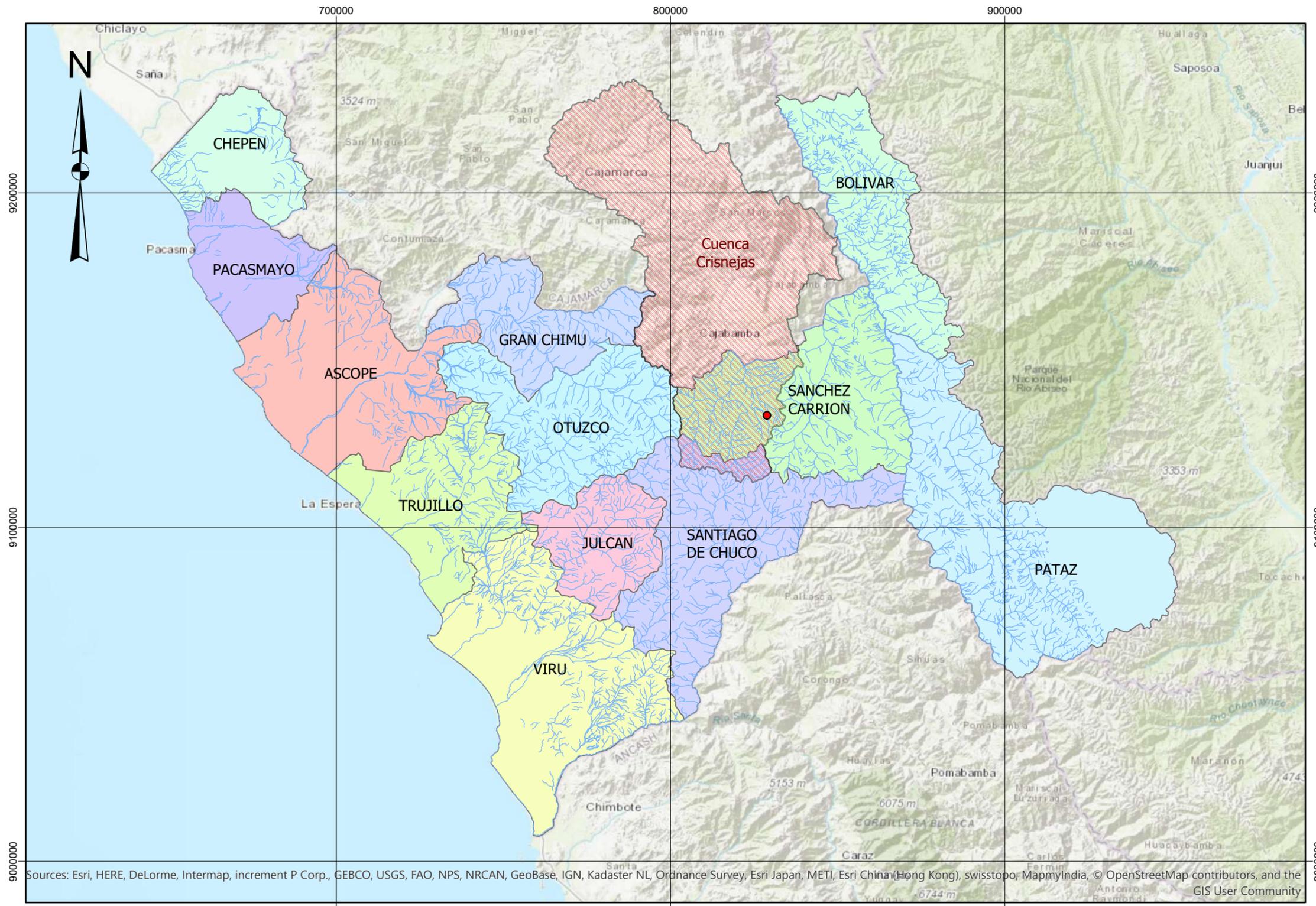
**EQUIPOS DEL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE
LA ESCUELA DE INGENIERIA AMBIENTAL DE LA UNIVERSIDAD
NACIONAL DE TRUJILLO**

BIODIGESTOR



ICP MASAS



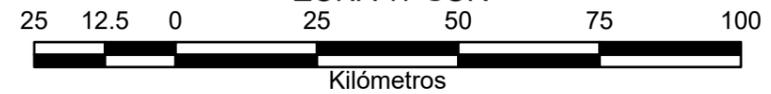


Sources: Esri, HERE, DeLorme, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), swisstopo, MapmyIndia, © OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

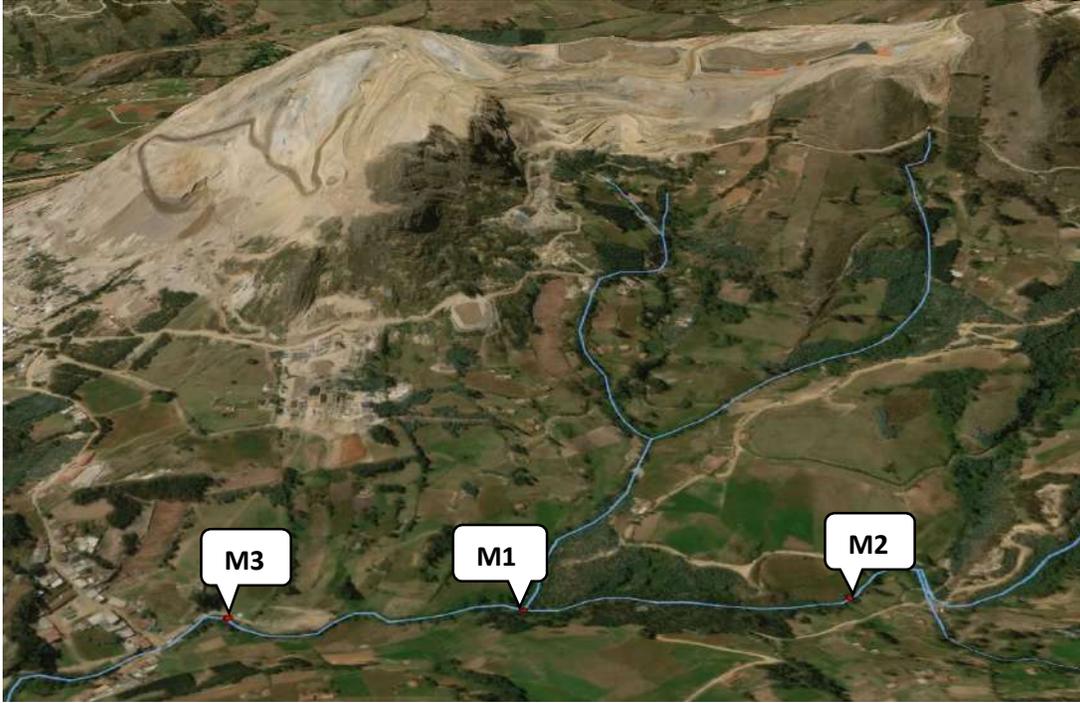
LEYENDA:

- Zona de Estudio
- Ríos
- Cuenca Crisnejas

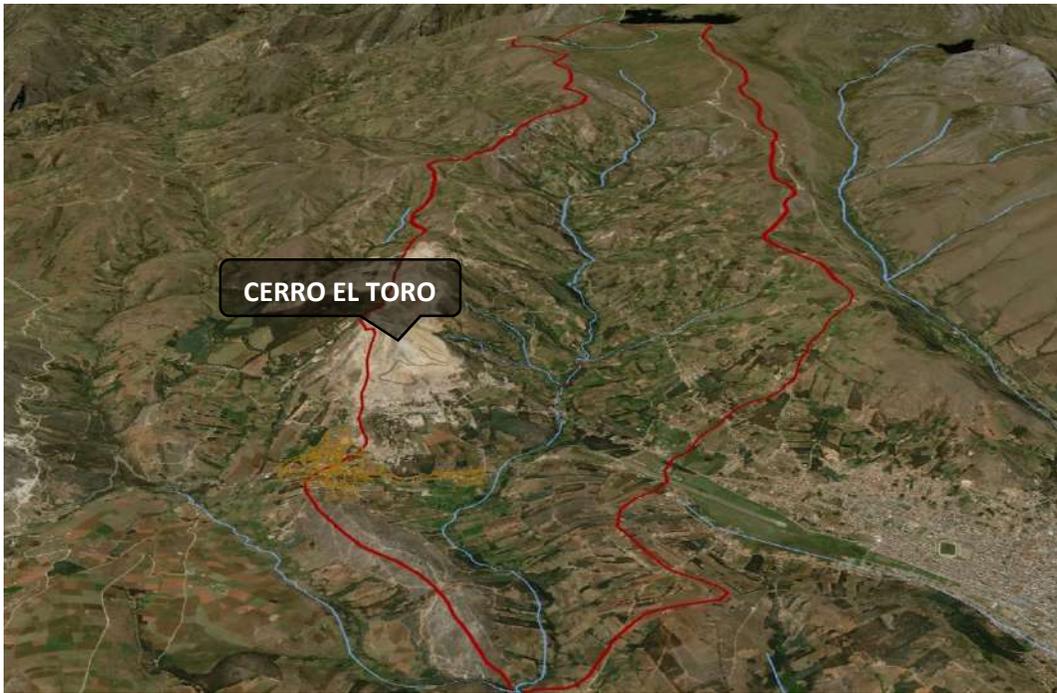
SISTEMA DE CUADRICULADO: CADA 100 000 METROS
 SISTEMA DE PROYECCIÓN: UTM
 ESCALA 1:1 250 000
 DATUM: WGS 84
 ZONA 17 SUR



Nombre del Proyecto:	"Caracterización físico química para determinar la calidad del agua del Río El Toro, Huamachuco, contaminado por actividades mineras con fines de Evaluación Ambiental"		
Autor:	Luis Miguel Azabache Loyola		
Título:	MAPA DE UBICACIÓN	Mapa N° 01	
	UBICACIÓN:	Escala:	
	Distrito	Huamachuco	1:1 250 000
	Provincia	Sánchez Carrion	Fecha:
Departamento	La Libertad	Diciembre - 2017	



Ubicación de los puntos de monitoreo.



Delimitación de la cuenca del Río El Toro.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Pasivo Ambiental Minero (PAM)

Son aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonada o que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad. (Art. 2° Ley N° 28271, ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera).

La denominación "pasivo ambiental minero" hace referencia a los impactos ambientales generados por las operaciones mineras abandonadas con o sin dueño u operador identificables y en donde no se hayan realizado un cierre de minas reglamentado y certificado por la autoridad correspondiente. CEPAL (2008).

Pasivo Ambiental Minero Abandonado.

Pasivos que se encontraban localizados fuera de una concesión vigente a la fecha de entrada en vigencia de la Ley.

Bocamina

Es el espacio físico por donde se hace el ingreso a una mina subterránea. Se puede decir que es el límite entre el espacio exterior y el espacio interior donde se realizan las actividades mineras de explotación de minerales. Sus características están en función del tamaño (ancho x alto) que le dan facilidades para los accesos de los trabajadores, los equipos de transporte para la extracción del mineral y/o los camiones.

Depósito de Relave o Relavera

Es el área ocupada por los materiales (de grano fino) sin valor, que se obtiene, como producto de los procesos de concentración de minerales, estos relaves se

han dispuesto en forma de pulpa, eliminando el agua después de la sedimentación de los sólidos. Su disposición exige generalmente la construcción de una presa de sostenimiento, la misma que por lo general se construye con el mismo material grueso que está contenido en la pulpa.

Socavón

Es la labor horizontal de ingreso a una mina subterránea.

Drenaje de Rocas Ácidas

El drenaje de roca ácida (DRA) es un proceso natural a través del cual el ácido sulfúrico se produce cuando los sulfatos de las rocas son expuestos al aire libre o al agua. El drenaje de la minería ácida (DAM) es esencialmente el mismo proceso, solo que magnificado. Cuando las grandes cantidades de roca que contienen minerales sulfatados, son excavadas en tajo abierto o en vetas en minas subterráneas, estos materiales reaccionan con el aire o con el agua para crear ácido sulfúrico. Cuando el agua alcanza cierto nivel de acidez, un tipo de bacteria común llamada "*Thiobacillus Ferroxidans*", puede aparecer acelerando los procesos de oxidación y acidificación, lixiviando aún más los residuos de metales de desecho.

El ácido lixiviará la roca mientras que la roca fuente este expuesta al aire y al agua. Este proceso continuará hasta que los sulfatos sean extraídos completamente; este es un proceso que puede durar cientos, o quizás miles de años. El ácido es transportado desde la mina por el agua, las lluvias o por corrientes superficiales, y posteriormente depositado en los estanques de agua, arroyos, ríos, lagos y mantos acuíferos cercanos. El DAM degrada severamente la calidad del agua y puede aniquilar la vida acuática, así como volver el agua prácticamente inservible.

Efluente

Desechos líquidos o gaseosos, tratados o no, generados por diversas actividades humanas que fluyen hacia sistemas colectores o directamente a los cuerpos receptores. Comúnmente se habla de efluentes refiriéndose a los desechos líquidos.

Muestreo

Es la actividad que consiste en coleccionar una muestra representativa, para fines de análisis y/o medición. Punto o estación de muestreo: Es el lugar predeterminado en un cuerpo receptor donde se colecciona una muestra.

Muestra

Es una o más porciones de un volumen o masa representativa definida, coleccionadas en cuerpos receptores de efluentes industriales, efluentes domésticos, redes de abastecimiento público, estaciones de tratamiento de aguas, etc., con el fin de determinar sus características físicas, químicas y/o biológicas.

Metal pesado

Metal de masa atómica relativa elevada, por ejemplo, el plomo. En la literatura sobre la contaminación del aire, el término ha sido utilizado de manera más amplia para incluir en él metales como el cobre y el zinc e incluso elementos, como el arsénico y que no son metales.

pH

Es el logaritmo de la recíproca de la concentración de ion hidrógeno en una sustancia o medio y que puede ser medida en un rango de 1-14, si su valor se encuentra entre 1-6 el pH es ácido, si se encuentra entre 8-14, su pH es básico.

La concentración del hidrógeno puede ser medida con un pH metro o papeles tornasol.