

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL**



TESIS:

Contaminación de las aguas del Río Chicama con metales pesados de Sb, Fe, Pb y Cu por los Efluentes de la “Minera Río Chicama”, distrito de Huancay - Trujillo, 2018 - 2019

Para optar el grado académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, MENCIÓN
GERENCIA DE PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE**

PRESENTADO POR:

Bach. Juan Mauro Felix INGARUCA YAURI

ASESOR:

Dr. Niversión Hugo GUTIÉRREZ OROZCO

AYACUCHO - PERÚ

2025

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mi familia, por todas las muestras de solidaridad y apoyo para poder obtener este nuevo logro, especialmente a la memoria de mis padres, quienes se esforzaron por ver a sus hijos desarrollados con educación y valores humanos.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecer a Dios por todas las bendiciones y estar siempre conmigo en todo momento a lo largo de mi vida, bendiciéndome y guiándome para hacer realidad este sueño anhelado.

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por acogerme y brindarme sus aulas para mi formación profesional.

A la Escuela de Postgrado que me permitió cumplir con una de mis metas académicas, a la Unidad de Maestría en Ciencias de la Ingeniería con mención en Gerencia de Proyectos y Media Ambiente, a su plana docente y a mis compañeros de aula por su apoyo incondicional.

A los docentes que contribuyeron en mi formación profesional, por ser portadores de sabiduría y conocimientos científico.

A mi asesor, Dr. N. Hugo Gutiérrez Orosco quien ha dedicado tiempo y esfuerzo en el asesoramiento del presente trabajo de investigación.

Al Ingeniero-Investigador Carlos Juan Astuvilca Huayta, por su apoyo como asesor externo en la estructuración y ejecución de la presente investigación. Gracias por su asesoría en el desarrollo de la presente tesis, así como, la consultoría en tópicos específicos de la misma.

RESUMEN

Presentamos la investigación intitulada inicialmente como «Contaminación de las aguas del Río Chicama con metales pesados de Sb, Fe, Pb y Cu por los Efluentes de la Minera Río Chicama, distrito de Huancayo - Trujillo, 2018-2019». Dicho título inicial en la etapa de ejecución de la investigación, con fines de mayor precisión fue reformulada en los términos siguientes «Contaminación del Río Huancayo con metales pesados disueltos en efluente de Minera Río Chicama, distrito de Marmot - Provincia de Gran Chimú, 2018-2019». La tesis tipo cuantitativa tuvo como objetivos: Caracterizar fisicoquímicamente y medir la concentración de metales pesados disueltos en las aguas del Río Huancayo y el efluente generado por la Minera Río Chicama. Luego de realizar el análisis de los parámetros característicos, parámetros fisicoquímicos y cantidad de metales pesados disueltos en las aguas objeto de evaluación, se encontraron los siguientes hallazgos: el efluente generado por la Minera Río Chicama, si contamina las aguas del río Huancayo pero a niveles permitidos; además, dicho efluente no altera las condiciones de cumplimiento de los ECA por parte de las aguas del río Huancayo, y, en el caso del arsénico, coadyuva su cumplimiento. En esa línea de ideas las conclusiones a las que se llegó permiten establecer que, las aguas del río Huancayo cumplen los Estándares de Calidad Ambiental – ECA; así también, las aguas del efluente de mina cumplen con los Límites Máximos Permisibles – LMP, para vertimientos minero-metalúrgicos.

Palabras clave: Contaminación, Estándares de Calidad Ambiental – ECA, Límites Máximos Permisibles - LMP, Metales Pesados, Parámetros Característicos, Parámetros Fisicoquímicos.

SUMARY

We present the research initially titled «Contamination of the waters of the Chicama River with heavy metals Sb, Fe, Pb and Cu by the Effluents of the Rio Chicama Mining Company, Huancay District - Trujillo, 2018-2019». This initial title in the research execution stage, for the purposes of greater precision, was reformulated in the following terms: «Contamination of the Huancay River with heavy metals dissolved in effluent from Minera Río Chicama, Marmot district - Gran Chimú Province, 2018-2019». This quantitative thesis had the following objectives: To physicochemically characterize and measure the concentration of heavy metals dissolved in the waters of the Huancay River and the effluent generated by the Rio Chicama Mining Company. After analyzing the characteristic parameters, physicochemical parameters, and the amount of heavy metals dissolved in the waters under evaluation, the following findings were made: The effluent generated by the Río Chicama Mining Company does contaminate the waters of the Huancay River, but at permitted levels. Furthermore, this effluent does not alter the conditions for compliance with the ECAs by the waters of the Huancay River, and, in the case of arsenic, it contributes to their compliance. Along these lines, the conclusions reached establish that the waters of the Huancay River meet the Environmental Quality Standards (ECA); likewise, the mine effluent waters meet the Maximum Permissible Limits (MPL) for mining and metallurgical discharges.

Key words: Contamination, Environmental Quality Standards - EQS, Maximum Permissible Limits - MPL, Heavy Metals, Characteristic Parameters, Physicochemical Parameters.

INDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
SUMARY.....	v
INDICE.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I ASPECTOS GENERALES.....	3
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	5
1.2.1. Problema general.....	5
1.2.2. Problemas específicos	5
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.3.1. Objetivo general	6
1.3.2. Objetivo específico	6
1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.4.1. Hipótesis general.....	6
1.4.2. Hipótesis secundarias	6
1.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....	6
1.5.1. Variable independiente	6
1.5.2. Variable dependiente	7
1.6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
1.6.1. Justificación teórica.....	8
1.6.2. Justificación práctica	8
1.7. IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
1.8. LIMITACIONES.....	10
CAPITULO II MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. ANTECEDENTES.....	11
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	11

2.1.2. Antecedentes nacionales.....	12
2.1.3. Antecedentes en la región	14
2.1.4. Antecedentes locales	16
2.2. BASES TEÓRICAS.....	17
2.2.1. Minería.....	17
2.2.1.1. Tipos de minería	17
2.2.1.2. Minería en el Perú	18
2.2.1.3. Minería en la cuenca del río Chicama.....	19
2.2.1.4. Minería en la provincia Gran Chimú.....	22
2.2.2. Metales pesados	24
2.2.3. Minería metálica y contaminación	24
2.2.3.1. Elementos contaminantes de la minería metálica	25
2.2.3.2. Contaminación por metales pesados.....	26
2.2.4. Minería y contaminación de aguas	28
2.2.4.1. Contaminación del agua por metales pesados.....	29
2.2.4.2. Indicadores de contaminación del agua por metales pesados	30
2.2.5. Contaminación de ríos por actividad minera en el Perú	31
2.2.5.1. Casos de contaminación de ríos por actividad minera.....	31
2.2.5.2. Contaminación de las aguas del río Huancay	32
2.3. BASES LEGALES.....	35
2.3.1. Límites Máximos Permisibles para el agua	36
2.3.2. Estándares de Calidad Ambiental para el agua	36
2.3.3. Diferencias entre ECA y LMP	37
CAPITULO III METODOLOGÍA.....	39
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	39
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	39
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	39
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	40
3.4.1. Población.....	40
3.4.2. Muestra.....	40
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	41
3.5.1. Técnicas	41
3.5.2. Instrumentos.....	41
3.6. PROCESO DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	41
3.7. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	42

3.8. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	43
3.9. ÁREA DE ESTUDIO	44
3.9.1. Ubicación del área de estudio.....	44
3.9.2. Ubicación política del área de estudio	46
3.9.2. Descripción hidrográfica del área de estudio	51
3.9.3. Descripción geológica del área de estudio	55
3.10. ESTACIONES DE MONITOREO	56
3.10.1. Estaciones de monitoreo del río Huancay	56
3.10.1.1. Ubicación de las estaciones de monitoreo	56
3.10.1.2. Caracterización de las estaciones de monitoreo.....	58
3.10.2. Estaciones de monitoreo de Bocamina	62
3.10.2.1. Ubicación de las estaciones de monitoreo	62
3.10.2.2. Caracterización de las estaciones de monitoreo	62
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
4.1. RESULTADOS	65
4.1.1. Datos recogidos en las estaciones de monitoreo del río Huancay	66
4.1.1.1. Primera recogida de datos	66
4.1.1.2. Segunda recogida de datos	67
4.1.2. Datos recogidos en las estaciones de monitoreo de Bocamina	69
4.1.2.1. Primera recogida de datos	69
4.1.2.2. Segunda recogida de datos	71
4.2. DISCUSIÓN	73
4.2.1. Evaluación de parámetros fisicoquímicos	74
4.2.1.1. Caudal.....	74
4.2.1.2. Temperatura	75
4.2.1.3. Potencial de Hidrógeno	75
4.2.1.4. Conductividad	79
4.2.1.5. Sólidos Disueltos Totales	79
4.2.1.6. Sólidos Suspendidos Totales	79
4.2.1.7. Sulfatos	80
4.2.2. Evaluación de la concentración de metales pesados	80
4.2.2.1. Presencia de Antimonio.....	81
4.2.2.2. Presencia de Arsénico (As)	81
4.2.3.3. Presencia de Hierro (Fe)	84
4.2.3.4. Presencia de Plomo (Pb).....	87

4.2.3.5. Presencia de Cobre (Cu)	91
4.2.3. Contaminación de aguas del río Huancay por aguas de Bocamina	94
4.3. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	99
4.3.1. Contrastación de hipótesis secundaria	101
4.3.2. Contrastación de hipótesis general	104
CONCLUSIONES	105
RECOMENDACIONES.....	107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108
ANEXOS	116
ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA REFORMULADA	116
ANEXO 2. PLANOS DEL ENTORNO EN ESTUDIO	118
ANEXO 3. FICHA TÉCNICA DEL ANÁLISIS DE LABORATORIO	128
Anexo 3.1. Ficha técnica para aguas de bocamina.....	128
Anexo 3.2. Ficha técnica para aguas de río Huancay.....	130
ANEXO 4. INSTRUMENTOS DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA EL AGUA	132
Anexo 4.1. Límites Máximos Permisibles	132
Anexo 4.2. Estándares de Calidad Ambiental	133
ANEXO 5. GALERIA DE FOTOS	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos específicos de los distritos de la provincia de Gran Chimú.	22
Tabla 2 Actividades mineras realizadas en los distritos de la provincia de Gran Chimú.	23
Tabla 3 Efectos en la salud humana de los metales pesados más contaminantes.	28
Tabla 4 Fuentes de aguas superficiales existentes en las subcuencas del río Chicama.....	34
Tabla 5 Marco normativo referido a Límites Máximos Permisibles – LMP, para efluentes mineros.....	36
Tabla 6 Marco normativo referido a Estándares de Calidad Ambiental – ECA, para el agua.	37
Tabla 7 Codificación asignada a los recipientes utilizados en el recojo de las muestras.	42
Tabla 8 Codificación asignada a los recipientes utilizados en el recojo de las muestras.....	49
Tabla 9 Subcuencas que conforman la cuenca Chicama.	52
Tabla 10 Microcuencas que conforman la subcuenca Huancay.....	53
Tabla 11 Ubicación de las estaciones de monitoreo del río Huancay.....	56
Tabla 12 Características de las aguas del río Huancay.	58
Tabla 13 Ubicación de las estaciones de monitoreo del efluente de Bocamina.....	62
Tabla 14 Primera toma de datos de parámetros característicos de las aguas del río Huancay.....	66
Tabla 15 Resultados de laboratorio de la primera toma de muestras en río Huancay.	67
Tabla 16 Segunda toma de datos de parámetros característicos de las aguas del río Huancay.....	68
Tabla 17 Resultados de laboratorio de la segunda toma de muestras en río Huancay.	69

Tabla 18 Primera toma de datos de parámetros característicos de las aguas de Bocamina.	70
Tabla 19 Resultados de laboratorio de la primera toma de muestras en Bocamina.	71
Tabla 20 Segunda toma de datos de parámetros característicos de las aguas de Bocamina.	72
Tabla 21 Resultados de laboratorio de la segunda toma de muestras en Bocamina.	73
Tabla 22 Cumplimiento de LMP y ECA en la estación de monitoreo más próximo aguas arriba de punto de vertimiento, EMRH-02.....	95
Tabla 23 Cumplimiento de LMP y ECA en estación de monitoreo más próximo aguas abajo de punto de vertimiento, EMRH-03.....	96
Tabla 24 Alteraciones de las aguas del río Huancay debido a efluente proveniente de Minera Chicama en temporada de estiaje.	98
Tabla 25 Alteraciones de las aguas del río Huancay debido a efluente proveniente de Minera Chicama en temporada de avenidas.	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de la cuenca del río Chicama y sus subcuencas.	33
Figura 2 Mapa de la Cuenca del Río Chicama.	40
Figura 3 Ruta de acceso al Proyecto Bumerang operado por la Compañía Minera Río Chicama – Caserío de Huancay, distrito de Marmot.....	45
Figura 4 Mapa de ubicación del distrito Marmot (Capital Compín) dentro de la Cuenca del Río Chicama.	47
Figura 5 Mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo.	57
Figura 6 Valores del pH en aguas del río Huancay y su relación con el LMP.	76
Figura 7 Valores del pH en aguas de Bocamina y su relación con el LMP.	77
Figura 8 Comparación entre el arsénico disuelto en aguas del Río Huancay y el LMP para dicho elemento.	82
Figura 9 Comparación entre el arsénico disuelto en aguas de Bocamina y el LMP para dicho elemento.	83
Figura 10 Comparación entre el hierro disuelto en aguas de Río Huancay y el LMP para dicho elemento.	85
Figura 11 Comparación entre el hierro disuelto en aguas de Bocamina y el LMP para dicho elemento.....	86
Figura 12 Comparación entre el plomo disuelto en aguas de Río Huancay y el LMP para dicho elemento.	88
Figura 13 Comparación entre el plomo disuelto en aguas de Bocamina y el LMP para dicho elemento.....	89
Figura 14 Comparación entre el cobre disuelto en aguas de Río Huancay y el LMP para dicho elemento.	92
Figura 15 Comparación entre el cobre disuelto en aguas de Bocamina y el LMP para dicho elemento.....	93

INTRODUCCIÓN

La definición de una mina puede ser amplia. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos – EPA, definió en 1982 una mina como "un área de terreno sobre o debajo de la superficie, donde los minerales o menas de metales son extraídos de los depósitos naturales de la tierra por diversos métodos, lo cual afecta el área total en el que se realizan las actividades o se altera la superficie del terreno natural" (Coelho y Teixeira 2011, p. 790). Las actividades mineras se realizan en cuatro pasos: exploración, explotación, procesamiento de minerales, y proceso metalúrgico; y además una fase posterior, importante por el tema ambiental, el cierre de mina. No obstante, es preciso señalar que en las diferentes etapas de las actividades mineras se generan residuos, emisiones y liberaciones con potencial de crear impactos en el medio ambiente y la salud (Coelho y Teixeira 2011, 790-792, Kitula 2006, 405).

La industria minera es un sector económico vital para muchos países, pero es también una de las actividades más peligrosas en el contexto ocupacional y ambiental (Bebbington y Williams 2008, 190, Coelho y Teixeira 2011, 790).

Por otro lado, el impacto negativo y acumulativo de las actividades mineras constituye un serio problema para la salud. La inadecuada disposición de relaves, aguas residuales y desmontes ha causado graves filtraciones de drenaje ácido y contaminación de cuerpos acuíferos, así como otros efectos negativos en la biodiversidad y los ecosistemas.

En el caso peruano, la industria minera está experimentando un boom desde mediados de la década de 1990, constituyéndose en una de las actividades económicas más importantes del país y su contribución al incremento del Producto Bruto Interno es destacado frecuentemente; pero, como se señaló en el párrafo anterior, dicha industria genera contaminación del medioambiente en el ámbito

acuícolas, el ámbito referido a las tierras, y, el ámbito aire; motivo por la cual se requiere su regulación y control.

En razón de lo expresado en los párrafos precedentes, el presente estudio se plantea como objetivo: Determinar los efectos que tuvo el efluente generado por la Minera Río Chicama en las características físico químicas y la concentración de metales pesados en las aguas del río Chicama, distrito de Marmot - Provincia de Gran Chimú, 2018-2019.

El contenido de la presente investigación está dividido en cuatro capítulos. Capítulo I: Aspectos generales, Planteamiento del Problema, Formulación del Problema, Hipótesis de la Investigación y Objetivos. Capítulo II: Marco teórico, y Antecedentes de la Investigación, Marco Conceptual, Capítulo III: Metodología, en el Capítulo IV: Resultados y discusión, contrastación de hipótesis. Con la investigación se dará a conocer la contaminación por metales pesados (Sb, As, Fe, Pb y Cu) de las aguas del Río Huancay.

Finalmente, destacamos que, inicialmente el proyecto de tesis fue aprobado con el título: «Contaminación de las aguas del Río Chicama con metales pesados de Sb, Fe, Pb y Cu por los Efluentes de la Minera Río Chicama, distrito de Huancay - Trujillo, 2018-2019»; en ese respecto es pertinente destacar que, si bien es cierto dicho título figura en portada, pero apelando al principio metodológico de dinamicidad de la investigación en su ejecución señalado por Torres (2018), el título fue modificado en forma para una mayor precisión y quedó expresado de la siguiente manera: «Contaminación del Río Huancay con metales pesados disueltos en efluente de Minera Río Chicama, distrito de Marmot - Provincia de Gran Chimú, 2018-2019». Fue en este último de los términos que la presente tesis fue reformulada y desarrollada. Dicho cambio no cambió el fondo de la investigación sino solamente la forma y esto, con fines de mayor precisión.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde hace varias décadas, el mundo viene afrontando una serie de problemas ecológicos, siendo la contaminación uno de los que causan mayor impacto a los diferentes organismos; por tal motivo se ha consensuado en definir a ésta como “el factor que causa la modificación de las características físicas, químicas y biológicas del ambiente” (Campos, 1990, p. 231).

En el ámbito peruano, en las últimas décadas la puesta en operación de muchos proyectos mineros, ha generado que las aguas contaminadas por relaves mineros se incrementen; y es que, los ríos, lagos, lagunas y el mar terminan siendo los receptores finales de las evacuaciones residuales provocadas por toda actividad humana, entre ellas la actividad minera (Real Instituto de Tecnología de Suecia, 1973; Southern Perú Cooper Corporation, 1986).

En la actualidad, en pleno siglo XXI, en el Perú se tiene conocimiento que, la contaminación de los recursos hídricos por parte de la actividad minera, es un problema que se viene presentando en todos los cursos de agua superficial que se encuentran dentro del ámbito de influencia de minas en operación, cierre, o en abandono; y, su efecto que es notorio tanto a escala distrital, provincial o regional; ha traído como consecuencia no solamente el deterioro de la calidad de las aguas sino también la afectación de otros entornos, por ejemplo, la desaparición de especies hidrobiológicas.

Se calcula que el 86% de los vertimientos domésticos y otros, no reciben ningún tipo de tratamiento y aproximadamente 20 millones de m³ de estas descargas desembocan en el mar. En la costa peruana, 16 de los 53 ríos que

lo cruzan transversalmente se encuentran contaminados con diversos tipos de vertimientos de efluentes mineros, industriales y domésticos. De estos el río Rímac la principal fuente de agua de Lima es la más contaminada por la elevada cantidad de residuos de metales pesados, principalmente plomo, hierro y manganeso que comprometen a toda la cuenca. (Bérnex, 2004, p.2).

En el contexto acabado de describir, Arévalo (2008) citando a la Confederación Nacional de Comunidades del Perú Afectadas por la Minería – CONACAMI, brinda algunos datos alarmantes que se presentan a continuación:

- Los ríos Rímac, Chillón y Lurín, en Lima, se consideran entre los más contaminados del mundo. Presentan una alta contaminación por desechos industriales y urbanos que contienen sustancias peligrosas como plomo, cianuro y nitratos.
- El río Marañón en Loreto arrastra en sus aguas residuos de metales pesados, provenientes de las actividades de extracción petrolera.
- El río Huallaga está contaminado con diversas sustancias, incluyendo desechos urbanos y productos químicos utilizados en el procesamiento de la cocaína, como ácido sulfúrico y queroseno. Además, el río contiene cobre y nitratos.
- Los ríos de la costa peruana, como el Chira, Piura, Chancay y Moche, sufren la contaminación por aguas servidas y residuos sólidos, incluyendo aquellos provenientes de hospitales. Esta contaminación es causada por el vertimiento directo de aguas residuales y residuos sin tratamiento, así como por la actividad industrial y minera en la región.

Por otro lado, ya en el contexto regional enmarcado en el departamento de La Libertad - Perú, se tiene que, desde hace buen tiempo atrás varios investigadores han realizado estudios sobre el impacto de los relaves mineros sobre las aguas, suelos y cultivos; por ejemplo, en la última década del siglo pasado León (1992) evaluó los efectos de los metales pesados sobre la calidad del agua del Río Moche; también, Sotelo y Palomino (1995), evaluaron el deterioro del ecosistema del Río Moche por la actividad minera, determinando que el metal de mayor acumulación era el hierro con 720 ppm; asimismo, Cisneros (1996) determinó los niveles de metales pesados en los Ríos Pagash y Moche, reportando 113.2 ppm de hierro, nivel elevado para agua de riego que incumple los Estándares de Calidad del Agua - ECA.

Asimismo, en el contexto local, enmarcado dentro de la zona de influencia de actividades mineras realizadas por la Compañía Minera Río Chicama S.A.C., se tiene que, los impactos negativos ocasionados por la contaminación con la presencia de metales pesados en las aguas de mina, así como los beneficiarios previstos, en mayor proporción corresponden a los centros poblados ribereños del Río Chicama y afluentes. Sin embargo, como se trata de vertimiento de efluentes líquidos con metales pesados, el mayor daño que ocasionará sería a la salud de la población del caserío de Huancay y áreas de influencia.

En concordancia con lo señalado en los párrafos precedentes y partiendo del supuesto planteado en el último de ellos es que, consideramos necesario investigar acerca de los efectos que tiene el vertimiento del efluente minero proveniente de la Unidad Minera Bumerang la cual es operada por la «Empresa Minera Río Chicama». Dicha unidad minera se encuentra ubicada en el caserío de Huancay, distrito de Marmot, provincia de Gran Chimú, departamento de La Libertad; en la contaminación de las aguas del río Chicama. En esa línea de ideas y con el fin de determinar los efectos en la contaminación de las aguas del río Huancay que tiene el efluente o aguas de bocamina generado en la unidad minera en cuestión por la «Empresa Minera Río Chicama» o simplemente «Minera Río Chicama»; se tendrá en cuenta determinar dichos efectos tanto en términos de las características físico químicas como de la concentración de metales pesados en dichas aguas.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1. Problema general

¿Cuáles fueron los efectos que tuvo el efluente de Minera Río Chicama en las características físico químicas y la concentración de metales pesados en el río Huancay, distrito de Marmot - Provincia de Gran Chimú, 2018-2019?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Qué características físico químicas tenían las aguas del río Huancay y el efluente generado por la Minera Río Chicama, distrito de Marmot - Provincia de Gran Chimú, 2018-2019?
- b) ¿Qué niveles de concentración de metales pesados disueltos tenían las aguas del río Huancay y el efluente generado por la Minera Río Chicama, distrito de Marmot - Provincia de Gran Chimú, 2018-2019?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Determinar los efectos que tuvo el efluente generado por la Minera Río Chicama en las características físico químicas y la concentración de metales pesados en las aguas del río Huancay, distrito de Marmot - Provincia de Gran Chimú, 2018-2019.

1.3.2. Objetivo específico

- a) Caracterizar fisicoquímicamente las aguas del río Huancay y el efluente generado por la Minera Río Chicama.
- b) Medir la concentración de metales pesados disueltos en las aguas del Río Huancay y el efluente generado por la Minera Río Chicama.

1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Hipótesis general

La alteración de las características fisicoquímicas y la concentración de metales pesados debido al efluente generado por la Minera Río Chicama contribuye con la contaminación de las aguas del Río Huancay, distrito de Marmot - Provincia de Gran Chimú, 2018-2019.

1.4.2. Hipótesis secundarias

- a) Los parámetros fisicoquímicos de las aguas del río Huancay y el efluente generado por Minera Río Chicama, exceden los Límites Máximo Permisibles y no cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua.
- b) La concentración de metales pesados disueltos, en las aguas del río Huancay y el efluente generado por Minera Río Chicama, exceden los Límites Máximo Permisibles y no cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental.

1.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

1.5.1. Variable independiente

Características del efluente proveniente de la Minera Río Chicama o aguas de Bocamina.

La variable independiente aglutina a las dimensiones e indicadores que se detallan a continuación.

- **Parámetros fisicoquímicos de las aguas de bocamina.**

Indicadores:

- Caudal (m³/s).
- Temperatura (°C).
- Potencial de Hidrógeno (pH).
- Conductividad (μS/cm).
- Sólidos Disueltos Totales - SDT (mg/L).
- Sólidos Suspendedos Totales - SST (mg/L).
- Sulfatos (mg/L).

- **Concentración de metales pesados disueltos en aguas de bocamina.**

Indicadores:

- Antimonio – Sb (mg/L).
- Hierro – Fe (mg/L).
- Plomo - Pb (mg/L).
- Cobre – Cu (mg/L).
- Arsénico – As (mg/L).

1.5.2. Variable dependiente

Características de las aguas del río Huancay.

La variable dependiente aglutina a las dimensiones e indicadores que se detallan a continuación.

- **Parámetros fisicoquímicos de las aguas del río Huancay.**

Indicadores:

- Caudal (m³/s).
- Temperatura (°C).
- Potencial de Hidrógeno (pH).

- Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$).
 - Sólidos Disueltos Totales - SDT (mg/L).
 - Sólidos Suspendedos Totales - SST (mg/L).
 - Sulfatos (mg/L).
- **Concentración de metales pesados disueltos en aguas del río Huancay.**

Indicadores:

- Antimonio – Sb (mg/L).
- Hierro – Fe (mg/L).
- Plomo - Pb (mg/L).
- Cobre – Cu (mg/L).
- Arsénico – As (mg/L).

1.6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. Justificación teórica

Desde una perspectiva teórica la presente investigación encontró su justificación en el hecho que, a través de ella se contribuye con el desarrollo del cuerpo teórico relacionado con la contaminación de los ríos con metales pesados disueltos en los efluentes mineros y la alteración de las características fisicoquímicas de las aguas de los ríos debido al vertimiento de aguas residuales provenientes de las actividades mineras. Todo lo anterior con el propósito, que se presupone como necesario, de contribuir con la sistematización de la relación existente entre las variables de estudio, vale decir, las características del agente contaminante, efluente proveniente de actividades mineras; y, la alteración de las características de las aguas del cuerpo receptor, para nuestro caso el río Huancay.

1.6.2. Justificación práctica

Desde una perspectiva práctica la presente investigación encontró su justificación en el sentido de que esta será una contribución que permitirá poder determinar las características fisicoquímicas, del efluente procedente de Bocamina de la minera Río Chicama y de esta manera, poder observar si el efluente de Bocamina es un causante en la variación del nivel de concentración de los metales pesados disueltos en las

aguas del Río Huancay; en ese respecto es pertinente recalcar lo señalado tanto por Chiang (1989) quien con respecto a los metales pesados y algunos reactivos químicos utilizados en las plantas de tratamiento de minerales señala “el Plomo - Pb, Hierro - Fe, Cobre - Cu, Zinc - Zn, Arsénico - As, Cromo - Cr, Cadmio -Cd, Magnesio - Mg, [...], en el corto plazo no se degradan, biológica ni químicamente en la naturaleza; por lo que son considerados tóxicos para la mayor parte de organismos” (p. 206); y también, lo señalado por Campos (1990) quien sostiene que, “los compuestos que contienen metales pesados, se pueden alterar, pero los elementos metálicos permanecen en el ambiente, pudiendo ser acumulados como iones o como integrantes de compuestos orgánicos en los organismos por largos períodos de tiempo” (p. 231).

Además, es pertinente recalcar que, los resultados obtenidos a través de la presente investigación se pueden tomar como referente en los programas de mantenimiento y preservación de la salud y el ambiente, principalmente en el caserío de Huancay, distrito de Marmot, provincia de Gran Chimú; y también a lo largo de la cuenca aguas abajo de dicho caserío.

1.7. IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación es importante ya que, al tener como objetivo principal determinar el efecto que ocasiona el efluente que proviene del interior de la mina, generada por las operaciones de la minera Río Chicama y cómo influyen en las características físico químicas y la concentración de metales pesados en las aguas del río en mención; conllevó a que, presumiendo que las aguas de la mina en cuestión contaminan al río Huancay, se realizaron la toma de muestras de agua tanto de dicho río, como también del efluente que provienen de las actividades de la minera Río Chicama, efluente de Bocamina. El monitoreo y la toma de muestras tanto de las aguas del Río Huancay como de la Bocamina, se realizaron para poder concluir si el efluente de mina al llegar al río tiene efectos contaminantes y si este resulta siendo perjudiciales para las actividades agrícolas desarrolladas en el valle por los pobladores.

También es importante la presente investigación en el sentido que, la minería actual ha logrado como valor de identidad el cuidado del medio ambiente, y para mitigar los problemas ambientales que generan las actividades mineras de exploración, explotación y extracción, está buscando aplicar técnicas de control y evitar contaminar el agua, aire, suelo, flora y migración de faunas, para ello se debe dar

cumplimiento a la Legislación Vigente de Normas y Reglamento aplicados en todos los sectores gubernamentales, públicos y privados, con la finalidad de evitar la contaminación.

Sin embargo, dado que, la minería es compleja y diversa, en la mayoría de los proyectos de explotación, a pesar de tomar en cuenta las técnicas modernas, siempre se van a tener cambios en la biodiversidad, entre estos cambios más resaltantes esta la generación de aguas acidas, producto de la erosión de los suelos, causando cambios en los ambientes o ecosistemas donde son vertidas, o discurren grandes volúmenes que en razón de afluentes de agua no se puedan controlar, por ejemplo en épocas de lluvia; causando contaminación y muerte de recursos hidrobiológicos existentes en el agua y flora. No estando acorde a lo descrito en la Ley General del Ambiente - Ley 28611, donde prima en sus principales artículos, la protección a la salud, a los ambientes ecológicos y las especies propias del lugar donde se tenga que desarrollar un proyecto o ejecutar cambios, fruto de actividades por necesidad de desarrollo de actividades.

1.8. LIMITACIONES

La presente investigación se circunscribe solamente a la contaminación en la zona en estudio, zona de influencia de la Compañía Minera Río Chicama; y, tiene que ver con las consecuencias de la actividad minera de explotación la cual tiene deficiencias en el manejo de efluentes líquidos y aguas provenientes de la perforación, y de la lixiviación de minerales ferrosos. Dichas deficiencias pueden estar poniendo en riesgo la salud de la población ribereña.

Asimismo, los objetivos del presente trabajo de investigación, se limitaron a determinar el efecto que ocasiona el efluente de bocamina generada por la Minera Río Chicama en las características físico químicas y la concentración de los siguientes metales pesados: Antimonio – Sb, Hierro – Fe, Plomo – Pb, Cobre – Cu, y, Arsénico – As.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Antecedentes internacionales

De la Cruz et al. (2024) desarrollaron una investigación cuyo objetivo fundamental fue llevar a cabo un análisis comparativo de los niveles físico-químicos de contaminación en el río Ozama empleando la técnica de fluorescencia de rayos X, durante el período de 2012 a 2024. Dicho estudio estuvo enmarcado dentro del enfoque cuantitativo, lo que facilitó la realización de cálculos y tratamientos numéricos requeridos en su avance; y, el análisis fue de carácter explicativo, descriptivo y correlacional. En los resultados resaltan la existencia de 17 elementos químicos junto con restos humanos; la utilización de la correlación de Pearson proporcionó un valor de 0,87, lo que sugiere un elevado grado de asociación entre las mediciones realizadas en 2012 y 2024, respectivamente. La cantidad de aluminio fue de 49,802 y de silicio 312,808 ppm, respectivamente. En las conclusiones se enfatiza que los índices de contaminación de las aguas del río Ozama son significativos, lo que impacta directamente a los ecosistemas de sus corrientes, poniendo en peligro a los habitantes de sus orillas.

Gaete et al. (2007) en el artículo titulado «Metales pesados y toxicidad de aguas del Río Aconcagua en Chile», presentan los resultados de un estudio referido a la toxicidad de las aguas superficiales en una zona con actividad minera en el río Aconcagua de Chile. Los autores determinaron mediante bioensayos de inhibición del crecimiento del micro alga *Pseudokirchneriella subcapitata* y se correlacionó con las concentraciones de metales pesados. Los resultados presentados por los autores en mención muestran que, las aguas cercanas a la descarga del efluente minero

presentaron toxicidad durante todos los períodos de estudio; la concentración de molibdeno y cobre superó los estándares de calidad del agua.

Encabo et al. (1997), en el artículo titulado «Evaluación de la Dispersión de Metales pesados en suelos alrededor de una mina mediante el método de Especiación Secuencial Química», realizan un análisis de especiación química secuencial de Cu, Cd, Cr, Ni, y Pb en suelos de un área cerca de una mina de calcopirita cerrada, mina Fernandito, ubicada al sur de Garganta de los Montes y norte del monte El Reajo, provincia de Madrid. En dicho estudio se señala que, como resultado del estudio se observa la tendencia de asociación del Cu con la materia orgánica y/o sulfuros en formas amorfas, mientras que el cobre que forma parte del sulfuro mineral original de la mineralización y es transportado por dispersión mecánica se encuentra en la fracción residual. El Cd y Pb muestran formas de mayor disponibilidad en los suelos situados en las áreas de mayor oxidación, próximas a la escombrera. Ni y Cr se presentan principalmente en la fracción residual.

2.1.2. Antecedentes nacionales.

Aronés (2011) en la tesis titulada «Evaluación de la contaminación por cromo en el río Alameda de la Provincia de Huamanga» sostiene que, el río Alameda actúa como receptor de varios efluentes y que, uno de los principales generadores de aguas residuales y desechos sólidos son las curtiembres ubicadas en la Ciudad de Ayacucho, donde el cromo se destaca como uno de los contaminantes más peligrosos. En ese contexto el autor en citación se planteó establecer el grado de contaminación del río Alameda en Ayacucho debido a la presencia de cromo, especialmente durante la temporada de sequía. Para dicho cometido planteado, se propuso medir la concentración de cromo en las aguas del río Alameda y analizar su relación con los límites máximos permitidos según los estándares de calidad del agua tanto nacionales como internacionales. El tipo de la investigación es descriptivo y a largo plazo. Se recolectaron muestras en 04 puntos de monitoreo de agua, en cada día de muestreo, a lo largo del río Alameda. Igualmente, se estableció un punto de muestreo en la salida de las aguas tratadas de la Planta de Tratamiento la Totorá. Cada punto de control fue georreferenciado utilizando un GPS (Sistema de Posicionamiento Global). Las tomas de muestras se realizaron en los años 2008 y 2009, en ese escenario el autor presentó los siguientes resultados: La mayor concentración de cromo en el río Alameda durante la época seca en 2008 fue de 0,0275 mg/L, mientras que la mínima fue de 0,0010 mg/L; en 2009, el máximo

alcanzó 0,0192 mg/L y la mínima fue de 0,0003 mg/L; además, con la llegada de las lluvias, la concentración de cromo disminuye, registrándose un máximo de 0,000~ mg/L; por otro lado, en el efluente de las aguas de la Planta de Tratamiento - PTAR Totorá, la concentración más alta de cromo fue de 0,0340 mg/L y la más baja de 0,0039 mg/L durante la época seca; asimismo, la concentración máxima de cromo en el río Alameda se observó en la estación de muestreo RA-04, alcanzando 0,01217 mg/L, mientras que la mínima se registró en la estación RA-01, con un valor de 0,00314 mg/L, durante la época de estiaje.

Chira (2010) en la tesis titulada «Especiación Química Secuencial de metales pesados en la cuenca del Río Torres-Vizcarra, departamento de Ancash» cuyo objetivo fue, dar a conocer los niveles de dispersión de los metales pesados en la cuenca de estudio, así como conocer los niveles de abundancia de los metales pesados. con la metodología de especiación química secuencial, a fin de determinar el impacto generado por la minería; presenta los siguientes hallazgos: los resultados de especiación química muestran que las fracciones de los metales están asociadas principalmente a los óxidos de hierro y manganeso hidratados y a la materia orgánica, junto a la fracción residual, de modo que las fracciones Los niveles de biodisponibilidad son bastante bajos, lo que implica que no hay un efecto adverso en el ciclo de vida en la cuenca superior de los ríos Torres - Vizcarra. Al vincular la cantidad total de metal y el contenido remanente de una muestra se obtiene un factor llamado movilidad relativa, que ha podido ser determinado para los elementos clave, subrayando el cobre, plomo, zinc y cadmio por su muy alta movilidad, mientras que en el cromo y el vanadio es baja.

Jara (2003) realizó el estudio distribución de metales pesados en agua y sedimentos, sus efectos sobre la vida acuática en la cuenca superior del Río Santa. En ese respecto la autora, teniendo en cuenta que, el agua es un recurso natural fundamental para el desarrollo de la vida en todas sus formas, siendo muy valiosa para la mayoría de los procesos productivos, repasa en que, también este es un recurso finito y que, en la parte alta de la cuenca del Santa la cual abarca el río desde su origen por deshielo en las elevadas cumbres de la Cordillera Blanca en la quebrada de Tuco hasta Recuay, está siendo afectada por la actividad minera, principalmente de la pequeña y micro minería situada en dos zonas específicas: la Cordillera Blanca en las cabeceras de los ríos Tuco y Shiqui, y en la Cordillera Negra con un mayor número de denuncias mineras que se encuentran en las alturas de los distritos de Recuay y Ticapampa. En ese sentido es que, las técnicas utilizadas para

evaluar la presencia de metales de acuerdo con la salubridad acuática del Río consistieron en: Análisis de la tendencia longitudinal de la calidad del agua; extracciones químicas secuenciales en sedimentos y relaves; estudio biológico de las comunidades acuáticas del Fitoplancton, Perifiton y vegetación acuática; y, examen químico de metales pesados y arsénico en las comunidades acuáticas del Perifiton y en plantas acuáticas. Entre las conclusiones a las que llegó la autora en mención destacan: la cuenca superior del Río Santa y en los tramos afectados por la minería, están presentes niveles elevados de arsénico y metales pesados, tanto en la columna de agua como en los sedimentos; además, si bien los criterios de calidad de vida acuática crónica no fueron excedidos en la mayoría de los sitios principales de muestreo, las comunidades del fitoplancton y perifiton fueron deteriorados.

2.1.3. Antecedentes en la región

Flores (2016) en la tesis titulada «Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas del río Grande y su relación con la actividad minera» destaca que, la minería en Cajamarca data más de 500 años, es por ello que en gran parte de la región existen pasivos ambientales, y que, si bien hoy constituyen vestigios de la antigua minería, en su momento fueron considerados como una tecnología moderna. Dicho autor muestra que, de las 45 muestras tomadas de botaderos de desmonte y depósitos de relaves en la provincia de Hualgayoc, el 73% tiene potencial para seguir generando acidez y disolver metales; el 11% es neutro respecto a la generación de acidez o basicidad, y el 16% posee capacidad para crear soluciones con pH básico. Se produce la generación de metales en disolución; algunos con niveles superiores a los LMP. La producción de Cd (0,40 ppm), Fe (148 ppm), Pb (4 ppm), Mn (83,22 ppm), Zn (90,08 ppm) y sulfatos (1940 ppm) debe ser objeto de atención. La concentración podría aumentar y el pH (2,56) podría bajar con el tiempo; asimismo encontró que, los botaderos de desmonte de mina más contaminados son: Las Negras y quebrada Honda, con mayor capacidad de generación de aguas ácidas y de disolución de metales. De 14 botaderos analizados, 9 son altamente ácidos, dos moderadamente ácidos, 2 ligeramente ácidos y 1 es neutro. Siete de los ocho depósitos de relaves se clasifican como altamente ácidos. Estos son los más peligrosos por la generación de acidez, el pH que es muy bajo.

Echave et al. (2009) en un contexto referenciado al área de influencia de la Minera Yanacocha señalan que, dentro de los casos más resaltantes de contaminación provocados por dicha minera destacan: noviembre de 1993, derrame de sustancias

químicas en campos de exploración en el Quilish; setiembre de 1998, se detecta en la quebrada Encajón, altas concentraciones de metales pesados en aguas que abastecen la planta El Milagro; diciembre de 1998, relaves mineros de Sipán sobre el Río Llapino en las provincias de San Pablo y San Miguel, causando muerte de peces en 20 km del Río Llapino; y, marzo 2001, presencia de metales pesados en Río Grande y pH ácido en aguas que abastecen Cajamarca específicamente en Puruay, conllevando la muerte de truchas en Río Grande y piscigranja de la Posada del Puruay, a 4 km de la ciudad de Cajamarca.

Asesores Técnicos Asociados S.A. (2005) en la publicación titulada «Cuenca Binacional Catamayo-Chira: Caracterización Hídrica y Adecuación entre la Oferta y la Demanda Caracterización Territorial y Documentación Básica», desarrollado en el marco del Proyecto Binacional Catamayo–Chira, en el acápite que corresponde a la Contaminación del agua, suelo y aire, se realiza una breve descripción cualitativa, respecto de la contaminación de los medios físicos tales como aire, agua y suelo, destacando mayormente la contaminación relacionada a las aguas servidas provenientes de los desagües que van directamente a los ríos, así mismo destacan que la Cuenca Catamayo-Chira no cuenta con ningún programa de gestión ambiental.

Atkins et al. (2005), sostiene que de 675 muestras de agua recolectadas en la cuenca Porcón entre Julio de 2004 y agosto de 2005, la calidad de agua cumple con los estándares Clase II de la Ley General de Aguas. En la parte alta del Río Grande ocasionalmente excedían las Guías Internacionales para agua potable en Cadmio (Cd) y Plomo (Pb). Estos contaminantes son removidos en la planta de tratamiento de El Milagro y la calidad del agua que llega a la ciudad de Cajamarca cumple con las Guías Internacionales. En un estudio sobre la relación entre la calidad del agua y la dinámica poblacional del fitoplancton de los Ríos Grande, Porcón y Mashcón realizado por Plasencia (2010), donde se evaluaron metales pesados como: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Plomo (Pb) y Cromo (Cr), se determinó en un primer muestreo que los valores de As, Cd y Pb sobrepasaron los ECAs para aguas de tipo A1 y A2, As= 0,01 mg L⁻¹, Cr= 0,05 mg L⁻¹, Cd= 0,003 mg L⁻¹, Pb= 0,01 mg L⁻¹. Con relación a la turbiedad se determinaron valores por debajo de los ECAs para tipo A1: > = 6 mg L⁻¹ y para tipo A2: > = 5 mg L⁻¹; quedando establecido que existe una relación entre la contaminación de los ecosistemas acuáticos de estos ríos y las actividades domésticas, agrícolas, pecuarias, mineras, artesanales y la respuesta de

los diferentes componentes biológicos de las comunidades acuáticas como el fitoplancton, considerando sus efectos negativos en su dinámica poblacional.

Deza (2002) encontró que, tanto, comunidades rurales como urbanas están preocupadas por la calidad y cantidad de agua asociados con la mina. Aproximadamente 30 000 personas viven en zonas rurales dentro del área que rodea el distrito minero, numerosos canales de irrigación transportan agua para uso agrícola y doméstico, y algunos de éstos se originan en propiedad de la mina. El agua en los canales es usada para irrigación, lavado y bebida de ganado, podría ser usada como fuente de agua potable por algunos pobladores; asimismo, con la minería llamada moderna, a nivel local existen varias evidencias sobre la contaminación del agua proveniente del área de operaciones de minera Yanacocha, en ese respecto el autor señala que la empresa SEDACAJ ha incrementado desde el tercer año de inicio de las operaciones mineras, los costos de tratamiento del agua de la planta El Milagro, debido a la presencia de metales pesados, cuyos costos han sido cargados a los usuarios. El mismo autor sostiene que esta empresa ha eliminado los peces y sapos de varios ríos de su influencia como Tinte-Rejo, Grande y Porcón; ha contaminado poblaciones enteras en San Juan, Choropampa, Magdalena y Tembladera, sea con Arsénico (As), Mercurio (Hg), hidrolina o petróleo.

2.1.4. Antecedentes locales

La consulta de antecedentes locales dio como resultado que, al año 2024 no existían estudios de contaminación por metales pesados en Río Huancay; sin embargo, se pudo tener acceso a investigaciones y reportes relacionados con aspectos funcionales de la Compañía Minera Río Chicama así tenemos: El reporte de la visita técnica a la Compañía Minera Río Chicama dirigida por Gayoso (2016) la cual tuvo por objetivo “observar los aspectos geológicos (estratos, plegamientos, meteorización, etc.) en el transcurso del viaje hacia la compañía [...] determinar las características principales de la zona estudiada [... y,] con la información adquirida establecer las condiciones geológicas del lugar [...]” (p.5); la tesis desarrollada por Guevara (2019) la cual lleva por título «Influencia de la estimación diaria de los costos de producción en el control de recursos en la Unidad Bumerang en Minera Río Chicama S.A.C.»; y, la tesis desarrollada por Velásquez (2018) que tuvo por objetivo “realizar un estudio de factibilidad económica que permita seleccionar el método de extracción de mineral sustentable en el proyecto de profundización de la Compañía Minera Río Chicama – Unidad Bumerang,” (p. 17).

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Minería

Es toda actividad productiva realizada en la mina. Una mina puede ser concebida de una manera amplia y variada; por ejemplo, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos – EPA, por sus siglas en inglés, define una mina como aquella "área de terreno sobre o debajo de la superficie, donde los minerales o menas de metales son extraídos de los depósitos naturales de la tierra por diversos métodos, lo cual afecta el área total en el que se realizan las actividades o se altera la superficie del terreno natural" (Coelho y Teixeira 2011, 790); por su parte, Herrera (2017) define una mina como "el conjunto de excavaciones y labores necesarias para explotar un yacimiento y conseguir la extracción de minerales útiles, incluyéndose en el conjunto las plantas necesarias para el tratamiento del mineral extraído" (p. 1).

Dado que, en su acepción más general se concibe a la minería como toda actividad productiva realizada en la mina, y que esta última, muchas veces es tomada en una acepción amplia y generalizada, a veces la minería es definida como:

[...] la actividad industrial que permite la extracción y obtención selectiva de aquellas sustancias minerales sólidas (minerales, combustibles y otras fuentes energéticas), líquidas (como el petróleo) o gaseosas (como el gas natural), existentes en la corteza terrestre para su transformación en materias primas también minerales y/o productos energéticos que permitan cubrir las necesidades de abastecimiento de materiales adecuados para el desarrollo de las sociedades humanas. (Herrera, 2017, p.1).

Asimismo, referido a la minería como objeto económico, vale decir, en un contexto de industria minera, se tiene que, la realización de esta actividad forma parte de las actividades orientadas a la importación y exportación; consecuentemente, constituye "un sector económico vital para muchos países, pero es también una de las actividades más peligrosas en el contexto ocupacional y ambiental" (Bebbington y Williams, 2008, p.190; Coelho y Teixeira, 2011, p.790).

2.2.1.1. Tipos de minería

Con respecto a los tipos de minería, es común diferenciarlos en metálica y no metálica. Un producto representativo de la minería no metálica es el Cianuro. Dicho producto a diferencia de muchos otros químicos que son dañinos para el medio

ambiente, no se bioacumula, es decir, no se acumula en los tejidos animales. Según Cornejo (2003) el Cianuro, por lo general, no se considera que cause mutaciones ni que sea un agente cancerígeno; y es que, la mayoría del cianuro ingerido en los alimentos contiene pequeñas cantidades las cuales se descomponen naturalmente, y sólo es mortífero cuando se consume una dosis letal; además, el cianuro se descompone al estar expuesto a la luz del sol o a condiciones de pH neutral.

Por otro lado, independientemente de la tipificación entre minería metálica y no metálica, se tiene que, las actividades productivas realizadas en una mina las cuales pueden ser llamadas simplemente actividades mineras, se puede colegir que, dichas actividades se realizan en cuatro etapas: exploración, explotación, procesamiento de minerales, y proceso metalúrgico; y además una fase posterior, importante por el tema ambiental, el cierre de mina. No obstante, es preciso señalar que en las diferentes etapas de las actividades mineras se generan residuos, emisiones y liberaciones con potencial de crear impactos en el medio ambiente y la salud (Coelho y Teixeira, 2011; Kitula 2006).

2.2.1.2. Minería en el Perú

En el caso del contexto económico de la actividad minera en el Perú se tiene que, “la industria minera está experimentando un boom desde mediados de la década de 1990” (Gil, 2009, p. 53). Perú ocupa un lugar destacado en la producción minera global, ya que se encuentra entre los principales países que producen plata, cobre, zinc, estaño, plomo y oro; y, dicha producción sigue en aumento, en efecto, en febrero del año 2022 “la minería metálica registró [...] un aumento por la mayor producción de zinc en 8.59%; hierro, 41.17%; cobre, 0.67%; plata, 2.02%; plomo, 5.75%, y estaño, 5.87%” (Cruz, 2022).

Con respecto al impacto medioambiental de la actividad minera se tiene que, en el Perú al igual que en el mundo entero, la actividad minera tiene impacto en el medioambiente; es por ello que resulta imprescindible realizar actividades orientadas a preservar los ecosistemas, en los que numerosas especies son cruciales económicamente, culturalmente e industrialmente, y que a menudo son estratégicas para el avance y desarrollo de comunidades afectadas directa o indirectamente; por ejemplo, para el vertido de aguas ácidas durante y tras las actividades mineras, el tratamiento de dichas aguas es una necesidad en los entornos directos e indirectos donde se lleva a cabo tanto la actividad extractiva, minería, o la actividad transformadora que le subsigue, la actividad metalúrgica.

En concordancia con lo señalado en el párrafo anterior se tiene que, resultan siendo cruciales que se formulen propuestas que ayuden a optimizar el tratamiento de aguas ácidas derivadas de los drenajes ácidos de la minería. Los tratamientos actuales de aguas ácidas utilizan productos químicos y otros compuestos inorgánicos, que a menudo son difíciles de degradar y/o asimilar debido a sus reacciones, lo cual perjudica los ecosistemas a los que se vierten de manera irresponsable o por factores ambientales complicados de manejar. No obstante, los estudios científicos llevados a cabo sobre aguas ácidas provenientes de mineras buscan aportar al desarrollo industrial sostenible y sustentable en las áreas donde se genera dicha producción de aguas ácidas, logrando escaso éxito.

Pero, a pesar de lo antes señalado se tiene que, la actividad económica como una rutina diaria y amplia en las empresas mineras no consideran alterar los cambios; siempre que los costos no excedan los objetivos de inversión planificados. Por esta razón, la conciencia ecológica se ve influenciada, no solo por su conexión con el ámbito económico financiero; sino que también existe un fuerte vínculo a través de la legislación; donde se deben asumir responsabilidades cruciales dentro de los límites en la normativa. Es por ello que deben destacar las funciones de las entidades ambientales, consultores de nuevas transformaciones y las sugerencias para cuidar el medio ambiente.

2.2.1.3. Minería en la cuenca del río Chicama

La cuenca del río Chicama se extiende cubriendo parte de los departamentos de Cajamarca y La Libertad. Con una extensión de 4 814.30 Km² (Autoridad Nacional del Agua, 2003), la cuenca del río Chicama contiene en parte o totalmente a provincias y/o distritos cajamarquinos y liberteños.

La presencia de actividad minera desarrollada en la cuenca del río Chicama es como sigue:

a.- Minería no metálica: En la cuenca del río Chicama se puede encontrar una gran variedad de depósitos no metálicos, conformado principalmente por carbón; arcillas refractarias; arcillas comunes; calizas; materiales de construcción, por ejemplo, arenas, piedras, gravas; materiales de ornamentación, por ejemplo, epsomita y yeso; etc. De todos los minerales no metálicos antes mencionados, por su valor económico y de uso, destaca el carbón el cual se presenta en dos lugares puntuales de la cuenca "Huancay y Lucma Capachique, los que en conjunto forman la denominada región

carbonífera del alto Chicama cuya extensión abarca desde el río Chuquillanqui, en el límite de los departamentos de Cajamarca y La Libertad hasta el extremo sur oriental de la cuenca” (Universidad Nacional de Ingeniería., 2000, p.32).

b.- Depósitos metálicos: Generalmente, los depósitos son filonianos, originados por soluciones hidrotermales procedentes de magmas intermedios y/o ácidos. El depósito de hierro de Cascas corresponde al tipo de inyección magmática. Las especies minerales son: cobre (tetraedrita), plomo-plata (galeno argentífero), antimonio (antimonita), zinc (blenda) y hierro (magnetita, hematita). Luego, se estima que no existe un área mineralizada definida, debido a que, los pocos prospectos existentes no guardan relaciones estructurales con características genéticas y/o de mineralización similares. (Universidad Nacional de Ingeniería., 2000).

En la cuenca del río Chicama se identificaron las siguientes unidades mineras metálicas:

Mina Sayapullo: Es la más importante mina de la cuenca explotada por la Compañía Minera Sayapullo S.A. Se encuentra ubicada a 500 m. aproximadamente al Oeste del pueblo de Sayapullo, distrito del mismo nombre, provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca, a unos 2,400 m.s.n.m.; y, a una distancia aproximada de 168 Km. de la ciudad de Trujillo. La mina se encuentra en actual explotación y su producción mensual es de 4800TM. De mineral bruto de mina (2018), con leyes de Cu=0.7%, Ag=6Onz/Tc, Pb=0.9% y Zn=1.5%. La producción es tratada en la planta de beneficio del tipo flotación, con que cuenta la empresa y cuya capacidad es de 180TM/día. (Universidad Nacional de Ingeniería., 2000).

Prospecto Cambray: Situada a 5 km. aproximadamente al sudeste de la localidad de Sayapullo, en el cerro Cambray, paraje de Huancabamba, distrito de Sayapullo, provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca. Existen 6 labores cuya longitud total es del orden de los 100 m, no habiéndose encontrado aun una mineralización económica. (Universidad Nacional de Ingeniería., 2000).

Mina San Ignacio: Ubicada sobre la margen derecha del Río Huancay, entre los cerros Malón y Carnadas. Pertenece al distrito de Lucma provincia de Otuzco departamento de la Libertad, Altitud 1095 msnm. Los minerales de cabeza son el cobre (Calcopirita), plomo (galena) y cobre (tetraedrita). Existen muchas labores antiguas, entre las que destaca una galería de 90m. corrida sobre veta cuyo rumbo general es de 40°E y buzamiento 50°NO. (Universidad Nacional de Ingeniería., 2000).

Mina Pan de Azúcar: Esta mina es también conocida con el nombre La Virgen. Está ubicado en el distrito de Compín, provincia de Otuzco, departamento de la Libertad. El depósito consiste en varias vetas de relleno de fisura. La potencia máxima de la veta más importante es de 0.70m. El rumbo general de las vetas principales es de N33E y su buzamiento es de 50°NO. La mineralización está formada fundamentalmente por antimonio (estibina) dentro de cuarzo lechoso se le considera para el estudio por ser un activo. (Universidad Nacional de Ingeniería., 2000).

Prospecto Pollo: Situado a 500 m. aproximadamente al norte de la hacienda Llaguen y a una altura de 2000 m.s.n.m. Este depósito minero está localizado en el distrito de Compín provincia de Otuzco departamento de la Libertad. Está emplazado en granodioritas. Consiste de varias vetillas muy angostas cuyo escaso contenido mineral está representado por molibdenita y calcopirita asociadas con cuarzo como ganga. (Universidad Nacional de Ingeniería., 2000).

Mina de hierro de Cascas: Ubicado sobre la margen izquierda del Río Cascas en el paraje el Molino, distrito de cascas provincia de Contumaza, departamento de Cajamarca. Las rocas aflorantes son principalmente cuarcitas sobre las cuales yacen capas de lutitas y pizarras, el afloramiento es variable en una extensión de 200m y su contenido mineral está constituido principalmente por hematita y magnetita. La mina se encuentra paralizada. (Universidad Nacional de Ingeniería., 2000).

Prospecto Ollucos: Se trata de un depósito de hierro ubicado en la pampa de Ollucos, distrito de Cascas, provincia de Contumazá, departamento de Cajamarca. En el área, afloran lutitas negras de la formación Chicama, la mineralización consiste de óxidos de hierro. (Universidad Nacional de Ingeniería., 2000).

Proyecto minero La Quinoa: Es la quinta mina de Minera Yanacocha S. A., es una vena coluvial que alberga 5 millones de onzas de oro, ubicada en el Divortium Aquarum de los valles Jequetepeque y Cajamarca, drena sus aguas superficiales y subterráneas a estos valles. La sub cuenca del Río Grande, (cuenca Porcón) alberga la mayor parte de este yacimiento, cuyas aguas abastecen a la planta El Milagro. La ubicación de la mina en las partes altas de Cajamarca, hace vulnerable a esta ciudad. Los análisis de aguas que abastecen a la ciudad, el agua potable de la ciudad, y los peces muertos por efecto de la contaminación en estos ríos, han dado en varios análisis niveles altos de cianuro, Cr, Cd, Hg, Pb, Mn, Al y otros elementos peligrosos. En junio del 2002, el sector salud informó sobre la presencia de Cr y Cd en niveles altos en el Río Grande. (Universidad Nacional de Ingeniería., 2000).

2.2.1.4. Minería en la provincia Gran Chimú

La provincia de Gran Chimú es una de las 12 provincias que conforman el departamento de La Libertad. Dicha provincia se encuentra íntegramente dentro de la cuenca del río Chicama y “tiene una superficie de 1284.77 km², equivalente a 5.04% del total de la superficie del departamento de La Libertad, mayormente pertenece a la región de sierra, aunque los distritos de Cascas y Marmot son considerados como costa por estar a menos de 2,000 m.s.n.m.” (Dionicio, 2022, p.9).

Además, datos geográficos y de creación político administrativo de la provincia de Gran Chimú dan cuenta que:

[...] fue creada por la Ley 26398 el 8 de diciembre de 1994. Se ubica en la parte Noreste de la Región de la Libertad, en la zona andina, abarcando parte de la sub-cuenca alta del Río Chicama, y ubicada entre los paralelos 7° 22" 48" y 7° 47" 45" de latitud sur, y los meridianos 78° 20" 15" y 78° 57" 27" de longitud oeste de Greenwich, comprende los distritos de Cascas, Lucma, Marmot y Sayapullo. La capital provincial es la ciudad de Cascas (1274 m.s.n.m.) a una distancia aproximada de 107 km de la capital regional, Limita al norte y al este con la Región Cajamarca, al sur con la provincia de Otuzco y al oeste con la provincia de Ascope. (Dionicio, 2022, p. 8).

La provincia de Gran Chimú se divide en cuatro distritos. En la Tabla 1 se presenta detalles acerca de los mismos.

Tabla 1

Datos específicos de los distritos de la provincia de Gran Chimú.

Distrito	Capital	Altitud de Capital (m.s.n.m.)	Superficie (km ²)	Centros Poblados
Cascas	Cascas	1274	465.67	140
Marmot	Compín	1500	300.25	22
Sayapullo	Sayapullo	2357	238.47	51
Lucma	Lucma	2182	280.38	87

Nota. Elaborado con información tomada de: Dionicio (2022), Monografía de la provincia Gran Chimú, p. 9.

La provincia de Gran Chimú destaca por sus potenciales mineros constituidos tanto por recursos metálicos como por recursos no metálicos. En la Tabla 2 se presentan

datos específicos de actividades mineras realizadas en los distritos que conforman la provincia de gran chimú.

Tabla 2

Actividades mineras realizadas en los distritos de la provincia de Gran Chimú.

Distrito	Explotación minera
Cascas	<ul style="list-style-type: none"> ● Explotación de carbón de piedra en el caserío de Baños Chimú. ● Explotación informal de oro en San Felipe. ● Denuncios polimetálico en Corlas de Cascas. ● Compañía Minera Agregados Calcáreos en el distrito de Cascas con un potencial de producción de 2386 toneladas de arcilla.
Marmot	<ul style="list-style-type: none"> ● En el sector Quina Quina la empresa Minera Black Hill se dedica a la explotación carbonífera. ● Minería informal en Potrero (Los Trigos). ● Minería informal en Succhabamba. ● Compañía Minera Río Chicama, dedicada a la extracción de minerales metálicos así como no metálicos, entre estos están la plata, el antimonio y en pequeñas cantidades el oro.
Sayapullo	<ul style="list-style-type: none"> ● Empresa Minera Sayaatoc, dedicada a la explotación metálica (oro, plata). ● Empresa Minera Trinilaya dedicada a la explotación metálica (oro, plata). ● Minería informal de oro en Sayapullito. ● Minería informal de oro en Sayapullito. ● Minería informal de oro en Sayapullo.
Lucma	<ul style="list-style-type: none"> ● Explotación de carbón de piedra en el caserío de Tambillo. ● Explotación de carbón de piedra en el caserío de Huayday. ● Denuncios polimetálico en Penintaya de Lucma. ● Minería informal en San Andrés. ● Minería informal en Recuaycito. ● Empresa Minera Cascamina realiza explotación metálica (oro y plata principalmente) en los sectores de Agua Agría y Cerro Carangas.

Nota. Elaborado con información tomada de: Dionicio (2022), Monografía de la provincia Gran Chimú, p. 19; y, Gayoso (2016), Visita técnica a la Compañía Minera Río Chicama, p. 1.

En síntesis, La provincia de Gran Chimú tiene tradición minera, en efecto, “algunos [...] yacimientos han sido explotados desde la época colonial como lo confirma la existencia de vestigios de Hornos de fundición en San Felipe. Estos recursos de minerales están basados en canteras de mármol, hierro, caliza, arcilla y calinita” (Dionicio, 2022, p. 19); además, es pertinente resaltar el potencial minero que tiene la provincia Gran Chimú nivel nacional como zona carbonífera, a tal punto que en su

territorio se encuentra las mayores reservas de carbón; en ese respecto Dionicio (2022) señala que: “Los yacimientos del Alto Chicama, representan el 44% del total de reservas probadas y probables de carbón antracioso en el Perú” (p. 19).

2.2.2. Metales pesados

Los metales pesados se encuentran formando parte de la mena o material primigenio extraído de las minas. Estos constituyen un grupo cercano a los 40 elementos de la tabla periódica que se caracterizan por poseer mayor masa por unidad de volumen, es decir, por ser más densos que los otros elementos; luego, dicho grupo se caracteriza por agrupar metales con una densidad mayor o igual a 5 g/cm³.

El rasgo distintivo de la fisiología de los metales pesados, es que aun cuando muchos de ellos son esenciales para el crecimiento como el Sodio - Na, Potasio - K, Magnesio - Mg, Calcio - Ca, Vanadio - V, Manganeso - Mn, Hierro - Fe, Cobalto - Co, Níquel - Ni, Cobre - Cu, Zinc - Zn y Molibdeno – Mo; se ha reportado que también tienen efectos tóxicos sobre las células, principalmente como resultado de su capacidad para alterar o desnaturalizar las proteínas. (Wood, 1974).

Algunos metales pesados en pequeñas cantidades son necesarios para los seres vivos; como el cadmio, cobre, cromo y zinc, pero eso no debe servir de excusa para tolerar su presencia en el medio ambiente; y es que: “Los metales pesados son los contaminantes más nocivos y se incluyen dentro del grupo de los contaminantes inorgánicos. Para muchos animales son considerados como nutrientes, pero a partir de determinadas concentraciones son tóxicos” (Cevallos et al., 2023, p.176).

En síntesis, los metales pesados – MP, ingresan habitualmente a nuestro organismo en porciones menores, por los alimentos, el agua o el aire que respiramos. Estos se acumulan durante largo tiempo en los organismos vivos. Otros elementos, especialmente aluminio y hierro son muy abundantes en las rocas y en el suelo, y también pueden ser tóxicos, pero afortunadamente se encuentran en formas químicas no solubles y es muy difícil que los seres vivos los asimilen.

2.2.3. Minería metálica y contaminación

La realización de actividades productivas enmarcadas dentro de lo que se conoce como minería metálica generan elementos diluidos o mezclados que, resultan siendo contaminantes de la tierra, el aire y las aguas; todo ello debido a que “una característica particular de la contaminación por metales pesados es su persistencia

en el ambiente, como consecuencia de que no son degradables en la naturaleza, ni biológica ni químicamente” (Cevallos et al., 2023, p.176).

Los principales MP calificados como contaminantes ambientales también resultan siendo nocivos para el hombre, animales y plantas. La nocividad de los MP para el hombre es de común conocimiento en la actualidad; por ejemplo, se sabe que, los compuestos de cromo son carcinógenos y provocan daño genético; el mercurio es considerado un contaminante universal; el plomo, que es el metal con propiedades tóxicas que más se ha propagado en el ambiente; etc.

2.2.3.1. Elementos contaminantes de la minería metálica

Las actividades productivas, exploración y explotación, desarrolladas dentro de las unidades mineras, principalmente en las de minería metálica, generan elementos diluidos o mezclados que, resultan siendo contaminantes de la tierra, el aire y las aguas. En el caso de la contaminación del agua “el Pb, As, Cu, Zn y Cd son considerados como los metales pesados más peligrosos para la vida acuática, ya que son muy tóxicos aún en concentraciones bajas, no son biodegradables y se acumulan a lo largo de la cadena trófica” (Cevallos et al., 2023, p.176).

En concordancia con lo señalado en el párrafo precedente, tuvimos como menester considerar algunos elementos contaminantes representativos de la minería metálica, dichos elementos que fueron tomados como referentes de la contaminación por vertimientos mineros en las aguas del río Huancay, se describen a continuación.

a.- Antimonio (Sb). El antimonio es un metal que se vende comercialmente como lingotes de metal. Dicho metal “normalmente se halla en el ambiente en forma de diferentes minerales, aunque es un elemento poco abundante. A veces se encuentra en forma libre, pero por lo general se encuentra como sulfuro de antimonio [... es] conocida comúnmente como estibina y técnicamente como antimonita” (Hoyos y Cieza, 2020, p.19).

b.- Hierro (Fe). El efecto más característico de la deficiencia de hierro es la incapacidad de las hojas jóvenes para sintetizar la clorofila, tornándose cloróticas y algunas veces de color blanco. El hierro puede depositarse como hidróxido y obturar las branquias de los organismos, disminuyendo su potencial respiratorio. El hierro disuelto en medio acuático resulta siendo no nocivo siempre en cuando este esté en bajo contenido, pero suele ser nocivo en presencia de altas concentraciones; por ejemplo, para las truchas con valores de pH en agua de 6,5 a 7,5 y concentraciones

de 0,9 mg/L de hierro, tiene efecto mortal (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004).

c.- Plomo (Pb). Este elemento está considerado dentro de los más importantes debido a su toxicidad el cual se acumula en el organismo, el plomo en el agua puede ser de origen industrial, minero y de descargas de hornos de fundición o de cañerías viejas de plomo. “En la agricultura es tóxico para las plantas en ciertos niveles de solubilidad. En el suelo muchos metales pesados se encuentran como compuestos inorgánicos o están unidos a la materia orgánica. La toxicidad por plomo ocurre sólo bajo condiciones especiales” (Chávez et al., 2025, p.3190).

d.- Arsénico (As). Este elemento se obtiene como subproducto que viene asociado a otros productos mineros; en efecto, el Arsénico “está asociado a otros minerales de cobre y plomo con contenidos de enargita, depósitos de cobre con piritas arsenicales, depósitos de níquel, cobalto, arsénico y plata nativa; depósitos de oro arsenical, depósitos de sulfuro arsenical con oro y sulfuro de arsénico y depósito de estaño arsenical” (Estudios Mineros del Perú S.A.C., 2006, p. 23).

e.- Cobre (Cu). El cobre se encuentra en todas las rocas, principalmente en intrusivas básicas e intermedias. Dicho metal “puede estar presente en el agua por el contacto de ésta con minerales que contiene o con desechos de minerales en la producción de cobre [y...] es un metal esencial para los organismos, pero cuando sobrepasa ciertas concentraciones, puede producir efectos tóxicos, principalmente trastornos gastrointestinales y hepáticos” (Chávez et al., 2025, p.3189).

2.2.3.2. Contaminación por metales pesados

Los metales como el antimonio, plomo, hierro, cobre, mercurio, cadmio, níquel, cromo, aluminio, arsénico, plata, etc., son sustancias tóxicas si se encuentran en concentraciones altas. Muchos de estos elementos son micronutrientes necesarios para la vida de los seres vivos y deben ser absorbidos por las raíces de las plantas o formar parte de la dieta de los animales. Pero cuando por motivos naturales o por la acción del hombre se acumulan en los suelos, las aguas o los seres vivos en concentraciones altas se convierten en tóxicos peligrosos.

Algunos elementos químicos, como el cadmio, cromo, cobalto, cobre, plomo, mercurio, níquel, plata y uranio, se encuentran repartidos en pequeñas cantidades por todas partes; todos estos elementos son potencialmente tóxicos y pueden causar daños a los seres vivos, en concentraciones tan pequeñas como de 1 ppm. Además

de ser elementos que se encuentran en la composición normal de rocas y minerales, pueden ser especialmente abundantes como resultado de erupciones volcánicas, o por fuentes de aguas termales. Algunos compuestos de estos metales pueden sufrir acumulación en la cadena trófica, lo que origina que, a pesar de encontrarse en dosis muy bajas en el ambiente, pueden llegar a concentrarse en plantas o animales, hasta llegar a provocar daños en la salud.

Uno de los elementos más contaminantes y dañinos es el plomo. Datos y cifras que dan cuenta del grado de toxicidad de dicho elemento son los siguientes:

La exposición al plomo puede afectar a diversos sistemas del organismo y es especialmente nociva para los niños pequeños y las mujeres en edad fértil. El plomo se distribuye por el organismo hasta alcanzar el cerebro, el hígado, los riñones y los huesos. Además, se deposita en dientes y huesos, donde puede acumularse con el tiempo. La exposición humana al plomo se suele evaluar midiendo su concentración en la sangre. En 2021, la exposición al plomo causó más de 1,5 millones de muertes en todo el mundo, principalmente causadas por sus efectos cardiovasculares. El plomo presente en los huesos puede pasar a la sangre durante el embarazo y convertirse en una fuente de exposición para el feto a lo largo de su desarrollo. No existe ningún nivel seguro de exposición al plomo que no tenga efectos nocivos. Los efectos perjudiciales para la salud de la exposición al plomo siempre se pueden prevenir. (Organización Mundial de la Salud, 2024).

Otros elementos, especialmente aluminio y hierro son muy abundantes en las rocas y en el suelo, y también pueden ser tóxicos, pero afortunadamente se encuentran en formas químicas no solubles y es muy difícil que los seres vivos los asimilen. En esa línea de ideas, Chiang (1989) respecto a la toxicidad de los metales pesados afirma que, algunos de dichos metales como el Fe, Cu, Zn, Mg, y algunos reactivos químicos utilizados en las plantas de tratamiento de minerales, en el corto plazo no se degradan, biológica ni químicamente en la naturaleza; por lo que son considerados tóxicos para la mayor parte de organismos.

El efecto que tiene los metales pesados en la salud humana van desde afecciones comunes hasta cáncer, pasando por afecciones generales tales como tos, bronquitis crónica, ulceraciones del tabique nasal y piel, etc.; y, alteraciones neurológicas y del sistema respiratorio. En la Tabla 3 se muestra el efecto que tiene algunos metales pesados considerados como los más contaminantes en la salud humana.

Tabla 3

Efectos en la salud humana de los metales pesados más contaminantes.

Estación N°	Efectos en la salud humana
Cromo (Cr)	Las afecciones generales: produce tos, bronquitis crónica, ulceraciones del tabique nasal y piel, dolores respiratorios y de cabeza, hemorragia nasal, dermatitis aguda; es carcinogénico en seres humanos y produce cáncer del pulmón en animales. En seres humanos y animales expuestos a cromo (VI) en el agua potable se ha observado un aumento de tumores estomacales.
Mercurio (Hg)	Alteraciones neurológicas y sistema respiratorio. En realidad todas las formas de mercurio son potencialmente tóxicas, pero el rango de toxicidad varía considerablemente, siendo el vapor de mercurio la forma más peligrosa, dado que puede difundir a través de los pulmones hasta la sangre y luego hasta el cerebro, donde puede causar daños importantes.
Arsénico (As)	Bronquitis; cáncer de esófago, laringe, pulmón y vejiga; hepatotoxicidad; enfermedades vasculares; polineuritis .
Cadmio (Cd)	Bronquitis; enfisema; nefrotoxicidad; infertilidad; cáncer de próstata; alteraciones neurológicas; hipertensión; enfermedades vasculares y óseas. El cadmio se emplea industrialmente como agente antifricción, antioxidante, en aleaciones, en los semiconductores, baterías y en la manufactura de PVC, por citar varios ejemplos. El cadmio es considerado uno de los elementos más peligrosos para la alimentación humana, particularmente por su carácter acumulativo.
Plomo (Pb)	Es el metal con propiedades tóxicas que más se ha propagado en el ambiente en las últimas décadas. Alteraciones neurológicas, nefrotoxicidad, anemia, cáncer de riñón. Los humos y el polvo proceden de la fundición de plomo, de la fabricación de insecticidas, pinturas, vidrios, y de las gasolinas que contienen aditivos de plomo.

Nota. Elaborado con información tomada de: Cornejo et al. (2021). Acumulación de metales contaminantes en aguas y sedimentos; p. 28.

Además de los efectos adversos de los MP en la salud humana presentados en la Tabla 3, es pertinente destacar lo destacado por Campos (1990) quien señala que, los compuestos que contienen metales pesados, se pueden alterar, pero los elementos metálicos permanecen en el ambiente, pudiendo ser acumulados como iones o como integrantes de compuestos orgánicos en los organismos por largos períodos de tiempo.

2.2.4. Minería y contaminación de aguas

El estado original del agua puede ser influenciado por procesos naturales, por terrenos, minerales, insectos y excrementos de animales; otra manera de alterar su estado original, de forma artificial, es a través de la intervención humana, con

sustancias que modifican el pH, la salinidad, así como por actividades mineras; de igual manera, el estado natural del agua también cambia en lugares sin sistema de alcantarillado, por ejemplo, cuando se arroja basura en los ríos y esta se acumula en el fondo de los ríos.

Por otro lado, la actividad agrícola también es una fuente de contaminación de las aguas; en efecto, el uso excesivo de fertilizantes, los cuales son arrastrados por las aguas hacia los ríos, causa contaminación del agua y fomenta el crecimiento desmedido de algas, impidiendo la entrada de luz al lago o laguna, provocando la muerte de especies hidrobiológicas; de otro modo, la contaminación se origina debido a la presencia de metales pesados como el plomo y el cadmio, los cuales causan bioacumulación y, en última instancia, los desechos urbanos o aguas residuales que contienen heces (Ongley, 1997).

Se define a la polución de aguas dulces de la siguiente manera: debe considerarse que un agua esta polucionada, cuando su composición o su estado están alterados de tal modo que ya no reúnen las condiciones de una u otra o al conjunto de utilizations a las que se hubiera destinado en su estado natural; por lo tanto, la calidad del agua de los ríos está determinada por los estándares, que son las medidas que establecen el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias, o parámetros físicos, químicos o biológicos, presentes en el, agua, en su condición de cuerpo receptor, por lo expuesto se debe de tener en cuenta el cuidado del agua (Decreto Supremo N° 004-MINAM, 2017).

La contaminación de cuerpos de agua (ríos, lagos, océanos y agua subterránea) ocurre cuando los contaminantes son descargados directamente o indirectamente en cuerpos de agua sin un adecuado tratamiento que remueva los componentes dañinos. La contaminación del agua afecta plantas y organismos que viven en estos cuerpos de agua, y en la mayoría de los casos afecta dañando no solamente a las especies individuales y las poblaciones, así como en las comunidades biológicas.

2.2.4.1. Contaminación del agua por metales pesados

La calidad de las aguas puede verse modificada por actividades humanas o naturales que generan efectos negativos que alteran su valor para el ser humano y la vida biológica.

En términos generales, la contaminación del agua se puede definir como la alteración negativa que sufre al recibir una serie de sustancias que modifican sus condiciones

naturales de calidad, provocando graves riesgos para la salud y el bienestar de la población; especialmente peligrosa es la contaminación causada por las altas concentraciones de ciertos metales pesados y su aumento en los efectos adversos debido a la persistencia y el fenómeno de biomagnificación (Branco, 2014).

Los metales también son introducidos de forma natural en los sistemas acuáticos a causa de la lixiviación de suelos y rocas, y erupciones volcánicas; también pueden derivar de actividades humanas como las agrícolas, domésticas, industriales y mineras; y adicionalmente, la actividad minera-metalúrgica a través del procesamiento de minerales y la fundición, podría provocar la dispersión y el depósito de grandes cantidades de metales en el medio ambiente, si hay alguna operación inadecuada (Topalián et al., 1999).

Asimismo, al contrario de muchos contaminantes orgánicos, los metales pesados, generalmente, no se eliminan de los ecosistemas acuáticos por procesos naturales debido a que no son biodegradables; asimismo, los metales pesados tienen tendencia a formar asociaciones con sustancias minerales (carbonatos, sulfatos, etc.) y en mayor grado con sustancias orgánicas, mediante fenómenos de intercambio iónico, adsorción, quelación, formación de combinaciones químicas, etc., por lo que se acumulan en el medio ambiente, principalmente en los sedimentos de ríos, lagos y mares (Förstner et al., 1993).

2.2.4.2. Indicadores de contaminación del agua por metales pesados

Las altas concentraciones de metales pesados en las aguas de corrientes fluviales asociados a sulfuros tales como el arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn) pueden atribuirse a la minería lo cual son causa del fuerte impacto en el medio ambiente (Salomons, 1995). En cambio, otros metales no-sulfurosos como el cromo (Cr), níquel (Ni) y mercurio (Hg) posiblemente indican una contaminación antropogénica de metales pesados que están estrechamente asociados con las descargas industriales (Nelson y Lamothe, 1993).

Con respecto a las magnitudes o parámetros que indican el grado de contaminación de las aguas debido a la variación de sus características, destacan:

a.- Temperatura: Es una de las magnitudes que miden el estado de la materia. La temperatura causa, sensaciones de calor y frío, aumenta y disminuye el tamaño de los cuerpos. La temperatura en las aguas subterráneas naturales varía solo ligeramente en su promedio anual, mientras que en aguas superficiales fluctúan de

acuerdo con las estaciones del año (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004).

b.- Conductividad: Se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica. El agua pura, prácticamente no conduce la corriente, sin embargo, el agua con sales disueltas conduce la corriente eléctrica. Los iones cargados positiva y negativamente son los que conducen la corriente, y la cantidad conducida dependerá del número de iones presentes y de su movilidad. Mientras más dura (presencia de carbonatos de calcio y magnesio), sea el agua mucho mayor será su conductividad.

2.2.5. Contaminación de ríos por actividad minera en el Perú

En el Perú, el impacto negativo y acumulativo de las actividades mineras constituye un serio problema para la salud. La inadecuada disposición de relaves, aguas residuales y desmontes ha causado graves filtraciones de drenaje ácido y contaminación de cuerpos acuíferos, así como otros efectos negativos en la biodiversidad y los ecosistemas. En consecuencia, algunas cuencas fluviales como las del Rímac, Mantaro, Pisco, Madre de Dios, Llaucano, Chicama y Santa han sido afectadas por la contaminación de pasivos ambientales mineros.

De acuerdo con el Inventario de Pasivos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas - MINEM, al año 2014 existían 8571 pasivos mineros; además, se sabía que más de la mitad de las 5818 comunidades campesinas existentes, ubicadas principalmente en la sierra del Perú, coexistían con actividades mineras, lo cual constituía un riesgo ambiental al modo de vida rural porque estas dependen de actividades agropecuarias como medios de sustento (Bebbington y Williams, 2008; Kitula, 2006).

2.2.5.1. Casos de contaminación de ríos por actividad minera

Reportes de contaminación ocurridas en el territorio nacional que tuvieron trascendencia mediática por su impacto sobre el medio ambiente dan cuenta de los siguientes casos: la primera quincena de octubre de 1997, Minera Sipán dejó escapar un derrame de cianuro por el Río Ojos, que atraviesa la villa San Antonio de Ojos y mató todas las truchas y anfibios del Río Yanahuanga, a donde el Río Ojos desemboca, en un recorrido de 20 km, los peces muertos llegaron hasta el Río Jequetepeque; en el último trimestre de 1998, Minera Sipán repitió un segundo derrame de solución cianurada sobre el Río Yanahuanga (Deza, 2002).

Otros casos de contaminación reportados por Deza (2002) son: diciembre de 1998, derrame de nitrato de amonio en accidente de transporte en la ruta Tembladera-Chilete; relaves de Yanacocha con arsénico, en la granja Porcón hasta Gallito Ciego, causando la muerte de peces en 180 km de la cuenca del Jequetepeque; enero 2000, relaves de Yanacocha en la cuenca del Río Llaucano, causando la muerte de truchas en este río; junio 2000, derrame de mercurio entre Choten, San Juan, Choropampa y Magdalena, intoxicando a más de 1200 personas; agosto 2000, mercurio en viviendas del Jr. Ayacucho y el C.E. Rafael Loayza, causando la intoxicación de 40 personas; enero 2001, relaves de Yanacocha en la cuenca del Río Llaucano, causando la muerte de 10 000 truchas en la piscigranja El Ahijadero y el Río Llaucano; enero y marzo 2001, dos derrames de petróleo e hidrolina en la cuenca del Río Jequetepeque; y, 11 de marzo de 2001, presencia de metales pesados a la altura de Puruay, en Río Grande y pH ácido en aguas que abastecen a Cajamarca.

2.2.5.2. Contaminación de las aguas del río Huancay

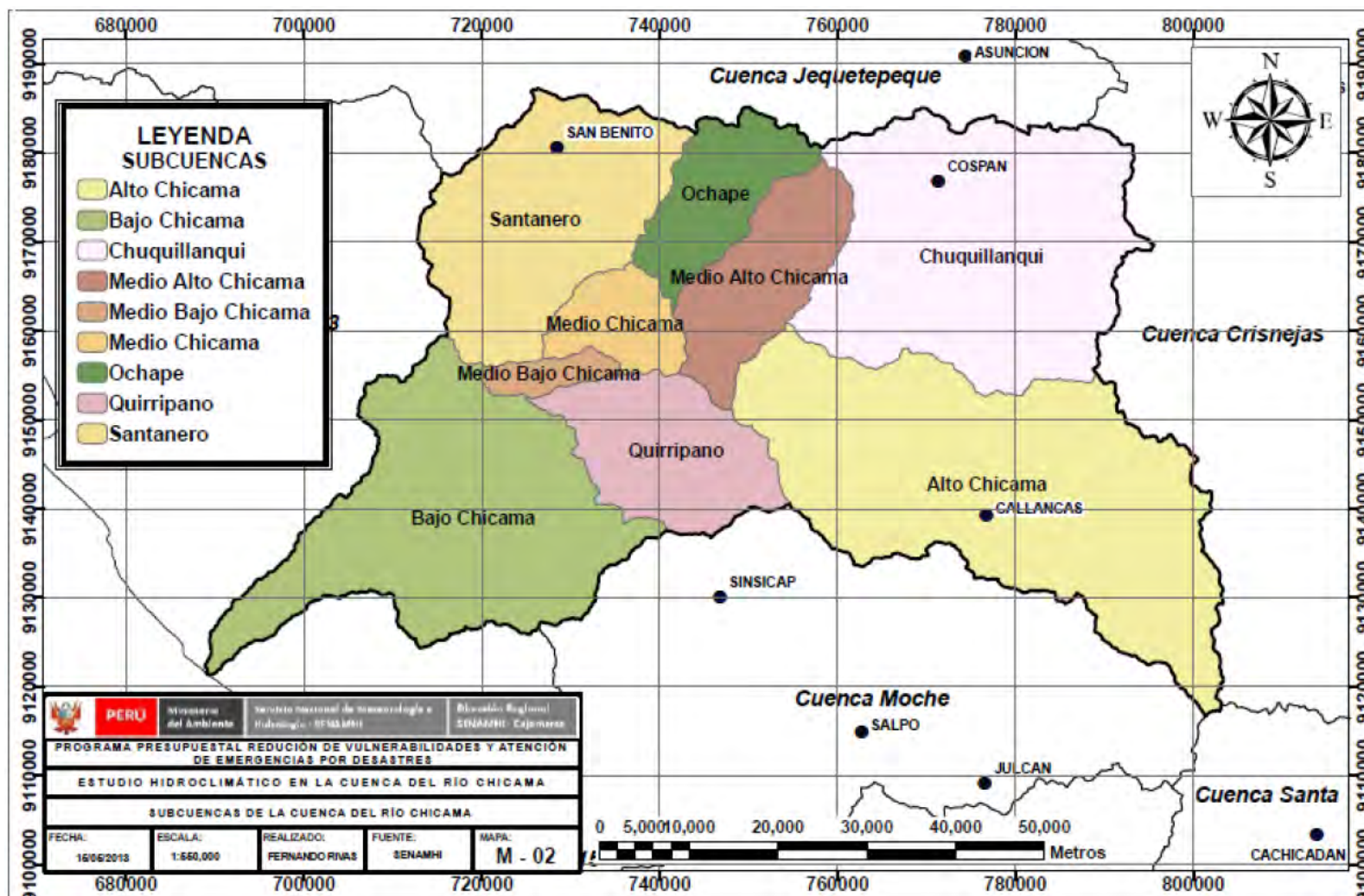
Para efectos de conocer la contaminación de las aguas del río Huancay es menester tener en cuenta la configuración territorial de dicho río en términos de cuencas, subcuencas y microcuencas. En este primer respecto, es pertinente destacar que, el río Huancay forma una subcuenca homónima que se encuentra dentro de la cuenca del río Chicama.

En la cuenca del río Chicama y en las subcuencas que la conforman, se desarrollan tanto la minería no metálica como la metálica. La subcuenca Huancay, subcuenca a la que propiamente se circunscribe el presente estudio, es una de las seis subcuencas que forman parte de la cuenca Chicama. Para mayor detalle de la subcuenca Huancay, en Capítulo III ver: «3.9. Área de estudio».

El río Huancay también es conocido como «Río Grande» o «Río Alto Chicama». Este tiene su remoto origen en el río Perejil, cerca del distrito de Quiruvilca Santiago de Chuco, en el departamento de La Libertad. Al río Chicama “en su curso superior se le conoce como Alto Chicama, tienen una longitud aproximada de 160 Km. Sus principales afluentes son los ríos Chuquillanqui y Huancay en el caserío El Tambo su caudal es de 368.8 m³/s en abundancia y 1.385 m³/s en estiaje. En su recorrido por el distrito de Cascas también es llamado río Grande” (Iglesias, 2019, p. 60).

En la Figura 1 se muestra las subcuencas que conforman la cuenca del río Chicama, entre ellas la subcuenca Alto Chicama o Huancay.

Figura 1
 Mapa de la cuenca del río Chicama y sus subcuencas.



Nota. Tomado de: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2013). Estudio de extremos hidrológicos en la cuenca del río Chicama; p. 21.

En la Tabla 4 se detalla la cantidad de fuentes de aguas superficiales existentes en las subcuencas que forman parte de la cuenca del río Chicama.

Tabla 4

Fuentes de aguas superficiales existentes en las subcuencas del río Chicama.

Subcuenca	Bofedales	Lagunas	Manantiales	Quebradas	Ríos	Total
Chuquillanqui	3	1	36	54	7	101
Huancay	46	27	129	144	4	350
Media	-	2	3	7	4	16
Ochape	-	3	10	8	4	25
Quirripano	-	-	2	30	1	33
Santanero	-	-	1	9	-	10
Total	49	33	181	252	20	535

Nota. Tomado de: Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de La Libertad (2018), Diagnóstico hídrico rápido de la cuenca del río Chicama como fuente de agua y servicios ecosistémicos hídricos para la EPS SEDALIB S.A., p. 50.

De la Tabla 4 se tiene que, en la subcuenca del río Huancay o subcuenca Alto Chicama, las fuentes de agua superficiales catalogadas se muestran, “en mayor número, en comparación con las otra subcuencas [... además, se inventariaron...] cuarenta y seis (46) bofedales, veinte y siete (27) lagunas, ciento veinte y nueve (129) manantiales, ciento cuarenta y cuatro (144) quebradas y cuatro (04) ríos” (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de La Libertad, 2018, p. 50).

Por otro lado, se tiene que, las fuentes de contaminación identificadas por el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de La Libertad (2018) en la cuenca del río Chicama en cantidad ascienden a 40 de los cuales 20 corresponden a vertimientos de aguas residuales domésticas, 2 a vertimientos mineros, 9 a botaderos de residuos sólidos, 2 a pasivos mineros y 7 a disposición de aguas residuales domésticas que infiltran en el subsuelo.

Asimismo, la minería constituye una de las principales fuentes de contaminación de las aguas del río Chicama; y es que, a pesar de que actualmente solamente dos unidades mineras vierten sus aguas sobre dicho río, “existe riesgo de contaminación de las aguas por vertimiento minero de aproximadamente 300 mineros informales, metálicos y no metálicos en la parte media y alta de la cuenca” (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de La Libertad, 2018, p. 58).

En síntesis, de lo señalado en subcapítulos precedentes se tiene que, a nivel nacional se observaron diversos problemas de contaminación, toxicidad y ecotoxicidad atribuidos a ciertos metales y sus compuestos; por su parte, en un ámbito referenciado a la cuenca del río Chicama se tiene que, la actividad minera en dicha cuenca está circunscrita a la explotación de depósitos metálicos y no metálicos catalogados de pequeña a mediana minería, y como consecuencia de ello, se presume la existencia de variados elementos contaminantes, entre ellos, los metales pesados; luego, en un ámbito referenciado a las provincias dentro de la cuenca del río Chicama y las dos fuentes contaminantes de origen minero más resaltantes, se tiene que, “una fuente contaminante de este tipo se ubica en la provincia de Otuzco y la otra en la provincia de Gran Chimú” (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de La Libertad, 2018, p. 58).

2.3. BASES LEGALES

La Constitución Política del Perú es la base del sistema jurídico del país a la cual se circunscribe todo marco normativo específico entre ellos el referido a la minería como actividad productiva y la contaminación de las aguas de los ríos debido a dicha actividad. La constitución política en su capítulo II consigna las normas generales referidas al ambiente y los recursos naturales. En dicho capítulo se indica que los recursos naturales son patrimonio de la Nación y el Estado es soberano en su aprovechamiento sostenible; además, indica que el Estado determina la política nacional del ambiente, conserva y promueve tanto la diversidad biológica como las áreas naturales protegidas. El numeral 22 del artículo 2º concordante con el artículo 7º establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida, teniendo derecho a la protección de su salud, la del medio familiar y la de la comunidad, así como el deber de contribuir a su promoción y defensa.

Para efectos de contrarrestar los altos niveles de contaminación de las aguas y garantizar el uso de estas para el consumo humano, consumo de animales, riego de plantas y otras actividades relacionadas con el uso de las mismas; el Estado peruano ha implementado instrumentos de gestión de la calidad ambiental, entre ellos instrumentos para los recursos hídricos, los cuales están orientados a garantizar la calidad ambiental de las aguas, entre dichos instrumentos, para el caso específico de garantizar la calidad de las aguas superficiales destacan, los Límites Máximos Permisibles – LMP y los Estándares de Calidad Ambiental – ECA.

2.3.1. Límites Máximos Permisibles para el agua

Los Límites Máximos Permisibles – LMP, constituyen instrumentos que, norman la cantidad de elemento contaminante que debe tener las aguas para que estas sean consideradas como agua ambientalmente aceptable ya sea para el consumo humano, consumo animal, riego, etc.

En la Tabla 4 se presenta una descripción general de las normas emitidas por el Estado peruano en materia de LMP para la presencia de agentes contaminantes en los vertimientos de efluentes sobre aguas superficiales.

Tabla 5

Marco normativo referido a Límites Máximos Permisibles – LMP, para efluentes mineros.

Norma	Descripción
Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM	Norma mediante la cual se aprobó límites máximos permisibles para la descarga de afluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas.
Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM	Norma mediante la cual se aprobaron Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.
Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA	Norma mediante la cual se aprobaron los valores máximos admisibles de las descarga de agua residual no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario.
Decreto Supremo N° 010-2008-PRODUCE	Norma mediante la cual se aprobaron Límites Máximos Permisibles de Efluentes de la Industria de Harina y Aceite de Pescado.
Decreto Supremo N° 037-2008-PCM	Norma mediante la cual se establecen Límites Máximos Permisibles de efluentes Líquidos para el “Subsector Hidrocarburos”.
Resolución Directoral N° 008-97-EM/DGAA	Norma mediante la cual se aprobaron niveles máximos permisibles para efluentes líquidos producto de las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.
Resolución Ministerial N°011-96-EM/VM	Norma mediante la cual se aprobaron los niveles máximos permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos.

Nota. Elaborado con información tomada de: Autoridad Nacional del Agua. (2015). Estudio de evaluación de los recursos hídricos de la cuenca del río Chicama; p. 136.

2.3.2. Estándares de Calidad Ambiental para el agua

Los Estándares de Calidad Ambiental – ECA, constituyen instrumentos que, norman las características que deben cumplir las aguas para que estas sean consideradas como aguas que no representan un riesgo significativo para la salud de las personas ni para el medio ambiente.

En la Tabla 6 se presenta una descripción general de las normas emitidas por el Estado peruano en materia de ECA.

Tabla 6

Marco normativo referido a Estándares de Calidad Ambiental – ECA, para el agua.

Norma	Descripción
Decreto Supremo N° 004-2017- MINAM	Norma mediante la cual aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el agua y establecen disposiciones complementarias.
Decreto Supremo N° 023-2009- MINAM	Norma mediante la cual se aprueban las disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua.
Decreto Supremo N° 002-2008- MINAM	Norma mediante la cual se aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el agua con el objetivo de establecer el nivel de concentración, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua que no representen un riesgo significativo para la salud de las personas ni para el medio ambiente.

Nota. Elaborado y adaptado basado en información tomada de: Autoridad Nacional del Agua, (2015), Estudio de evaluación de los recursos hídricos de la cuenca del río Chicama; p. 133.

2.3.3. Diferencias entre ECA y LMP

Según Mendoza (2025), las principales diferencias en la concepción de los Estándares de Calidad Ambiental – ECA, y, los Límites Máximos Permisibles – LMP; son los siguientes:

- El ECA es una meta ambiental general para todo el país; mientras que, el LMP es una restricción específica para actividades económicas desarrolladas en un sector específico.
- El ECA se implementa de manera general en el ambiente y en el organismo receptor, y se detalla sobre el medio específico en el cual se implementa, por ejemplo, estándar de calidad para el aire, estándar de calidad para el agua, estándar de calidad para el suelo, estándar de calidad para ruidos, etc.; por su parte, el LMP se utiliza específicamente para las fuentes de emisión, vale decir, para los efluentes y descargas que generan los sectores industriales, por ejemplo, LMP para efluentes de actividades mineras, LMP para hidrocarburos, LMP para electricidad, LMP para construcción y saneamiento, LMP para la industria del cemento, LMP para la industria de curtido y papel, LMP para la industria pesquera, etc.
- El ECA se elabora de manera acumulativa, incorporando todas las contribuciones sectoriales y las contribuciones de actividades humanas no relacionados con la industria junto con contribuciones de flujo natural, siempre

que estas tengan un impacto en el cuerpo receptor natural; por su parte, el LMP se elabora de manera específica según las características del sector industrial en el que se va a aplicar, considerando el medio de descarga al que va destinada la emisión, efluente o vertimiento de salida que produzca dicha industria.

- El ECA constituye un derecho para todos los habitantes de un país o estado, mientras que el LMP es una responsabilidad o deber que tienen los sectores que realizan emisiones, vertidos y efluentes sobre el medio ambiente, vale decir, en los cuerpos receptores de dichas emisiones tales como agua, aire, suelo, etc.

CAPITULO III METODOLOGÍA

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación se ajusta a los lineamientos que la configuran como una investigación del tipo cuantitativa ya que, está se fundamenta en un esquema deductivo y lógico que busca formular preguntas de investigación e hipótesis para posteriormente probarlas. (Hernández et al., 2016).

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta lo señalado por Hernández et al. (2016) con respecto al diseño de investigación se tiene que, la presente investigación se ajustó a un diseño no experimental ya que, no hubo manipulación de la variable independiente.

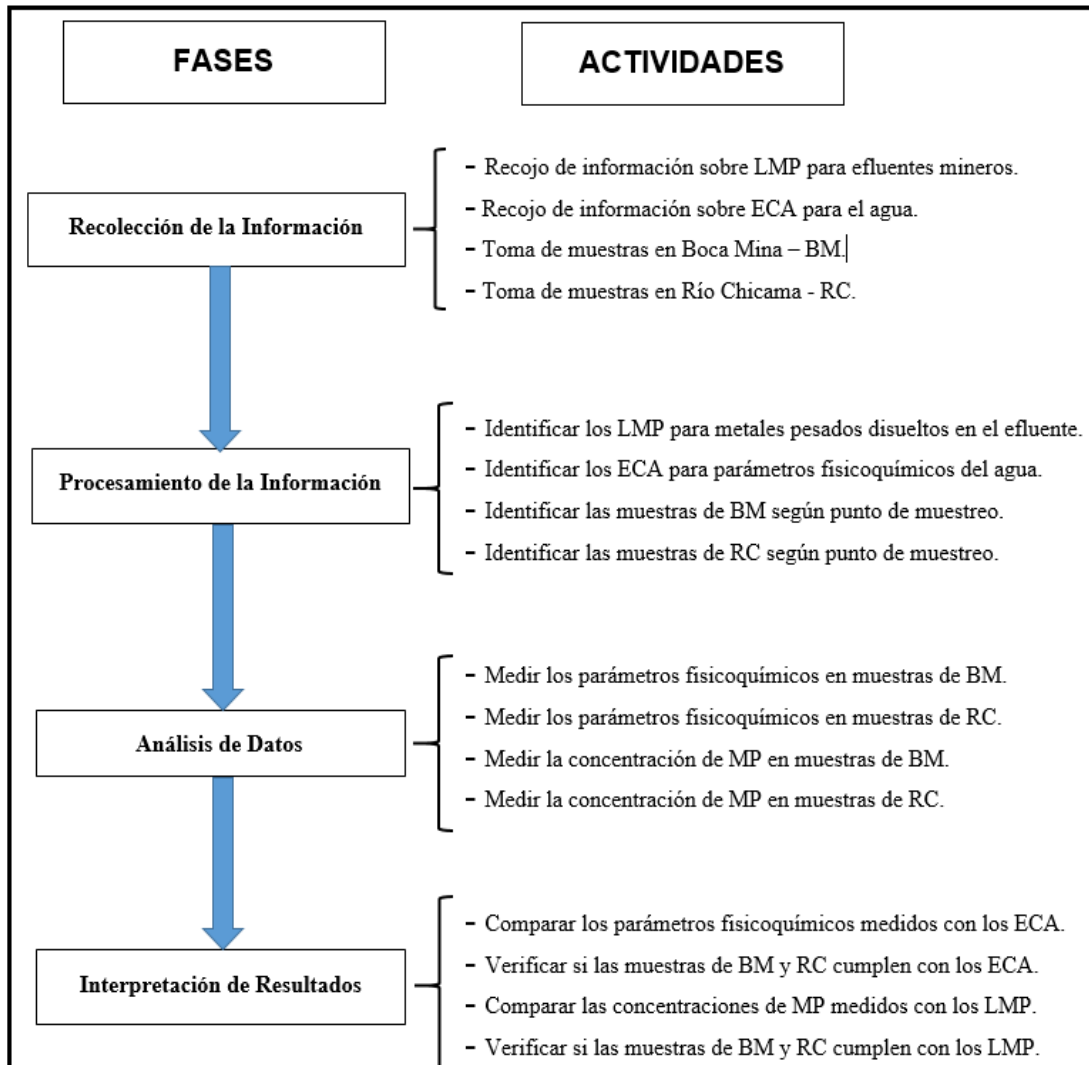
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

La unidad de análisis de la presente investigación fueron las muestras de agua tomadas en las estaciones de monitoreo tenidos en cuenta. Las muestras de agua fueron de dos tipos: Muestras tomadas en Bocamina – BM, y, muestras tomadas en Río Huancay – RH.

El método correspondiente al diseño fue el concordante con el enfoque cuantitativo, esto en el sentido que, la información recolectada fue traducida a cifras numéricas representativas.

Por otro lado, dado que, el método de investigación constituye los pasos y técnicas que se utilizan para recopilar y analizar información con el fin de responder a la pregunta de investigación; en la Figura 2 se presenta las fases y actividades seguidas en el trabajo de campo y parte del trabajo de gabinete.

Figura 2
Mapa de la Cuenca del Río Chicama.



Nota. Elaboración propia.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. Población

La población estuvo conformada por todos los ríos que forman las subcuencas y microcuencas de la cuenca del río Chicama.

3.4.2. Muestra

De la población antes señaladas y de manera no probabilística e intencionada, se tomó como muestra al río Huancay. En dicho río, a la altura del caserío de Huancay del distrito de Marmot - Provincia de Gran Chimú, la empresa minera «Río Chicama» vierte sus efluentes provenientes de la unidad minera Bumerang.

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. Técnicas

La técnica utilizada para la recolección de la información correspondiente a las variables de estudio fue la toma de muestras tanto del efluente de Bocamina como de las aguas del río Huancay. Con respecto a las aguas del río Huancay, en la presente investigación, al referirnos a dichas aguas se sobreentiende que, este incluye no solo las aguas del río Huancay sino también las aguas de otros tributarios del río Chicama incluido el mismo.

3.5.2. Instrumentos

Los instrumentos utilizados fueron los recipientes utilizados para recoger las muestras los cuales estuvieron membretados para su identificación, registro y posterior individualización para efectos de procesamiento, análisis e interpretación de resultados.

3.6. PROCESO DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para el proceso de recolección de la información referida a los efluentes provenientes de las operaciones realizadas en la unidad minera Bumerang por la empresa Minera Río Chicama, se puso especial énfasis en las aguas de mina que finalmente llegan al río Huancay; en ese sentido se establecieron 12 puntos de monitoreo en cada uno de los cuales se estableció una estación de monitoreo y consecuentemente se obtuvieron 24 muestras, dos tomas de muestra en cada estación y en distintos días.

Por otro lado, la información referida a las aguas del río Huancay, considero primordialmente las referidas a dicho río, pero eso no limitó que se tomaran muestras en otros tributarios del río Chicama incluido el mismo. Las estaciones de monitoreo referenciales fueron 12 y al igual que en el caso anterior, se realizó dos tomas de muestra en cada estación. Para este caso se tomaron como referencia las 12 primeras estaciones de las 15 establecidas en el «Estudio de evaluación ambiental territorial y de planteamientos para la reducción de la contaminación de origen minero en la cuenca del río Chicama» realizado por la Universidad Nacional de Ingeniería en el año 2000.

Para la identificación de cada recipiente y la muestra que contiene se utilizó la siguiente nomenclatura:

- EM para designar en forma abreviada el término «Estación de Monitoreo».
- BM para designar en forma abreviada Bocamina.
- RM para designar en forma abreviada río Huancay.
- 01, 02, ..., 12, para identificar la estación de monitoreo ya sea en Bocamina o río Huancay y otros tributarios del río Chicama incluido el mismo.

En la Tabla 7 se muestra la codificación asignada a los recipientes para recojo de muestras los cuales coincidieron con la denominación de los puntos de monitoreo.

Tabla 7

Codificación asignada a los recipientes utilizados en el recojo de las muestras.

Punto de Monitoreo	Muestra de Río Huancay	Muestra de Bocamina
Estación de Monitoreo 1	EMRH-01	EMBM-01
Estación de Monitoreo 2	EMRH-02	EMBM-02
Estación de Monitoreo 3	EMRH-03	EMBM-03
Estación de Monitoreo 4	EMRH-04	EMBM-04
Estación de Monitoreo 5	EMRH-05	EMBM-05
Estación de Monitoreo 6	EMRH-06	EMBM-06
Estación de Monitoreo 7	EMRH-07	EMBM-07
Estación de Monitoreo 8	EMRH-08	EMBM-08
Estación de Monitoreo 9	EMRH-09	EMBM-09
Estación de Monitoreo 10	EMRH-10	EMBM-10
Estación de Monitoreo 11	EMRH-11	EMBM-11
Estación de Monitoreo 12	EMRH-12	EMBM-12

Nota. Elaboración propia.

3.7. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Para el procesamiento de la información se tuvo en cuenta que esta fase de la ejecución de la investigación consiste en “en ordenar la información recogida en términos de los indicadores de cada variable y en relación a los objetivos de la investigación y a la hipótesis de trabajo” (Torres, 2018, p. 254).

En concordancia con lo acabado de citar y para efectos del procesamiento de la información, se realizaron las siguientes actividades:

- Identificar los Límites Máximos Permisibles – LMP, para metales pesados disueltos en el efluente.
- Identificar los Estándares de Calidad Ambiental – ECA, para parámetros fisicoquímicos del agua.
- Identificar las muestras provenientes de Bocamina – BM, según estación de muestreo.
- Identificar las muestras provenientes de Río Huancay – RH, según estación de muestreo.

3.8. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para efectos del análisis de datos se tuvo en cuenta que: “El análisis de la información documental, debe estar orientada a probar la hipótesis” (Torres, 2028, p. 279).

En concordancia con lo acabado de citar y para efectos del análisis de datos, se realizaron las siguientes actividades:

- Medir los parámetros fisicoquímicos en muestras provenientes de BM.
- Medir los parámetros fisicoquímicos en muestras provenientes del RH.
- Medir la concentración de MP en muestras provenientes de BM.
- Medir la concentración de MP en muestras provenientes de RH.

Por otro lado, para efectos de la interpretación de resultados se tuvo en cuenta que, “la interpretación como proceso mental-sensorial da un significado más general a los referentes empíricos investigados, relacionándolos con los conocimientos considerados en el planteamiento del problema y en el marco teórico y conceptual de referencia” (Torres, 2028, p. 279).

En concordancia con lo acabado de citar y para efectos de la interpretación de resultados, se realizaron las siguientes actividades:

- Comparar los parámetros fisicoquímicos medidos con los ECA.
- Verificar si las muestras de BM y RC cumplen con los ECA.
- Comparar las concentraciones de MP medidos con los LMP.
- Verificar si las muestras de BM y RC cumplen con los LMP

Asimismo, referido al análisis estadístico de la información recolectada se tiene que, su uso facilitará la comprensión de la información recolectada de las variables. En

ese sentido, se hizo uso de la estadística descriptiva para fines de análisis e interpretación de los resultados obtenidos de relacionar los resultados obtenidos luego de procesar la información recolectada.

3.9. ÁREA DE ESTUDIO

3.9.1. Ubicación del área de estudio

El área de estudio de la presente investigación se circunscribió al «Prospecto Minero Bumerang». Con respecto a dicho prospecto es menester mencionar que, este alude a la «Unidad Minera Bumerang» o mina en la cual se desarrolla el «Proyecto Minero Bumerang» que es operado por la «Compañía Minera Río Chicama». Dicho proyecto minero se encuentra ubicado aproximadamente a un kilómetro del caserío de Huancay perteneciente al distrito de Marmot de la provincia Gran Chimú.

Complementando lo señalado en el párrafo anterior, Velásquez (2018) aporta los siguientes datos:

La compañía minera Río Chicama se encuentra a 64 km de la ciudad de Trujillo, a una altitud de 800 msnm, Distrito de Marmot de la Provincia de Gran Chimú de la Región La Libertad. El Proyecto Bumerang se ubica políticamente en el departamento de La libertad, provincia de Gran Chimú y distrito de Marmot; a 67 km en una recta al noreste de la ciudad de Trujillo. Las localidades más cercanas al prospecto son los centros poblados Huancay y Panamá. (p. 19)

Por otro lado, respecto a la ubicación geográfica del «Prospecto Minero Bumerang» en términos de coordenadas basadas en el Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator, Universal Transversa de Mercator – UTM, y, teniendo en cuenta Sistema Geodésico Mundial del año 1984, World Geodetic System 1984 - WGS 84; se tiene que: “Las coordenadas UTM (WSG 84) centrales del prospecto son 753 200 E y 9159 500 N, con una altitud promedio de 950 m.s.n.m.” (Velásquez, 2018, p. 20).

Asimismo, a la «Unidad Minera Bumerang» operada por la «Compañía Minera Río Chicama», se puede acceder vía terrestre desde los departamentos de Ancash y Cajamarca, pero la ruta principal de acceso es la que parte desde la ciudad de Trujillo y toma un tiempo aproximado de 2 horas en automóvil. En la Figura 3 se muestra la ruta de acceso a la unidad minera en cuestión.

Figura 3

Ruta de acceso al Proyecto Bumerang operado por la Compañía Minera Río Chicama – Caserío de Huancay, distrito de Marmot.



Nota. Adaptado de: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2017), Mapa vial de la provincia de Gran Chimú departamento de La Libertad.

3.9.2. Ubicación política del área de estudio

Desde un punto de vista de división político-administrativo, el área de estudio se encuentra dentro del distrito de Marmot, provincia de Gran Chimú del departamento de La Libertad.

En un contexto referenciado a la circunscripción territorial de primer orden, departamento o mal llamado región, a la cual se circunscribe el área de estudio; permite establecer que, la provincia de Gran Chimú “es una de las doce provincias que conforman el departamento de La Libertad, limita por el norte y por el este con el Departamento de Cajamarca, por el sur con la Provincia de Otuzco, y por el oeste con la Provincia de Ascope, se creó mediante Ley N° 26398 del 6 de diciembre del año 1994 dentro de la jurisdicción del departamento de La Libertad, teniendo como capital la ciudad de Cascas” (Iglesias, 2019, p.55).

En un contexto referenciado a la circunscripción territorial de segundo orden, provincia, a la cual se circunscribe el área de estudio, se tiene que; Marmot es uno de los cuatro distritos de la provincia de Gran Chimú; en efecto, esta “está conformada por los distritos de Cascas, Lucma, Marmot y Sayapullo. La superficie de la provincia es de 1,284.77 km² y tiene una población de 26,892 habitantes al año 2017. Su capital Cascas se encuentra a una altura de 1,274 msnm, Marmot a 1,500 msnm, Lucma a 2,182 msnm y Sayapullo a 2,357 msnm. La densidad poblacional de la Provincia es de 23.8 habitantes por kilómetro cuadrado” (Iglesias, 2019, p.55).

En un contexto referenciado a la circunscripción territorial de tercer orden, distrito, se tiene que, Marmot es “uno de los cuatro distritos de la Provincia de Gran Chimú, ubicada en el Departamento de La Libertad, bajo la administración del Gobierno Regional de La Libertad [...]. El distrito fue creado mediante Ley del 14 de mayo de 1876, en el gobierno del Presidente Manuel Pardo y Lavalle” (Plataforma Digital Única del Estado Peruano, 2025).

Por otro lado, es pertinente destacar que, el distrito de Marmot cuya capital es Compín, agrupa varios caseríos y centros poblados dentro de su circunscripción territorial, destacando Huancay y Panamá, respectivamente. Asimismo, es de destacar que, la totalidad del distrito de Marmot se encuentra dentro de la subcuenca formado por el río Huancay, también conocido como río grande o río Alto Chicama.

En la Figura 4 se muestra la ubicación del distrito Marmot dentro de la subcuenca Huancay y cuenca del río Chicama.

Asimismo, en un ámbito que combina lo geográfico y lo político-administrativo, se define a un distrito como “el ámbito geográfico que corresponde a la división política administrativa más pequeña del país y comprende un conjunto de centros poblados urbanos y rurales” (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018, p.382).

Un distrito se subdivide ya sea por tradición o acuerdo consensuado en función a caseríos, anexos y centros poblados, pero en general como centro poblado, término que incluye a los otros dos y se define como:

[...] el lugar del territorio de un distrito, que tiene un nombre y es habitado por varias familias o por una sola familia o una sola persona con ánimo de permanencia. Las viviendas del centro poblado pueden estar formando manzanas, calles y plazas, como los pueblos o ciudades; estar semidispersas, como los caseríos, anexos, entre otros y totalmente dispersas, como las viviendas en ámbitos agropecuarios. De acuerdo a la distribución de sus viviendas, un centro poblado puede ser: urbano o rural. (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018, p.382).

También, un distrito puede ser identificado por el piso altitudinal en la que se encuentra, en ese sentido se utiliza la caracterización basada en las ocho regiones naturales que son las siguientes:

- Región costa o chala.
- Yunga o quebrada. Región natural que, dependiendo si los ríos de sus cuencas hidrográficas vierten sus aguas al mar peruano o al río Amazonas se denominan yunga marítima o fluvial, respectivamente.
- Región Quechua.
- Región Suni o Tierras Altas.
- Región Puna o Jalca.
- Región Janca o Cordillera.
- Región Selva Alta o Rupa Rupa.
- Región Selva Baja u Omagua.

Finalmente, en la Tabla 8 presentamos la relación de centros poblados del distrito de Marmot, el piso altitudinal en las que se encuentran dichos centros poblados, y, la población y viviendas por cada uno de ellos según el censo de 2017.

Tabla 8

Codificación asignada a los recipientes utilizados en el recojo de las muestras....

Código	Centros Poblados	Región Natural (Según piso altitudinal)	Altitud (m.s.n.m.)	Población Censada			Viviendas Particulares		
				Total	Hombre	Mujer	Total	Ocupadas	Desocupadas
0001	COMPIN	Yunga marítima	1 512	508	264	244	294	266	28
0002	PAMPAS DEL BAO	Yunga marítima	637	166	91	75	73	67	6
0003	SEPTEN	Yunga marítima	664	204	110	94	70	66	4
0004	PANAMA	Yunga marítima	747	167	97	70	75	61	14
0005	CERRO NEGRO	Yunga marítima	764	359	258	101	63	57	6
0006	HUANCA Y	Yunga marítima	780	373	189	184	126	126	-
0008	ZAPOTAL	Yunga marítima	915	66	38	28	36	30	6
0009	MOYOBAMBA	Yunga marítima	1 333	29	17	12	12	11	1
0010	LA CUEVA	Yunga marítima	967	32	16	16	19	12	7
0011	RINCON DE CORMOT	Yunga marítima	989	49	27	22	19	19	-
0012	CORMOT	Yunga marítima	1 068	93	51	42	75	60	15
0013	LA PLAYA	Yunga marítima	1 214	-	-	-	2	2	-
0014	HUALISINCHE	Yunga marítima	1 205	17	11	6	12	11	1
0015	CORONTILLA	Yunga marítima	1 321	-	-	-	11	10	1
0016	LAS PALMAS	Yunga marítima	1 446	43	21	22	33	31	2

0017	LA BARCUDA	Yunga marítima	1 541	7	5	2	10	10	-
0018	EL POTRERO	Quechua	2 856	-	-	-	1	1	-
0019	CAÑA BRAVA	Yunga marítima	1 765	16	9	7	10	10	-
0020	MARMOT	Yunga marítima	2 222	37	25	12	40	38	2
0021	LAS ROMAS	Quechua	2 457	3	1	2	2	2	-
0022	LA COLORADA	Quechua	2 534	4	1	3	9	7	2
0023	QUILCA	Quechua	2 853	12	5	7	4	4	-
0024	LAS ESPINAS	Quechua	2 850	4	1	3	1	1	-
0025	SUCCHABAMBA	Quechua	2 446	95	48	47	43	38	5
0026	CHUGUR	Quechua	2 934	41	21	20	27	19	8
0027	LAS LAJAS	Yunga marítima	1 450	50	31	19	20	16	4
0028	PAMPA CHUGUR	Quechua	2 971	6	2	4	3	3	-
0029	SUCCHABAMBA EL ALTO	Quechua	2 872	-	-	-	1	-	1
0030	ALVARADITO	Quechua	2 962	4	2	2	3	2	1
0031	CURRAPE	Quechua	2 610	1	1	-	2	2	-
0032	EL RAYAME	Quechua	2 902	21	12	9	9	7	2
131103	DISTRITO MARMOT			2 407	1 354	1 053	1 105	989	116

Nota. Tomado de: Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). Directorio Nacional de Centros Poblados [Tomo III].

3.9.2. Descripción hidrográfica del área de estudio

Hidrográficamente el área de estudio, en su contexto más general, la cuenca hidrográfica, se encuentra dentro de la cuenca Chicama, con respecto al río homónimo que forma dicha cuenca se tiene que, el cauce principal de la cuenca, río Chicama – río Huancay – río Perejil:

[...] recorre en dirección noroeste desde las nacientes del río Huancay hasta su confluencia con el río Chuquillanqui, a partir del cual, cerca de la localidad de Panana a 700 m.s.n.m. se desplaza en dirección sureste con el nombre de río Chicama hasta llegar al Océano Pacífico. El río Huancay y Chuquillanqui son los principales afluentes del río Chicama que además se encargan de abastecerlo en épocas de estiaje. (Autoridad Nacional del Agua, 2003, p.18).

Por otro lado, para efectos de describir hidrográficamente el área de estudio en su contexto más específico, la subcuenca, es menester tener en cuenta que esta constituye una “unidad del área o parte de una cuenca a partir de la cual toda la escorrentía superficial fluye a través de una serie de corrientes, ríos y, en ocasiones, lagos hacia un punto particular de un curso de agua que, por lo general, es un lago o una confluencia de ríos” (Moreno y Renner, 2007, p. 25).

Luego, desde un punto de vista de cuencas hidrográficas, el área de estudio forma parte la subcuenca Huancay, la cual según lo mostrado en la Figura 1 tiene los siguientes límites: por el norte, con la subcuenca Chuquillanqui y subcuenca Medio Alto Chicama; por el sur, con la cuenca Moche y la cuenca Santa; por el este, con la cuenca Crisnejas; y, por el oeste, con la subcuenca Medio Alto Chicama y subcuenca Quirripango.

Además, una descripción de la subcuenca del río Huancay en términos de otras subcuencas de la cuenca Chicama y las circunscripciones territoriales político-administrativas, dan cuenta que la subcuenca en cuestión:

[...] comprende parte de las provincias de Gran Chimú, Otuzco y Sánchez Carrión en la Región La Libertad. Esta subcuenca se caracteriza por presentar un amplio valle en las zonas bajas cercado en ambos extremos por la cordillera que asciende, limitando por el oeste con las partes altas de la subcuenca de Quirripango y por el este con las serranías de las provincias de Sánchez Carrión (Región La Libertad) y Cajabamba (Región Cajamarca). (Ita, 2013, p.27).

Prosiguiendo en su contexto más específico, la subcuenca Huancay se extiende desde el punto de confluencia de los ríos Huancay y Chuquillanqui, punto de inicio del río Chicama, “hasta la línea de cumbres que constituye la divisoria de aguas entre esta cuenca y la del Río Marañón y cuyo punto más alto corresponde a la Señal Cerro Tuanga (4,297 m.s.n.m.)” (Universidad Nacional de Ingeniería, 2000, p.7).

Dicha subcuenca abarca una extensión total de 1186.1 km², cubriendo un perímetro aproximado de 193.5 km, y, representando casi la cuarta parte de la cuenca del río Chicama, 24.6% de la superficie de dicha cuenca.

En la Tabla 9 se muestra en detalle los datos de superficie y perímetro antes señalados incluyendo la de las otras subcuencas del río Chicama.

Tabla 9
Subcuencas que conforman la cuenca Chicama.

Subcuenca	Perímetro (Km)	Superficie (Km ²)	Superficie (%)
Baja	168.3	1149.2	23.9
Media	139.8	457.8	9.5
Río Chuquillanqui	147.3	909.2	18.9
Río Huancay (Alto Chicama)	193.5	1186.1	24.6
Río Ochape	75.7	217.1	4.5
Río Quirripano	87.9	327.6	6.8
Río Santanero	111.4	567.4	11.8
CUENCA	418.7	4814.3	100.0
Cuenca hasta Estación de Monitoreo Salinar	-	3665.1	76.1

Nota. Adaptado de: Universidad Nacional de Ingeniería. (2000). Estudio de evaluación ambiental territorial y de planteamientos para la reducción de la contaminación de origen minero en la cuenca del río Chicama; p.8.

Asimismo, teniendo en cuenta la clasificación de cuencas según su extensión territorial señalada por Gámez (2009) quien considera cuencas pequeñas a aquellas cuyas superficies son menores a 50 Km², cuencas medianas a aquellas cuyas superficies varían entre 50 y 150 Km², y, cuencas grandes a aquellas cuya superficie son mayores a 150 Km²; se colige que, la subcuenca Huancay es una cuenca grande; luego, dado que, dentro de una subcuenca suelen existir microcuencas, es pertinente destacar las existentes dentro de la subcuenca Huancay; en ese sentido, en la Tabla 10 se describe las microcuencas existentes en la subcuenca Huancay y los tipos de cuencas que estas representan en términos de la superficie territorial de las mismas.

Tabla 10

Microcuencas que conforman la subcuenca Huancay.

Nombre	Descripción	Tipo de Cuenca
Microcuenca del río Perejil	Conforma las nacientes del cauce principal de la subcuenca del río Huancay con un área de drenaje de 210.9 Km ² . Los aportes de esta microcuenca son de la laguna El Chorro y de sus tributarios más importantes: los riachuelos Río Negro, Maskarat, Canibamba, Chacomás, Derumbe blanco y La Juna.	Grande
Microcuenca del riachuelo Huacamochal	Nace en el paraje Cabildillo a 3850 m.s.n.m. y entrega en la margen derecha del cauce principal del río Huancay en la confluencia con el río Perejil. El área de drenaje es de 97.7Km ² . Recibe los aportes de las lagunas Molino, Verde y Brava y de riachuelos tributarios.	Mediana
Microcuenca del río Huaranchal	Nace a una altitud de 3900 m.s.n.m. en la comunidad campesina de Ascate y está en la margen derecha del río principal. Cuenta con un área de drenaje de 123.1 Km ² . Esta microcuenca cuenta con el aporte de la laguna Prieto en sus nacientes y la laguna Lucmacocha en su parte media, del mismo modo recibe el aporte de los riachuelos tributarios, de las cuales podemos diferenciar Ascate, Pauganchi, Infiernillo y Huaranchal.	Mediana
Microcuenca del riachuelo Charat	Nace una altitud de 3900 m.s.n.m. y está en la margen izquierda del río principal contando con un área de drenaje de 60.7Km ² . Esta microcuenca recibe el aporte principal de los riachuelos Congo y Charat. No posee lagunas permanentes.	Mediana
Microcuenca del río Succhabamba	Sus nacientes se encuentran a 4200 m.s.n.m. en la comunidad campesina de Muchamaca. Entrega sus aguas en la margen izquierda del río principal. El área de drenaje es de 59.73Km ² . El principal aporte que recibe es del río Chugur. Al igual que Charat no posee lagunas permanentes.	Mediana
Microcuenca del riachuelo Lucma	Es una de las microcuencas más pequeñas de Huancay que nace a 3600 m.s.n.m. y tiene un área de drenaje de 46.2Km ² .	Pequeña

Nota. Adaptado de: Autoridad Nacional del Agua. (2003). Evaluación y ordenamiento de los recursos hídricos en la cuenca del río Chicama; pp.18-19.

Finalmente, algunas precisiones acerca de la subcuenca del río Huancay en el contexto de la cuenca Chicama, son las siguientes:

- Respecto al río Chicama, Alfaro (2010) señala que este “nace en las alturas de las minas de Callacuyán con el nombre del río Perejil, hasta la localidad de Caina, a partir del cual toma el nombre de río Grande o Alto Chicama. Más abajo toma el nombre de río Huancay. El nombre de río Chicama toma a partir de la hacienda El Tambo, hasta la desembocadura en el mar” (p. 13). En este contexto citado, es pertinente destacar que, la subcuenca del río Huancay

sigue un desarrollo que va desde las alturas de Callacuyán, naciente del río perejil, hasta la confluencia del río Huancay con el río Chuquillanqui.

- La Estación de Monitoreo Salinar – EMS, “ubicada en el río Chicama a una altitud de 350 m.s.n.m., a unos 2 Km aguas abajo de la confluencia de los ríos Quirripango y Chicama” (Autoridad Nacional del Agua, 2015, p.110); suele ser tomada como referencia para dividir la subcuenca Chicama, homónima de la cuenca, en subcuenca baja y media del río Chicama; en efecto, “por cuestiones técnicas se ha dividido el cauce principal del río Chicama en subcuenca media y baja y que abarcan los tributarios del río de menor magnitud e importancia” (Autoridad Nacional del Agua, 2003, p.18). Si bien es cierto que, el acto de considerar a la EMS como divisoria entre subcuencas solo se hace con fines técnicos, en sí es erróneo hablar de dos o más subcuencas formadas por un mismo río.
- El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2013) considera nueve subcuencas en la cuenca Chicama, ver Figura 1, las cuales son: Subcuenca Alto Chicama, subcuenca Bajo Chicama, subcuenca Chuquillanqui, subcuenca Medio Alto Chicama, subcuenca Medio Bajo Chicama, subcuenca Medio Chicama, subcuenca Ochape, subcuenca Río Quirripango y subcuenca Río Santanero. De lo acabado de citar, la subcuenca Alto Chicama es la subcuenca Río Huancay; las denominadas subcuencas Bajo Chicama, Medio Chicama y Medio Bajo Chicama, en la práctica forman la subcuenca Chicama; y, la subcuenca Medio Alto Chicama en la práctica forma parte de la subcuenca Chuquillanqui. Luego, teniendo en cuenta lo acabado de señalar, se tiene las seis subcuencas de la cuenca Chicama.
- Autoridad Nacional del Agua. (2003) ANA 2003 considera siete subcuencas en la cuenca Chicama, estas son: Subcuenca Río Huancay; subcuenca Río Chuquillanqui; subcuenca Río Ochape; subcuenca Río Santanero; subcuenca Río Quirripango; subcuenca Media, desde la confluencia de los ríos Huancay y Chuquillanqui hasta la estación hidrométrica Salinar; y, subcuenca Baja, desde la estación hidrométrica Salinar hasta su desembocadura en el Océano Pacífico. De lo acabado de citar, las denominadas subcuencas Baja y Media, en la práctica forman la subcuenca Chicama; luego, teniendo en cuenta lo acabado de señalar, se tiene las seis subcuencas que conforman la cuenca Chicama.

- Sin contar al río Chicama, en la cuenca Chicama existen cinco ríos que conforman cinco subcuencas importantes, dichos ríos son: Huancay, Chuquillanqui, Ochape, Santanero y Quirripango; luego, contando al río Chicama, existen seis subcuencas en la cuenca Chicama.

3.9.3. Descripción geológica del área de estudio

En el área de estudio, las características de las rocas dan cuenta de la presencia de arcilla y limo, fragmentos de otras rocas y minerales que se han depositado y cementado juntas, y, cuarzo; en efecto, la litología “está dominada por la extendida presencia de rocas correspondientes a los niveles superiores de la formación Chicama de edad Jurásico Superior constituidos por la ocurrencia de lutitas, limolitas y areniscas con ocasionales sills de andesita” (Velásquez, 2018, p.22).

Por otro lado, Velásquez (2018) refiriéndose a las estructuras mineralizadas en la Unidad Minera Bumerang destaca que, estas consisten de sistemas de vetas polimetálicas y que la veta principal del área es la veta Rosicler - La Virgen, ver ubicación en Figura 3; además de ello, destaca que la mineralogía permite distinguir los siguientes minerales: Estibina - S_3Sb_2 , la cual se encuentra “asociado a otros minerales de antimonio formados como productos de su descomposición, y con galena, cinabrio, blenda, baritina, rejalgar, oropimente y oro” (p.26); Plata – Ag, la cual en su forma nativa “está extensamente distribuida en pequeñas cantidades, principalmente en la zona de oxidación de los depósitos de minerales” (p.27); Oro – Au, el cual se encuentra en “los llamados filones hidrotermales de cuarzo y oro, donde, junto con la pirita y otros sulfuros el oro fue depositado por soluciones minerales ascendentes que lo contenían” (p.28); y, minerales secundarios o ganga entre las cuales destacan mineral de calcopirita, mineral de cuarzo SiO_2 , y, Yeso en su variedad Selenita $CaSO_4 \cdot 2H_2O$.

Finalmente, dado que la actividad minera en la subcuenca del río Huancay está circunscrita a la explotación de depósitos metálicos y no metálicos catalogados de pequeña a mediana minería, se presumió la existencia de variados elementos contaminantes que superan los Límites Máximos Permisibles – LMP o no cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental – ECA. En ese sentido fue que, para efectos de la presente investigación consideramos la minería metálica y no metálica, que se encuentran en inmediaciones como fuente de contaminación, poniendo énfasis en la Unidad Minera Bumerang operada por la Minera Río Chicama, y considerando los metales pesados de Sb, Fe, Pb, As y Cu.

3.10. ESTACIONES DE MONITOREO

Respecto a la ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo estas se realizaron en términos de coordenadas UTM, zona 17, expresando las ubicaciones en términos de latitud Norte – N, longitud Este – E, y, la altitud expresada en metros sobre el nivel del mar – m.s.n.m.

3.10.1. Estaciones de monitoreo del río Huancay

3.10.1.1. Ubicación de las estaciones de monitoreo

Las denominadas Estaciones de Monitoreo del Río Huancay – EMRH, en número fueron 12 estaciones, se establecieron teniendo en cuenta a las usuales estaciones tomadas como referencia para el monitoreo del río Chicama. En la Tabla 11 se presenta la ubicación de las estaciones de monitoreo del río Huancay las cuales fueron derivadas de las estaciones de monitoreo del río Chicama.

Tabla 11

Ubicación de las estaciones de monitoreo del río Huancay.

Estación	Ubicación de las estaciones	N	E	A
EMRH-01	Río Huancay, después de compin	9 152 269	763 119	1200
EMRH-02	Río Huancay, después del poblado de Carmot	9 152 630	761 544	1155
EMRH-03	Río Huancay, antes de Hacienda Huancay	9 157 840	755 888	980
EMRH-04	Quebrada Campoden cruzando por el puente Cepo	9 166 549	770 844	300
EMRH-05	Río San Jorge, después de quebrada Campoden	9 165 115	766 389	1245
EMRH-06	Río Cospán, altura Checapunta	9 165 934	762 988	1175
EMRH-07	Río Chuquillanqui, antes del río Huancay	9 162 314	756 707	995
EMRH-08	Río Chicama, antes de su confluencia con el río Machasen	9 163 466	752 924	910
EMRH-09	Río Machasen, en el puente olluco antes de la confluencia con el río Chicama	9 164 358	751 109	930
EMRH-10	Río Chicama, frente a Bao	9 165 242	743 820	795
EMRH-11	Río Chepino, antes de Cojitambo y antes de su confluencia con el Río Chicama	9 165 412	741 658	875
EMRH-12	Río Chicama, antes de hacienda Jahuay	9 152 667	725 043	565

Nota. Elaboración propia, 20/10/2018.

En la Figura 5 se muestra el mapa de ubicación de las estaciones frecuentemente utilizada para el monitoreo del río Chicama.

De la Figura 5 se tiene que, aunque el mapa muestra la ubicación de las estaciones frecuentemente utilizada para el monitoreo del río Chicama, estas incluyen estaciones ubicadas en el río Huancay, estaciones 1, 2 y 3. Dichas estaciones por encontrarse ubicadas a lo largo del río Huancay, permiten el monitoreo hidrológico y consecuentemente el monitoreo de la contaminación de las aguas del mismo.

3.10.1.2. Caracterización de las estaciones de monitoreo

Una primera aproximación de campo, trabajo piloto o recogida de datos antes del recojo de las muestras propiamente dicho, nos permitió conseguir los datos presentados en la Tabla 12. En dicha tabla se tuvo en cuenta la codificación asignada a los recipientes utilizados en el recojo de las muestras presentadas en la Tabla 7, la cual identifica también a las estaciones de monitoreo.

Tabla 12

Características de las aguas del río Huancay.

Estación	Caudal (m ³ /s)	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (μS/cm)
EMRH-01	4	21,6	8,2	650
EMRH-02	3	23,4	8,1	650
EMRH-03	5	21,8	8,1	645
EMRH-04	2	21,2	7,9	517
EMRH-05	2	25,2	8,2	622
EMRH-06	1	22,6	8,3	201
EMRH-07	2	26,3	8,1	667
EMRH-08	5	26,1	8,1	737
EMRH-09	6	27,0	7,9	308
EMRH-10	6	25,5	8,4	720
EMRH-11	4	25,0	7,3	902
EMRH-12	1	25,2	7,4	735

Nota. Adaptado de: Universidad Nacional de Ingeniería (2000), Estudio de evaluación ambiental territorial y de planteamientos para la reducción de la contaminación de origen minero en la cuenca del río Chicama, p.38.

Los datos presentados en la Tabla 11, datos tomados de un reporte de campo concordante con el presente estudio, permitió la caracterización de las estaciones de monitoreo del río Huancay en los términos que prosiguen.

ESTACION N°1: Esta estación codificada como EMRH-01, se ubica en el río Huancay aguas abajo después de Compín. En esta zona, el río Huancay crea un valle estrecho, en su lecho se puede observar bloques de rocas volcánicas redondeados y semiredondeados, algunas alcanzan tamaños de hasta 4 metros, además, la presencia de algas verdes es intermitente, el agua presenta un leve tono amarillento, con un pH de 8,2, un caudal de 4 m³/seg y una conductividad eléctrica de 650 µS/cm a una altitud de 1200; la vegetación es bastante densa en ambos lados del río (Universidad Nacional de Ingeniería, 2000).

ESTACION N°2: Esta estación codificada como EMRH-02, se ubica en el río Huancay aguas abajo del poblado de Cormot. Alrededor de dicha estación ambos lados del río están muy erosionados y se nota que la carretera que lleva al poblado de Cormot por la orilla izquierda ha desaparecido en un tramo de 800 m, quedando la vía actual como una improvisación; además, durante la temporada de lluvias que va diciembre a marzo, el caudal del río suele incrementar de 3 a 15 m³/seg; además, el lecho del río contiene material de gravas y cantos rodantes, el pH del agua es 8,1, su conductividad alcanza 650 µS/cm y se sitúa a más de 1155 de altitud; asimismo, el río en su cauce muestra algas verdes, en la zona contigua al valle crecen arbustos como el molle, huarango y diferentes árboles frutales como pacay, mango, plátano, guayabo, chirimoya, naranja, además de cultivos como camote y yuca, coca, ají, maní, frejol (Universidad Nacional de Ingeniería, 2000).

ESTACION N°3: Esta estación codificada como EMRH-03, se ubica en el río Huancay antes de su paso por la Hacienda Huancay. En este punto, el fondo del río es extenso, con numerosos bloques de cuarcitas desgastadas y quebradas, gravas; la flora está compuesta principalmente por un bosque de grandes cactus en sus orillas. El agua presenta un color claro y transparente con un pH de 8,1 y un caudal de 5 m³/seg, conductividad de 645 µS/cm, altitud de 980 m.s.n.m. (Universidad Nacional de Ingeniería, 2000).

ESTACION N°4: Esta estación codificada como EMRH-04, se ubica en la Quebrada Campoden a la altura del Puente Cepo, En este punto el lecho del río se caracteriza por contener bloques de gravas, cuarcitas y rocas volcánicas; también, en su lecho hay presencia de algas verdes, y, en sus márgenes se pueden ver árboles frutales y también plantas como el molle, eucaliptos, aliso y retamas; además, en este punto el agua tiene un pH de 7,9 y un bajo caudal de 2 m³/seg, con una conductividad eléctrica de 517 µS/cm a una altitud de 1725; asimismo, es pertinente desatacar que, el río o

quebrada Campoden es un afluente del río San Jorge, río Chuquillanqui, que luego al unirse con el río Huancay da origen al río Chicama (Universidad Nacional de Ingeniería, 2000).

ESTACION N°5: Esta estación codificada como EMRH-05, se ubica sobre el río San Jorge, después de quebrada Campoden. En esta zona el río presenta una inclinación bastante suave del 7%, su cauce está lleno de material gravoso y cuarcífero en gran cantidad, el valle es estrecho, la flora es limitada, con predominancia de especies típicas del área como el cactus, taya, molle, entre otros; asimismo, el pH del agua es 8.2, su conductividad es de 622 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con un caudal de 2 m^3/seg , y, se encuentra a una altitud de 1245 m.s.n.m. (Universidad Nacional de Ingeniería, 2000).

ESTACION N°6: Esta estación codificada como EMRH-06, se ubica sobre el río Cospán a la altura del centro poblado Checapunta. En el lecho de este río que viene a ser un tributario del río San Jorge por su margen derecha, se encuentran numerosas gravas de cuarcitas; en los laterales se aprecian frutales como pacay, mangos y plátanos. Sus aguas presentan una turbidez leve a transparente y su pH es de 8,3 con un caudal de 1 m^3/seg a una altitud de 1175 m.s.n.m., con una conductividad de 201 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Universidad Nacional de Ingeniería, 2000).

ESTACION N°7: Esta estación codificada como EMRH-07, se ubica en el río Chuquillanqui antes de unirse al río Huancay, en este punto, a una altitud de 995 m.s.n.m., el río San Jorge toma el nombre de río Chuquillanqui. El lecho del río Chuquillanqui es bastante amplio, alcanzando hasta 100 metros de longitud, y está lleno de material gravoso con óxidos limoníticos; además, en su margen izquierda dicho río muestra zonas con cultivos de arroz, alfalfa y frutales; es bastante extenso y el lugar se sitúa frente a la localidad de Chuquillanqui; además, en esta zona, los cactus son muy numerosos, alcanzando alturas de hasta 10 metros, creciendo sobre rocas metamórficas que tienen un aspecto similar al de la pizarra; asimismo, las aguas nos indican un pH de 8.1 con un caudal de 2 m^3/seg , la temperatura del agua alcanzó 26.3°C a las 2:00 p.m. del día 20 de octubre de 2018, y, una conductividad 667 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Universidad Nacional de Ingeniería, 2000).

ESTACION N°8: Esta estación codificada como EMRH-08, se encuentra ubicada sobre el río Chicama, antes de recibir las aguas del río Machasen, a una altitud de 910 m.s.n.m. Este punto de monitoreo está sobre el río Chicama después que el río Chuquillanqui y el río Huancay se unieran a la altura del poblado Los Molinos; además, el río muestra playas amplias con material gravoso y en la margen izquierda

se desarrolla una agricultura dedicada principalmente al arroz en forma de andenes; las aguas del río registran un pH de 8.1 con un caudal de 5 m³/seg y conductividad 737 μS/cm (Universidad Nacional de Ingeniería, 2000).

ESTACION N°9: Esta estación codificada como EMRH-09, se ubica sobre el río Machasen, en el puente Olluco, antes de su confluencia con el río Chicama. En la fecha de visita dicho río se encontraba sin drenaje por ser la época de estiaje, en su lecho se observó bloques sub redondeadas de volcánicos y cuarcitas; además, la vegetación es de arbustos como carrizos, huarangos y otros típicos de la zona cálida; y, tiene un caudal de 6 m³/seg, pH 7.9, conductividad 308 μS/cm (Universidad Nacional de Ingeniería, 2000).

ESTACION N°10: Río Esta estación codificada como EMRH-10, se ubica en el río Chicama frente al centro poblado BAO. Las playas del río muestran abundante arena y gravas, en la zona se lleva a cabo una intensa actividad agrícola de productos principalmente de arroz, caña de azúcar y frutas, y, la flora principal incluye eucaliptos, huarangos, molles, carrizales, gramas, entre otros; además, el lecho está formado por material alubiar de gravas de composición cuarcífera, cuarcitas, y volcánico, andesitas; también hay pequeños acúmulos de óxido de hierro con manganeso en áreas cercanas; asimismo, a esta altura el río Chicama presenta un caudal incrementado en un 6 m³/seg, sus aguas son cristalinas con pH de 8.4 y una conductividad de 720 μS/cm (Universidad Nacional de Ingeniería, 2000).

ESTACION N°11: Esta estación codificada como EMRH-11, se ubica en el río Chepino antes de Cojitambo y antes de su confluencia con el río Chicama, el río Chepino es un afluente situado en un angosto valle que desemboca en el río Chicama por su lado derecho. En esta zona las aguas del río son claras con rica vegetación, el material presente en su lecho lo constituyen gravas de rocas metamórficas y sedimentarias de formas subredondeadas de dimensiones que alcanzan 1 metro; además, el río presenta bajo caudal, 4 m³/seg, y muestra una densa flora en sus orillas; también, los cultivos en la zona son variados y diversos, sobresaliendo el arroz y la vid, en menor medida, el maíz, trigo, paltos, plátano, tunas, mangos, ají y frejol; asimismo, sus aguas muestran una temperatura de 25°C, un pH de 7.3, una conductividad eléctrica de 902 μS/cm (Universidad Nacional de Ingeniería, 2000).

ESTACION N°12: Esta estación codificada como EMRH-12, se ubica en el río Chicama antes de la Hacienda Jahuay. A esta altura el río Chicama presenta un caudal reducido 1 m³/seg ya que, sus aguas son recolectadas a través de canales

para la irrigación de las zonas agrícolas; asimismo, las aguas presentan transparencia, con fauna y flora acuática, temperatura de 25.2°C, pH 7.4, y, conductividad de 735 μ S/cm (Universidad Nacional de Ingeniería, 2000).

3.10.2. Estaciones de monitoreo de Bocamina

3.10.2.1. Ubicación de las estaciones de monitoreo

Las denominadas estaciones de monitoreo del efluente proveniente de Minera Río Chicama, Estación de Monitoreo de Bocamina – EMBM, las cuales en número fueron 12, se establecieron desde la cabecera de la unidad minera hasta el punto de vertimiento de los efluentes en el río Huancay.

En la Tabla 13 se presenta la ubicación según coordenadas UTM de las denominadas estaciones de monitoreo de Bocamina.

Tabla 13

Ubicación de las estaciones de monitoreo del efluente de Bocamina.

Estación	Ubicación de las estaciones	N	E	A
EMBM-01	Bocamina Río Huancay (cabecera)	9 156 201	725 032	200
EMBM-02	Primer cambeo	9 156 202	725 032	200
EMBM-03	Intersección de línea de Cawill	9 156 202	725 032	200
EMBM-04	Bomba 3	9 156 202	725 033	201
EMBM-05	Cocha 1	9 156 203	725 033	201
EMBM-06	Botadero 203 (intermedio)	9 156 203	725 033	203
EMBM-07	Bay Pass 205	9 156 204	725 034	205
EMBM-08	Cola de Caballo	9 156 204	725 034	208
EMBM-09	Cocha 2	9 156 204	725 034	210
EMBM-10	Altura de la Compresora Atlas Copco	9 156 205	725 034	210
EMBM-11	Altura de Botadero 212	9 156 205	725 034	212
EMBM-12	Desemboque al Río Huancay	9 156 205	725 034	215

Nota. Elaboración propia, 21/10/2018.

3.10.2.2. Caracterización de las estaciones de monitoreo

Los datos presentados en la Tabla 13, datos tomados de una primera aproximación de campo realizado el día 21 de octubre del año 2018, permitió la caracterización de

las estaciones de monitoreo del efluente de bocamina, efluente generado por la Minera Río Chicama que es vertido en el río Huancay; luego, las estaciones de monitoreo de Bocamina se caracterizaron en los términos que prosiguen.

ESTACION N° 1: Esta estación codificada como EMBM-01, se ubicó en Bocamina o Cabecera. Se inició la toma de muestra en esta zona; altitud 200 m.s.n.m., caudal 0.020 m³/s, pH 6.55, conductividad 690 µS/cm, terreno árido destinado para cancha de selección.

ESTACION N° 2: Esta estación codificada como EMBM-02, se ubica en Primer Cambio, parte de la cancha donde está el primer cambio del convoy que extrae el mineral, caudal 0.022 m³/s, altitud 200 m.s.n.m., pH 5.45, conductividad 680 µS/cm, terreno árido sin vegetación.

ESTACION N° 3: Esta estación codificada como EMBM-03, se ubicó en la intersección del primer cambio, en esta parte existen tres cambios de modo que no se interfiera los equipos de carguío, es terreno árido sin actividad agrícola, el caudal es 0.021 m³/s, altitud 200 m.s.n.m., pH 6.15, conductividad 679 µS/cm, terreno árido sin vegetación.

ESTACION N° 4: Esta estación codificada como EMBM-04, se ubicó en la Bomba 3, ubicado frente a la bomba de agua, el caudal es 0.022 m³/s, altitud 201 m.s.n.m., pH 6.55, conductividad 650 µS/cm, terreno árido sin vegetación.

ESTACION N° 5: Esta estación codificada como EMBM-05, se ubicó en la Cocha 1, punto ubicado a la entrada del agua a la cocha de sedimentación, el caudal es 0.022 m³/s, altitud 201 m.s.n.m., pH 6.90, conductividad 660 µS/cm, terreno destinado al acopio de mineral.

ESTACION N° 6: Esta estación codificada como EMBM-06, se ubicó en Botadero 203, punto ubicado en la parte intermedia del tramo de la cuneta, el caudal en este punto es 0.023 m³/s, altitud 203 m.s.n.m., pH 6.70, conductividad 665 µS/cm, terreno destinado al acopio de mineral.

ESTACION N° 7: Esta estación codificada como EMBM-07, se ubicó en BY PASS 205, punto ubicado al final del BY PASS, este lugar es la zona de carguío del mineral a los volquetes, caudal 0.020 m³/s, altitud 205 m.s.n.m., pH 7.10, conductividad 670 µS/cm, terreno destinado al acopio de mineral.

ESTACION N° 8: Esta estación codificada como EMBM-08, se ubicó en Cola de Caballo, punto ubicado frente a la cancha de mineral de baja ley caudal, 0.020 m³/s, altitud 208 m.s.n.m., pH 7.5 conductividad 678 µS/cm, terreno destinado al acopio de mineral de baja ley.

ESTACION N° 9: Esta estación codificada como EMBM-09, se ubicó en Cocha 2, segundo punto de decantación de las aguas de mina, caudal 0.020 m³/s, altitud 210 m.s.n.m., pH 7.5 conductividad 780 µS/cm.

ESTACION N°10: Esta estación codificada como EMBM-10, se ubicó a la altura de la compresora ATLAS COPCO, punto alejado de la cancha de acopio, caudal 0.020 m³/s, altitud 210 m.s.n.m., pH 7.8 conductividad 800 µS/cm, terreno árido,

ESTACION N°11: Esta estación codificada como EMBM-11, se ubicó a la altura de Botadero 212, terreno con presencia de material estéril producto del pallaqueo o selección manual de mineral, caudal 0.022m³/s, altitud 212 m.s.n.m., pH 7.65 conductividad 790 µS/cm, terreno árido.

ESTACION N°12: Esta estación codificada como EMBM-12, se ubicó en desemboque al río Huancay, final de la cuneta por lo que al agua de mina llega al río; aquí los parámetros son: caudal 0.022m³/s, altitud 215 m.s.n.m., pH 7.45 conductividad 755 µS/cm, terreno con escasa vegetación.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

Tal como se señaló en el capítulo anterior, antes del inicio de toma de muestras de campo y toma de muestras para análisis de laboratorio, se realizó una primera aproximación de campo o prueba piloto a través de la cual se obtuvieron datos de campo que permitieron el establecimiento y caracterización de cada uno de los puntos geográficos de referencia para posicionamiento de las estaciones de monitoreo.

Luego, de dicha primera aproximación de campo se realizaron dos trabajos de campos tanto en las estaciones de monitoreo del río Huancay como en las estaciones de monitoreo de Bocamina. Cada uno de dichos trabajos de campo consistieron en la recogida de dos tipos de información:

- El primer tipo de recogida de información consistió en la recogida de datos propiamente dicho o toma de datos de campo, vale decir, los registros de datos para su posterior procesamiento y análisis, se hicieron en el mismo lugar.
- El segundo tipo de recogida de información consistió en la recogida de muestras o toma de muestras para su posterior envío a laboratorio para que estas sean analizadas. En este caso, los registros de datos para su posterior procesamiento y análisis no se hicieron en el mismo lugar, sino que, se esperó los resultados de laboratorio de las muestras enviadas tanto de río Huancay como de Bocamina; luego, el registro de datos fue en fecha posterior al día en la cual se recogieron las muestras.

4.1.1. Datos recogidos en las estaciones de monitoreo del río Huancay

En el presente apartado se presentan los resultados obtenidos en las dos recogidas de datos realizados en cada una de las estaciones de muestreo del río Huancay.

4.1.1.1. Primera recogida de datos

La primera recogida de datos de campo y el registro de los mismos para su posterior procesamiento y análisis como parte del trabajo de gabinete de la presente investigación, se realizó el 20 de octubre de 2018.

En la Tabla 14 se presentan los registros de los datos correspondiente a la primera recogida de datos de campo en río Huancay.

Tabla 14

Primera toma de datos de parámetros característicos de las aguas del río Huancay.

Estación	Caudal m ³ /s	Temperatura °C	pH	Conductividad (μS/cm)
EMRH-01	4	21.6	8.2	650
EMRH-02	3	23.4	8.1	650
EMRH-03	5	21.8	8.1	645
EMRH-04	2	21.2	7.9	517
EMRH-05	2	25.2	8.2	622
EMRH-06	1	22.6	8.3	201
EMRH-07	2	26.3	8.1	667
EMRH-08	5	26.1	8.1	737
EMRH-09	6	27.0	7.9	308
EMRH-10	6	25.5	8.4	720
EMRH-11	4	25.0	7.3	902
EMRH-12	1	25.2	7.4	735

Nota. Elaboración propia con datos de campo recogidos el día 20/10/2018.

Por su parte, la primera recogida de muestras también se realizó el 20 de octubre de 2018; pero, el registro de datos para su posterior procesamiento y análisis como parte del trabajo de gabinete de la presente investigación se realizó en fecha posterior, el

5 de noviembre de 2018, luego que laboratorio nos brindara los resultados de la primera recogida de muestras enviadas previamente.

En la Tabla 15 se presentan los resultados del análisis de laboratorio de las muestras provenientes de la primera recogida de muestras en río Huancay.

Tabla 15

Resultados de laboratorio de la primera toma de muestras en río Huancay.

Estación	Parámetros Físicoquímicos (mg/L)			METALES DISUELTOS (mg/L)				
	SDT	SST	Sulfatos	Sb	As	Fe	Pb	Cu
EMRH-01	545	659	44.45	0.017	0.015	0.019	0.0012	0.0040
EMRH-02	510	17	28.26	0.012	0.009	0.029	0.0033	0.0001
EMRH-03	550	60	32.77	0.0185	0.014	0.039	0.0034	0.0015
EMRH-04	415	12	24.02	0.0185	0.009	0.015	0.0010	0.006
EMRH-05	480	13	35.78	0.017	0.015	0.036	0.0092	0.006
EMRH-06	147	72	8.65	0.015	0.0025	0.199	0.0023	0.001
EMRH-07	485	14	29.83	0.012	0.015	0.029	0.0019	0.0025
EMRH-08	565	19	34.40	0.011	0.020	0.0329	0.001	0.001
EMRH-09	229	12	14.00	0.015	0.059	0.029	0.0040	0.001
EMRH-10	560	20	39.00	0.012	0.013	0.040	0.0029	0.003
EMRH-11	650	11	45.78	0.081	0.014	0.021	0.0090	0.001
EMRH-12	565	15	42.40	0.010	0.006	0.032	0.0114	0.001
Límite de Detección	1	1	0.10		0.01	0.002	0.005	0.0006

Nota. Elaborado con resultados de análisis encargado a Laboratorio Internacional RND SAC, Solicitud de Análisis N° 1294, fecha 05/11/2018.

4.1.1.2. Segunda recogida de datos

La segunda recogida de datos se realizó en fecha posterior a la primera recogida, el 25 de enero de 2019. En esta segunda recogida de datos se siguió el mismo procedimiento seguido en la primera.

Para el caso de la segunda recogida de datos de campo, al igual que en la primera, dicha recogida de datos se caracterizó porque la toma de datos de campo y el registro

de los mismos para su posterior procesamiento y análisis como parte del trabajo de gabinete de la presente investigación, se realizaron en el mismo lugar y fecha, el 25 de enero de 2019.

En la Tabla 16 se presentan los registros de los datos correspondiente a la segunda recogida de datos de campo en río Huancay.

Tabla 16

Segunda toma de datos de parámetros característicos de las aguas del río Huancay.

Estación	Caudal m ³ /s	Temperatura °C	pH	Conductividad (μS/cm)
EMRH-01	2.0	20.3	8.2	590
EMRH-02	3.0	23.0	8.0	655
EMRH-03	3.3	22.4	7.7	689
EMRH-04	2.6	23.4	8.0	512
EMRH-05	1.9	26.0	8.1	654
EMRH-06	2.2	21.0	8.3	225
EMRH-07	2.8	26.3	7.9	668
EMRH-08	4.5	26.1	8.0	757
EMRH-09	5.1	27.0	7.6	359
EMRH-10	5.4	25.5	8.0	746
EMRH-11	4.3	26.0	7.6	900
EMRH-12	2.6	23.3	7.9	745

Nota. Elaboración propia con datos de campo recogidos el día 25/01/2019.

Para el caso de la segunda recogida de muestras, al igual que en la primera, dicha recogida de muestras se caracterizó porque el recojo de dichas muestras se realizaron el mismo día que se hizo la toma de datos de campo; pero, el registro de datos para su posterior procesamiento y análisis como parte del trabajo de gabinete de la presente investigación, no se realizó en el mismo lugar sino que, se tuvo que esperar los resultados emitidos por laboratorio; en ese sentido es que, el registro de los datos en cuestión aparecen con fecha 5 de febrero de 2019.

En la Tabla 17 se presentan los resultados del análisis de laboratorio de las muestras provenientes de la segunda recogida de datos de campo en río Huancay.

Tabla 17

Resultados de laboratorio de la segunda toma de muestras en río Huancay.

Estación	Parámetros Fisicoquímicos (mg/L)			METALES DISUELTOS (mg/L)				
	SDT	SST	Sulfatos	Sb	As	Fe	Pb	Cu
EMRH-01	500	49	18.15	0.010	0.078	0.010	0.010	0.029
EMRH-02	505	14	28.19	0.015	0.075	0.016	0.0025	0.0020
EMRH-03	525	50	31.25	0.010	0.012	0.030	0.0028	0.0011
EMRH-04	400	11	25.24	0.009	0.010	0.015	0.0079	0.0082
EMRH-05	410	10	35.28	0.015	0.011	0.029	0.0080	0.0065
EMRH-06	140	65	7.91	0.015	0.0015	0.2015	0.0020	0.0080
EMRH-07	460	15	30.25	0.010	0.011	0.0326	0.0015	0.0018
EMRH-08	550	16	34.30	0.010	0.020	0.019	0.0010	0.0010
EMRH-09	180	10	13.10	0.013	0.030	0.0320	0.0039	0.0850
EMRH-10	200	14	39.33	0.008	0.010	0.030	0.0040	0.0018
EMRH-11	300	10	45.25	0.015	0.014	0.025	0.0890	0.0011
EMRH-12	558	12	42.00	0.015	0.006	0.0215	0.0950	0.0018
Límite de Detección	1	1	0.10		0.01	0.002	0.005	0.0006

Nota. Elaborado con resultados de análisis encargado a Laboratorio Internacional RND SAC, Solicitud de Análisis N° 1891, fecha 05/02/2019.

4.1.2. Datos recogidos en las estaciones de monitoreo de Bocamina

En el presente apartado se presentan los resultados obtenidos en las dos recogidas de datos realizados en cada una de las estaciones de muestreo de Bocamina.

4.1.2.1. Primera recogida de datos

En las estaciones de monitoreo de Bocamina, la primera recogida de datos de campo y el registro de los mismos para su posterior procesamiento y análisis como parte del trabajo de gabinete de la presente investigación, se realizaron el 21 de octubre de 2018.

En la Tabla 18 se presentan los registros de los datos correspondiente a la primera recogida de datos de campo en Bocamina.

Tabla 18

Primera toma de datos de parámetros característicos de las aguas de Bocamina.

Estación	Caudal m ³ /s	Temperatura °C	pH	Conductividad (μS/cm)
EMBM-01	0.020	26.0	6.55	690
EMBM-02	0.022	25.9	6.45	680
EMBM-03	0.021	25.0	6.15	679
EMBM-04	0.022	25.0	6.55	650
EMBM-05	0.022	25.0	6.9	660
EMBM-06	0.023	25.5	6.7	665
EMBM-07	0.020	25.0	6.95	670
EMBM-08	0.020	25.0	7.1	678
EMBM-09	0.020	25.0	7.5	780
EMBM-10	0.020	24.5	7.8	800
EMBM-11	0.022	24.0	7.65	790
EMBM-12	0.022	24.0	7.45	755

Nota. Elaboración propia con datos de campo recogidos el día 21/10/2018.

Por su parte, la primera recogida de muestras en Bocamina también se realizó el 21 de octubre de 2018, coincidiendo con la segunda recogida de toma de datos de campo; pero, el registro de datos para su posterior procesamiento y análisis como parte del trabajo de gabinete de la presente investigación se realizó en fecha posterior a dicha fecha, el 5 de noviembre de 2018; esto debido a que, se tuvo que esperar los resultados del análisis de las muestras previamente enviadas al laboratorio para su análisis; y luego que este nos brindara los resultados de la primera recogida de muestras, recién fue factible el registro de dichos resultados que pasaron a formar parte de los datos para el procesamiento, análisis e interpretación de resultados según los propósitos de la presente investigación.

En la Tabla 19 se presentan los resultados del análisis de laboratorio de las muestras provenientes de la primera recogida de muestras tomadas en cada una de las estaciones de monitoreo de Bocamina.

Tabla 19

Resultados de laboratorio de la primera toma de muestras en Bocamina.

Estación	Parámetros Fisicoquímicos (mg/L)			METALES DISUELTOS (mg/L)				
	SDT	SST	Sulfatos	Sb	As	Fe	Pb	Cu
EMBM-01	543	61	20.00	0.018	0.015	0.032	0.0135	0.0079
EMBM-02	523	19	28.41	0.020	0.015	0.0345	0.0048	0.0033
EMBM-03	568	64	31.45	0.018	0.014	0.0635	0.0048	0.0020
EMBM-04	420	13	25.00	0.019	0.011	0.025	0.0019	0.0010
EMBM-05	490	15	35.89	0.021	0.0131	0.026	0.0099	0.0043
EMBM-06	148	75	8.71	0.018	0.0029	0.2106	0.0039	0.0091
EMBM-07	492	15	30.01	0.016	0.0156	0.0029	0.0023	0.0032
EMBM-08	570	21	34.40	0.017	0.029	0.0314	0.0019	0.0009
EMBM-09	231	15	13.33	0.019	0.039	0.0314	0.0052	0.0150
EMBM-10	567	23	39.00	0.016	0.024	0.043	0.0032	0.0039
EMBM-11	655	13	45.90	0.091	0.012	0.025	0.0897	0.0016
EMBM-12	568	16	42.40	0.012	0.014	0.030	0.0880	0.0015
Límite de Detección	1	1	0.10		0.01	0.002	0.005	0.0006

Nota. Elaborado con resultados de análisis encargado a Laboratorio Internacional RND SAC, Solicitud de Análisis N° 1293, fecha 05/11/2018.

4.1.2.2. Segunda recogida de datos

La segunda recogida de datos en Bocamina se realizó en fecha posterior a la primera recogida, el 25 de enero de 2019. En esta segunda recogida de datos se siguió el mismo procedimiento seguido en la primera.

Para el caso de la segunda recogida de datos de campo, al igual que en la primera, dicha recogida de datos se caracterizó porque la toma de datos de campo y el registro de los mismos para su posterior procesamiento y análisis como parte del trabajo de gabinete de la presente investigación, se realizaron en cada una de las estaciones establecidas para el monitoreo de las aguas de Bocamina o efluente vertido por la Compañía Minera Río Chicama en el río Huancay.

En la Tabla 20 se presentan los registros de los datos correspondiente a la segunda recogida de datos de campo en Bocamina.

Tabla 20

Segunda toma de datos de parámetros característicos de las aguas de Bocamina.

Estación	Caudal m ³ /s	Temperatura °C	pH	Conductividad (μS/cm)
EMBM-01	0.022	25.5	8.45	685
EMBM-02	0.022	25.0	8.00	675
EMBM-03	0.022	25.0	8.15	670
EMBM-04	0.023	25.0	8.00	650
EMBM-05	0.023	25.0	7.90	660
EMBM-06	0.023	24.5	7.70	665
EMBM-07	0.025	24.0	7.55	665
EMBM-08	0.025	24.0	7.60	650
EMBM-09	0.025	26.0	7.60	780
EMBM-10	0.026	26.5	7.50	800
EMBM-11	0.026	26.0	7.55	750
EMBM-12	0.026	26.0	7.50	755

Nota. Elaboración propia con datos de campo recogidos el día 25/01/2019.

Finalmente, para el caso de la segunda recogida de muestras para su posterior envío a laboratorio, al igual que en la primera, dicha recogida de muestras se caracterizó porque el recojo de las mismas se realizaron el mismo día que se hizo la toma de datos de campo; pero, el registro de datos para su posterior procesamiento y análisis como parte del trabajo de gabinete de la presente investigación, no se realizó en el mismo lugar sino que, se tuvo que esperar los resultados emitidos por laboratorio; luego, es en ese sentido que, el registro de los datos en cuestión aparecen con fecha 5 de febrero de 2019.

En la Tabla 21 se presentan los resultados del análisis de laboratorio de las muestras tomadas en cada una de las de las estaciones establecidas para el monitoreo de las aguas de Bocamina o del efluente vertido por Compañía Minera Río Chicama en el río Huancay.

Tabla 21

Resultados de laboratorio de la segunda toma de muestras en Bocamina.

Estación	Parámetros Físicoquímicos (mg/L)			METALES DISUELTOS (mg/L)				
	SDT	SST	Sulfatos	Sb	As	Fe	Pb	Cu
EMBM-01	534	59	18.00	0.019	0.009	0.015	0.013	0.039
EMBM-02	528	18	28.00	0.018	0.089	0.026	0.0030	0.0029
EMBM-03	560	67	31.35	0.013	0.018	0.040	0.0031	0.0015
EMBM-04	425	11	25.45	0.0015	0.013	0.019	0.0090	0.0092
EMBM-05	450	14	35.00	0.019	0.013	0.039	0.0089	0.0070
EMBM-06	158	70	8.61	0.019	0.0021	0.200	0.0025	0.0089
EMBM-07	489	17	30.00	0.015	0.0150	0.0030	0.0020	0.0025
EMBM-08	565	20	34.25	0.014	0.030	0.029	0.0015	0.0016
EMBM-09	235	14	13.00	0.013	0.040	0.030	0.0049	0.0950
EMBM-10	560	20	39.25	0.010	0.016	0.040	0.0030	0.0028
EMBM-11	400	15	45.00	0.089	0.015	0.022	0.0490	0.0016
EMBM-12	380	12	42.00	0.015	0.011	0.025	0.0450	0.0045
Límite de Detección	1	1	0.10		0.01	0.002	0.005	0.0006

Nota. Elaborado con resultados de análisis encargado a Laboratorio Internacional RND SAC, Solicitud de Análisis N° 1892, fecha 05/02/2019.

4.2. DISCUSIÓN

La discusión de los resultados presentados en el subcapítulo anterior se realizó en función a los objetivos formulados; en ese sentido, se realizó la evaluación de tres grupos de resultados diferenciados:

- Los resultados correspondientes a parámetros de caracterización.
- Los resultados correspondientes a parámetros fisicoquímicos.
- Los resultados correspondientes a los metales pesados.

Por otro lado, en caso de los valores para los Estándares de Calidad Ambiental - ECA, es pertinente resaltar que, en el caso de la categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales, los valores de ECA no son

aplicables ya que, el ámbito marino costero no fue el ámbito en el cual se desarrolló la presente investigación.

Asimismo, la toma de datos se realizó teniendo en cuenta los periodos de avenida y estiaje, en ese respecto es menester recordar que, dichos periodos se definen en los términos siguientes:

- El período de avenida comprende desde el mes de diciembre a abril. En este periodo es que se realizó tanto la toma de datos de campo y el recojo de la primera muestra.
- El período de estiaje comprende desde el mes de mayo a noviembre. En este periodo es que se realizó tanto la toma de datos de campo y el recojo de la primera muestra.

Finalmente, dado que, el ECA y el LMP son instrumentos de carácter y aplicación nacional y sectorial, respectivamente; se evaluó los parámetros fisicoquímicos y la concentración de metales pesados de las aguas del río Huancay y Bocamina en función a dichos instrumentos normativos.

4.2.1. Evaluación de parámetros fisicoquímicos

La evaluación de parámetros fisicoquímicos se realizó con la finalidad de cumplir con el objetivo: Caracterizar fisicoquímicamente las aguas del río Huancay y el efluente generado por la Minera Río Chicama.

4.2.1.1. Caudal

Dado que, se evaluaron los parámetros fisicoquímicos en función de los instrumentos normativos ECA y el LMP, se tiene que, no existe ECA ni LMP para el caudal; luego, la evaluación de dicho parámetro fisicoquímico no aplica.

Por otro lado, destacamos que los caudales máximo y mínimo en época de estiaje para las 12 estaciones referenciadas al río Huancay fueron de 6 y 1 m³/s, respectivamente; y, para la época de avenidas fueron de 5.4 y 1.9 m³/s, respectivamente; mientras que, en la EMRH-03, punto más cercano a la unión entre río Huancay y río Chuquillanqui, los caudales fueron 5 m³/s para la época de estiaje y 3.3 m³/s para época de avenidas.

Asimismo, destacamos que los caudales máximo y mínimo en época de estiaje para las 12 estaciones de Bocamina fueron de 0.022 y 0.020 m³/s, respectivamente; y,

para la época de avenidas fueron de 0.026 y 0.022 m³/s, respectivamente; mientras que, en la EMBM-12, punto de vertimiento de los efluentes sobre las aguas del río Huancay, los caudales fueron 0.022 m³/s para la época de estiaje y 0.026 m³/s para época de avenidas.

4.2.1.2. Temperatura

Para la zona de la cuenca Chicama en la cual se encuentra el río Huancay el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de La Libertad (2018) reportó una temperatura promedio de 21 °C; luego teniendo en cuenta dicha temperatura y el ECA de temperatura Δ3 para la subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable de la Categoría 1: Poblacional y Recreacional; se tiene que, la temperatura que cumple con el ECA debería situarse dentro del rango 18 °C y 24 °C.

De las tablas 14 y 16 destacamos que, las temperaturas máxima y mínima en época de estiaje para las 12 estaciones referenciadas al río Huancay fueron 27 y 21.2 °C, respectivamente; y, para la época de avenidas fueron de 27 y 20.3 °C, respectivamente.

Por su parte, si nos ceñimos estrictamente a las 3 estaciones ubicadas en el río Huancay, EMRH-01, EMRH-02 y EMRH-03, se tiene que, en dichos puntos las temperaturas reportadas en época de estiaje y avenidas cumplen con el ECA ya que, no sobrepasan los 24 °C ni se sitúan por debajo de 18 °C.

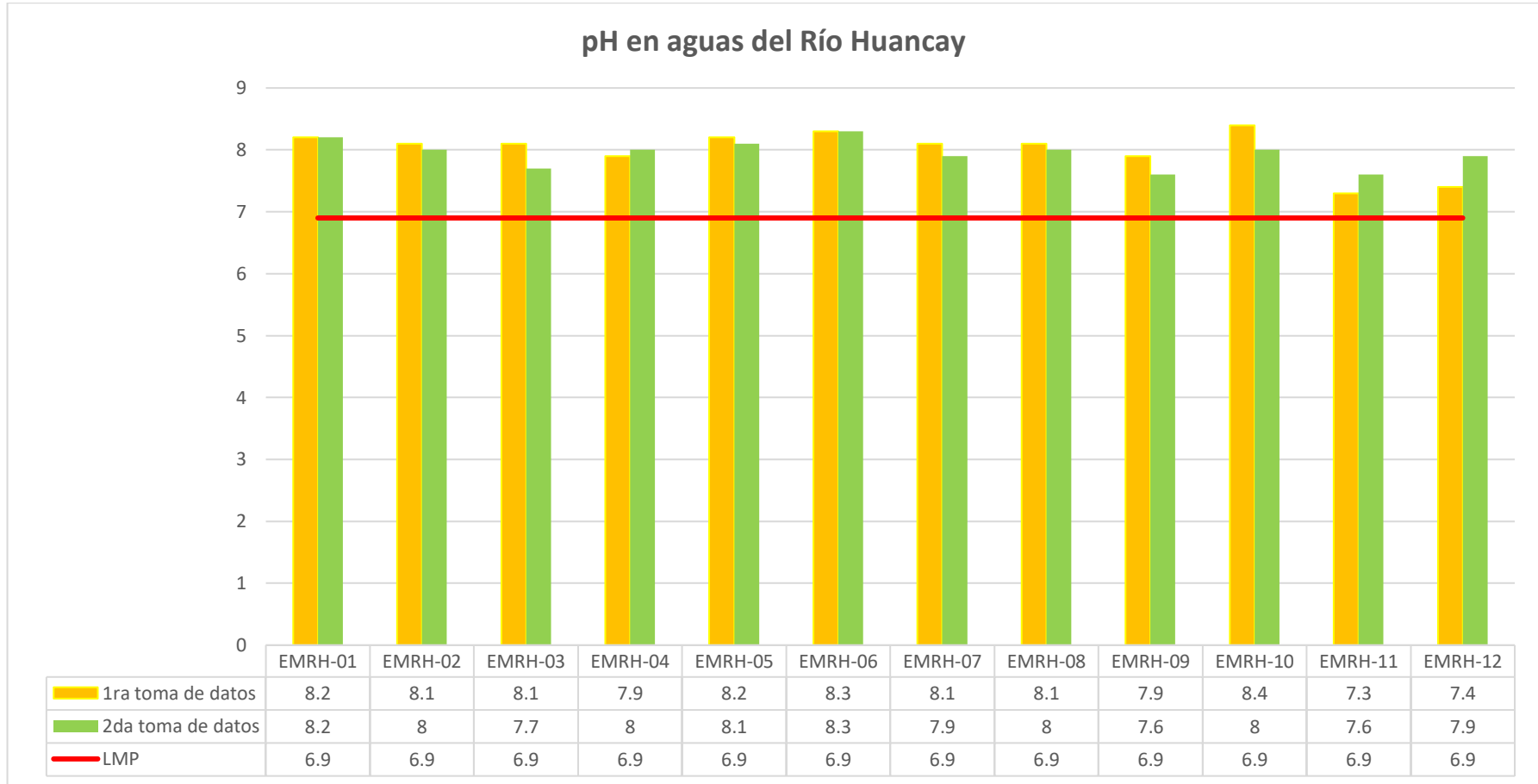
De las tablas 18 y 20 destacamos que, en las 12 estaciones de Bocamina las temperaturas de las aguas estuvieron igual o por encima de los 24 °C, tanto para la época de estiaje como para avenidas. En este punto es menester señalar que, dichas estaciones están dentro de un área de concesión minera y no están en áreas públicas; luego, los ECA no son exigibles.

4.2.1.3. Potencial de Hidrógeno

Los valores de pH reportados en las aguas de las estaciones de monitoreo del río Huancay tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas superaron el LMP en cualquier momento. Los pH varían entre 7.3 y 8.4, presentándose el pH más bajo 7.3, en EMRH-11.

En las figuras 6 y 7 se presentan los pH para las épocas de estiaje y avenida tanto para el río Huancay como para Bocamina, respectivamente.

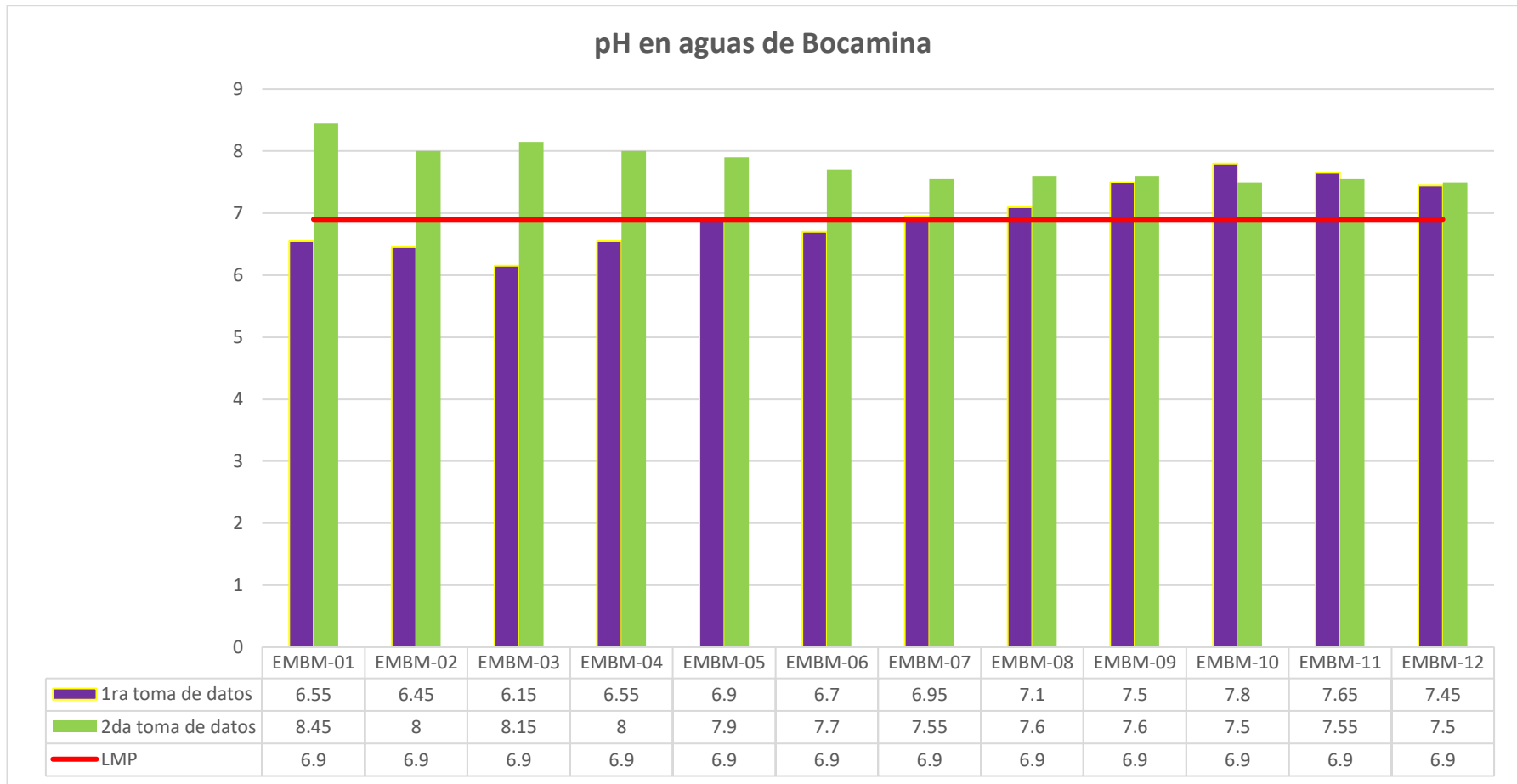
Figura 6
Valores del pH en aguas del río Huancay y su relación con el LMP.



Nota. Elaboración propia con datos presentados en Tablas 14 y 16.

Figura 7

Valores del pH en aguas de Bocamina y su relación con el LMP.



Nota. Elaboración propia con datos presentados en Tablas 18 y 20.

De la Figura 6 se tiene que, en todas las estaciones del Río Huancay se supera el valor referencial 7; luego, se puede esgrimir que, el pH es básico, presumiblemente debido a la naturaleza calcárea del suelo, por lo que se puede afirmar que existen buenas condiciones en los cuerpos de agua evaluados.

Por otro lado, de la Figura 7 se tiene que, los valores de pH reportados en las aguas de Bocamina hasta la EMBM-07 varían entre ácido para época de estiaje y básico para época de avenidas; pero, después de este punto hacia adelante disminuye la acidez porque el agua de mina se deposita en la primera cocha de sedimentación donde se procede a bajar la acidez utilizando cal viva, y de esta manera disminuir la acidez para que finalmente llega al río como agua básica.

Respecto a los ECA para el Potencial de Hidrógeno – pH, para el caso de la de la Categoría 1: Poblacional y recreacional, subcategoría A: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección, se tiene que, tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas, todas las estaciones de monitoreo del río Huancay reportaron valores dentro del rango de ECA permitido, vale decir valores comprendidos entre 6.5 - 8.5; y, de igual forma, todas las estaciones de monitoreo de Bocamina reportaron valores dentro de dicho rango.

Además, para aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional se tiene que, tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas todas las estaciones de monitoreo del río Huancay y de Bocamina, reportaron valores de pH dentro del rango ECA que va desde 5.5 a 9; también, para aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado se repitió el mismo caso ya que esta subcategoría denominada A3 mantiene el mismo rango ECA anterior, vale decir, rango que va desde 5.5 a 9.

Además, en la misma Categoría 1 pero esta vez en la subcategoría B se tiene que, la subcategoría B1: Contacto primario, tiene un rango ECA que va de 5.5 - 9.0; luego, tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas, todas las estaciones de monitoreo del río Huancay y de Bocamina, reportaron valores de pH dentro de dicho rango; y, para el caso de la subcategoría B2: Contacto secundario, es de destacar que, los ECA para pH no aplican.

Por otro lado, para el caso de la categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, se tiene que, en el caso de la subcategoría D1: Riego de vegetales, todas las estaciones de monitoreo del río Huancay y Bocamina, tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas reportaron valores de pH dentro del rango

ECA que va de 6.5 a 8.5. En el caso de la subcategoría D2: Bebida de animales, mientras que, exceptuando EMRH-10 que reportó el límite máximo del rango ECA, pH = 8.4, y, EMBM-01 que reportó un valor superior al límite máximo del rango ECA, pH = 8.45; todas las estaciones de monitoreo del río Huancay y de Bocamina, tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas reportaron valores de pH dentro del rango ECA que va de 6.5 a 8.4.

Asimismo, para el caso de la categoría 4: Conservación del ambiente acuático, se tiene que, en el caso de la subcategoría E2: Ríos de la costa y sierra, todas las estaciones de monitoreo del río Huancay y Bocamina, tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas reportaron valores de pH dentro del rango ECA que va de 6.5 a 9. Las otras subcategorías no aplican ya que se tratan de ríos de la selva, E1: Lagunas y lagos o E3: Ecosistemas costeros y marinos.

4.2.1.4. Conductividad

Todas las estaciones de monitoreo del río Huancay y Bocamina, tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas reportaron valores de conductividad por debajo de 1500 y 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ correspondientes a las subcategorías A1 y A2 de la categoría 1, respectivamente; valores de conductividad por debajo de 2500 y 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ correspondientes a las subcategorías D1 y D2 de la categoría 3, respectivamente; y, valores de conductividad por debajo de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ correspondiente a la subcategoría E2 – Ríos de la costa y sierra, de la categoría 4.

4.2.1.5. Sólidos Disueltos Totales

Respecto a los ECA para Sólidos Disueltos Totales – SDT, están establecidos los ECA solamente para la subcategoría A de la categoría 1. En dicha subcategoría para A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección, A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional, y, A3: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado; se tiene que, tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas, todas las estaciones de monitoreo del río Huancay reportaron valores menores que el ECA permitido, vale decir, 1000, 1000 y 1500, respectivamente.

4.2.1.6. Sólidos Suspendidos Totales

Respecto a LMP para Sólidos Suspendidos Totales - SST, el valor máximo en Limite en cualquier momento es: 50 mg/L.

Las estaciones de monitoreo que igualaron o superaron los LMP para SST, según temporada fueron:

- Temporada de estiaje
 - Río Huancay: EMRH-01 = 659 mg/L, EMRH-03 = 60 mg/L, EMRH-06 = 71 mg/L.
 - Bocamina: EMBM-01 = 61 mg/L, EMBM-03 = 64 mg/L, EMBM-06 = 75 mg/L.
- Temporada de avenidas
 - Río Huancay: EMRH-03 = 50 mg/L, EMRH-06 = 65 mg/L.
 - Bocamina: EMBM-01 = 59 mg/L, EMBM-03 = 67 mg/L, EMBM-06 = 70 mg/L.

Respecto a ECA para Sólidos Suspendidos Totales - SST, el valor máximo para la subcategoría E2: Ríos de la costa y sierra de la categoría 4, es ≤ 100 ; luego, exceptuando EMRH-01 = 659 mg/L, se tiene que, tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas, todas las estaciones de monitoreo del río Huancay y Bocamina reportaron valores menores que el ECA permitido para SST.

4.2.1.7. Sulfatos

Respecto a los ECA para sulfatos, en la categoría 1 están establecidos los ECA solamente para las subcategorías A1 y A2, en las cuales se tiene que, tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas, todas las estaciones de monitoreo del río Huancay y Bocamina reportaron valores menores que el ECA permitido, vale decir, 250 y 500, respectivamente. ...

Por su parte, en la categoría 3 están establecidos los ECA para las subcategorías D1: Riego de vegetales y D2: Bebida de animales, en dichas subcategorías, tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas, todas las estaciones de monitoreo del río Huancay y Bocamina reportaron valores menores que el ECA permitido para los sulfatos, vale decir, 1000 y 1000 mg/L, respectivamente.

4.2.2. Evaluación de la concentración de metales pesados

La evaluación de la contaminación por metales pesados estuvo orientada a cumplir con el objetivo: Medir la concentración de metales pesados disueltos en las aguas del Río Huancay y el efluente generado por la Minera Río Chicama.

4.2.2.1. Presencia de Antimonio

A pesar que el Antimonio – Sb, es un metal pesado, no existe Límite Máximo Permisible – LMP, establecido para la cantidad de Sb disuelto en las aguas procedentes de operaciones minero – metalúrgicas.

Respecto a los ECA para el Sb, pertinentes con el presente estudio, se tiene que, estos aparecen en 2 de las 4 categorías, en las subcategorías A1, A2 y B1 de la primera y en la subcategoría E2 de la cuarta.

Por otro lado, respecto a los ECA de la subcategoría A de la categoría 1 se tiene que, los valores reportados en las estaciones de la cuenca del río Huancay muestran que del total de las estaciones donde se tomaron las muestras, tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas, nos indican que, la presencia de antimonio está dentro los estándares de calidad del agua, siendo superado dicho ECA solamente en la EMRH-11 donde se reportó 0.081 mg/L en temporada de estiaje, esto debido a que en los alrededores de dicha estación de monitoreo se fabrican fuegos artificiales utilizando en cantidades pequeñas el antimonio, lo cual coadyuvaría a que se supere el ECA máximo para el Sb que es de 0.020 mg/L; por su parte, para los efluentes de Bocamina, se igualaron o superaron los ECA solamente en temporada de estiaje y en las siguientes estaciones: EMBM-02, EMBM-05 y EMBM-11.

Asimismo, respecto a los ECA de la subcategoría B de la categoría 1 se tiene que, exceptuando la EMBM-04 en temporada de avenidas, todas las estaciones de monitoreo del río Huancay y Bocamina reportaron valores mayores al ECA permitido, 0.006 mg/L; tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas.

Finalmente, respecto a los ECA de la subcategoría E2 de la categoría 4 se tiene que, tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas, todas las estaciones de monitoreo del río Huancay y Bocamina reportaron valores menores que el ECA permitido para el Sb, 0.64 mg/L.

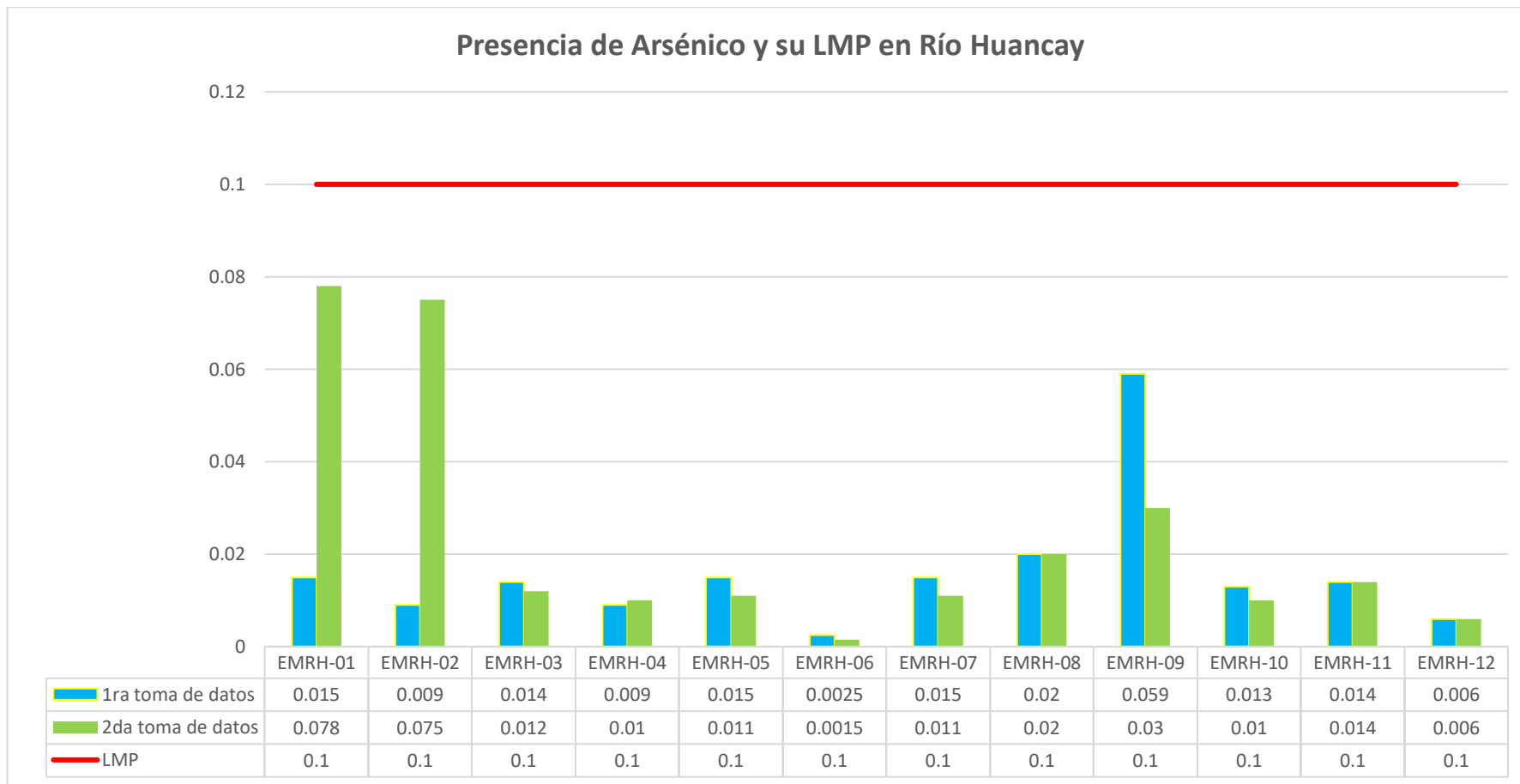
4.2.2.2. Presencia de Arsénico (As)

En la Figura 8 se muestra que, tanto en temporada de estiaje, 1ra toma de datos; como en temporada de avenidas, 2da toma de datos; en todas las estaciones de monitoreo del río Huancay no se superan el LMP para el As.

De igual forma en la Figura 9 se muestra que, en todas las estaciones de monitoreo de Bocamina, tanto en estiaje y en avenidas, no se superan el LMP para el As.

Figura 8

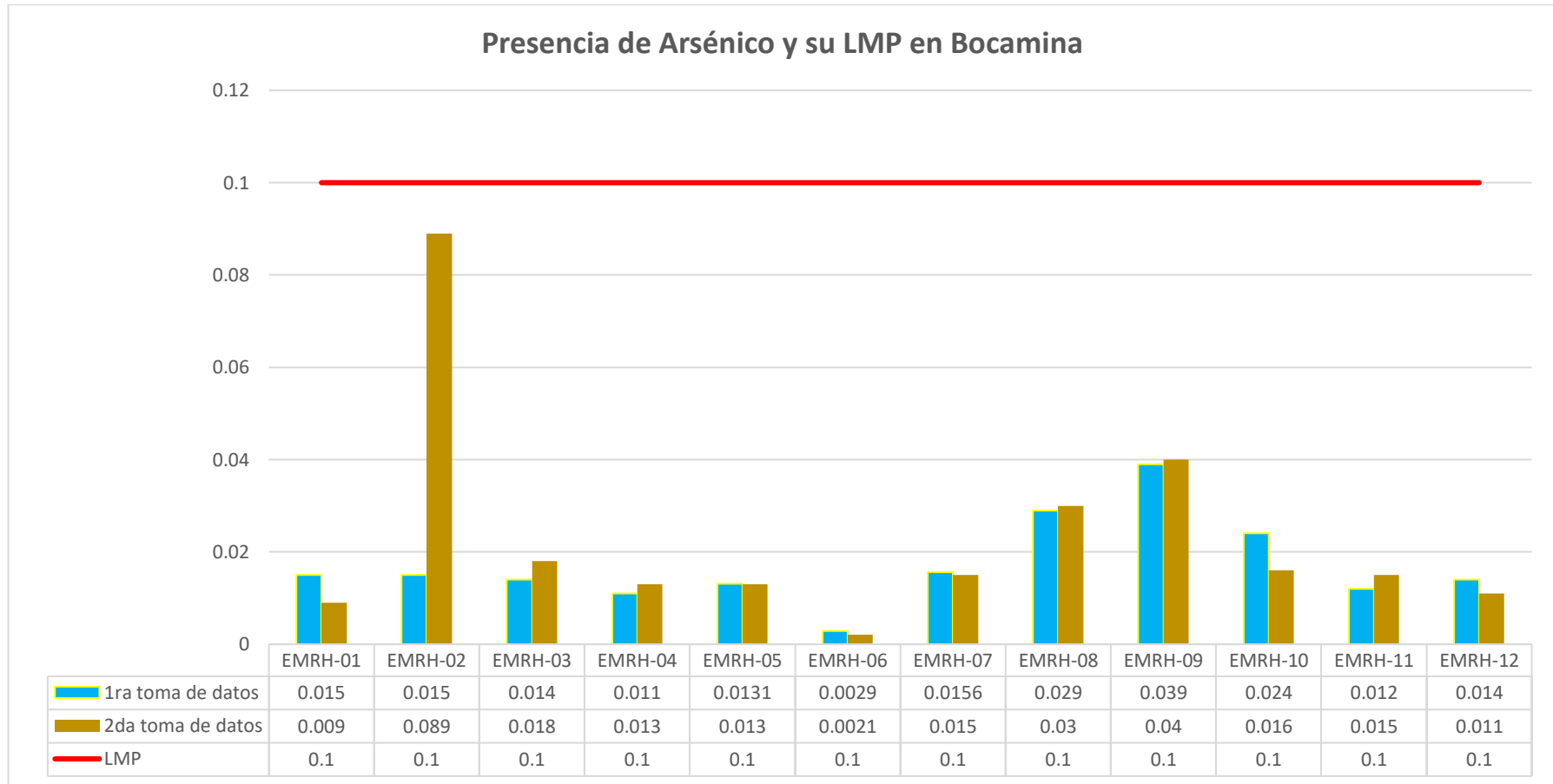
Comparación entre el arsénico disuelto en aguas del Río Huancay y el LMP para dicho elemento.



Nota. Elaboración propia con datos presentados en Tablas 15 y 17.

Figura 9

Comparación entre el arsénico disuelto en aguas de Bocamina y el LMP para dicho elemento.



Nota. Elaboración propia con datos presentados en Tablas 19 y 21.

Respecto a los ECA para el Arsénico – As, pertinentes con el presente estudio se tiene que, estos aparecen en 3 de las 4 categorías, en las tres subcategorías A de la primera, en una de las dos subcategorías B de la primera; en las dos subcategorías de la tercera; y, en las tres subcategorías de la cuarta, siendo aplicable solo una en el presente estudio.

La subcategoría A1 de la categoría 1, para el As exige un ECA = 0.01 mg/L para las aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección, en ese respecto se obtuvo que, en temporada de estiaje el ECA fue superado en casi todas las estaciones excepto en EMRH-02, EMRH-04, EMRH-06, EMRH-12 y EMBM-06; mientras que en temporada de avenidas dicho ECA fue superado en casi todas las estaciones excepto en EMRH-06, EMRH-12, EMBM-01 y EMBM-06. De igual forma, al exigir la subcategoría A2 de la categoría 1 el mismo ECA = 0.01 mg/L, luego, las aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional siguen el mismo patrón anterior. Por su parte la subcategoría A3 de la categoría 1, exige un ECA = 0.015 mg/L para las aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado, en ese respecto se obtuvo que, en temporada de estiaje el ECA fue igualado o superado en casi todas las estaciones excepto en EMRH-02, EMRH-03, EMRH-04, EMRH-06, EMRH-12, EMBM-03, EMBM-04, EMBM-05, EMBM-11 y EMBM-12; mientras que en temporada de avenidas dicho ECA fue superado en casi todas las estaciones excepto en EMRH-03, EMRH-04, EMRH-05, EMRH-07, EMRH-10, EMRH-11, EMRH-12, EMBM-04, EMBM-05 y EMBM-12.

Por otro lado, en la subcategoría B1 de la categoría 1, exige un ECA = 0.01 mg/L para las aguas superficiales destinadas para recreación - Contacto primario, luego, estas siguen el mismo patrón que A1 y A2.

Asimismo, las subcategorías D1 de la categoría 3 y E2 de la categoría 4 exigen ECA = 0.1 y 0.15 mg/L, respectivamente; luego, del análisis anterior se infiere que, tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas no se supera dichos ECA.

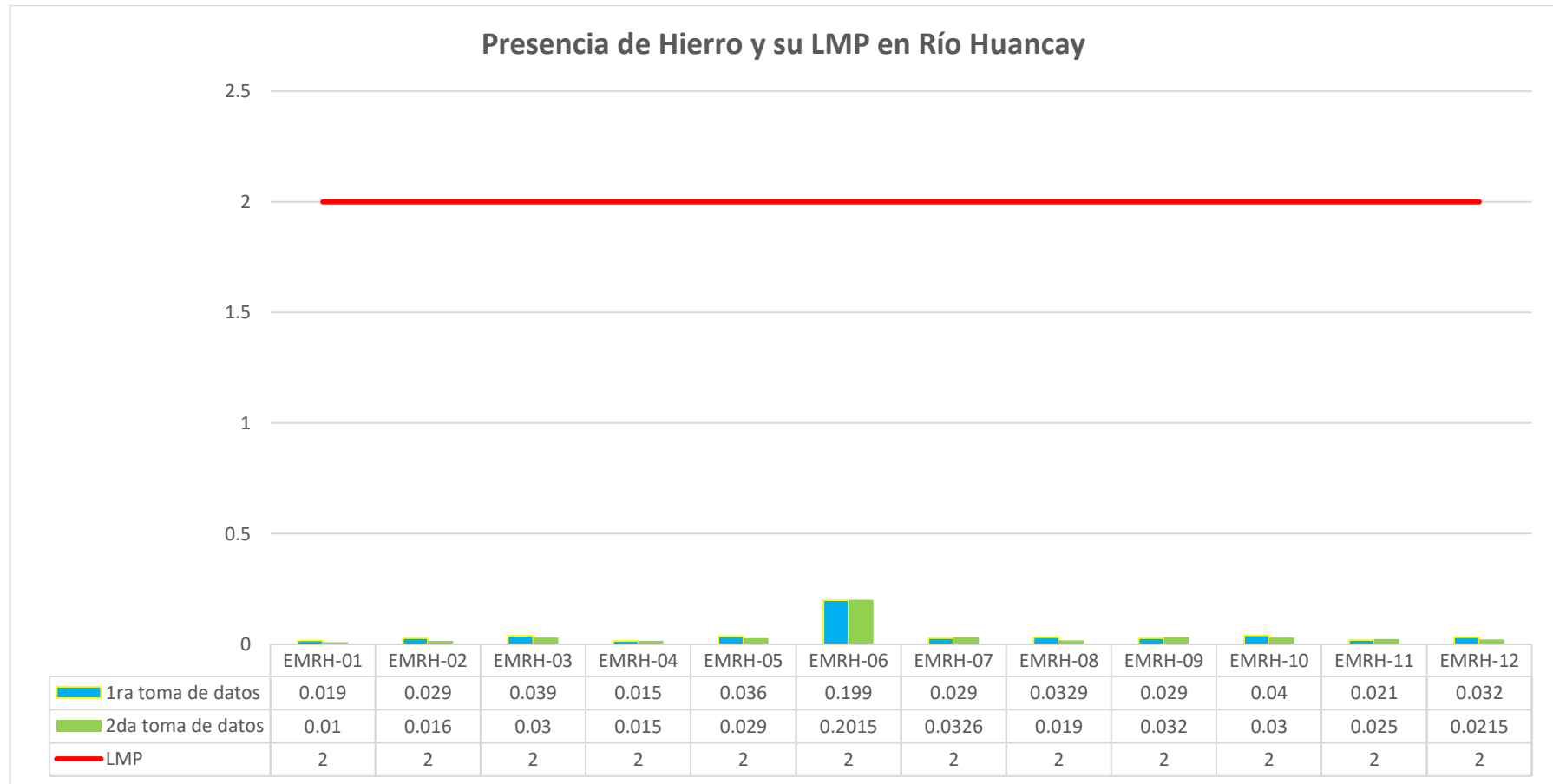
4.2.3.3. Presencia de Hierro (Fe)

En la Figura 10 se muestra que, tanto en temporada de estiaje, 1ra toma de datos; como en temporada de avenidas, 2da toma de datos; en todas las estaciones de monitoreo del río Huancay no se superan el LMP para el Fe.

De igual forma en la Figura 11 se muestra que, en todas las estaciones de monitoreo de Bocamina, tanto en estiaje y en avenidas, no se superan el LMP para el Fe.

Figura 10

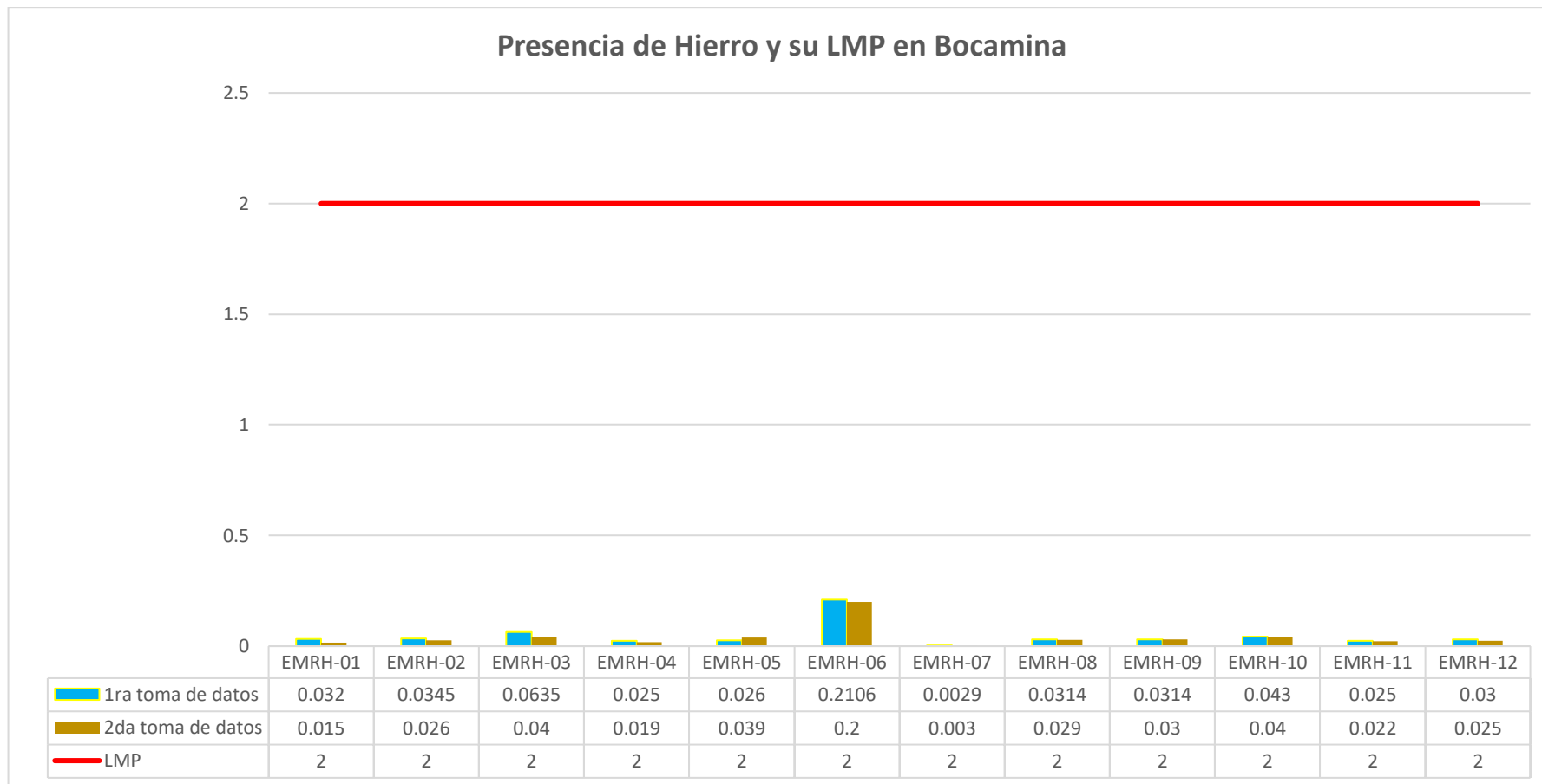
Comparación entre el hierro disuelto en aguas de Río Huancay y el LMP para dicho elemento.



Nota. Elaboración propia con datos presentados en Tablas 15 y 17.

Figura 11

Comparación entre el hierro disuelto en aguas de Bocamina y el LMP para dicho elemento.



Nota. Elaboración propia con datos presentados en Tablas 19 y 21.

Respecto a los ECA para el Hierro – Fe, se tiene que, estos aparecen en 2 de las 4 categorías, en las tres subcategorías A de la primera, en una de las dos subcategorías B de la primera, la referida a contacto primario en aguas superficiales destinadas para recreación; y, en una de las dos subcategorías de la tercera, la referida a riego de vegetales.

La subcategoría A1 de la categoría 1, para el Fe exige un ECA = 0.3 mg/L para las aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección, en ese respecto se tiene que, en las aguas del río Huancay y Bocamina, tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas se cumplen con el ECA. De igual forma, al exigir la subcategoría A2 de la categoría 1 un ECA = 1 mg/L, superior al exigido para A1, se infiere que, para aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional, las aguas del río Huancay y Bocamina, tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas se cumple con el ECA exigido. Por su parte la subcategoría A3 de la categoría 1, exige un ECA = 5 mg/L, valor mucho mayor que las anteriores, luego, las aguas del río Huancay y Bocamina, tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas cumplen con los ECA para aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.

Por otro lado, en la subcategoría B1 de la categoría 1, exige un ECA = 0.3 mg/L para las aguas superficiales destinadas para recreación - Contacto primario, luego, estas siguen el mismo patrón que A1 y por lo tanto cumplen con el ECA tanto las aguas del río Huancay como los efluentes de Bocamina, en las temporadas de estiaje y avenidas.

Asimismo, la subcategoría D1 de la categoría 3 exigen ECA = 0.3 mg/L, igual que la subcategoría A1; luego, del análisis anterior se infiere que, tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas no se supera dichos ECA.

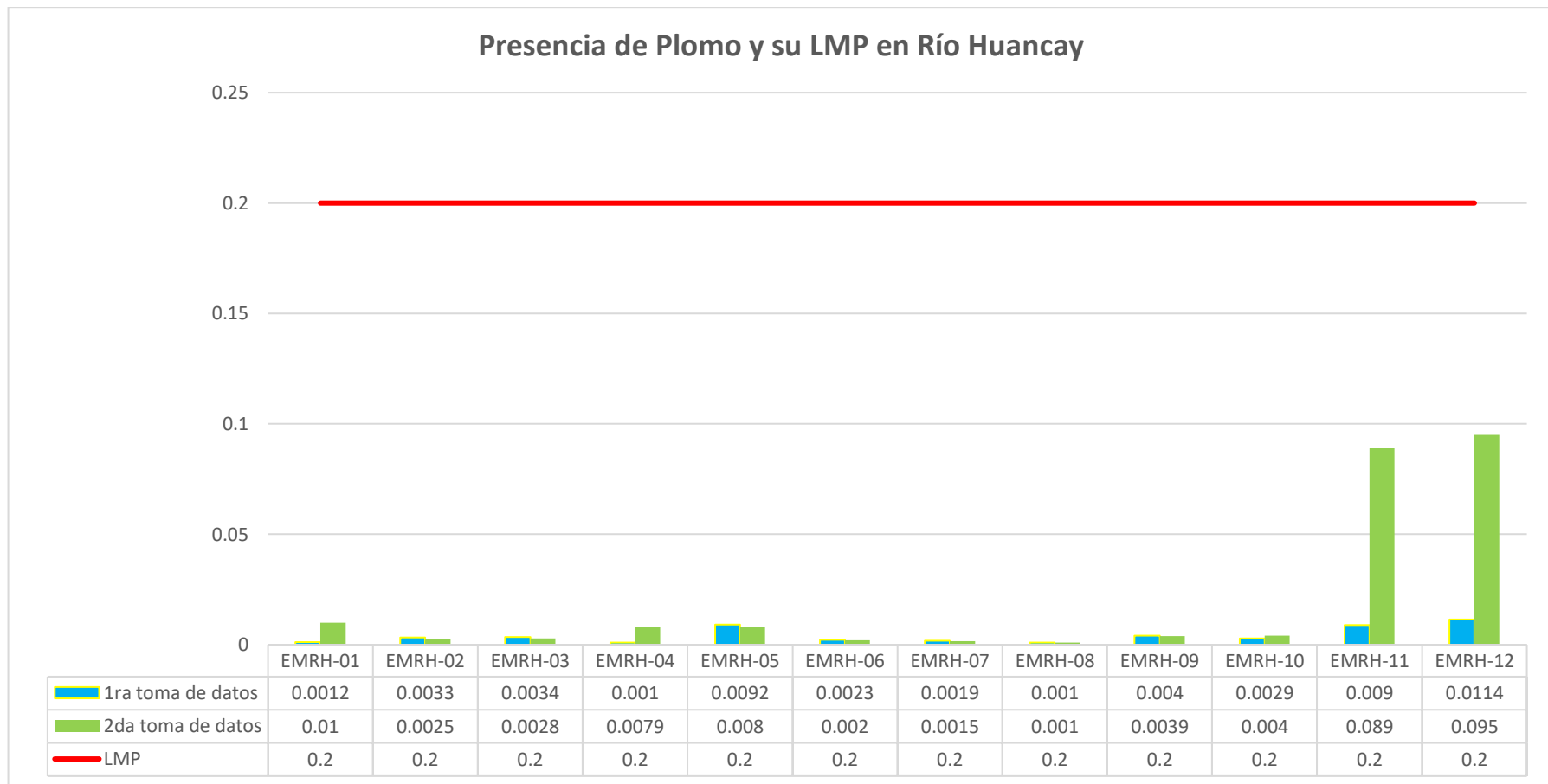
4.2.3.4. Presencia de Plomo (Pb)

Respecto a los valores reportados para la concentración de Plomo – Pb, y los LMP pertinentes con el presente estudio, en la Figura 12 se muestra gráficamente la comparativa tanto en temporada de estiaje, 1ra toma de datos; como en temporada de avenidas, 2da toma de datos; en todas las estaciones de monitoreo del río Huancay.

De igual forma en la Figura 13 se muestra la comparativa de los valores reportados en las estaciones de monitoreo de Bocamina con el LMP para el Pb.

Figura 12

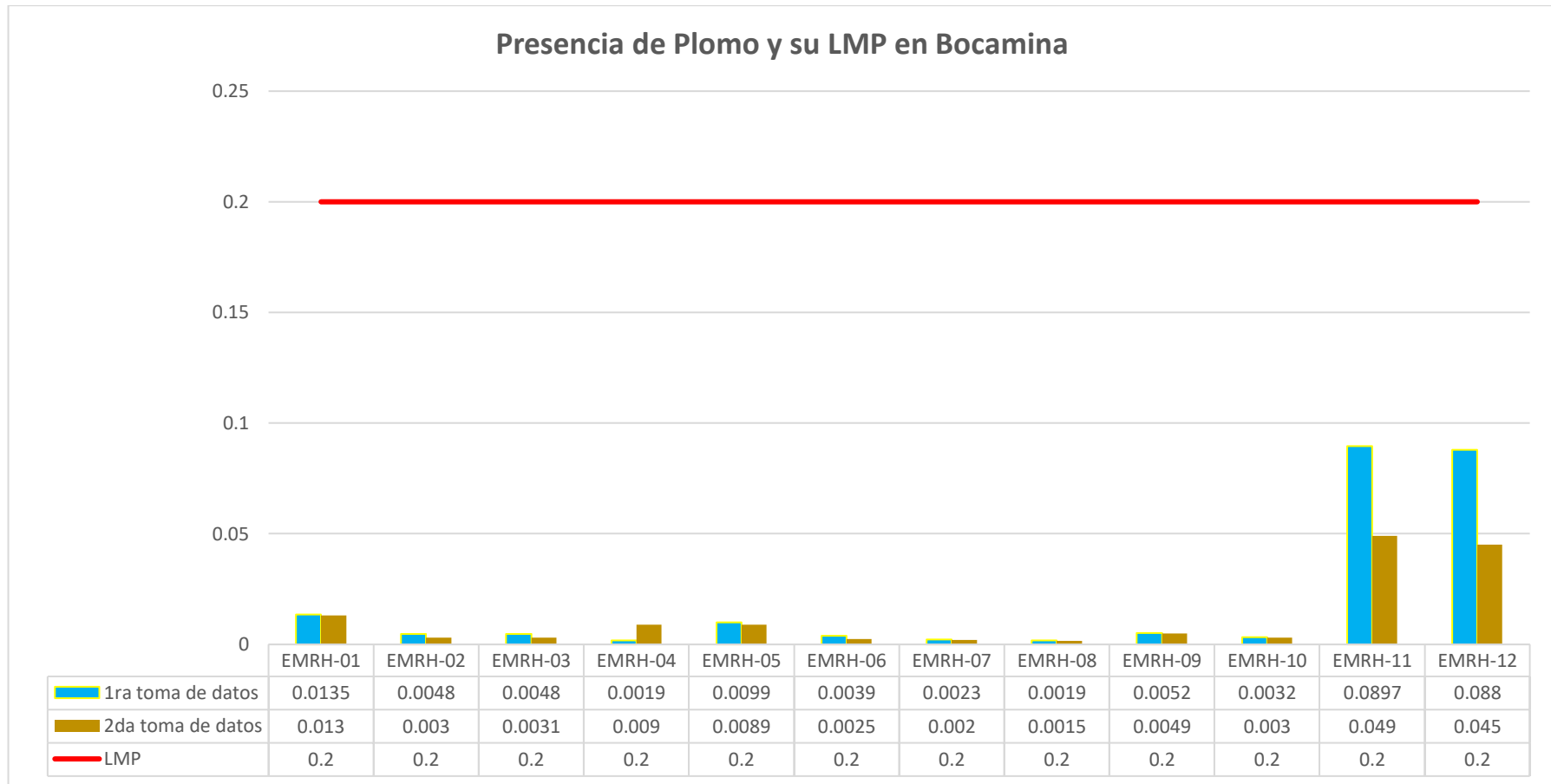
Comparación entre el plomo disuelto en aguas de Río Huancay y el LMP para dicho elemento.



Nota. Elaboración propia con datos presentados en Tablas 15 y 17.

Figura 13

Comparación entre el plomo disuelto en aguas de Bocamina y el LMP para dicho elemento.



Nota. Elaboración propia con datos presentados en Tablas 19 y 21.

Respecto a los ECA para el Plomo – Pb, pertinentes con el presente estudio se tiene que, estos aparecen en 3 de las 4 categorías; en ese respecto se tiene los ECA para el Pb figuran en las tres subcategorías A de la primera, en una de las dos subcategorías B de la primera; en las dos subcategorías de la tercera; y, en la subcategoría referida a ríos de la costa y sierra, subcategoría pertinente con el presente estudio de la cuarta categoría.

La subcategoría A1 de la categoría 1, para el Pb exige un ECA = 0.01 mg/L para las aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección, en ese respecto se tiene:

- En las aguas del río Huancay en temporada de estiaje se supera el ECA para el Pb en el punto de monitoreo donde se instaló EMRH-12.
- En las aguas del río Huancay en temporada de avenidas se iguala o supera el ECA para el PB en los puntos de monitoreo donde se instalaron las estaciones: EMRH-01, EMRH-11 y EMRH-12.
- En las aguas de Bocamina en temporada de estiaje se supera el ECA para el Pb en el punto de monitoreo donde se instaló la estación EMBM-01.
- En las aguas de Bocamina en temporada de avenidas se supera el ECA para el Pb en los puntos de monitoreo donde se instalaron las estaciones: EMBM-01, EMBM-11 y EMBM-12.

De igual forma, al exigir la subcategoría A2 de la categoría 1 un ECA = 0.05 mg/L, superior al exigido para A1, se tiene que: En las aguas del río Huancay en temporada de estiaje no se supera el ECA para el Pb; en las mismas aguas en temporada de avenidas se supera el ECA en EMRH-11 y EMRH-12; además, en las aguas de Bocamina en temporada de estiaje se supera el ECA para el Pb en EMBM-11 y EMBM-12; y, en las mismas aguas, en temporada de avenidas no se supera el ECA para el Pb.

Por su parte la subcategoría A3 de la categoría 1, exige un ECA = 0.05 mg/L, valor igual que la subcategoría A2; luego, en las aguas del río Huancay y Bocamina, tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas, se tiene el mismo comportamiento para los ECA que en la subcategoría A2.

Por otro lado, en la subcategoría B1 de la categoría 1, exige un ECA = 0.01 mg/L para las aguas superficiales destinadas para recreación - Contacto primario, luego, los valores reportados provenientes de las estaciones de monitoreo, tanto en temporada de estiaje como en avenidas, siguen el mismo patrón que A1.

Asimismo, tanto la subcategoría D1: Riego de vegetales como la subcategoría D2: Bebida de animales, de la categoría 3; exigen un ECA = 0.05 mg/L, valor igual que el ECA exigido para las subcategorías A2 y A3 de la categoría 1; luego, del análisis anterior se infiere que, tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas, en las aguas del río Huancay y Bocamina, se tiene el mismo comportamiento para los ECA que en dichas subcategorías.

Finalmente, la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, para ríos de la costa y sierra, subcategoría E2, exige un ECA = 0.0025 mg/L; luego, en este escenario se tiene que:

- En las aguas del río Huancay en temporada de estiaje, excepto en EMRH-01, EMRH-04, EMRH-06, EMRH-07 y EMRH-08, todas las estaciones de monitoreo reportan que se supera el ECA para el Pb.
- En las aguas del río Huancay en temporada de avenidas, excepto en EMRH-06, EMRH-07 y EMRH-08, todas las estaciones de monitoreo reportan que se supera el ECA para el Pb.
- En las aguas de Bocamina en temporada de estiaje, excepto en EMBM-04, EMBM-07 y EMBM-08, todas las estaciones de monitoreo reportan que se supera el ECA para el Pb.
- En las aguas de Bocamina en temporada de avenidas, excepto en EMBM-07 y EMBM-08, todas las estaciones de monitoreo reportan que se supera el ECA para el Pb.

4.2.3.5. Presencia de Cobre (Cu)

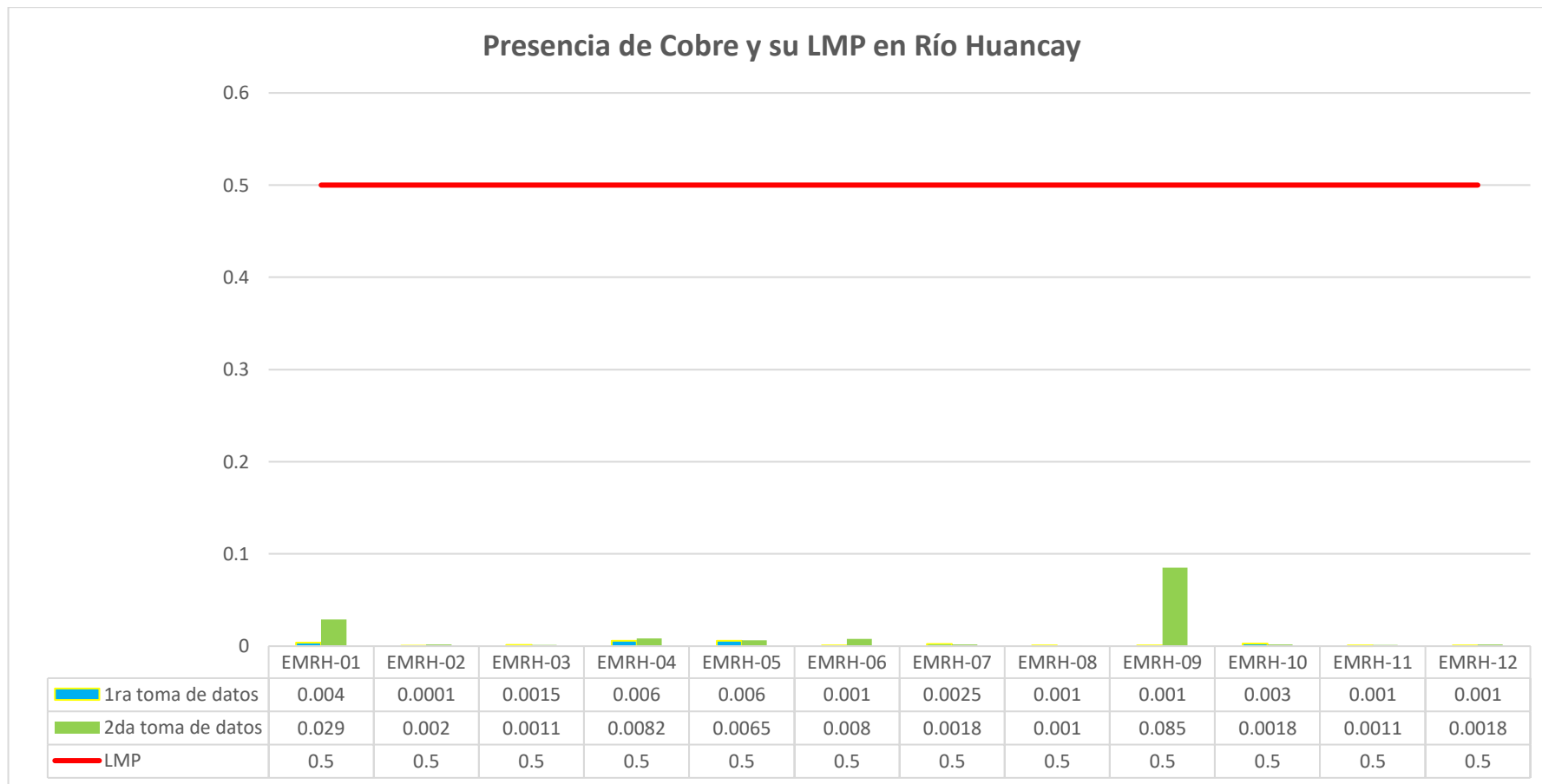
Respecto a los valores reportados para la concentración de Cobre – Cu, y los LMP pertinentes con el presente estudio, estos aparecen representados gráficamente en las figuras que prosiguen.

En la Figura 14 se muestra la comparativa entre la concentración de Cu, y los LMP para dicho metal pesado tanto en temporada de estiaje, 1ra toma de datos; como en temporada de avenidas, 2da toma de datos; en todas las estaciones de monitoreo del río Huancay.

En la Figura 15 se muestra la comparativa de los valores reportados en las estaciones de monitoreo de Bocamina tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas.

Figura 14

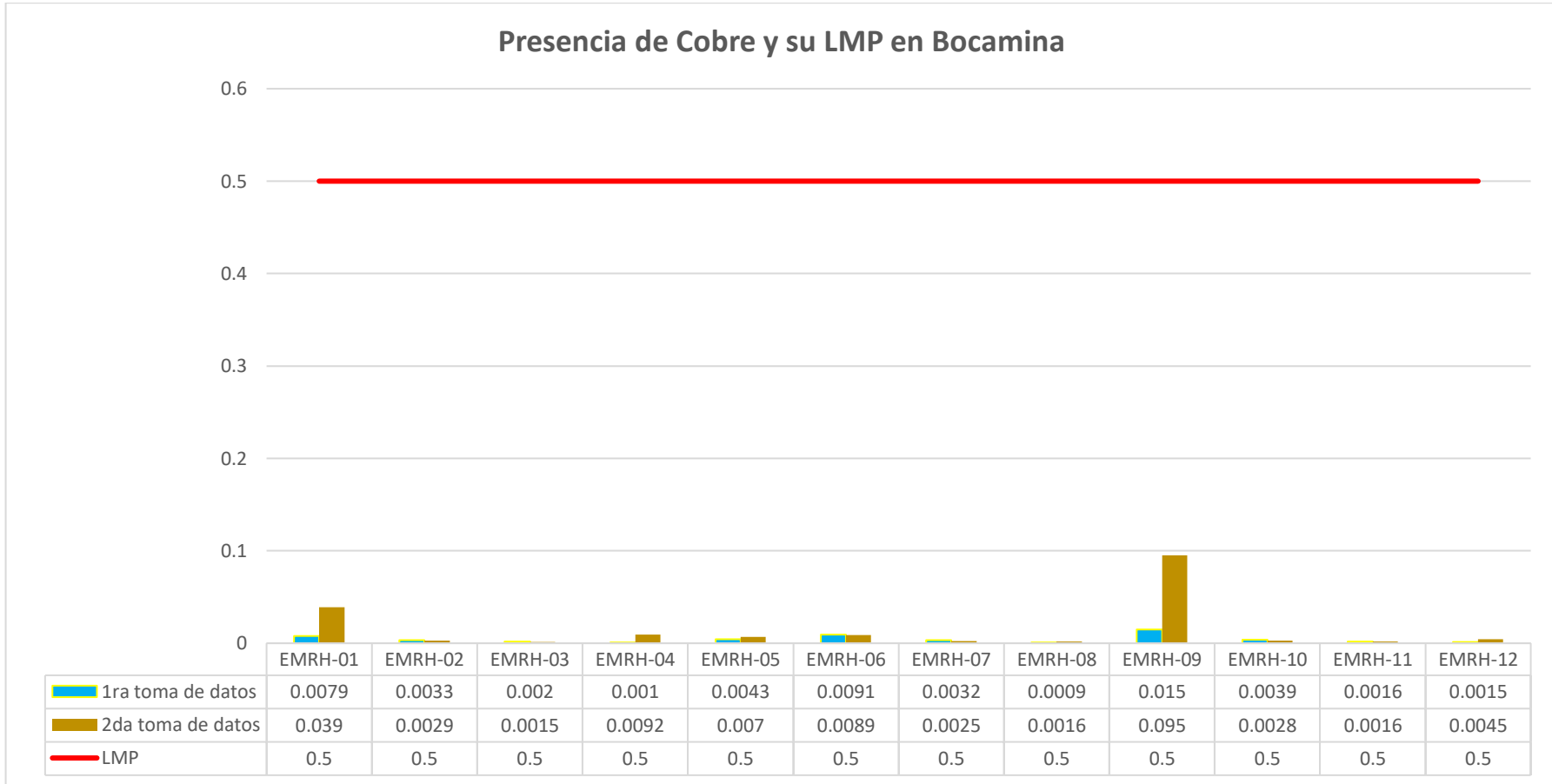
Comparación entre el cobre disuelto en aguas de Río Huancay y el LMP para dicho elemento.



Nota. Elaboración propia con datos presentados en Tablas 15 y 17.

Figura 15

Comparación entre el cobre disuelto en aguas de Bocamina y el LMP para dicho elemento.



Nota. Elaboración propia con datos presentados en Tablas 19 y 21.

Respecto a los ECA para el Cobre – Cu, se tiene que, estos aparecen en 3 de las 4 categorías; en ese respecto se tiene los ECA para el Cu figuran en las tres subcategorías A de la primera, en una de las dos subcategorías B de la primera; en las dos subcategorías de la tercera; y, en la subcategoría referida a ríos de la costa y sierra de la cuarta categoría, la cual es pertinente con el presente estudio.

Las subcategorías A1, A2, A3 y B1 de la categoría 1, para el Cu exigen un ECA = 2 mg/L; luego, una sola inspección bastó para ver el cumplimiento de los ECA en dicha subcategoría. En ese respecto se tiene que, tanto para las aguas del río Huancay como para las aguas de Bocamina, en temporada de estiaje y avenidas, la concentración de Cu disuelto en dichas aguas no se supera el ECA establecido para dicho metal pesado.

Asimismo, para la subcategoría D1: Riego de vegetales y la subcategoría D2: Bebida de animales, de la categoría 3 se exigen 0.2 y 0.5 mg/L como ECA para el Cu. Dichos valores exigidos no son superados en temporada de estiaje ni en temporada de avenidas, tanto en las aguas del río Huancay como en Bocamina.

Finalmente, la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, para ríos de la costa y sierra, subcategoría E2, exige un ECA = 0.1 mg/L para el Cu; luego, en este escenario se tiene que, dicho valor exigido no fue superado en temporada de estiaje ni en temporada de avenidas, tanto en las aguas del río Huancay como en Bocamina.

4.2.3. Contaminación de aguas del río Huancay por aguas de Bocamina

Dado que, no pudimos encontrar estudio específicamente sobre el río Huancay, no fue posible la comparación entre nuestros resultados y los obtenidos por otros investigadores.

Por otro lado, estrictamente hablando del río Huancay, es pertinente mencionar que, solo 3 de las 12 estaciones de monitoreo se encontraban sobre el cauce de dicho río, EMRH-01, EMRH-02 y EMRH-03, ver: «Figura 5. Mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo»; además de dichas estaciones las que nos interesaron fueron EMRH-02 y EMRH-03, estaciones cuyos puntos de monitoreo se encontraban inmediatas aguas arriba y aguas abajo, respectivamente, con respecto al punto de vertimiento de Minera Chicama, punto de monitoreo de Boca de Mina en la cual se estableció la estación EMBM-12.

En las tablas 22 y 23 se muestran el cumplimiento de los LMP y ECA por los parámetros estudiados y los metales pesados disueltos en las aguas estudiadas.

Tabla 22

Cumplimiento de LMP y ECA en la estación de monitoreo más próximo aguas arriba de punto de vertimiento, EMRH-02.

	Parámetros característicos							Parámetros fisicoquímicos						Metales disueltos										
	Caudal		Temperatura		pH		Conductividad		SDT		SST		Sulfatos		Sb		As		Fe		Pb		Cu	
LMP	**	**	**	**	No	No	**	**	**	**	Si	Si	**	**	**	**	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
ECA																								
CATEGORÍA 1																								
Subcategoría A																								
A1	**	**	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	**	**	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si
A2	**	**	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	**	**	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si
A3	**	**	Si	Si	Si	Si	**	**	Si	Si	**	**	**	**	**	**	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Subcategoría B																								
B1	**	**	**	**	Si	Si	**	**	**	**	**	**	**	**	**	No	No	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si
B2	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
CATEGORÍA 2																								
C1	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
C2	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
C3	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
C4	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
CATEGORÍA 3																								
D1	**	**	Si	Si	Si	Si	Si	Si	**	**	**	**	Si	Si	**	**	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
D2	**	**	Si	Si	Si	Si	Si	Si	**	**	**	**	Si	Si	**	**	**	**	**	**	Si	Si	Si	Si
CATEGORÍA 4																								
E1	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
E2	**	**	Si	Si	Si	Si	Si	Si	**	**	Si	Si	**	**	Si	Si	Si	Si	**	**	Si	Si	Si	Si
E3	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

** No aplica para la categoría y/o subcategoría o para el estudio. Temporada de estiaje: . Temporada de avenidas: .

Nota. Elaboración propia.

Tabla 23

Cumplimiento de LMP y ECA en estación de monitoreo más próximo aguas abajo de punto de vertimiento, EMRH-03.

	Parámetros característicos								Parámetros fisicoquímicos						Metales disueltos									
	Caudal		Temperatura		pH		Conductividad		SDT		SST		Sulfatos		Sb		As		Fe		Pb		Cu	
LMP	**	**	**	**	No	No	**	**	**	**	No	No	**	**	**	**	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
ECA																								
CATEGORÍA 1																								
Subcategoría A																								
A1	**	**	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	**	**	Si	Si	Si	Si	No	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si
A2	**	**	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	**	**	Si	Si	Si	Si	No	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si
A3	**	**	Si	Si	Si	Si	**	**	Si	Si	**	**	**	**	**	**	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Subcategoría B																								
B1	**	**	**	**	Si	Si	**	**	**	**	**	**	**	**	No	No	No	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si
B2	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
CATEGORÍA 2																								
C1	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
C2	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
C3	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
C4	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
CATEGORÍA 3																								
D1	**	**	Si	Si	Si	Si	Si	Si	**	**	**	**	Si	Si	**	**	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
D2	**	**	Si	Si	Si	Si	Si	Si	**	**	**	**	Si	Si	**	**	**	**	**	**	Si	Si	Si	Si
CATEGORÍA 4																								
E1	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
E2	**	**	Si	Si	Si	Si	Si	Si	**	**	Si	Si	**	**	Si	Si	Si	Si	**	**	Si	Si	Si	Si
E3	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

** No aplica para la categoría y/o subcategoría, o para el estudio. Temporada de estiaje: . Temporada de avenidas: .

Nota. Elaboración propia.

Recalcamos que, los ECA no son exigibles a las aguas de Bocamina y consecuentemente a ninguno de los registros de las EMBM, solamente son exigibles los LMP. También, de los 12 puntos de monitoreo, para el análisis solamente resultó siendo relevante el punto de vertimiento o punto 12, punto en el cual se instaló la EMBM-12.

Por otro lado, recalcamos que, los LMP no son exigibles a las aguas del río Huancay y consecuentemente a ninguno de los registros provenientes de las EMRH, solamente son exigibles los ECA.

Teniendo en cuenta las salvedades acabadas de presentar, se pueden establecer relaciones respecto a la manera en la que el efluente proveniente de la «Compañía Minera Chicama» altera los parámetros característicos, parámetros fisicoquímicos y la cantidad de metales pesados disueltos en las aguas del río Huancay en el punto de monitoreo 12, lugar donde se estableció la EMBM-12.

En concordancia con lo acabado de mencionar se establecieron los siguientes tipos de relaciones:

Relación SI – SI: Se establece cuando el efluente proveniente de Minera Chicama no cambia la condición de cumplimiento del ECA de las aguas del río Huancay al pasar de EMRH-02 a EMRH-03; es decir, cumple el ECA en EMRH-02 y cumple en EMRH-03.

Relación SI – NO: Se establece cuando el efluente proveniente de Minera Chicama cambia la condición de cumplimiento del ECA de las aguas del río Huancay al pasar de EMRH-02 a EMRH-03; es decir, cumple el ECA en EMRH-02 pero no cumple en EMRH-03.

Relación NO – SI: Se establece cuando el efluente proveniente de Minera Chicama cambia la condición de cumplimiento del ECA de las aguas del río Huancay al pasar de EMRH-02 a EMRH-03; es decir, no cumple el ECA en EMRH-02 pero si cumple en EMRH-03.

Relación NO – NO: Se establece cuando el efluente proveniente de Minera Chicama no cambia la condición de cumplimiento del ECA de las aguas del río Huancay al pasar de EMRH-02 a EMRH-03; es decir, no cumple el ECA en EMRH-02 y no cumple en EMRH-03.

En la Tabla 24 se muestran las alteraciones de las aguas del río Huancay en temporada de estiaje debido al efluente proveniente de Minera Chicama.

Tabla 24

Alteraciones de las aguas del río Huancay debido a efluente proveniente de Minera Chicama en temporada de estiaje.

	SI-SI	SI-NO	NO-SI	NO-NO	TOTAL
Parámetros característicos					
Caudal (m ³ /s)	0	0	0	0	0
Temperatura (°C)	6	0	0	0	6
pH	7	0	0	0	7
Conductividad (μS/cm)	5	0	0	0	5
Parámetros fisicoquímicos					
SDT (mg/L)	3	0	0	0	3
SST (mg/L)	1	0	0	0	1
Sulfatos (mg/L)	4	0	0	0	4
Metales pesados disueltos					
Sb (mg/L)	3	0	0	1	4
As (mg/L)	3	3	0	0	6
Fe (mg/L)	5	0	0	0	5
Pb (mg/L)	7	0	0	0	7
Cu (mg/L)	7	0	0	0	7
TOTAL	51	3	0	1	55

Nota. Elaboración propia con datos de tablas 22 y 23.

De la Tabla 24 se tiene que, el efluente proveniente de Minera Chicama en temporada de estiaje no altera la condición de cumplimiento del ECA de las aguas del río Huancay en el 92.7% de las mediciones realizadas; si la altera desfavorablemente en un 5.4% de las veces, pasando de cumplir a no cumplir con los ECA; no la altera favorablemente, 0% de veces, pasando de no cumplir a cumplir con los ECA; y, en un 1.9% de las veces mantiene su condición de contaminante, vale decir, su no cumplimiento de los ECA se mantiene tanto en EMRH-02 como en EMRH-03.

Por otro lado, en la Tabla 25 se muestran las alteraciones de las aguas del río Huancay en temporada de avenidas debido al efluente generado por la «Compañía Minera Chicama».

Tabla 25

Alteraciones de las aguas del río Huancay debido a efluente proveniente de Minera Chicama en temporada de avenidas.

	SI-SI	SI-NO	NO-SI	NO-NO	TOTAL
Parámetros característicos					
Caudal (m ³ /s)	0	0	0	0	0
Temperatura (°C)	6	0	0	0	6
pH	7	0	0	0	7
Conductividad (μS/cm)	5	0	0	0	5
Parámetros fisicoquímicos					
SDT (mg/L)	3	0	0	0	3
SST (mg/L)	1	0	0	0	1
Sulfatos (mg/L)	4	0	0	0	4
Metales pesados disueltos					
Sb (mg/L)	3	0	0	1	4
As (mg/L)	2	0	1	3	6
Fe (mg/L)	5	0	0	0	5
Pb (mg/L)	7	0	0	0	7
Cu (mg/L)	7	0	0	0	7
TOTAL	50	0	1	4	55

Nota. Elaboración propia con datos de tablas 22 y 23.

De la Tabla 25 se tiene que, el efluente proveniente de Minera Chicama en temporada de avenidas no altera la condición de cumplimiento del ECA de las aguas del río Huancay en el 90.9% de las mediciones realizadas; no la altera desfavorablemente 0% de las veces, pasando de cumplir a no cumplir con los ECA; si la altera favorablemente 1.9% de las veces, pasando de no cumplir a cumplir con los ECA; y, en un 7.2% de las veces mantiene su condición de contaminante.

4.3. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Para efectos del contraste de hipótesis recalamos los preceptos aplicables a la presente investigación.

La minería constituye una actividad económica esencial que ofrece los recursos minerales y energéticos requeridos para el avance industrial y tecnológico. No obstante, esta acción provoca un impacto considerable y frecuentemente destructivo en los ecosistemas, alterando la biodiversidad, la calidad del agua y del suelo, así como la salud de las comunidades locales.

La contaminación del agua resulta de la emisión de sustancias tóxicas provenientes de desechos mineros y actividades mineras, como los tajos a cielo abierto y los socavones. La capacidad de liberación de estos elementos y el riesgo vinculado dependen de las condiciones particulares del lugar, que abarcan el diseño, la operación de extracción, el procesamiento, la gestión de residuos, la efectividad de las medidas de mitigación, factores ambientales como el clima y la proximidad a posibles receptores (Chávez, 2015).

El efecto ambiental de la minería se vuelve ahora más claro. Existe un progreso en la responsabilidad ambiental por parte de las empresas, sin embargo, su actividad sigue siendo reactiva, priorizando aumentar su productividad y disminuir sus costos sin haber desarrollado una mayor conciencia sobre el impacto en el entorno. Las comunidades, por su parte, carecen de información y no tienen conocimientos adecuados para darse cuenta del impacto (Andaluz, 2000).

Por otro lado, los problemas relacionados con el agua y la actividad extractiva presentan múltiples facetas. Una de estas es la pérdida de la vegetación que cubre el suelo, principalmente, otra es cuando dicha actividad se realiza en un ecosistema donde comienza un cuerpo de agua; luego, la desaparición de ambos elementos puede provocar efectos importantes en el ecosistema (Chávez, 2015).

Asimismo, la preservación del medio ambiente es esencial para garantizar un equilibrio adecuado de los procesos e interpretaciones que ocurren en él, abarcando el desarrollo de diversas formas de vida tanto vegetal como animal. Específicamente, la existencia de elementos como metales pesados, ya sean de origen natural o no, en concentraciones superiores a ciertos niveles, o su combinación en ciertas circunstancias, puede modificar las condiciones del entorno hasta el grado de volverse perjudiciales para el desarrollo de los diversos procesos vitales.

Finalmente, es pertinente recalcar que, los Límites Máximos Permisibles – LMP, no son exigibles a los ríos sino a los vertimientos o efluentes, consecuentemente, estos no son aplicables a las aguas del río Chicama; por su parte, los Estándares de Calidad Ambiental – ECA, no son exigibles a los vertimientos o efluentes sino a los

ríos, consecuentemente, estos no son aplicables a las aguas o efluente generado por Minera Río Chicama, efluente de Bocamina.

4.3.1. Contrastación de hipótesis secundaria

De lo señalado en los subcapítulos precedentes se tiene que, es factible formular dos hipótesis secundarias en los siguientes casos: Si se considera como contexto a los parámetros que describen las aguas o la concentración de metales pesados disueltos, enfoque usado en la formulación de las hipótesis de la presente investigación; si se considera los tipos de aguas, las del río Huancay o las de Bocamina; y, si se considera el instrumento de gestión ambiental LMP o ECA.

Además, si se hubiera disgregado los parámetros que describen las aguas en parámetros característicos y parámetros fisicoquímicos, se podrían haber formulado tres hipótesis secundarias en términos de parámetros característicos, parámetros fisicoquímicos y metales pesados disueltos. Es en este escenario que realizamos la interpretación de resultados, pero en términos del cumplimiento tanto de los LMP como de los ECA, según corresponda para el tipo de aguas, ya sea de Bocamina o del río Huancay.

De una inspección de los resultados y su discusión presentado en los subcapítulos precedentes colegimos que, los LMP no son aplicables a las aguas del río Huancay pero si al efluente generado por Minera Río Chicama o Bocamina; y, en este último escenario, en el punto de vertimiento, EMBM-12, la interpretación de los resultados permitió establecer:

- Con respecto a los parámetros característicos de las aguas de Bocamina: Caudal no aplica LMP, temperatura no aplica LMP, conductividad no aplica LMP, y, no se cumple con el LMP para el pH tanto en temporada de estiaje como en avenidas en las subcategorías donde si aplican.
- Con respecto a los parámetros fisicoquímicos de las aguas de Bocamina: Para Sólidos Disueltos Totales – SDT, no aplica LMP; para Sólidos Suspendidos Totales - SST, se cumplen con los LMP tanto en temporada de estiaje como en avenidas en las subcategorías donde si aplican; y, para los sulfatos no existe LMP.
- Con respecto a los metales pesados disueltos en las aguas de Bocamina: Para el Antimonio no aplica LMP; y, para As, Fe, Pb y Cu, tanto en temporada de estiaje como en avenidas cumplen con los LMP.

Para efectos de contrastar la primera hipótesis secundaria, enunciarnos la hipótesis nula y su alternativa, la hipótesis inicial.

H₀: Los parámetros fisicoquímicos de las aguas del río Huancay y el efluente generado por Minera Río Chicama, NO exceden los Límites Máximo Permisibles y cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua.

H₁: Los parámetros fisicoquímicos de las aguas del río Huancay y el efluente generado por Minera Río Chicama, exceden los Límites Máximo Permisibles y no cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua.

Basándonos en la interpretación de resultados y la evidencia de los mismos, aceptamos la hipótesis nula y para mayor precisión la reformulamos en términos del cumplimiento de los LMP, esto en razón de que dicho instrumento de gestión ambiental es aplicable a las aguas de Bocamina y excluye a las aguas del río Huancay. En ese respecto la primera hipótesis secundaria quedaría enunciada en los siguientes términos:

En Bocamina, tanto en temporada de estiaje como en avenidas, se cumplen con los LMP exigidos para los parámetros característicos del vertimiento, parámetros fisicoquímicos del efluente y la cantidad de metales pesados disueltos en las aguas.

Por otro lado, los ECA no son aplicables al efluente generado por Minera Río Chicama o aguas de Bocamina, pero si a las aguas del río Huancay, y en este último escenario, en los puntos de vertimiento, EMRH-02 y EMRH-03, la interpretación de los resultados permitió establecer:

- Con respecto a los parámetros característicos de las aguas del río Huancay: Caudal no aplica ECA; se cumplen con los ECA de temperatura tanto en temporada de estiaje como en avenidas en las subcategorías donde si aplican; se cumplen con los ECA para la conductividad eléctrica de las aguas tanto en temporada de estiaje como en avenidas en las subcategorías donde si aplican; y, se cumplen con los ECA para el pH tanto en temporada de estiaje como en avenidas en las subcategorías donde si aplican.
- Con respecto a los parámetros fisicoquímicos de las aguas del río Huancay: Para Sólidos Disueltos Totales – SDT, se cumplen con los ECA tanto en temporada de estiaje como en avenidas en las subcategorías donde si aplican; para Sólidos Suspendidos Totales - SST, se cumple con el ECA tanto

en temporada de estiaje como en avenidas en la subcategoría donde si aplica; y, para los sulfatos se cumplen con los ECA tanto en temporada de estiaje como en avenidas en las subcategorías donde si aplican.

- Con respecto a los metales pesados disueltos en las aguas del río Huancay: Para el Sb se cumplen 3 relaciones SI-SI y 1 relación NO-NO tanto en temporada de estiaje como en avenidas. Para el As se cumplen 3 relaciones SI-SI y 3 relaciones SI-NO en temporada de estiaje; y, 3 relaciones SI-SI, 1 relación NO-SI y 3 relaciones NO-NO en temporada de avenidas. Para el Fe se cumplen 5 relaciones SI-SI tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas. Para el Pb se cumplen 7 relaciones SI-SI tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas. Para el Cu se cumplen 7 relaciones SI-SI tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas.

Luego, para efectos de contrastar la segunda hipótesis secundaria, enunciarnos la hipótesis nula y su alternativa, la hipótesis inicial.

H₀: La concentración de metales pesados disueltos, en las aguas del río Huancay y el efluente generado por Minera Río Chicama, NO exceden los Límites Máximo Permisibles y cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental.

H₁: La concentración de metales pesados disueltos, en las aguas del río Huancay y el efluente generado por Minera Río Chicama, exceden los Límites Máximo Permisibles y no cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental.

Luego, basándonos en la interpretación de resultados y la evidencia de los mismos, aceptamos la hipótesis nula y para mayor precisión la reformulamos en términos del cumplimiento de los ECA, esto en razón de que dicho instrumento de gestión ambiental es aplicable para las aguas del río Huancay, pero excluye las aguas de Bocamina. Además, trayendo a colación que en estiaje se cumple el 92.7% de los parámetros y en avenidas el 90.9%; la segunda hipótesis secundaria quedaría enunciada en los siguientes términos:

En el río Huancay, tanto en temporada de estiaje como en avenidas, se cumplen con casi la totalidad, más del 90% de los ECA exigidos, para los parámetros característicos del vertimiento, parámetros fisicoquímicos del efluente y la cantidad de metales pesados disueltos en las aguas.

4.3.2. Contrastación de hipótesis general

Dado que, la contrastación de la hipótesis general no se realiza de forma directa, sino como resultado de la suma de las respuestas individuales a cada hipótesis secundaria, actuando estas de forma independiente; la hipótesis general inicialmente planteada se reformuló en los términos siguientes:

Existen alteraciones de los parámetros característicos del río, los parámetros fisicoquímicos y la contaminación por metales pesados disueltos en las aguas del Río Huancay debido a los efluentes provenientes de Minera Río Chicama, distrito de Marmot - Provincia de Gran Chimú.

CONCLUSIONES

- 1.- Con respecto al objetivo de «caracterizar fisicoquímicamente las aguas del río Chicama y el efluente generado por la Minera Río Chicama» se concluye que, tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas, las aguas del río Huancay y el efluente generado por la Minera Río Chicama cumplen con todos los ECA establecidos para los parámetros analizados.
- 2.- Con respecto al objetivo de «medir la concentración de metales pesados disueltos en las aguas del río Chicama y el efluente generado por la Minera Río Chicama» se concluye para el primero de los casos que, solo el As cambio su condición de no cumplir con el ECA antes de punto de vertimiento en estiaje a cumplir con el ECA luego de punto de vertimiento en avenidas, los otros metales pesados mantuvieron su condición de cumplimiento de los ECA correspondientes tanto en temporada de estiaje como en avenidas; por su parte, el efluente generado por la Minera Río Chicama cumplió con los LMP establecidos para cada uno de dichos metales.
- 3.- El efluente generado por la Minera Río Chicama cumple con los LMP establecidos para vertimientos mineros, luego, es pertinente recordar que, si contamina las aguas del río Huancay pero a niveles permitidos, y, es de destacar el hecho que, no altera las condiciones de cumplimiento de los ECA por parte de las aguas del río Huancay y por el contrario, como es el caso del arsénico coadyuva su cumplimiento.
- 4.- En las muestras tomadas del efluente de mina, se observa que en los puntos 11 y 12 los valores del plomo están elevados respecto a las otras muestras, debido a que, estos lugares son utilizados para lavadero de carros y equipo

de mina; pero los valores hallados no supera los LMP para efluentes líquidos de actividad minera metalúrgica; de todo esto se concluye que donde existe actividades comerciales se encontrará presencia de plomo.

- 5.-** Los resultados obtenidos dan cuenta que, las aguas del río Huancay se encuentran dentro los estándares de calidad ambiental para el agua categoría 3 (riego de vegetales); así también, las muestras obtenidas del efluente de mina, están dentro los límites máximos permisibles.

- 6.-** Respecto al pH de las aguas del Río Chicama fluctúan entre 7,7 y 8,2 dando un carácter básico debido a la naturaleza del terreno. Pero el efluente de mina, en la Bocamina, es ácido, con valores de 5,5, a medida que discurre pasa por 2 cochas, son tratadas utilizando cal y se logra bajar la acidez, llegando a desembocar al Río Chicama como agua básica, cuyo valor oscila entre 7,1 y 8.15, concluyendo de esta manera, que el efluente de mina no es un contaminante del Río Chicama.

RECOMENDACIONES

- 1.- Se recomienda realizar estudios sistemáticos complementarios, del contenido de metales pesados, en diferentes matrices, que permitan la elaboración de informes fehacientes y con visión del futuro sobre el estado del río Huancay.
- 2.- Los monitoreos de las aguas del río Huancay deberían realizarse con mayor frecuencia y en mayor número de puntos para poder tener mejores referencias en cuanto a la contaminación que puede suceder en la parte alta de la cuenca, por presencia de actividad minera artesanal. En ese sentido, se recomienda diferenciar el río Chicama, formado por la confluencia del río Huancay y Chuquillanqui, de los otros ríos que forman subcuencas y microcuencas dentro del mismo.
- 4.- Se recomienda para el análisis de las aguas de un río, hacerlo en términos de parámetros característicos del mismo, parámetros fisicoquímicos de las aguas y metales disueltos en las aguas; en ese sentido, diferenciar los tipos de aguas en función a la aplicabilidad de los LMP y ECA.
- 5.- Se recomienda reubicar la zona donde se realiza el lavado de carros y equipo minero dentro de la unidad minera, para de esa manera poder minimizar la presencia de plomo en estos puntos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andaluz Weistrecher, C. (2000). Gestión Ambiental en el Perú. *Memorias del Foro-Taller realizado en Lima el 28-29 de agosto del año 2000*. Grupo Temático Medio Ambiente y Plataforma de Contrapartes - NOVIB.
- Aronés Medina, E. G. (2011). Evaluación de la contaminación por cromo en el río Alameda de la Provincia de Huamanga. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Alfaro Abanto, T. (2010). Tratamiento de cauce del río para el control de inundaciones en la cuenca Chicama. Dirección de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales de la Autoridad Nacional del Agua.
- Arévalo A. (octubre 17, 2008). La Magnitud de la Contaminación en el Perú. Lectura 2: Contaminación de ríos y mares. En *La Contaminación en el Perú*. <https://arevaloabad.wordpress.com/>
- Asesores Técnicos Asociados S.A. (2005). Cuenca Binacional Catamayo-Chira: Caracterización Hídrica y Adecuación entre la Oferta y la Demanda Caracterización Territorial y Documentación Básica. Universidad Nacional de Piura y Universidad Nacional de Loja. <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/Amb-57.pdf>
- Atkins, D.; Calderón, C.; Montoya, E. y Morales, E. (2005). Evaluación de la Calidad del Agua en Cajamarca, Perú: Informe Anual de Monitoreo, 2004-2005. Compliance Advisor/Ombudsman – CAO, y, Mesa de Diálogo y Consenso – CAO Cajamarca.

- Autoridad Nacional del Agua. (2003). Evaluación y ordenamiento de los recursos hídricos en la cuenca del río Chicama [Volumen 1: Memoria]. Administración Técnica del Distrito de Riego Chicama.
- Autoridad Nacional del Agua. (2015). Estudio de evaluación de los recursos hídricos de la cuenca del río Chicama. [Informe final: aguas superficiales]. Autoridad Local del Agua ALA - Chicama.
- Bebbington, A. y Williams, M. (2008). Water and Mining Conflicts in Peru. Mountain Research and Development, 28(3/4), 190-195. http://snobear.colorado.edu/Research/08_peru.pdf
- Bérxex, N. (2004). La gestión de los recursos hídricos en el Perú. En PALESTRA Portal de asuntos públicos de la PUCP. <https://repositorio.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c171fd21-e996-451a-90f6-f0f438a5f595/content>
- Branco Murgel, M. S. (2014). Limnología sanitaria. Estudio de la polución de aguas continentales. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico.
- Campos C., N. H. (1990). La contaminación por metales pesados en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. Calsasia, 16(77), 231–243. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/35544>.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2004). Programa de monitoreo de aguas. CEPIS.
- Cevallos Mina, M.; Luaces Alberto, M. D. y Cuello Pérez, M. (2023). Determinación de metales pesados (Pb, Cd, Hg, As) en aguas del río Teaone, Ecuador. Revista de Energía, Ingeniería de Optimización y Sostenibilidad; 7(3), 173-188. <https://doi.org/10.19136/jeeos.a7n3.5692>
- Chávez Quijada, M. (2015). Los Pasivos Ambientales mineros: Diagnóstico y propuestas. Red Muqui.
- Chávez Santa Cruz, G. A.; Sánchez Tello, S.; Romero Rojas, J. A. Gaitán Guerra, L. y Chávez Quiroz, E. A. (2025). Evaluación de la Calidad y Cantidad de las Aguas del Rio El Tingo – Hualgayoc en el Primer Año de Explotación por

Minera La Cima. *Ciencia Latina: Revista Científica Multidisciplinar*, 9(2), 3185-3208. DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2.17133

Chiang, A. (1989). Niveles de los metales pesados en organismos, agua y sedimentos marinos recolectados en la V Región de Chile. In *Memorias del Simposio Internacional sobre los recursos vivos*, Santiago. Serie CPPS (pp. 205-215).

Chira Fernández, J. E. (2010). Especiación química secuencial de metales pesados en la cuenca del río Torres-Vizcarra, Dpto. de Ancash. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Cisneros, I. (1996). Contaminación por metales pesados procedentes de los relaves mineros en la fauna del distrito de Samne, Otuzco. [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de La Libertad.

Coelho, P. S. C., y Teixeira, J. P. F. (2011). Mining activities: impacts. En *Encyclopedia of Environmental Health*, pp. 788-802. Elsevier Science.

Cornejo Olarte D. A.; Paredes Ugarte, W.; Quispe Aymachoque, J. P.; Llanos Condori, V. y Apaza Cruz, J. L. (2021). Acumulación de metales contaminantes en aguas y sedimentos. En *Escuela Internacional de Negocios y Desarrollo Empresarial de Colombia - EIDEC*. (Coord.). La investigación científica y académica transdisciplinaria; pp. 10-47. Editorial EIDEC.

Cornejo, A. (2003). Impacto del cianuro, el níquel y el zinc en la salud humana. Programa Tierra y Medio Ambiente.

Cruz, E. (2022, 4 marzo). Perú cuenta con las mayores reservas de plata a nivel mundial con 120 000 tn. En: *Rumbo Minero - Noticias*. <https://www.rumbominero.com/peru/noticias/mineria/peru-mayores-reservas-plata-a-nivel-mundial-120-000-tn/>

De la Cruz Mena, D.; Arnaut Agramonte, M. C.; Román Santana, W. M. y Martínez Alonzo, J. M. (2024). Análisis comparativo de niveles físico químico de contaminación en el río Ozama utilizando la técnica de fluorescencia de rayos

X, periodo 2020 al 2024. MENTOR - Revista de Investigación Educativa y Deportiva, 3(8), 341-363. <https://orcid.org/0000-0002-9205-3200>

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Diario Oficial El Peruano, sección Normas Legales, edición del miércoles 7 de junio de 2017; pp.10-19. Editora Perú.

Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero - Metalúrgicas. Diario Oficial El Peruano, sección Normas Legales, edición del 21 de agosto del 2010; pp.424114-424117. Editora Perú.

Deza Arroyo, N. (2002). Oro, cianuro y otras crónicas ambientales. En busca de una minería ambientalmente responsable. Editorial Universitaria UNC.

Dionicio Gonzales, D. J. (2022). Monografía de la provincia Gran Chimú. Ministerio de Educación.

Echave C., J.; Diez Hurtado, A. Huber, L.; Revesz, B.; Lanata, X. R. y Tanaka, M. (2009). Minería y conflicto social [Minería y Sociedad No. 5]. Instituto de Estudios Peruanos – IEP, Centro de Investigación y Promoción del Campesinado – CIPCA, Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de Las Casas – CBC, y, Consorcio de Investigación Económica y Social – CIES.

Encabo Checa, C.; Cala Rivero, V. y Gutiérrez Maroto, A. (1997). Evaluación de la dispersión de metales pesados en suelos del entorno de una mina mediante el método de especiación secuencial química. Boletín Geológico y Minero, 108(1), 57-68. Instituto Tecnológico Geominero de España. https://info.igme.es/biblioteca/ficheros/BGM/Boletin%20108_1_1997.pdf

Estudios Mineros del Perú S.A.C. (2006). Manual de minería. https://www.iestpoyon.edu.pe/web/documentos/Manual_de_Mineria.pdf

- Flores Lozano, H. H. (2016). Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas del río Grande y su relación con la actividad minera. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Förstner, U. (1993). Metal speciation General concepts and applications. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* 51(1-4), 5-23. <https://doi.org/10.1080/03067319308027608>
- Gaete, H.; Aránguiz, F. y Cienfuegos, G. (2007). Metales pesados y toxicidad de aguas del Río Aconcagua en Chile. *Química Nova*, 30(4), 885-891. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000400023>
- Gámez Morales, W. R. (2009). Texto Básico de Hidrología. Universidad Nacional Agraria de Managua.
- Gayoso Paredes, M. (2016). Visita técnica a la Compañía Minera Río Chicama. [Material de clase del curso Geología Estructural]. Universidad Nacional de Trujillo. <https://es.scribd.com/document/322724581/compania-Minera-Rio-Chicama-Sac>
- Gil, V. R. (2009). Aterrizaje minero. Cultura, conflicto, negociaciones y lecciones para el desarrollo desde la minería en Ancash, Perú. Instituto de Estudios Peruanos.
- Guevara Ramos, A. F. (2019). Influencia de la estimación diaria de los costos de producción en el control de recursos en la Unidad Bumerang en Minera Río Chicama S.A.C. [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Trujillo.
- Hernández Fernández, R.; Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2016). Metodología de la Investigación [6ta ed.]. Mc Graw Hill Interamericana.
- Herrera Herbert, J. (2017). Introducción a la Minería. [Volumen I: Conceptos, tecnologías y procesos]. Universidad Politécnica de Madrid.
- Hoyos Mondragon, E. A. y Cieza Castillo, M. R. (2020). Estudio de prefactibilidad de la instalación de una planta de producción de antimonio a partir de concentrado de estibina. [Tesis de grado]. Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo".

- Iglesias Gutiérrez, J. J. (Dir.). (2019). Plan de desarrollo local concertado de la provincia de Gran Chimú al 2021 con proyección al 2030. Municipalidad Provincia de Gran Chimú.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2007). Directorio Nacional de Municipalidades Provinciales, Distritales y de Centros Poblados. INEI.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). Directorio Nacional de Centros Poblados [Tomo III]. Dirección Nacional de Censos y Encuestas - INEI.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2019). Perú: Participación de la Población en la Actividad Económica, 2017. INEI.
- Ita Vargas, T. K. (2013). Estudio de caracterización climática de la cuenca del río Chicama. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI.
- Jara Facundo, M. A. (2003). Distribución de metales pesados en agua y sedimentos y sus efectos sobre la vida acuática en la cuenca superior del río Santa. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Kitula, A. G. N. (2006). The environmental and socio-economic impacts of mining on local livelihoods in Tanzania: a case study of Geita District. *Journal of Cleaner Production*, 14 (3 y 4), 405- 414. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.01.012>
- León, M. (1992). Evaluación de algunos metales que afectan la calidad del río Moche. [Tesis de Grado]. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Mendoza, J. P. (2025). Estándar de Calidad Ambiental y Límite Máximo Permissible: ECA versus LPM como parámetros ambientales. En: Página Web de Legislación Ambiental y de Seguridad y Salud en el Trabajo - SERVILEX. <https://servilex.pe/blog/estandar-de-calidad-ambiental-limite-maximo-permisible>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2017). Mapa vial de la provincia de Gran Chimú departamento de La Libertad. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/Mapas Provinciales/La Libertad/LI-11 Gran chimu.pdf

- Moreno Díaz, A. y Renner, I. (Edit.). (2007). Gestión Integral de Cuencas. La experiencia del Proyecto Regional Cuencas Andinas. Centro Internacional de la Papa – CIP.
- Nelson, C., y Lamothe, P. (1993). Heavy metals anomalies in the Tinto and Odiel river and estuary system, Spain. *Estuaries* , 16, 496-511.
- Ongley, E.D. (1997). Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. Estudio FAO Riego y Drenaje - 55. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO. <https://www.fao.org/4/w2598s/w2598s00.htm#Contents>
- Organización Mundial de la Salud (2024, 27 de septiembre). Intoxicación por plomo. En: Notas descriptivas OMS. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>
- Plataforma Digital Única del Estado Peruano. (2025). Municipalidad Distrital de Marmot: Información institucional. <https://www.gob.pe/institucion/munimarmot/institucional>
- Real Instituto de Tecnología de Suecia (1973). Las aguas residuales en la industria minera metálica. Misión Minera del Perú [Tomo I], 1-12.
- Salomons, W. (1995). Environmental impact of metals derived from mining activities: processes, predictions, prevention. *Journal Geochemical Exploration*, 52 (1), 5-23. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/037567429400039E>
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de La Libertad. (2018). Diagnóstico hídrico rápido de la cuenca del río Chicama como fuente de agua y servicios ecosistémicos hídricos para la EPS SEDALIB S.A. Editorial SEDALIB S.A.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2013). Estudio de extremos hidrológicos en la cuenca del río Chicama. SENAMHI - Dirección Regional de Cajamarca.
- Sotelo, M. y Palomino, H. (1995). Niveles de acumulación de metales pesados en agua, suelo y productos agrícolas y la importancia de sus efectos en la

proliferación de *Allium cepa* en el Valle de Moche. [Tesis de Grado].
Universidad Nacional Santiago Antunes de Mayolo.

Southern Perú Copper Corporation (1986). La ecología y las operaciones minero metalúrgicas en Toquepala, Cuajone e Ilo. Southern Copper Corporation - SCC.

Topalián, M.L.; Castañé, P.M.; Rovedatti, M.G. y Salibián, A. (1999). Principal component analysis of dissolved heavy metals in water of the Reconquista River (Buenos Aires, Argentina). *Bulletin Environmental Contamination Toxicology* 63(1), 484-490. <https://doi.org/10.1007/s001289901006>

Torres Bardales, C. (2018). Orientaciones Básicas de Metodología de la Investigación Científica. 12va ed. Libros y Publicaciones.

Universidad Nacional de Ingeniería. (2000). Estudio de evaluación ambiental territorial y de planteamientos para la reducción de la contaminación de origen minero en la cuenca del río Chicama. Instituto de Minería y Medio Ambiente – UNI.

Velásquez Rosales, L. A. (2018). Estudio de factibilidad económica del sistema de extracción de mineral en el proyecto de profundización de la Compañía Minera Río Chicama - Unidad Bumerang, La Libertad 2018. [Tesis de grado]. Universidad Privada del Norte.

Wood, J. M. (1974). Biological cycles for toxic elements in the environment. *Science*, 183(4129), 1049-1052. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.183.4129.1049>

ANEXOS

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA REFORMULADA

CONTAMINACIÓN DEL RÍO CHICAMA CON METALES PESADOS DISUELTOS EN EFLUENTE DE MINERA RÍO CHICAMA, DISTRITO DE MARMOT - PROVINCIA DE GRAN CHIMÚ, 2018-2019						
Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
Problema General: ¿Cuáles fueron los efectos que tuvo el efluente de Minera Río Chicama en las características físico químicas y la concentración de metales pesados en el río Chicama, distrito de Marmot - Provincia de Gran Chimú, 2018-2019?	Objetivo General: Determinar los efectos que tuvo el efluente generado por la Minera Río Chicama en las características físico químicas y la concentración de metales pesados en las aguas del río Chicama, distrito de Marmot - Provincia de Gran Chimú, 2018-2019.	Hipótesis General: La alteración de las características físicoquímicas y la concentración de metales pesados debido al efluente generado por la Minera Río Chicama contribuyeron con la contaminación de las aguas del Río Chicama, distrito de Marmot - Provincia de Gran Chimú, 2018-2019.	Variable Independiente: Características del efluente proveniente de la Minera Río Chicama.	Parámetros físicoquímicos de las aguas de bocamina	<ul style="list-style-type: none"> ● Caudal (m³/s). ● Temperatura (°C). ● Nivel de acidez o alcalinidad (pH). ● Conductividad (µS/cm). ● Sólidos Disueltos Totales - SDT (mg/L). ● Sólidos Suspendedos Totales - SST (mg/L). ● Sulfatos (mg/L). 	Tipo de estudio: Investigación del tipo cuantitativa. Diseño: No experimental, aplicado. Población: Ríos que forman las subcuencas y microcuencas de la cuenca del río Chicama. Muestra: Aguas del río Huancay y bocamina. Técnica: Toma de muestras tanto del efluente de Bocamina como de las aguas del río Huancay.
				Concentración de metales pesados disueltos en aguas de bocamina	<ul style="list-style-type: none"> ● Antimonio – Sb (mg/L). ● Hierro – Fe (mg/L). ● Plomo - Pb (mg/L). ● Cobre – Cu (mg/L). ● Arsénico – As (mg/L). 	
Problemas Específicos: a) ¿Qué características físico químicas tenían las aguas del río Huancay y el efluente generado por la Minera Río Chicama, distrito de Marmot - Provincia de Gran Chimú, 2018-2019?	Objetivos Específicos: a) Caracterizar físicoquímicamente las aguas del río Chicama y el efluente generado por la Minera Río Chicama.	Hipótesis Específicas: a) En Bocamina, tanto en temporada de estiaje como en avenidas, se cumplen con los LMP exigidos para los parámetros característicos del vertimiento, parámetros físicoquímicos del efluente y la cantidad de metales	Variable Dependiente:	Parámetros físicoquímicos de las aguas del río Chicama	<ul style="list-style-type: none"> ● Caudal (m³/s). ● Temperatura (°C). ● Nivel de acidez o alcalinidad (pH). 	Instrumentos: Recipientes utilizados para recoger las muestras los cuales estuvieron

b) ¿Qué niveles de concentración de metales pesados disueltos tenían las aguas del río Chicama y el efluente generado por la Minera Río Chicama, distrito de Marmot - Provincia de Gran Chimú, 2018-2019?	b) Medir la concentración de metales pesados disueltos en las aguas del río Chicama y el efluente generado por la Minera Río Chicama.	pesados disueltos en las aguas. b) En el río Huancay, tanto en temporada de estiaje como en avenidas, se cumplen con casi la totalidad, más del 90% de los ECA exigidos, para los parámetros característicos del vertimiento, parámetros fisicoquímicos del efluente y la cantidad de metales pesados disueltos en las aguas.	Características de las aguas del río Huancay		<ul style="list-style-type: none"> ● Conductividad ($\mu\text{S/cm}$). ● Sólidos Disueltos Totales - SDT (mg/L). ● Sólidos Suspendidos Totales - SST (mg/L). ● Sulfatos (mg/L). 	membretados para su identificación, registro y posterior individualización para efecto de análisis de laboratorio.
				Concentración de metales pesados disueltos en aguas del río Huancay	<ul style="list-style-type: none"> ● Antimonio – Sb (mg/L). ● Hierro – Fe (mg/L). ● Plomo - Pb (mg/L). ● Cobre – Cu (mg/L). ● Arsénico – As (mg/L). 	

ANEXO 2. PLANOS DEL ENTORNO EN ESTUDIO

La subcuenca del río Huancay forma parte de la cuenca del río Chicama, luego, esta última se configuró como el entorno general del presente estudio; en ese sentido, anexamos información referida a dicha cuenca.

La cuenca del río Chicama políticamente abarca un área geográfica que abarca parte de las provincias de Pacasmayo, Trujillo y Otuzco del departamento de La Libertad y de las provincias de Contumazá y Cajabamba del departamento de Cajamarca.

La cuenca del Río Chicama se ubica en la Costa Norte del Perú, pertenece a la vertiente del Pacífico y drena un área total de 2708 km². Políticamente se localiza en el Departamento de La Libertad, comprendiendo parte de las Provincias de Trujillo, Otuzco, Santiago de Chuco y Julcán. Geográficamente la cuenca se halla comprendida entre los 7°46' y 8° 15' de Latitud Sur y los 78° 16' y 79° 08', de Longitud Oeste. El área de estudio se ubica desde el anexo Baños Chimú, (1850 m.s.n.m), siguiendo el curso del Río Moche hasta el puente Panamericana (34 m.s.n.m), antes de su desembocadura en el Océano Pacífico. Sus nacientes se ubican en la vertiente occidental de los Andes occidentales.

El Río Chicama es uno de los ríos importantes en la zona norte del país, es determinante por irrigar grandes áreas, en la parte inferior existen haciendas históricas como Casagrande, Cartavio, Chacope.

Para una mayor información sintetizada y grafica del área general a la cual se circunscribió el presente estudio, en lo que prosigue del presente anexo se presentan los siguientes mapas:

- Mapa de Provincias de la cuenca Chicama.
- Mapa de distritos de la cuenca Chicama.
- Mapa de subcuencas de la cuenca Río Chicama.
- Mapa de la red hidrográfica de la cuenca Chicama.
- Mapa de ríos y quebradas por subcuencas de la cuenca Chicama.
- Mapa de clasificación ecológica de la cuenca Chicama.
- Mapa político del departamento de La Libertad.
- Mapa político de la provincia de Gran Chimú.
- Mapa de los circuitos turísticos de la provincia Gran Chimú.

Mapa 1. Provincias de la cuenca Chicama.



Nota. Tomado de: Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de La Libertad (2018), Diagnóstico hídrico rápido de la cuenca del río Chicama como fuente de agua y servicios ecosistémicos hídricos para la EPS SEDALIB S.A.; p.87.

Mapa 2. Distritos de la cuenca Chicama.



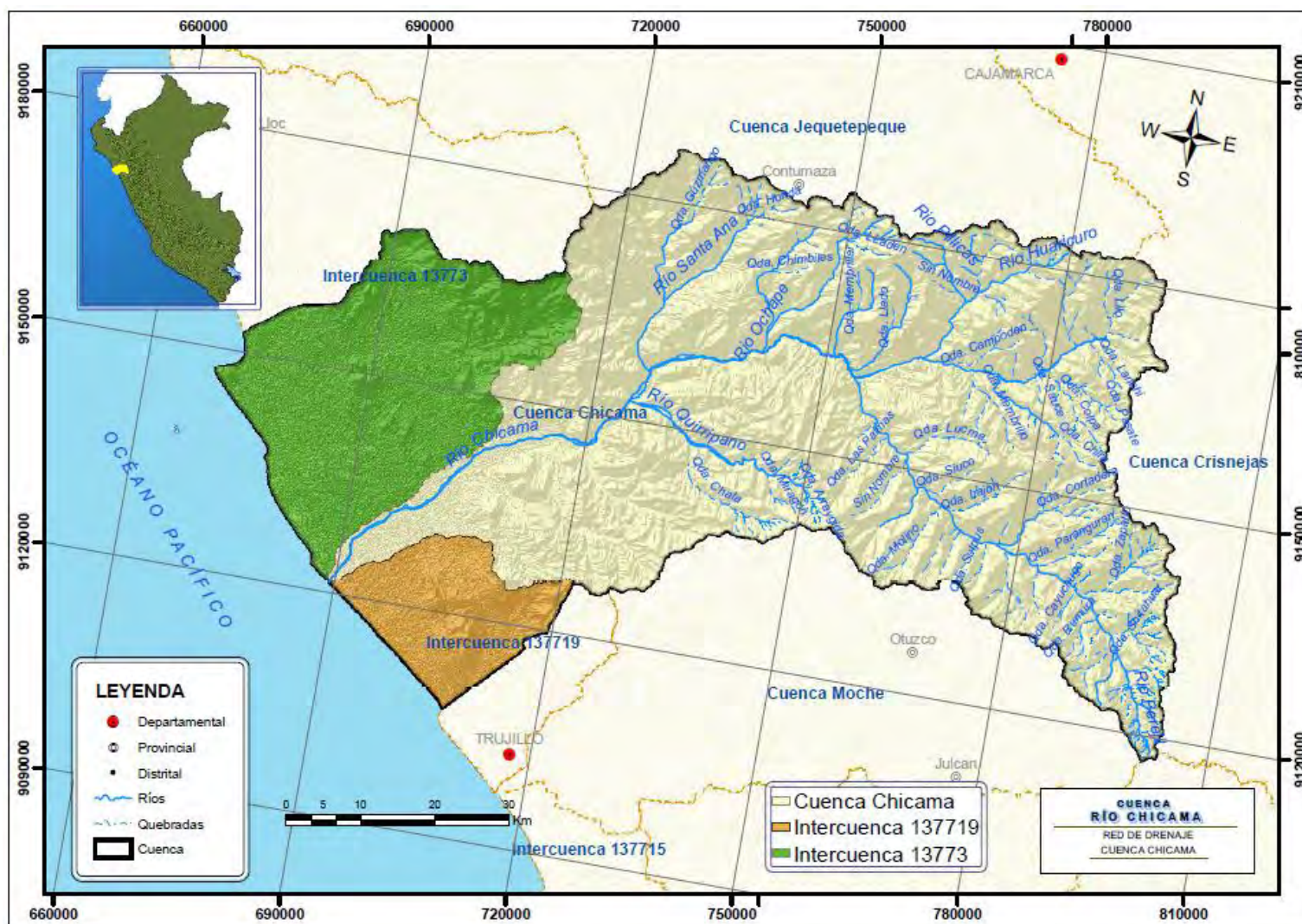
Nota. Tomado de: Tomado de: Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de La Libertad (2018), Diagnóstico hídrico rápido de la cuenca del río Chicama como fuente de agua y servicios ecosistémicos hídricos para la EPS SEDALIB S.A.; p.89.

Mapa 3. Subcuencas de la cuenca Río Chicama.



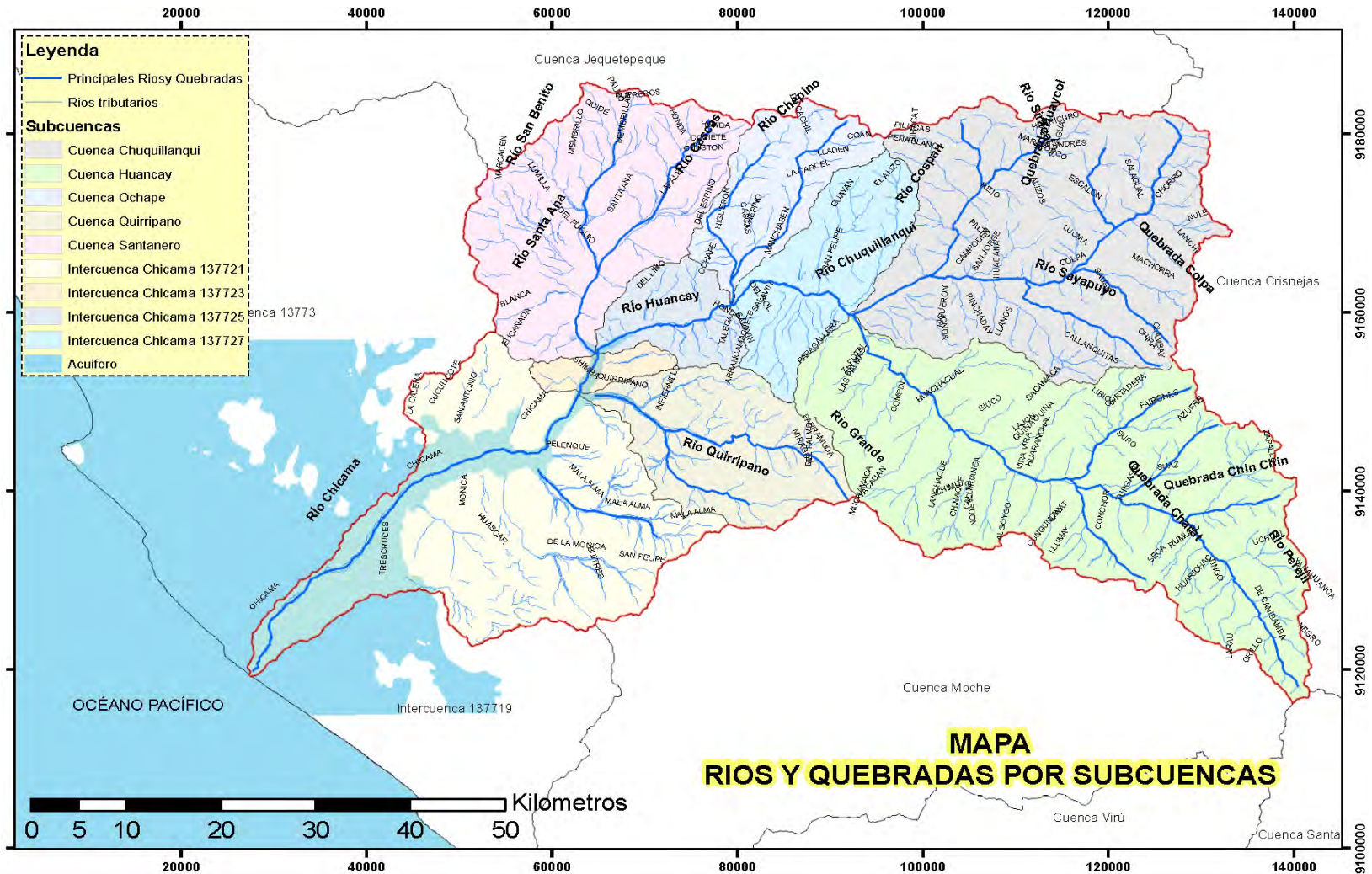
Nota. Tomado de: Autoridad Nacional del Agua (2015), Estudio de evaluación de los recursos hídricos de la cuenca del río Chicama, p.18.

Mapa 4. Red hidrográfica de la cuenca Chicama.



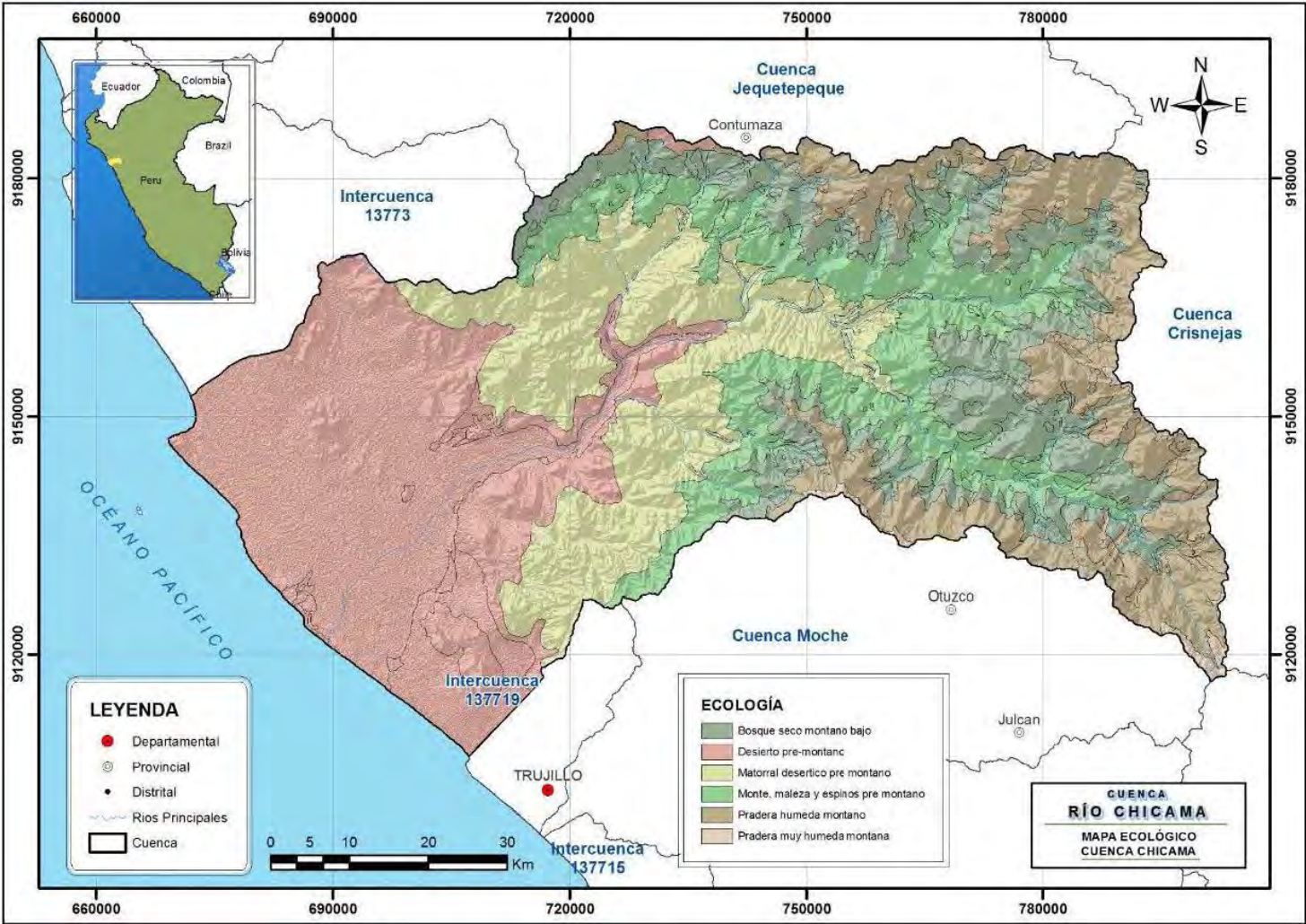
Nota. Tomado de: Autoridad Nacional del Agua (2015), Estudio de evaluación de los recursos hídricos de la cuenca del río Chicama, p.19.

Mapa 5. Ríos y quebradas por subcuencas de la cuenca Chicama.



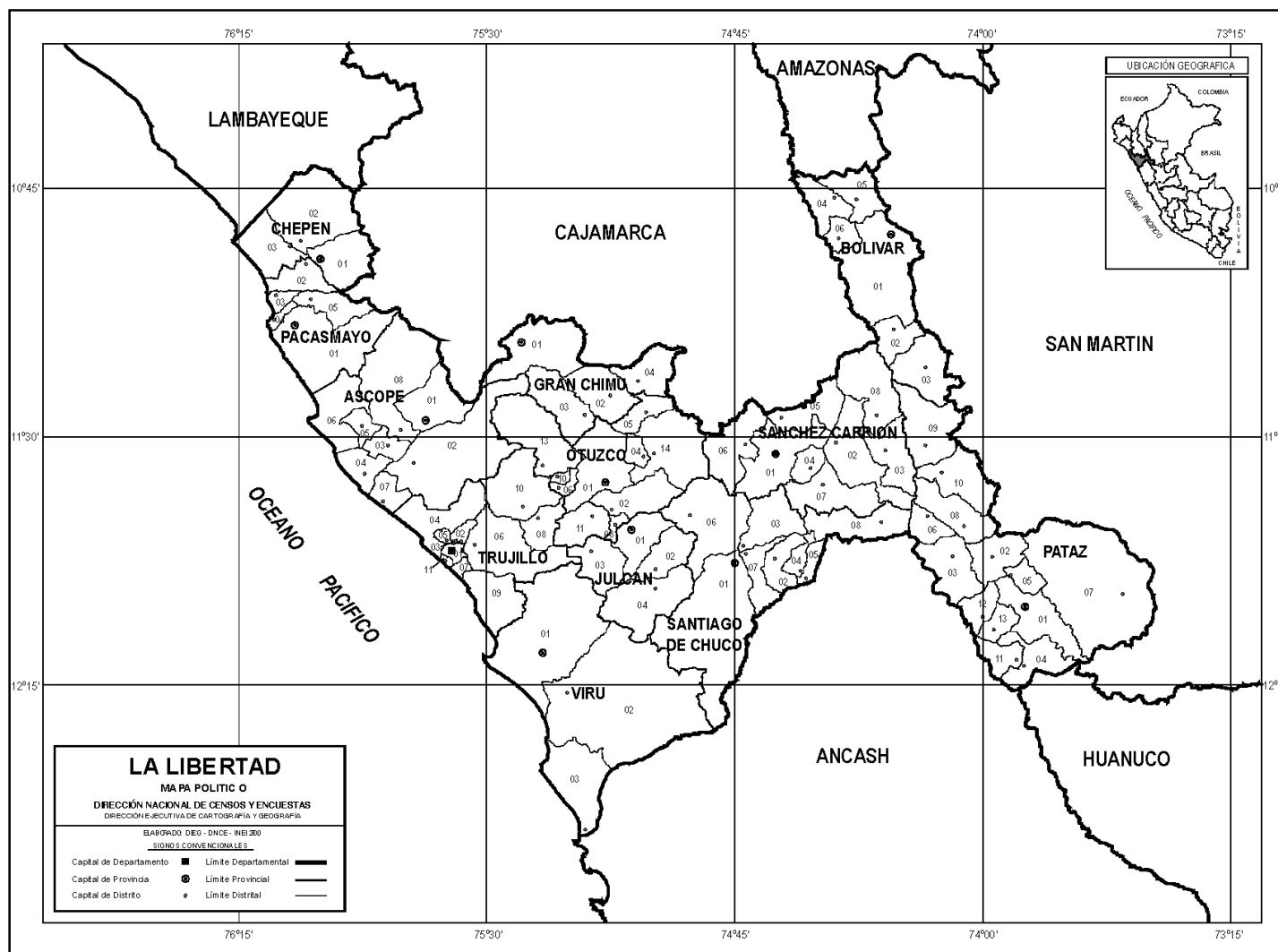
Nota. Tomado de: Tomado de: Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de La Libertad (2018), Diagnóstico hídrico rápido de la cuenca del río Chicama como fuente de agua y servicios ecosistémicos hídricos para la EPS SEDALIB S.A.; p.101.

Mapa 6. Clasificación ecológica de la cuenca Chicama



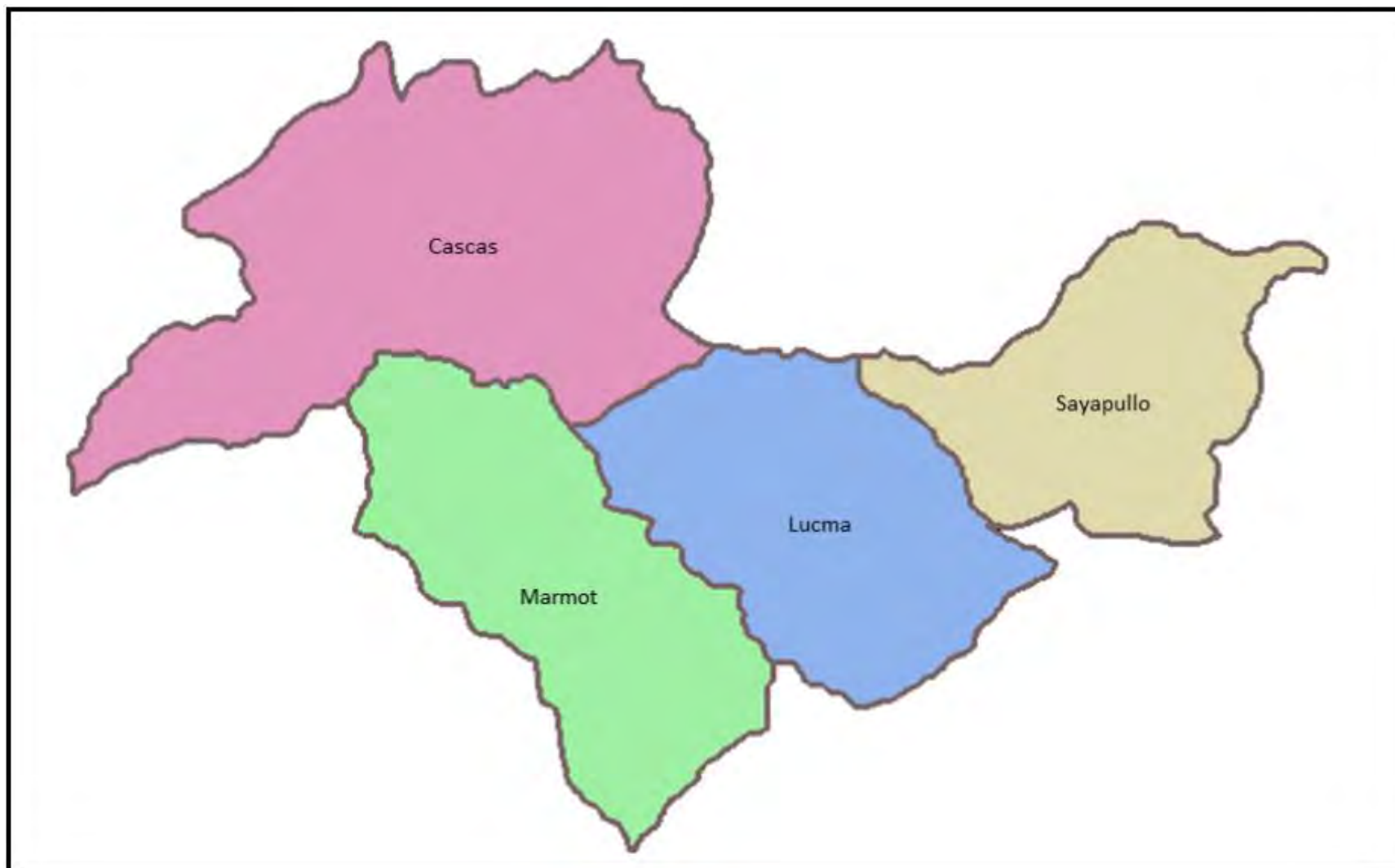
Nota. Tomado de: Tomado de: Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de La Libertad (2018), Diagnóstico hídrico rápido de la cuenca del río Chicama como fuente de agua y servicios ecosistémicos hídricos para la EPS SEDALIB S.A.; p.103.

Mapa 7. Mapa político del departamento de La Libertad



Nota. Tomado de: INEI (2007), Directorio Nacional de Municipalidades Provinciales, Distritales y de Centros Poblados, p.219.

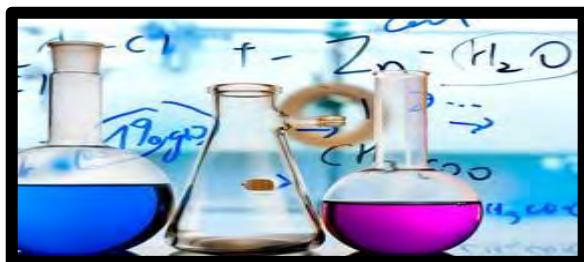
Mapa 8. Mapa político de la provincia de Gran Chimú



Nota. Adaptado de: Dionicio (2022), Monografía de la provincia Gran Chimú, pagina. portada.

ANEXO 3. FICHA TÉCNICA DEL ANÁLISIS DE LABORATORIO

Anexo 3.1. Ficha técnica para aguas de bocamina



LABORATORIO INTERNACIONAL RND SAC.

Generales de Ley

Matriz: Agua de Mina

Solicitud de Análisis: Cotización N° 1293

Fecha: 27-10-2018

Muestra: Realizada por el cliente.

Procedencia: Huancay La libertad Minera Chicama.

Identificación del laboratorio:	L- 0 1511533
Tipo de Muestra:	AGUA DE BOCAMINA
Identificación de Muestra:	MMRCH-1
Fecha y Hora del Muestreo:	21-10-2018 10.25 am
Fecha de Recepción de Muestra:	27-10-2018.
Fecha de Inicio de Análisis:	30-10-2018

*** Metales Totales, Agua, EPA 200.8 Rev.5.4: 1994. Determination of Trace Elements in Waters and Wates by Inductively Coupled Plasma- Masas Spectrometry.**

Análisis	Resultado	Unidad
Aluminio Total	0.395	mg/L
Antimonio Total	N.C (< 0.00012)	mg/L
Arsénico Total	0.00556	mg/L
Bario Total	0.0433	mg/L
Berilio Total	N.C (< 0.00005)	mg/L
Bismuto Total	N.C (< 0.00002)	mg/L
Boro Total	0.052	mg/L

Cadmio Total	N.C (< 0.00003)	mg/L
Calcio Total	13.402	mg/L
Cerio Total	0.00035	mg/L
Cobalto Total	0.00007	mg/L
Cobre Total	N.C (< 0.00008)	mg/L
Cromo Total	N.C (< 0.0002)	mg/L
Estaño Total	N.C (< 0.00009)	mg/L
Estroncio Total	0.1332	mg/L
Fosforo Total	0.079	mg/L
Hierro Total	0.2131	mg/L
Litio Total	0.0092	mg/L
Magnesio Total	5.529	mg/L
Manganeso Total	0.009 869	mg/L
Mercurio Total	N.C (< 0.00008)	mg/L
Níquel Total	0.0007	mg/L
Plata Total	N.C (< 0.00009)	mg/L
Plomo Total	N.C (< 0.0005)	mg/L
Potasio Total	5.40	mg/L
Selenio Total	N.C (< 0.0012)	mg/L
Silicio Total	26.36	mg/L
Sodio Total	16.247	mg/L
Vanadio Total	0.0053	mg/L

El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente si no está autorizado por escrito por LABORATORÍO INTERNACIONAL RND SAC.

Anexo 3.2. Ficha técnica para aguas de río Huancay



LABORATORIO INTERNACIONAL RND SAC.

Generales de Ley

Matriz: Agua de Mina

Solicitud de Análisis: Cotización N° 1294

Fecha: 27-10-2018

Muestra: Realizada por el cliente.

Procedencia: Huancay La libertad Minera Chicama.

Identificación del laboratorio:	L- 0 1511533
Tipo de Muestra:	AGUAS DEL RÍO CHICAMA.
Identificación de Muestra:	MMRCH-1
Fecha y Hora del Muestreo:	20-10-2018 10.25 am
Fecha de Recepción de Muestra:	27-10-2018.
Fecha de Inicio de Análisis:	30-10-2018

*** Metales Totales, Agua, EPA 200.8 Rev.5.4: 1994. Determination of Trace Elements in Waters and Wates by Inductively Coupled Plasma- Masas Spectrometry.**

Análisis	Resultado	Unidad
Aluminio Total	0 .001	mg/L
Antimonio Total	N.C (< 0 .00018)	mg/L
Arsénico Total	0 .018	mg/L
Bario Total	0 .0433	mg/L
Berilio Total	N.C (< 0 .00005)	mg/L

Bismuto Total	N.C (< 0 .00002)	mg/L
Boro Total	0 .052	mg/L
Cadmio Total	N.C (< 0 .00003)	mg/L
Calcio Total	13 .402	mg/L
Cerio Total	0 .00035	mg/L
Cobalto Total	0 .00007	mg/L
Cobre Total	N.C (< 0 .00008)	mg/L
Cromo Total	N.C (< 0 .0002)	mg/L
Estaño Total	N.C (< 0 .00009)	mg/L
Estroncio Total	0 .1332	mg/L
Fosforo Total	0 .079	mg/L
Hierro Total	0 .2131	mg/L
Litio Total	0 .0092	mg/L
Magnesio Total	5 .529	mg/L
Manganeso Total	0 .009869	mg/L
Mercurio Total	N.C (< 0 .00008)	mg/L
Níquel Total	0 .0007	mg/L
Plata Total	N.C (< 0 .00009)	mg/L
Plomo Total	N.C (< 0.0005)	mg/L
Potasio Total	5 .40	mg/L
Selenio Total	N.C (< 0 .0012)	mg/L
Silicio Total	26 .36	mg/L
Sodio Total	16 .247	mg/L
Vanadio Total	0 .0053	mg/L

El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente si no está autorizado por escrito por LABORATORIO INTERNACIONAL RND SAC.

ANEXO 4. INSTRUMENTOS DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA EL AGUA

Anexo 4.1. Límites Máximos Permisibles

Los LMP para metales pesados considerados como indicadores de las variables de investigación se presentan en el cuadro que prosigue.

Cuadro 1. LMP para metales pesados tenidos en cuenta en el estudio.

Parámetro	Unidad	Limite en cualquier momento	Límite anual
Antimonio – Sb	mg/L	**	**
Arsénico Total - As	mg/L	0.1	0.8
Cobre Total – Cu	mg/L	0.5	0.4
Hierro (Disuelto) – Fe	mg/L	2	1.6
Plomo Total – Pb	mg/L	0.2	0.16
** No aplica para esta categoría.			

Nota. Adaptado de: Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero - Metalúrgicas, p.424117.

Los LMP para parámetros característicos y fisicoquímicos considerados como indicadores de las variables de investigación se presentan en el cuadro que prosigue.

Cuadro 2. LMP para parámetros característicos y fisicoquímicos considerados en el estudio.

Parámetro	Unidad	Limite en cualquier momento	Límite anual
Caudal	m ³ /s	**	**
Temperatura	°C	**	**
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.9	6.9
Conductividad	µS/cm	**	**
Sólidos Disueltos Totales - SDT	mg/L	**	**
Sólidos Suspendidos Totales - SST	mg/L	50	25
** No aplica para esta categoría.			

Nota. Adaptado de: Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero - Metalúrgicas, p.424117.

Anexo 4.2. Estándares de Calidad Ambiental

Los Estándares de Calidad Ambiental – ECA, tomados en consideración en la presente investigación fueron los ECA para el agua en función de sus tipos de usos, categorías y subcategorías. Dichos ECA se presentan en los cuadros que prosiguen.

Categoría 1: Poblacional y Recreacional. En esta categoría se consideran cinco subcategorías. Dichas subcategorías se encuentran agrupadas en número de tres y dos subcategorías denominadas de forma más general como subcategoría A y subcategoría B, respectivamente.

En los dos primeros cuadros que prosiguen se presentan los ECA para los metales pesados, parámetros característicos y parámetros fisicoquímicos considerados como indicadores de las variables de investigación.

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.

Cuadro 1. ECA de la Subcategoría A tenidos en cuenta en el estudio.

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Conductividad	(μ S/cm)	1 500	1 600	**
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales - SDT	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Antimonio - Sb	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico - As	mg/L	0,01	0,01	0,15
Cobre - Cu	mg/L	2	2	2
Hierro – Fe	mg/L	0,3	1	5
Plomo - Pb	mg/L	0,01	0,05	0,05
** No aplica para esta categoría.				

Nota. Adaptado de: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias, pp.13-14.

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Cuadro 2. ECA de la Subcategoría B tenidos en cuenta en el estudio.

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Antimonio – Sb	mg/L	0,006	**
Arsénico – As	mg/L	0,01	**
Cobre – Cu	mg/L	2	**
Hierro - Fe	mg/L	0,3	**
Plomo – Pb	mg/L	0,01	**
** No aplica para esta categoría.			

Nota. Adaptado de: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias, p.15.

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.

Esta categoría considera las siguientes cuatro subcategorías:

- **C1:** Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras.
- **C2:** Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras.
- **C3:** Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras.
- **C4:** Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas

Los ECA de la categoría 2 y consecuentemente de cada una de sus categorías NO aplican en el presente estudio; luego, dichos ECA no fueron tenidos en cuenta.

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. Esta categoría considera dos subcategorías: D1: Riego de vegetales y D2: Bebida de animales. En la primera de ellas se distingue entre: Agua para riego no restringido y agua para riego restringido, pero, los valores de los ECA son los mismos. En el cuadro que prosigue se presentan los valores de los ECA que fueron aplicables al presente estudio.

Cuadro 3. ECA de la categoría 3 tenidos en cuenta en el estudio.

Parámetros	Unidad de medida	D1 Riego de vegetales		D2 Bebida de animales
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebida de Animales
Conductividad	(μ S/cm)	2 500		5 000
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	$^{\circ}$ C	Δ 3		Δ 3
Arsénico – As	mg/L	0,1		0,2
Cobre – Cu	mg/L	0,2		0,5
Hierro – Fe	mg/L	5		**
Plomo - Pb	mg/L	0,05		0,05

** No aplica para esta categoría.

Nota. Adaptado de: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias, p.17.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático. Con 3 subcategorías E1, E2 y E3.

Cuadro 4. ECA de la categoría 4 tenidos en cuenta en el estudio.

Parámetros	Unidad de medida	E2: Ríos	
		Costa y sierra	Selva
Conductividad	(μ S/cm)	1 000	1 000
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0
Sólidos Suspendidos Totales -SST	mg/L	\leq 100	\leq 400
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002
Temperatura	$^{\circ}$ C	Δ 3	Δ 3
Antimonio – Sb	mg/L	0,64	0,64
Arsénico – As	mg/L	0,15	0,15
Cobre – Cu	mg/L	0,1	0,1
Plomo - Pb	mg/L	0,0025	0,0025

Nota. Adaptado de: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias, pp.18-19.

ANEXO 5. GALERIA DE FOTOS



F 1.- EM 1 Río Huancay después de Compín.

Fuente: Visita de campo 20/10/2018



F 2. EM 2 Río Huancay después de Carmot.

Fuente: Visita de campo 20/10/2018



F 3. EM 3 Río Huancay antes de la hacienda Huancay.

Fuente: Visita de campo 20/10/2018



F 4. EM 4 Quebrada Campoden cruzando por puente Cepo.

Visita de campo 20/10/2018



F 5. EM 5 Río San Jorge después de quebrada Campoden

Fuente: Visita de campo 20/10/2018



F 6- EM 6 Río Cospán altura de Checapunta.

Fuente: Visita de campo 20/10/2018



F 7. EM 7 Río Chuquillanqui antes del Río Huancay.

Fuente: Visita de campo 20/10/2018



F 8- EM 8 Río Chicama antes de su confluencia con el Río Machasen

Fuente: Visita de campo 20/10/2018



F 9- EM 9 Río Machasen antes de confluencia con el Río Chicama.
Fuente: Visita de campo 20/10/2018



F 10- EM 10 Río Chicama frente a Bao.
Fuente: Visita de campo 20/10/2018



F 11. EM 11 Río Chepino antes de Cojitambo

Fuente: Visita de campo 20/10/2018



F 12- EM 12 Río Chicama antes de hacienda Jahuay

Fuente: Visita de campo 20/10/2018.

Contaminación de las aguas del Rio Chicama con metales pesados de Sb, Fe, Pb y Cu por los Efluentes de la Minera Rio Chicama, distrito de Huancay - Trujillo, 2018-2019

Contamination of the waters of the Chicama River with heavy metals Sb, Fe, Pb and Cu by the Effluents of the Rio Chicama Mining Company, Huancay District - Trujillo, 2018-2019

Autor: Juan Mauro Félix INGARUCA YAURI

Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Mail: juan.ingaruca.yauri@gmail.com

Resumen

Presentamos la investigación intitulada inicialmente como «Contaminación de las aguas del Río Chicama con metales pesados de Sb, Fe, Pb y Cu por los Efluentes de la Minera Rio Chicama, distrito de Huancay - Trujillo, 2018-2019», la cual con fines de mayor precisión fue reformulada en los términos siguientes «Contaminación del Río Huancay con metales pesados disueltos en efluente de Minera Río Chicama, distrito de Marmot - Provincia de Gran Chimú, 2018-2019». La tesis tipo cuantitativa tuvo como objetivos: Caracterizar fisicoquímicamente y medir la concentración de metales pesados disueltos en las aguas del Río Huancay y el efluente generado por la Minera Río Chicama. Se encontraron los siguientes hallazgos: el efluente generado por la Minera Río Chicama, si contamina las aguas del río Huancay pero a niveles permitidos; además, dicho efluente no altera las condiciones de

cumplimiento de los ECA por parte de las aguas del río Huancay, y, en el caso del arsénico, coadyuva su cumplimiento. Las conclusiones a las que se llegó permiten establecer que, las aguas del río Huancay cumplen los Estándares de Calidad Ambiental – ECA; así también, las aguas del efluente de mina cumplen con los Límites Máximos Permisibles – LMP, para vertimientos minero-metalúrgicos.

Palabras clave: Contaminación, Estándares de Calidad Ambiental – ECA, Límites Máximos Permisibles - LMP, Metales Pesados, Parámetros Característicos, Parámetros Físicoquímicos.

Abstract

We present the research initially titled «Contamination of the waters of the Chicama River with heavy metals Sb, Fe, Pb and Cu by the Effluents of the Rio Chicama Mining Company, Huancay District - Trujillo, 2018-2019», which for the purposes of greater precision, was reformulated in the following terms: «Contamination of the Huancay River with heavy metals dissolved in effluent from Minera Río Chicama, Marmot district - Gran Chimú Province, 2018-2019». This quantitative thesis had the objectives: To physicochemically characterize and measure the concentration of heavy metals dissolved in the waters of the Huancay River and the effluent generated by the Rio Chicama Mining Company. The following findings were discovered: The effluent generated by the Río Chicama Mining Company does contaminate the waters of the Huancay River, but at permitted levels. Furthermore, this effluent does not alter the conditions for compliance with the ECAs by the waters of the Huancay River, and, in the case of arsenic, it contributes to their compliance. The conclusions reached establish that the waters of the Huancay River meet the Environmental Quality Standards (ECA); likewise, the mine effluent waters meet the Maximum Permissible Limits (MPL) for mining and metallurgical discharges.

Key words: Contamination, Environmental Quality Standards - EQS, Maximum Permissible Limits - MPL, Heavy Metals, Characteristic Parameters, Physicochemical Parameters.

I. Introducción

Respecto a la presente investigación destacamos que, inicialmente el proyecto de tesis fue aprobado con el título: «Contaminación de las aguas del Río Chicama con metales pesados de Sb, Fe, Pb y Cu por los Efluentes de la Minera Río Chicama, distrito de Huancay - Trujillo, 2018-2019», título que figura en portada; pero, apelando al principio metodológico de dinamicidad de la investigación en su ejecución señalado por Torres (2018), el título fue modificado, solo en su forma, ello con la finalidad de una mayor precisión y rigor científico de la investigación; en ese sentido, el título más pertinente es: «Contaminación del Río Huancay con metales pesados disueltos en efluente de Minera Río Chicama, distrito de Marmot - Provincia de Gran Chimú, 2018-2019».

Con la salvedad expresada en párrafo precedente, nos propusimos como objetivo: Determinar los efectos que tuvo el efluente generado por la Minera Río Chicama en las características físico químicas y la concentración de metales pesados en las aguas del río Chicama, distrito de Marmot - Provincia de Gran Chimú, 2018-2019. Dicho objetivo responde a un escenario o contexto local enmarcado dentro de la zona de influencia de actividades mineras realizadas por la Compañía Minera Río Chicama S.A.C. en donde se tiene que, los impactos negativos ocasionados por la contaminación con la presencia de metales pesados en las aguas de mina.

La búsqueda de antecedentes que dieran cuenta de la realidad problemática dio como resultado que, al año 2024 no existían estudios de contaminación por metales pesados en el Río Huancay; sin embargo, se pudo

tener acceso a investigaciones y reportes relacionados con aspectos funcionales de la Compañía Minera Río Chicama así tenemos: El reporte de la visita técnica a la Compañía Minera Río Chicama dirigida por Gayoso (2016) la cual tuvo por objetivo “observar los aspectos geológicos (estratos, plegamientos, meteorización, etc.) en el transcurso del viaje hacia la compañía [...], determinar las características principales de la zona estudiada [... y,] con la información adquirida establecer las condiciones geológicas del lugar [...]” (p.5); la tesis desarrollada por Guevara (2019) la cual lleva por título «Influencia de la estimación diaria de los costos de producción en el control de recursos en la Unidad Bumerang en Minera Río Chicama S.A.C.»; y, la tesis desarrollada por Velásquez (2018) que tuvo por objetivo “realizar un estudio de factibilidad económica que permita seleccionar el método de extracción de mineral sustentable en el proyecto de profundización de la Compañía Minera Río Chicama – Unidad Bumerang,” (p. 17).

Por otro lado, desde una perspectiva práctica, la presente investigación encontró su justificación en el sentido de que esta será una contribución que permitirá poder determinar las características fisicoquímicas, del efluente procedente de Bocamina de la minera Río Chicama y de esta manera, poder observar si el efluente de Bocamina es un causante en la variación del nivel de concentración de los metales pesados disueltos en las aguas del Río Huancay; en ese respecto es pertinente recalcar lo señalado tanto por Chiang (1989) quien con respecto a los metales pesados y algunos reactivos químicos utilizados en las plantas de tratamiento de minerales señala “el Plomo - Pb, Hierro - Fe, Cobre - Cu, Zinc - Zn, Arsénico - As, Cromo - Cr, Cadmio -Cd,

Magnesio - Mg, [...], en el corto plazo no se degradan, biológica ni químicamente en la naturaleza; por lo que son considerados tóxicos para la mayor parte de organismos” (p. 206); y también, lo señalado por Campos (1990) quien sostiene que, “los compuestos que contienen metales pesados, se pueden alterar, pero los elementos metálicos permanecen en el ambiente, pudiendo ser acumulados como iones o como integrantes de compuestos orgánicos en los organismos por largos períodos de tiempo” (p. 231).

Asimismo, los ejes teóricos en los cuales estuvo enmarcada la investigación fueron: Minería, metales pesados, minería metálica y contaminación, minería y contaminación de aguas, contaminación de ríos por actividad minera en el Perú, y, el marco regulatorio tanto para los Límites Máximos Permisibles – LMP, como para los Estándares de Calidad Ambiental – ECA, para el agua.

Respecto a la minería, contexto teórico general de la investigación, destacamos que esta, como objeto económico, vale decir, en un contexto de industria minera; forma parte de las actividades orientadas a la importación y exportación; consecuentemente, constituye “un sector económico vital para muchos países, pero es también una de las actividades más peligrosas en el contexto ocupacional y ambiental” (Bebbington y Williams, 2008, p.190; Coelho y Teixeira, 2011, p.790).

Respecto a los metales pesados es pertinente destacar que estos, constituyen un grupo cercano a los 40 elementos de la tabla periódica que se caracterizan por poseer mayor masa por unidad de volumen, es decir, por ser más densos que los otros elementos; luego, dicho grupo se caracteriza por

agrupar metales con una densidad mayor o igual a 5 g/cm³; y que, dichos metales resultan siendo “los contaminantes más nocivos y se incluyen dentro del grupo de los contaminantes inorgánicos. Para muchos animales son considerados como nutrientes, pero a partir de determinadas concentraciones son tóxicos” (Cevallos et al., 2023, p.176).

Por su parte, con respecto a la relación entre minería metálica y contaminación, es pertinente tener en cuenta que, dicho tipo de minería genera elementos diluidos o mezclados que, resultan siendo contaminantes de la tierra, el aire y las aguas; todo ello debido a que “una característica particular de la contaminación por metales pesados es su persistencia en el ambiente, como consecuencia de que no son degradables en la naturaleza, ni biológica ni químicamente” (Cevallos et al., 2023, p.176). Además, las actividades productivas, exploración y explotación, desarrolladas dentro de las unidades mineras, principalmente en las de minería metálica, generan elementos diluidos o mezclados que, resultan siendo contaminantes de la tierra, el aire y las aguas. En el caso de la contaminación del agua “el Pb, As, Cu, Zn y Cd son considerados como los metales pesados más peligrosos para la vida acuática, ya que son muy tóxicos aún en concentraciones bajas, no son biodegradables y se acumulan a lo largo de la cadena trófica” (Cevallos et al., 2023, p.176).

También, con respecto a la relación entre minería y contaminación de aguas, es de destacar que, los metales como el antimonio, plomo, hierro, cobre, mercurio, cadmio, níquel, cromo, aluminio, arsénico, plata, etc., son sustancias tóxicas si se encuentran en concentraciones altas. Adicionalmente,

es pertinente destacar lo destacado por Campos (1990) quien señala que, los compuestos que contienen metales pesados, se pueden alterar, pero los elementos metálicos permanecen en el ambiente, pudiendo ser acumulados como iones o como integrantes de compuestos orgánicos en los organismos por largos períodos de tiempo.

Asimismo, con respecto a contaminación de ríos por actividad minera en el Perú se tiene que, el impacto negativo y acumulativo de las actividades mineras constituye un serio problema para la salud; en efecto, la inadecuada disposición de relaves, aguas residuales y desmontes ha causado graves filtraciones de drenaje ácido y contaminación de cuerpos acuíferos, así como otros efectos negativos en la biodiversidad y los ecosistemas; y, en consecuencia, algunas cuencas fluviales como las del Rímac, Mantaro, Pisco, Madre de Dios, Llaucano, Chicama y Santa han sido afectadas por la contaminación de pasivos ambientales mineros.

Finalmente, con respecto al marco regulatorio de la contaminación de aguas en el Perú destacamos que, para efectos de contrarrestar los altos niveles de contaminación de las aguas y garantizar el uso de estas para el consumo humano, consumo de animales, riego de plantas y otras actividades relacionadas con el uso de las mismas; el Estado peruano ha implementado instrumentos de gestión de la calidad ambiental, entre ellos instrumentos para los recursos hídricos, los cuales están orientados a garantizar la calidad ambiental de las aguas, entre dichos instrumentos, para el caso específico de garantizar la calidad de las aguas superficiales destacan, los Límites Máximos Permisibles – LMP y los Estándares de Calidad Ambiental – ECA.

Respecto a lo señalado en el párrafo anterior se debe tener en cuenta que: mientras los LMP constituyen instrumentos que, norman la cantidad de elemento contaminante que debe tener las aguas para que estas sean consideradas como agua ambientalmente aceptable ya sea para el consumo humano, consumo animal, riego, etc.; los ECA constituyen instrumentos que, norman las características que deben cumplir las aguas para que estas sean consideradas como aguas que no representan un riesgo significativo para la salud de las personas ni para el medio ambiente.

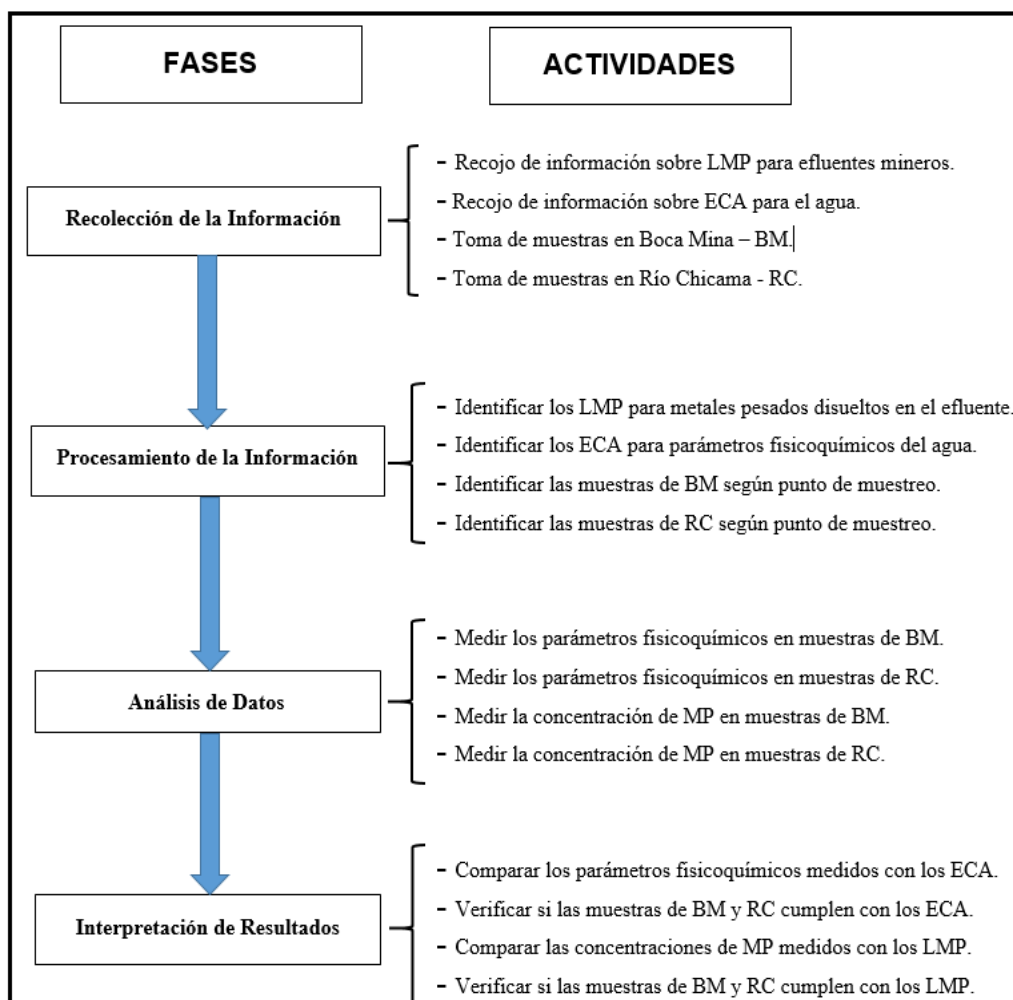
II. Metodología

La presente investigación se ajustó a los lineamientos de una investigación del tipo cuantitativa ya que, su desarrollo estuvo fundamentada en un esquema deductivo y lógico que busca formular preguntas de investigación e hipótesis para posteriormente probarlas; además, el diseño de investigación se ajustó a un diseño no experimental, ello en razón de que no hubo manipulación de la variable independiente. (Hernández et al., 2016).

La unidad de análisis de la presente investigación fueron las muestras de agua tomadas en las estaciones de monitoreo tenidos en cuenta. Las muestras de agua fueron de dos tipos: Muestras tomadas en Bocamina – BM, y, muestras tomadas en Río Huancay – RH. El método correspondiente al diseño fue el concordante con el enfoque cuantitativo, esto en el sentido que, la información recolectada fue traducida a cifras numéricas representativas; además, dado que, el método de investigación constituye los pasos y técnicas que se utilizan para recopilar y analizar información con el fin de responder a

la pregunta de investigación; se desarrolló un flujograma de desarrollo del método de desarrollo. En la Figura 1 se presenta las fases y actividades seguidas en el trabajo de campo y parte del trabajo de gabinete.

Figura 1. Mapa de la Cuenca del Río Chicama.



Nota. Elaboración propia.

La población estuvo conformada por todos los ríos que forman las subcuencas y microcuencas de la cuenca del río Chicama. De la población antes señaladas y de manera no probabilística e intencionada, se tomó como muestra al río Huancay. En dicho río, a la altura del caserío de Huancay del distrito de Marmot - Provincia de Gran Chimú, la empresa minera «Rio Chicama» vierte sus efluentes provenientes de la unidad minera Bumerang.

La técnica utilizada para la recolección de la información correspondiente a las variables de estudio fue la toma de muestras tanto del efluente de Bocamina como de las aguas del río Huancay. Los instrumentos utilizados fueron los recipientes utilizados para recoger las muestras los cuales estuvieron membretados para su identificación, registro y posterior individualización para efectos de procesamiento, análisis e interpretación de resultados.

Para la recolección de la información referida a los efluentes provenientes de las operaciones realizadas en la unidad minera Bumerang por la empresa Minera Río Chicama, se puso especial énfasis en las aguas de mina que finalmente llegan al río Huancay; en ese sentido se establecieron 12 puntos de monitoreo en cada uno de los cuales se estableció una estación de monitoreo y consecuentemente se obtuvieron 24 muestras, dos tomas de muestra en cada estación y en distintos días. La información de las aguas del río Huancay, consideró primordialmente las referidas a dicho río, pero eso no limitó que se tomaran muestras en otros tributarios del río Chicama incluido el mismo. Las estaciones de monitoreo referenciales fueron 12 y al igual que en el caso anterior, se realizó dos tomas de muestra en cada estación. Para este caso se tomaron como referencia las 12 primeras estaciones de las 15 establecidas por la Universidad Nacional de Ingeniería (2000) en el «Estudio de evaluación ambiental territorial y de planteamientos para la reducción de la contaminación de origen minero en la cuenca del río Chicama».

Para la identificación de cada recipiente y la muestra que contiene se utilizó la siguiente nomenclatura:

- EM para designar en forma abreviada el término «Estación de Monitoreo».
- BM para designar en forma abreviada Bocamina.
- RM para designar en forma abreviada río Huancay.
- 01, 02, ..., 12, para identificar la estación de monitoreo ya sea en Bocamina o río Huancay y otros tributarios del río Chicama incluido el mismo.

En la Tabla 1 se muestra la codificación asignada a los recipientes para recojo de muestras los cuales coincidieron con la denominación de los puntos de monitoreo.

Tabla 1. Codificación asignada a los recipientes utilizados en el recojo de las muestras.

Punto de Monitoreo	Muestra de Río Huancay	Muestra de Bocamina
Estación de Monitoreo 1	EMRH-01	EMBM-01
Estación de Monitoreo 2	EMRH-02	EMBM-02
Estación de Monitoreo 3	EMRH-03	EMBM-03
Estación de Monitoreo 4	EMRH-04	EMBM-04
Estación de Monitoreo 5	EMRH-05	EMBM-05
Estación de Monitoreo 6	EMRH-06	EMBM-06
Estación de Monitoreo 7	EMRH-07	EMBM-07
Estación de Monitoreo 8	EMRH-08	EMBM-08
Estación de Monitoreo 9	EMRH-09	EMBM-09
Estación de Monitoreo 10	EMRH-10	EMBM-10
Estación de Monitoreo 11	EMRH-11	EMBM-11
Estación de Monitoreo 12	EMRH-12	EMBM-12

Nota. Elaboración propia.

Para el procesamiento de la información se tuvo en cuenta que esta fase de la ejecución de la investigación consiste en “en ordenar la información

recogida en términos de los indicadores de cada variable y en relación a los objetivos de la investigación y a la hipótesis de trabajo” (Torres, 2018, p. 254).

Para efectos del procesamiento de la información, se realizaron las siguientes actividades: Identificar los LMP para metales pesados disueltos en el efluente, identificar los ECA para parámetros fisicoquímicos del agua, identificar las muestras provenientes de Bocamina – BM, según estación de muestreo, e, identificar las muestras provenientes de Río Huancay – RH, según estación de muestreo.

Para efectos del análisis de datos se tuvo en cuenta que: “El análisis de la información documental, debe estar orientada a probar la hipótesis” (Torres, 2028, p. 279). En concordancia con lo acabado de citar y para efectos del análisis de datos, se realizaron las siguientes actividades: Medir los parámetros fisicoquímicos en muestras provenientes de BM, medir los parámetros fisicoquímicos en muestras provenientes del RH, medir la concentración de MP en muestras provenientes de BM, y, medir la concentración de MP en muestras provenientes de RH.

Por otro lado, para la interpretación de resultados se tuvo en cuenta que, “la interpretación como proceso mental-sensorial da un significado más general a los referentes empíricos investigados, relacionándolos con los conocimientos considerados en el planteamiento del problema y en el marco teórico y conceptual de referencia” (Torres, 2028, p. 279). En concordancia con lo acabado de citar y para efectos de la interpretación de resultados, se realizaron las siguientes actividades: Comparar los parámetros fisicoquímicos medidos con los ECA, verificar si las muestras de BM y RC cumplen con los

ECA, comparar las concentraciones de MP medidos con los LMP, y, verificar si las muestras de BM y RC cumplen con los LMP.

III. Resultados y discusión

Resultados

Se presentan los resultados obtenidos en dos recogidas de datos realizados en cada una de las estaciones de muestreo del río Huancay. La primera recogida de datos se realizó el 20 de octubre de 2018, época de estiaje, y la segunda el 25 de enero de 2019, época de avenidas. En la Tabla 2 se muestra la concentración de MP en aguas del río Huancay.

Tabla 2. Metales pesados disueltos en aguas de río Huancay.

Estación	Primera toma de muestras (mg/L)					Segunda toma de muestras (mg/L)				
	Sb	As	Fe	Pb	Cu	Sb	As	Fe	Pb	Cu
EMRH-01	0.017	0.015	0.019	0.0012	0.0040	0.010	0.078	0.010	0.010	0.029
EMRH-02	0.012	0.009	0.029	0.0033	0.0001	0.015	0.075	0.016	0.0025	0.0020
EMRH-03	0.0185	0.014	0.039	0.0034	0.0015	0.010	0.012	0.030	0.0028	0.0011
EMRH-04	0.0185	0.009	0.015	0.0010	0.006	0.009	0.010	0.015	0.0079	0.0082
EMRH-05	0.017	0.015	0.036	0.0092	0.006	0.015	0.011	0.029	0.0080	0.0065
EMRH-06	0.015	0.0025	0.199	0.0023	0.001	0.015	0.0015	0.2015	0.0020	0.0080
EMRH-07	0.012	0.015	0.029	0.0019	0.0025	0.010	0.011	0.0326	0.0015	0.0018
EMRH-08	0.011	0.020	0.0329	0.001	0.001	0.010	0.020	0.019	0.0010	0.0010
EMRH-09	0.015	0.059	0.029	0.0040	0.001	0.013	0.030	0.0320	0.0039	0.0850
EMRH-10	0.012	0.013	0.040	0.0029	0.003	0.008	0.010	0.030	0.0040	0.0018
EMRH-11	0.081	0.014	0.021	0.0090	0.001	0.015	0.014	0.025	0.0890	0.0011
EMRH-12	0.010	0.006	0.032	0.0114	0.001	0.015	0.006	0.0215	0.0950	0.0018
Límite de Detección		0.01	0.002	0.005	0.0006		0.01	0.002	0.005	0.0006

Nota. Elaborado con resultados de análisis encargado a Laboratorio Internacional RND SAC.

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos en dos recogidas de datos realizados en cada una de las estaciones de Boca Mina.

Tabla 3. Metales pesados disueltos en aguas de Boca Mina.

Estación	Primera toma de muestras (mg/L)					Segunda toma de muestras (mg/L)				
	Sb	As	Fe	Pb	Cu	Sb	As	Fe	Pb	Cu
EMRH-01	0.018	0.015	0.032	0.0135	0.0079	0.019	0.009	0.015	0.013	0.039
EMRH-02	0.020	0.015	0.0345	0.0048	0.0033	0.018	0.089	0.026	0.0030	0.0029
EMRH-03	0.018	0.014	0.0635	0.0048	0.0020	0.013	0.018	0.040	0.0031	0.0015
EMRH-04	0.019	0.011	0.025	0.0019	0.0010	0.0015	0.013	0.019	0.0090	0.0092
EMRH-05	0.021	0.0131	0.026	0.0099	0.0043	0.019	0.013	0.039	0.0089	0.0070
EMRH-06	0.018	0.0029	0.2106	0.0039	0.0091	0.019	0.0021	0.200	0.0025	0.0089
EMRH-07	0.016	0.0156	0.0029	0.0023	0.0032	0.015	0.0150	0.0030	0.0020	0.0025
EMRH-08	0.017	0.029	0.0314	0.0019	0.0009	0.014	0.030	0.029	0.0015	0.0016
EMRH-09	0.019	0.039	0.0314	0.0052	0.0150	0.013	0.040	0.030	0.0049	0.0950
EMRH-10	0.016	0.024	0.043	0.0032	0.0039	0.010	0.016	0.040	0.0030	0.0028
EMRH-11	0.091	0.012	0.025	0.0897	0.0016	0.089	0.015	0.022	0.0490	0.0016
EMRH-12	0.012	0.014	0.030	0.0880	0.0015	0.015	0.011	0.025	0.0450	0.0045
Límite de Detección		0.01	0.002	0.005	0.0006		0.01	0.002	0.005	0.0006

Nota. Elaborado con resultados de análisis encargado a Laboratorio Internacional RND SAC.

Discusión

Estrictamente hablando del río Huancay, es pertinente mencionar que, solo 3 de las 12 estaciones de monitoreo se encontraban sobre el cauce de dicho río, EMRH-01, EMRH-02 y EMRH-03; además de dichas estaciones las que nos interesó fue la EMRH-03, estación cuyo punto de monitoreo se encontraba inmediatamente aguas debajo del punto de vertimiento de Minera Chicama, punto de monitoreo de Bocamina en la cual se estableció la estación EMBM-12.

Por otro lado, se tiene que, los ECA no son exigibles a las aguas de Bocamina y consecuentemente a ninguno de los registros de las EMBM; además, de los 12 puntos de monitoreo de BM, para el análisis solamente resultó siendo relevante el punto de vertimiento o punto 12, punto en el cual

se instaló la EMBM-12. De igual forma, los LMP no son exigibles a las aguas del río Huancay, solamente son exigibles los ECA; y, para efecto de análisis solo importó la inmediata agua abajo de EMBM-12, vale decir, EMRH-03.

Conclusiones

- Para la concentración de metales pesados disueltos en las aguas del río Chicama y el efluente generado por la Minera Río Chicama, se concluye: para el primero solo el As cambio su condición de no cumplir con el ECA antes de punto de vertimiento en estiaje a cumplir con el ECA luego de punto de vertimiento en avenidas, los otros metales pesados mantuvieron su condición de cumplimiento de los ECA correspondientes tanto en temporada de estiaje como en avenidas; por su parte, el efluente generado por la Minera Río Chicama cumplió con los LMP establecidos para cada uno de dichos metales.
- El efluente generado por la Minera Río Chicama cumple con los LMP establecidos para vertimientos mineros, luego, es pertinente recordar que, sí contamina las aguas del río Huancay pero a niveles permitidos, y, es de destacar el hecho que, no altera las condiciones de cumplimiento de los ECA por parte de las aguas del río Huancay y por el contrario, como es el caso del arsénico coadyuva su cumplimiento.
- En las muestras tomadas del efluente de mina, se observa que en los puntos 11 y 12 los valores del plomo están elevados respecto a las otras muestras, debido a que, estos lugares son utilizados para lavadero de carros y equipo de mina; pero los valores hallados no

supera los LMP para efluentes líquidos de actividad minera metalúrgica; de todo esto se concluye que donde existe actividades comerciales se encontrará presencia de plomo.

- Los resultados obtenidos dan cuenta que, las aguas del río Huancay se encuentran dentro los estándares de calidad ambiental para el agua categoría 3 (riego de vegetales); así también, las muestras obtenidas del efluente de mina, están dentro los límites máximos permisibles.

Referencias bibliográficas

Bebbington, A. y Williams, M. (2008). Water and Mining Conflicts in Peru. Mountain Research and Development, 28(3/4), 190-195. http://snobear.colorado.edu/Research/08_peru.pdf

Campos C., N. H. (1990). La contaminación por metales pesados en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. Caldasia, 16(77), 231–243. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/35544>.

Cevallos Mina, M.; Luaces Alberto, M. D. y Cuello Pérez, M. (2023). Determinación de metales pesados (Pb, Cd, Hg, As) en aguas del río Teaone, Ecuador. Revista de Energía, Ingeniería de Optimización y Sostenibilidad; 7(3), 173-188. <https://doi.org/10.19136/jeeos.a7n3.5692>

Chiang, A. (1989). Niveles de los metales pesados en organismos, agua y sedimentos marinos recolectados en la V Región de Chile. In Memorias del Simposio Internacional sobre los recursos vivos, Santiago. Serie CPPS (pp. 205-215).

- Coelho, P. S. C., y Teixeira, J. P. F. (2011). Mining activities: impacts. En Encyclopedia of Environmental Health, pp. 788-802. Elsevier Science.
- Gayoso Paredes, M. (2016). Visita técnica a la Compañía Minera Río Chicama. [Material de clase del curso Geología Estructural]. Universidad Nacional de Trujillo.
<https://es.scribd.com/document/322724581/compania-Minera-Rio-Chicama-Sac>
- Hernández Fernández, R.; Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2016). Metodología de la Investigación [6ta ed.]. Mc Graw Hill Interamericana.
- Torres Bardales, C. (2018). Orientaciones Básicas de Metodología de la Investigación Científica. 12va ed. Libros y Publicaciones.
- Universidad Nacional de Ingeniería. (2000). Estudio de evaluación ambiental territorial y de planteamientos para la reducción de la contaminación de origen minero en la cuenca del río Chicama. Instituto de Minería y Medio Ambiente – UNI.
- Velásquez Rosales, L. A. (2018). Estudio de factibilidad económica del sistema de extracción de mineral en el proyecto de profundización de la Compañía Minera Río Chicama - Unidad Bumerang, La Libertad 2018. [Tesis de grado]. Universidad Privada del Norte.



ESQUELA DE

POSGRADOUNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N°0136-2025-UNSCH-EPG/OGH

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajo de tesis de Posgrado en segunda instancia para la **Escuela de Posgrado – UNSCH**; en cumplimiento a la Resolución De Consejo Directivo N°109-2024-UNSCH-EPG/CD, Reglamento de Originalidad de trabajos de Investigación de la UNSCH, otorga lo siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

AUTOR	Bach. Juan Mauro Felix INGARUCA YAURI
DENOMINACIÓN DEL PROGRAMA DE ESTUDIOS	MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
GRADO ACADÉMICO QUE OTORGA	MAESTRO
DENOMINACIÓN DEL GRADO ACADÉMICO	MAESTRO(A) EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, MENCIÓN GERENCIA DE PROYECTOS Y MEDIO AMBIENTE
TÍTULO DE TESIS	Contaminación de las aguas del río Chicama con metales pesados de Sb, Fe, Pb y Cu por los Efluentes de la “Minera Río Chicama”, distrito de Huancay – Trujillo, 2018 - 2019
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD	20% de similitud
N° DE TRABAJO	2804721002
FECHA	05 de noviembre de 2025

Por tanto, según los artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es procedente otorgar la constancia de originalidad con depósito.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que crea conveniente.

05 de noviembre de 2025.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
ESQUELA DE POSGRADO
Dr. Oscar Gutiérrez Huamani
Director (e)

CC:
Archivo
OGH/rjcg

Contaminación de las aguas del Rio Chicama con metales pesados de Sb, Fe, Pb y Cu por los Efluentes de la “Minera Río Chicama”, distrito de Huancay - Trujillo, 2018-2019

por Juan Mauro Felix INGARUCA YAURI

Fecha de entrega: 05-nov-2025 05:02p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2804721002

Nombre del archivo: taminacion_de_aguas_del_rio_Chicama_con_metales_24_10_2025.docx (11.03M)

Total de palabras: 34450

Total de caracteres: 176631

Contaminación de las aguas del Río Chicama con metales pesados de Sb, Fe, Pb y Cu por los Efluentes de la “Minera Río Chicama”, distrito de Huancay - Trujillo, 2018-2019

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

11%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	www.slideshare.net Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	revistas.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	1%

9	qdoc.tips Fuente de Internet	1 %
10	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	1 %
11	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	1 %
12	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1 %
13	repositorio.ana.gob.pe Fuente de Internet	1 %
14	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
15	www.grafiati.com Fuente de Internet	<1 %
16	imagenesplanosmapaspaisajes.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
17	cunori.edu.gt Fuente de Internet	<1 %
18	Tiña Tacca, Domingo. "Diseño e implementación de un plan de manejo ambiental en obras de saneamiento rural para empresa INGECOP Eirl. y núcleos ejecutores en la Región Puno", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru)	<1 %

19 www.sedalib.com.pe <1 %
Fuente de Internet

20 www.dspace.uce.edu.ec <1 %
Fuente de Internet

21 repositorio.unsch.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

22 Callohuanca Pariapaza, Manuel Alfredo. "Uso de macrófitas flotantes en la remoción de nitrógeno, fósforo y sulfatos de las aguas residuales de Puno.", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) <1 %
Publicación

23 Submitted to Universidad Continental <1 %
Trabajo del estudiante

24 repositorio.unap.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

25 www.ecoportel.net <1 %
Fuente de Internet

26 Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez <1 %
Trabajo del estudiante

27 americanae.aecid.es <1 %
Fuente de Internet

repositorio.unac.edu.pe

28

Fuente de Internet

<1 %

29

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

30

Marín Paucara, Esteban. "Tecnología del vermicompost en la reducción de plomo y cobre de suelos con pasivos mineros en Silluta Cabanillas – Puno, Perú", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru)

Publicación

<1 %

31

repositorio.utelesup.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

32

www.leg.mn.gov

Fuente de Internet

<1 %

33

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1 %

34

SERV GEOGRAFICOS Y MEDIO AMBIENTE SAC. "ITS para la Modificación y Optimización de los Puntos Control del Monitoreo Físico-Químico del Proyecto de Exportación de GNL en Pampa Melchorita-IGA0000141", R.D. N° 22-2018-SENACE-PE/DEAR, 2021

Publicación

<1 %

35

Submitted to Organismo de Evaluación y Fiscalización

Trabajo del estudiante

<1 %

36 Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA <1 %
Trabajo del estudiante

37 fr.slideshare.net <1 %
Fuente de Internet

38 ar.scribd.com <1 %
Fuente de Internet

39 idoc.tips <1 %
Fuente de Internet

40 repositorio.continental.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

41 repositorio.unsa.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

42 metalurgiaperu.blogspot.com <1 %
Fuente de Internet

43 vdocumento.com <1 %
Fuente de Internet

44 es.unionpedia.org <1 %
Fuente de Internet

45 repositorio.uasf.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

46 repositorio.unasam.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

repositorio.unach.edu.pe

47

Fuente de Internet

<1 %

48

repositorio.unah.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

49

CESEL S A. "Primera MEIA de la Unidad Minera Casapalca-IGA0000614", R.D. N° 188 -2019-SENACE-PE/DEAR, 2020

Publicación

<1 %

50

editorialeidec.com

Fuente de Internet

<1 %

51

GEOSERVICE INGENIERIA S.A.C.. "EIA del Proyecto Planta de Fabricación de Cementos Piura-IGA0006998", R.D. N° 008-2013-PRODUCE/DVMYPE-I/DIGGAM, 2021

Publicación

<1 %

52

www.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

53

Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru

Trabajo del estudiante

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo

**ACTA DE SUSTENTACION VIRTUAL DE TESIS DE MAESTRÍA DEL Br.
JUAN MAURO FELIX INGARUCA YAURI**

En la ciudad de Ayacucho, siendo a horas 4.00 p.m. del día tres de setiembre de dos mil veinte, en el aula virtual de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, conforme al art. 14 del Reglamento de Procedimientos para el Trámite Virtual de Procesos Académicos y Administrativos de la Escuela de Posgrado, se reunieron los miembros del jurado calificador, conformado por el Mgtr. Walter Mario Solano Reynoso (presidente encargado con el Memorando N° 215 – 2020 Escuela de Posgrado/UNSCHE), Dr. Jaime Alberto Huamán Montes (miembro-DUPG), Dr. Víctor Félix Flores Moreno (miembro) y la MSc. Gloria Inés Barboza Palomino (miembro), para recibir y calificar la sustentación de la tesis **Contaminación de las aguas del río Chicama con metales pesados de sb, fe, pb, y cu por los efluentes de la "Minera Río Chicama", distrito de Huancay-Trujillo, 2018-2019**, bajo la asesoría del docente Niversión Hugo Gutiérrez Orozco, presentada por el Br. Juan Mauro Felix Ingaruca Yauri, con la cual aspira obtener el Grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería, mención Gerencia de Proyectos y Medio Ambiente.

El presidente del jurado, Mgtr. Walter Mario Solano Reynoso, dispuso que el secretario docente de la Escuela de Posgrado dé lectura la Resolución Directoral N° 094-2020-UNSCHE-EPG/D y el art. n.° 83 del Reglamento de la Escuela de Posgrado. Acto seguido, invitó al aspirante proceder con la **sustentación y defensa pública de la tesis**, por el lapso no mayor de 30 minutos, conforme lo establece el Reglamento. Finalizada la exposición, los miembros del jurado formularon las preguntas y observaciones en el orden siguiente: MSc. Gloria Inés Barboza Palomino, Dr. Víctor Félix Flores Moreno, Dr. Jaime Alberto Huamán Montes, y finalmente, el Mgtr. Walter Mario Solano Reynoso. Las preguntas fueron absueltas por el aspirante; en tanto que, las observaciones deben ser subsanadas en la versión final de la tesis a entregar.

Finalizada esta fase de sustentación, el presidente del jurado, invitó al sustentante y al público abandonar momentáneamente el aula virtual para dar paso a la deliberación y calificación por cada uno de los miembros del jurado. La nota promedio obtenida fue diecisiete (17), la misma fue aprobada por unanimidad.

El presidente del jurado, siendo las seis de la noche con cincuenta minutos dio por finalizado el presente acto académico. En señal de conformidad, firman los miembros del jurado.

Mgtr. Walter Mario Solano Reynoso
Presidente (e)

Dr. Jaime Alberto Huamán Montes
Miembro- DUPG

Dr. Víctor Félix Flores Moreno
Miembro

MSc. Gloria Inés Barboza Palomino
Miembro

Mgtr. Edgar Saras Zapata
Secretario docente