

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y
FORMALES**



**EFFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DE LOS RELAVES MINEROS
SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO COLCA**

Tesis presentada por la Maestra:

MIRIAM VILMA MARIA MALAGA CORNEJO

Para optar el grado académico de

**DOCTORA EN CIENCIAS Y
TECNOLOGÍAS MEDIOAMBIENTALES**

**ASESORA: Dra. TRINIDAD BETTY
PAREDES DE GÓMEZ**

AREQUIPA – PERÚ

2022

DEDICATORIA

En memoria de todos mis seres queridos que ya no están conmigo y que de Dios gocen

Amén

AGRADECIMIENTO

A Dios en primer lugar y a todas las personas que de una manera u otra colaboraron para la culminación de este trabajo muchas gracias.

RESUMEN

En el siguiente estudio se presenta una investigación descriptiva, experimental de los efectos de la contaminación de los pasivos mineros de la relavera “El Madrigal” sobre la calidad del agua del Río Colca, en la provincia de Caylloma en el departamento de Arequipa.

Se evalúa las concentraciones de metales pesados presentes en el río y se determina el riesgo que representa, comparándolas con el D.S. N° 004-2017- MINAM: Estándar de Calidad de Agua. Asimismo, se explica los efectos que pueden generar en la salud de las personas y biodiversidad biológica aledaña y se propone alternativas de solución para mitigar los efectos de la relavera sobre el río Colca.

En el trabajo de investigación se recoge algunos alcances sobre monitoreos participativos de calidad de agua en la cuenca Camaná – Majes – Colca, realizados en años pasados, donde se presentan algunas concentraciones de metales pesados de interés y se realiza las comparaciones pertinentes.

La investigación se desarrolla en cuatro capítulos. El primer capítulo detalla los fundamentos en que se basa esta investigación y el desarrollo del marco teórico. El segundo capítulo desarrolla en forma resumida la metodología que encausará la investigación. El tercer capítulo presenta los resultados y la discusión respectiva. En el último capítulo se detalla los efectos que genera la contaminación del río y algunas propuestas de solución para remediar esta problemática.

Los resultados de la investigación indican presencia de As, Pb, Cd y Hg en el Río Colca. El metal de preocupación es el Arsénico, el cual tiene una concentración de **0.106 mg/L** en el punto de monitoreo **134RColc3** del 4° Monitoreo 2014 -ANA sobrepasando lo establecido para el

riego de vegetales por el D.S. N° 004-2017- MINAM. Asimismo, los valores que toma el pH en el punto 134RColc2 del 2° Monitoreo 2013 y 3° Monitoreo 2014 son **8.51 y 8.93 respectivamente** y el e punto **RColca 2** Monitoreo 2019 el valor asciende a **9.09**. Estos valores exceden significativamente lo establecido por el Estándar de Calidad de Agua.

Palabras clave: contaminación, agua, metales, mina, relave, ECA, pasivos.

ABSTRACT

The following study presents a descriptive and experimental investigation of the effects of contamination of the mining liabilities of the "El Madrigal" tailings dam on the water quality of the Colca River, in the province of Caylloma in the department of Arequipa.

The concentrations of heavy metals present in the river were evaluated and the risk it represents was determined, comparing them with the D.S. N° 004-2017- MINAM: Water Quality Standard. Likewise, the effects that they can generate on the health of people and surrounding biological biodiversity were explained and alternative solutions were proposed to mitigate the effects of the tailings on the Colca River.

In the research work, some scope was collected on participatory monitoring of water quality in the Camaná - Majes - Colca basin, carried out in past years, where some concentrations of heavy metals of interest are presented and the relevant comparisons were made.

The research was developed in four chapters. The first chapter details the fundamentals on which this research is based and the development of the theoretical framework. The second chapter develops in summary form the methodology that will lead the investigation. The third chapter presents the results and the respective discussion. The last chapter details the effects generated by river contamination and some proposed solutions to remedy this problem.

This investigation found the presence of As, Pb, Cd and Hg in the Colca River. The metal of concern is Arsenic, which has a concentration of 0.106 mg/L at the monitoring point 134RColc3 of the 4th Monitoring 2014 -ANA, exceeding what is established for the irrigation of vegetables by D.S. No. 004-2017- MINAM. Likewise, the values taken by the pH at point 134RColc2 of the 2nd Monitoring 2013 and 3rd Monitoring 2014 are 8.51 and 8.93 respectively and at point RColca

2 Monitoring 2019 the value amounts to 9.09. These values significantly exceed what is established by the Water Quality Standard.

Keywords: contamination, water, river, metals, mine, tailings, ECA, mining liabilities.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT.....	vi
ÍNDICE.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	xvii
INTRODUCCIÓN	xix
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	xxi
O1. Objetivos	xxi
O2. Hipótesis y Variables	xxi
CAPÍTULO I: MARCO TEORICO	1
1.1 Antecedentes de la investigación	1
1.2 Base Teóricas	4
1.2.1 Río Colca	4
1.2.2 Mina El Madrigal.....	5
1.2.3 Agua.....	9
1.2.4 Relaves.....	11
1.2.5 Contaminación del agua por minería	13
1.2.6 Análisis para determinación de metales pesados.....	23
1.2.7 Tratamiento preliminar de muestras	24
1.2.8 El Control de calidad	25

1.2.9	Base legal	27
1.2.10	Normatividad	27
1.2.11	Control de calidad analítico	28
1.2.12	Impacto ambiental.....	29
1.2.13	Tecnología de tratamiento de agua	29
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA		31
2.1	Características del área de estudio	31
2.1.1	Tipo de investigación.....	31
2.1.2	Población y delimitación de zona de estudio.....	32
2.1.3	Muestras ANA	34
2.1.4	PUNTO 1: Toma de muestra	35
2.1.5	PUNTO 2: Toma de muestra	36
2.2	Técnicas de Recolección de Datos	38
2.2.1	Técnicas de Recolección de Datos y Métodos.....	38
2.2.2	Recolección de datos en campo	38
2.2.3	Métodos para la Toma de Muestras	38
2.2.4	Técnicas para la toma de Muestras	39
2.2.5	Protocolo de toma de muestras.	39
2.2.6	Toma de muestras en ríos o quebradas con bajo caudal	39
2.2.7	Toma de muestras en ríos o lagos desde la orilla.....	40

2.2.8	Análisis para determinación de metales pesados.....	41
2.2.9	Tratamiento preliminar de muestras	41
2.2.10	Análisis Granulométrico	42
2.2.11	Difracción de rayos X.....	42
2.2.12	Fluorescencia de Rayos X.....	43
2.2.13	Espectrometría de Masas de Plasma (ICP-MS).....	46
2.2.14	Instrumentación.....	48
2.2.15	Desarrollo de la Metodología.....	48
2.2.16	Análisis e interpretación de la información	50
2.2.17	Análisis Contextual.....	51
2.2.18	Para la formulación de las propuestas de solución.	51
CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSION		53
3.1	Criterio de evaluación	53
3.1.1	Análisis e interpretación de la información	53
3.1.2	Figuras de interpretación.....	55
3.1.3	Muestras – mina Madrigal 2019	62
3.1.4	Caracterización del relave.....	65
3.1.5	Graficas de interpretación.....	68
3.1.6	Resultados obtenidos	69
3.1.7	Figuras de interpretación.....	69

3.2	Efectos de la Contaminación y Propuesta de Mejora.....	78
3.2.1	Efectos de la Contaminación por Arsénico.....	78
3.2.2	Propuestas de mejora	82
3.2.3	Procesos biológicos.....	82
3.2.4	Adsorción.....	85
3.2.5	Tratamiento de los Relaves mineros in situ.	87
3.2.6	Otras tecnologías emergentes	89
	CONCLUSIONES	90
	RECOMENDACIONES.....	91
	ANEXOS	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Caracterización de los minerales de explotación de la Mina el Madrigal.</i>	7
Tabla 2. <i>Ubicación según tonelaje de material contaminante, costo estimado, nivel de contaminación.</i>	9
Tabla 3. <i>Ubicación según el tipo de material acumulado, estado físico y drenaje ácido.</i>	9
Tabla 4. Toxicidad y factores en la asimilación asociados con la ingestión de Arsénico (As). ...	16
<i>Tabla 5. Toxicidad y factores en la asimilación asociados con la ingestión de Cadmio (Cd).</i>	19
Tabla 6. Toxicidad y factores en la asimilación asociados con la ingestión de Plomo (Pb).	21
Tabla 7. Toxicidad y factores en la asimilación asociados con la ingestión de Mercurio (Hg). ..	23
Tabla 8. Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	26
Tabla 9. Ubicación geográfica de los puntos de control ANA.	35
Tabla 10. Caracterización de la metodología y uso de quipos para realizar mediciones de parámetros de campo.	49
Tabla 11. Comparativo de los resultados de los parámetros analizados de la toma de muestras de los monitores de agua superficial del río Colca del ANA.	544
Tabla 12. Información muestra de suelos	633
Tabla 13. Puntos de muestreo	633
Tabla 14. Información muestra de suelos, agua superficial – mina Madrigal	644
Tabla 15. Coordenadas UTM puntos de muestreo.....	644
Tabla 16. Ensayos analizados en laboratorio – Granulometría en sedimentos.....	655
Tabla 17. Trazas metálicas y Metales totales en Suelo.....	666
Tabla 18. Análisis químico por fluorescencia de rayos X – Toma C1	677
Tabla 19. Análisis mineralógico por difracción de rayos X – Toma C2	688

Tabla 20. Comparativo de ECA con metales disueltos en agua superficial.	699
Tabla 21. Resumen General del análisis de metales pesados en el Rio Colca.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imagen panorámica El Madrigal	6
Figura 2. Vista panorámica y ubicación del depósito de relave de la mina El Madrigal.....	12
Figura 3 Bocatoma de Tuti, foto satelital.....	35
Figura 4. Bocatoma de Tuti, foto panorámica	35
Figura 5. Puntos de control.	36
Figura 6. Puente de TAPAY, foto satelital.	36
Figura 7. Puente de TAPAY, foto panorámica.,.....	37
Figura 8. Geomorfología Zona de Madrigal.....	37
Figura 9. Equipo de difracción de rayos x	43
Figura 10. Equipo de fluorescencia de rayos x.	44
Figura 11. Análisis por fluorescencia de rayos X.	45
Figura 12. Esquema de Análisis del Problema y Propuesta de Solución.....	52
Figura 13. pH.	55
Figura 14. Plomo.....	576
Figura 15. Mercurio.	56
Figura 16. Cadmio.	587
Figura 17. Arsénico.....	57
Figura 18a. pH.	58
Figura 18b. pH.	58
Figura 19a. Plomo.....	59
Figura 19b. Plomo.....	59
Figura 20. Mercurio.	60
Figura 21. Cadmio	60
Figura 22a. Arsénico.....	61
Figura 22b. Arsénico.....	61
Figura 23. Difractograma de la muestra Toma C2.	68
Figura 24a. pH.	70
Figura 24b. pH.	70
Figura 25a. Plomo.....	71
Figura 25b. Plomo.....	71
Figura 26. Mercurio.	72
Figura 27. Cadmio.	72
Figura 28a. Arsénico.....	73

Figura 28b. Arsénico..... 73

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Acta de monitoreo ANA	10808
Anexo 2: Actas de muestreos realizados	11010
Anexo 3: Guías para la Calidad del Agua de Consumo Humano.....	11111
Anexo 4: Normas sobre calidad del agua de la Organización Internacional de la Normalización ISO	11212
Anexo 5: Límites de la Cuenca Camaná - Majes.....	1133
Anexo 6: Esquema de Accesibilidad en Tiempo Ámbito de la ALA Colca Sigwas Chivay	1144
Anexo 7: Red de monitoreo en la Cuenca Camaná Majes Colca	1155
Anexo 8: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua Categoría 3 para el Riego de Vegetales y bebida de Animales	1166
Anexo 9: Resultados de parámetros fisicoquímicos, inorgánicos, orgánicos y biológicos del Río Colca	1188
Anexo 10: Estándares de Calidad Ambiental	1199
Anexo 11: Estándares de Calidad Ambiental Categoría 3 Riego de vegetales y bebida de animales	12020
Anexo 12: Estándares de Calidad Ambiental Categoría 2 Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales	12121
Anexo 13: Artículo 10°. -Del nivel, los objetivos y el contenido del Plan de Cierre de Minas	12222
Anexo 14: Determinación de la Desviación Estándar para la Tabla 22. Trazas metálicas y metales Totales en Suelo	12224

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ANA	: La Autoridad Nacional del Agua.
AAA	: Autoridad Administrativa del Agua
ECA	: Estándares de Calidad Ambiental.
D3	: Categoría de riego de cultivos de tallo alto y bajo.
D2	: Categoría de bebida de animales.
DRX	: Difracción de rayos X
DIGESA	: Dirección General De Salud Ambiental
MINAGRI	: Ministerio de Agricultura y riego.
MINAM	: Ministerio del Medio Ambiente.
MINEM	: Ministerio de Energía y Minas.
OMS	: Organización Mundial de la Salud
ONU	: Organización de las Naciones Unidas.
OEFA	: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental.
PRODUCE	: Ministerio de Producción
XRF	: Fluorescencia de Rayos X
SENAMHI	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
LMP	: Límites Máximos Permisibles
IGA	: Instrumento de Gestión Ambiental
EPA	: Agencia de Protección Ambiental
USEPA	: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
PPM	: Partes por Millón
µg / L	: Microgramos por litro

pH : Potencial de hidrógeno

HACRE : Hidroarsenismo crónico regional endémico

INTRODUCCIÓN

En el Perú, la producción de grandes unidades mineras implica la construcción y operación de enormes depósitos de relaves, se descargan aproximadamente 4000 toneladas por día directamente a ríos, lagos, playas y quebradas de ríos (Martinez, 2018). Asimismo, la presencia de trazas de metales pesados, resultan nocivos y altamente tóxicos cuando superan ciertos porcentajes de concentración en el ambiente, perjudicando la subsistencia de especies animales, vegetales y la salud humana, siendo un serio problema debido a su crecida presencia medioambiental y su alta toxicidad en la integridad de la población y el medio ambiente. (Barraza, 2015)

El Cañón del Colca es un valle que tiene hermosos paisajes, se presentan fenómenos geológicos impresionantes con actividad volcánica, aguas geotermales, geiseres, nieves perpetuas en sus partes altas, cascadas y caídas de aguas, variedad de climas, de flora y fauna, en éste se encuentran también yacimientos minerales metálicos y no metálicos. El Colca es un valle interandino inicialmente poblado y desarrollado por la etnia de los Collaguas que se identificaron como agricultores y pastores de animales, dejando como huella una espectacular andenería y canales de regadío en lugares inaccesibles, en unos casos desafiando la propia naturaleza.

El Madrigal es un distrito de la provincia de Caylloma geológicamente Minero. Actualmente se tiene presencia de pasivos mineros en los distritos de San Antonio de Chuca, Condorama y el Madrigal (D. Manrique, 2017). Esta situación genera que el Río Colca este expuesto a los metales pesados presentes en los relaves de los pasivos mineros.

Las grandes áreas destruidas o deshabitadas causadas por la minería y el impacto de la contaminación por metales pesados en el ambiente, contaminan el suelo y se acumulan en las plantas y tejidos orgánicos, permaneciendo en el ambiente durante cientos de años. (Ynfa, 2017)

El consumo prolongado de agua con arsénico produce enfermedades como hidro arsenismo crónico regional endémico (HACRE), provocando alteraciones cardiacas, vasculares y neurológicas, trastornos hepáticos renales, y en el peor de los casos neoplasia o cáncer. El Cadmio afecta los riñones produciendo cuadros de insuficiencia renal, lesiones hepáticas, convulsiones, shock y efectos en huesos y sangre en exposición prolongada. Los peces son una fuente dietética de mercurio metílico potencialmente neurotóxicos. El plomo proviene del polvo contaminado y del agua potable, atraviesa la placenta y penetra en el cerebro fetal, interfiriendo su desarrollo

normal. Produce problemas en la síntesis de la hemoglobina, aparato gastrointestinal, sistema reproductivo, riñones y daños al sistema nervioso. (Contreras, 2004)

A pesar de las abundantes pruebas de estos efectos nocivos para la salud, la exposición a los metales pesados continúa y puede incrementarse por la falta de una política consensuada y concreta. El mercurio (Hg) todavía se utiliza abundantemente en las minas de oro (Au). El arsénico (As), junto con los compuestos de cobre (Cu) y cromo (Cr), es un ingrediente muy común en los conservantes de la madera. El aumento del uso del carbón incrementa la exposición a los metales porque las cenizas contienen muchos metales tóxicos que pueden ser aspiradas hasta el interior de los pulmones (Martinez, 2018).

Por todos estos aspectos es necesario crear una condición de medio ambiente favorable para la vivienda y desarrollo productivo de los pobladores del Madrigal, la investigación que se presenta se basa en la evaluación de los efectos de contaminación de los relaves presentes en los pasivos mineros sobre la calidad del agua en el río Colca, desarrollando un análisis de la realidad de los impactos ambientales. Asimismo, proponer medidas tecnológicas que puedan contribuir a la reducción o eliminación de los relaves mineros presentes en los alrededores del Río Colca.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

O1. Objetivos

O1.1 Objetivo General.

Evaluar los efectos de la contaminación asociada a los relaves mineros sobre la calidad del agua del río Colca.

O1.2 Objetivos Específicos.

- Caracterizar y cuantificar la presencia de metales pesados en las aguas del río Colca.
- Caracterizar y cuantificar la presencia de metales pesados en relaves mineros
- Presentar los efectos de la contaminación que causan los metales pesados asociados a los relaves mineros en el río Colca
- Presentar alternativas de solución frente al efecto de contaminación

O2. Hipótesis y Variables

En las siguientes líneas se presenta la hipótesis y se definen las variables de la investigación:

O2.1 Hipótesis

Si los relaves en estado de abandono contaminan y afectan la calidad del agua del río Colca, es posible presentar alternativas de solución que mitiguen sus efectos.

O2.2 Variables

Las variables identificadas para la investigación son las siguientes:

- Variable independiente: Evaluación de calidad del agua del Río Colca.
- Variable dependiente: Nivel de contaminación del Río Colca y su efecto.

O2.2.1 Variable Independiente.

Evaluación de calidad del agua del Río Colca

- Minería

Es una de las actividades más antiguas de la humanidad, consiste en la obtención selectiva de minerales y otros materiales a partir de la corteza terrestre. (Ministerio de Energía y Minas, 2015)

- Aguas Residuales

“Son aquellas cuyas características originales han sido modificadas por actividades antropogénicas, para ser vertidas a un cuerpo natural de agua o reusadas, requieren de un tratamiento previo” (López Moreno, 2015)

El informe del OEFA, clasifica a las aguas residuales en industriales, domésticas y municipales. (López Moreno, 2015)

O2.2.2 Variables Dependiente.

Calidad del Agua

- Parámetros fisicoquímicos: La medición de pH es una de las actividades más importantes y de mayor frecuencia en las pruebas químicas del agua. El pH aceptable para agua potable varía entre 6.5 a 8.5. (Pérez López, 2016).
- Metales pesados que se van a considerar: Los metales pesados pertenecen a un grupo de componentes químicos inorgánicos persistentes no biodegradables con una masa atómica superior a 20 u.m.a. y una densidad superior a 5g/cm³. (López Moreno, 2015).

Para la presente investigación se están considerando los siguientes metales pesados:

- Arsénico (As): elemento semimetálico sólido, de color gris metálico, que forma compuestos venenosos. (Villa Gonzales, Huamani Pacsi, Chavez Ruiz, & Huamani Azorza, 2018)
- Cadmio (Cd): es un contaminante ambiental e industrial que afecta el sistema reproductivo masculino, afectando los sistemas de enzimas antioxidantes de tejidos (El-Shahat & Gabr, 2016)

- Boro (B): El boro es un microelemento esencial para las plantas como para los animales en la actualidad, sigue siendo un tema de interés y debate debido a su efecto perjudicial. (Morales Cabrerías, Avendaño Cáceres, Zevallos Ramos, Fernández Prado, & Torres Ventura, 2017)

CAPÍTULO I: MARCO TEORICO

1.1 Antecedentes de la investigación

Martínez Manchego L. A, 2018, en su investigación “Evaluación del estado de conservación de suelos contaminados por la relavera el Madrigal - Arequipa y propuesta de fitorremediación” nos indica que, en los terrenos contaminados como producto de la actividad minera, encontrados en las distintas zonas de estudio, la vegetación es muy escasa y el desarrollo de una mayor diversidad y mayor número de individuos se presenta en la medida que las zonas se alejan del punto medio del depósito de relave. Se concluye que el relave minero está formado por minerales propios; potasio (K), magnesio (Mg) y manganeso (Mn), y la presencia de trazas de metales pesados, destacando principalmente el arsénico, el zinc y el mercurio que se encuentran por encima de los estándares de calidad ambiental. Así mismo los pasivos mineros de la Relavera “El Madrigal”, han ocasionado que los terrenos se conviertan en no cultivables o inservibles y así mismo, los terrenos un poco más alejados están corriendo la misma suerte, ya que la contaminación eólica es constante afectando de esta forma a los centros poblados aledaños, al recurso hídrico y al ecosistema en general. (Vazquez, 1964)

Flavia Bertolotti R. & Norma Noé M., 2018, en su investigación “Concentración de plomo, mercurio y cadmio en músculo de peces y muestras de agua procedentes del Río Santa, Ancash – Perú”, nos indica “El objetivo del estudio fue cuantificar la concentración de Pb, Hg y Cd en músculo de peces destinado a consumo humano y de muestras de agua de río en tres localidades de la ciudad de Huaraz (Ancash, Perú). En las tres zonas el Hg estuvo por encima de los niveles permitidos por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos. Se concluye que peces y agua representan potenciales medios de contaminación de personas con metales pesados a partir de la ruta digestiva en esta zona, siendo un problema la contaminación de las aguas por Hg, haciendo evidente la presencia de minas artesanales cercanas al río o lagunas.

Oviedo Anchundia, Moína Quimí, Naranjo Morán, & Barcos Arias, 2017, en su investigación “Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la

actividad minera”. Nos indica: en este trabajo se realizó una recopilación de la zona minera más antigua e importante del Ecuador. Se recolectaron datos que muestran las concentraciones de algunos metales pesados no esenciales (Hg, Pb, As, Mg, Zn, Cd). Los resultados revelaron que, del material procesado de los relaves de molienda y colas de cianuración, que las concentraciones de plomo y arsénico superaban los valores límites de referencia para estos metales en los suelos. En otros estudios realizados a los pobladores, tomaron muestras biológicas (sangre, orina y cabello), y con ello se logró determinar que la mayoría de los habitantes de las poblaciones cercanas a la cuenca del río, se encuentran envenenados con Hg y Pb en pequeñas cantidades dentro de su organismo.

Calderón Soncco & Umiña Quispe, 2015, en su investigación “Evaluación de concretos geopoliméricos mediante activación alcalina de residuos Mineros (Relave) y Zeolita Natural”. Nos indica: el almacenamiento de relaves mineros ocupa gran área de tierra representando un alto costo económico, ambiental y ecológico. Si los relaves mineros se reciclan y se utilizan como material de construcción, cabría la posibilidad de prescindir de los terrenos que son necesarios para embalsarlos, además; se podría evitar el costo económico de conservar un pasivo minero y los riesgos ambientales. Todo esto contribuirá de manera significativa al desarrollo sostenible de la industria minera. Para utilizar relaves mineros como material de construcción, necesitan ser estabilizados. Con este trabajo de Tesis, se busca transformar los pasivos y relaves mineros en verdaderos activos industriales. Debido a la intensa actividad minera que se proyecta para los próximos años, todas las cifras indican que estos desechos irán en ascenso. A ello se deben sumar las bajas leyes de los minerales, lo cual implica una mayor generación de relaves; de hecho, se calcula que del total de material extraído en una mina sólo el 2% corresponde al metal deseado, y el resto es descartado en diferentes desechos como estériles (50%), relaves (44%) y escorias (4%).

Delgado Manrique, 2018, en su investigación “Diagnostico de la calidad del agua y diseño de propuesta de solución para la zona crítica establecida mediante el índice de calidad de agua (Ica) en el río Colca”. Nos indica: la presente investigación, permitió obtener un diagnóstico situacional, encontrando las causas y soluciones a los efluentes líquidos que se disponen al río Colca. Los principales resultados de este estudio y las

conclusiones generales puede inferirse que las aguas del río Colca constituyen un recurso amenazado por la gestión inadecuada de los residuales líquidos, teniéndose para este río, un registro de 125 fuentes contaminantes, 10 parámetros sobrepasaron los estándares de calidad ambiental para agua, se estableció propuestas de solución para la recuperación del río Colca, ya que su calidad de agua natural ocasionalmente es amenazada, alejándose de los valores deseables y los usos necesitan tratamiento.

Beltrán Rodríguez, M. Larrahondo, & Cobos, 2018, “Tecnologías emergentes para disposición de relaves: oportunidades en Colombia”. Este artículo describe las prácticas actuales de manejo de residuos mineros en Colombia, particularmente relaves, al igual que las oportunidades y limitaciones para la adopción de tecnologías modernas. Para este manuscrito, se revisaron las prácticas mundiales tradicionales y los aspectos técnico-normativos en Colombia. Adicionalmente, se estudió bibliografía reciente sobre tecnologías emergentes para manejo de relaves. Finalmente, se analizó la situación normativa y tecnológica en Colombia de cara a la posible adopción de tecnologías modernas. Se concluye que las tecnologías emergentes minimizan el gran pasivo que dejan las estructuras convencionales. En cualquier caso, el país requiere prontamente desarrollar capital humano con competencias para abordar el manejo moderno y masivo de residuos mineros.

Málaga Cornejo, 2005, en su investigación “Contaminación por metales pesados en afluente del Río Colca”. Nos indica la investigación que, en el valle del Colca, su margen derecha, se encuentra un depósito de relave abandonado producto de la explotación de polimetálicos (plomo, cinc, cobre, oro y plata) de sulfuros de la minera “El Madrigal”. Estos relaves se encuentran cerca de la ladera y borde del valle del Colca en terrazas aluviales escalonadas y su origen varía por sus estratos en relación a sus etapas productivas. El presente estudio tiene por objetivo determinar el probable nivel de contaminación por metales pesados en el río Colca, considerando que la cuenca establecida genera un amplio desarrollo socio-agro-económico. Concluyendo las aguas presentes en las cercanías de los relaves de la mina “El Madrigal” presentan un alto contenido en iones: Pb^{2+} , Hg^{2+} , As^{3+} y S^{2-} , lo que impide ser utilizado en el abastecimiento, ingestión por animales, ni riego de vegetales.

1.2 Base Teóricas

1.2.1 Río Colca

1.2.1.1 Ubicación y accesibilidad.

El río Colca tiene su origen en las alturas de los cerros Yaretane y Torre, ubicados a 4750 msnm, se alimenta con las precipitaciones que caen en las alturas del flanco Occidental de la Cordillera de los Andes y con los aportes de precipitaciones y aguas subterráneas o manantiales, así como de los diferentes riachuelos ubicados en ambas márgenes, está formado por la unión de los ríos Antasalla y Blanquillo, ingresando al cuadrante de Chivay con dirección NE-SO. Cambiando de dirección en la localidad de Chivay a NE ingresando al valle de majes en donde adopta dicho nombre, para desembocar al mar con el nombre de río Camaná. El río colca es el colector de las aguas que bajan por cursos laterales del valle, siendo de caudal permanente y cuyo aforo no es menor de $6\text{m}^3/\text{s}$ en los meses de estiraje y en los meses de precipitaciones llega tener hasta $265\text{m}^3/\text{s}$. (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2016).

1.2.1.2 Consideraciones hidrogeológicas.

El agua que cae en la tierra se infiltra en el suelo, se dispersa en la superficie del terreno, una porción del agua regresa directamente a la atmósfera mediante la evaporación y la transpiración, otra parte es retenida por fuerzas capilares y el resto fluye hacia abajo hasta que encuentre un estrato más o menos impermeable (acuicierre), y fluirá hacia pozos, manantiales u otros puntos de recuperación. (ANA, 2015).

1.2.1.3 Actividad hidrotermal.

El término “hidrotermal” abarca todo tipo de fenómenos que se realiza a partir de agua caliente en la corteza terrestre, sin embargo, su uso es más común con relación a las impresionantes actividades de los Géiser o el de los atractivos baños termales.

El Cañón del Colca marca una falla regional con rumbo al OE a SO; permite que las aguas afloren como manantiales calientes en el grupo Yura en los grupos Tacaza y Barroso. Se tiene conocimiento que las fuentes termales de Chivay sobre pasan de 100 tomas o puntos de inyección. (Zárate, 2017).

1.2.1.4 Depósitos minerales

En la Cordillera Volcánica del Sur, donde se ubica el valle del Colca, existen varios depósitos metálicos y no metálicos importantes, que están vinculados al hidrotermalismo. Se tiene conocimiento de la presencia de minerales como Cobaltina, Esmaltina, Cuarzo, Ortasa, Biotita, Apatito, Circones, Rutilos, Bornita, Anhidritas, Hematita, Galena, Limonita, Jarosita, Feldespato, Serosita Esfalerita Carbonatos y de depósitos aluviales que son materiales poco consolidados, que litológicamente están constituidos por arenas, arcillas y de cantos rodados (Martinez, 2018).

Los depósitos se encuentran tanto en sedimentos (areniscas latitas y caliza) del grupo Yura como en rocas volcánicas (derrames, brechas y pinolacticas) del grupo Tocaza que descansa en discordancia sobre el grupo Yura. Los desmontes de la mina, ácidos y floculantes (polímeros sintéticos), coagulantes (Fe, Al y sales) y reactivos químicos. La actividad minera en la localidad, la Mina Madrigal se encuentra localizada en el Distrito de Madrigal Provincia de Caylloma, Valle del Colca, Departamento de Arequipa a una altitud promedio de 3662 m.s.n.m.

1.2.2 Mina El Madrigal

1.2.2.1 Ubicación

Se encuentra localizado en el Distrito del Madrigal Provincia de Caylloma, Valle del Colca, Departamento de Arequipa a una altitud promedio de 3662 m.s.n.m y limitado por las siguientes coordenadas geográficas: L.O 71° 50' 00'' y L.S 15° 34' 00''. La planta se encuentra ubicada en la parte alta de la quebrada de Chococahua, a faldas del cerro Jalichihue y en la margen derecha con el río Cahuamayo, afluente del río Colca, y la quebrada de Shutane. En los años 1950 la Compañía Hoschild realizó labores de explotación especialmente en el sector de la

Veta Santa Rosa. En el año 1972 se inició la producción de este yacimiento tratándose 500 TM diarias de mineral, operando hasta el año 1986 la mina pasa de Compañía Minera a Industria Minera, la que paraliza por problemas jurídicos y familiares.

1.2.2.2 Geología del centro minero

Este distrito minero se halla entre los 3,000 y 4,600 m.s.n.m., enclavado en plena cordillera occidental de los andes. La Veta Santa Rosa tiene una longitud de 3,900 m con rumbo de 75° y una inclinación en 40 y 75° NE. Esta veta es una estructura compuesta por dos ramales principales, la mineralización está constituida principalmente por una asociación simple de galena, esfalerita, calcopirita y pirita, acompañada de cuarzo y en menor proporción de calcita. La planta concentradora está construida en forma escalonada con un total de tres niveles. En el nivel superior están ubicadas: la tolva de gruesos, la sección de descarga del cable carril, equipo de chancado primario y secundario. En el nivel intermedio se encuentra: la tolva de finos, sección de molienda y la planta de flotación. Finalmente en el nivel inferior se tiene la sección de espesado y filtrado, las tolvas de almacenamiento de concentrado y la sección de embarque, al lado izquierdo están ubicadas las canchas de relaves.



Figura 1. Imagen panorámica El Madrigal, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico INGEMMET 2017

1.2.2.3 Mineralogía

Tabla 1. *Caracterización de los minerales de explotación de la Mina el Madrigal.*

Mineral	Características
1. Galena (PbS)	Composición: 86% Pb y 13,4% S Cristalización: cúbica Dureza: 2,5 escala de Mohs Brillo: metálico Color y raya: gris plomo Ligada a sulfuros de cobre, hierro y cinc.
2. Chalcopirita (S ₂ CuFe)	Composición: Cu 34,5%, Fe 30,5% y S35% Cristalografía: tetragonal escalenoédrica Dureza: 3,5 a 4 escala de Mohs Brillo: metálico Calor: amarillo latón Raya verdosa Mineral que aparece en los filones metálicos de altas temperaturas, está asociado con la pirita, blenda, galena, cuarzo y calcita.
3. Blenda (ZnS)	Composición: Zn 67% y S 33% Cristalografía: cúbica xaquieroctaédrica Dureza: 3,4 a 4 escala de Mohs Brillo metálico Resinoso o submetálico Se encuentra íntimamente ligada con la galena.
4. Pirita (FeS ₂)	Composición: Fe 46,6% y S 53,45% Cristalografía: Cúbico Dureza: 6,3 escala de Mohs Brillo: metálico Está asociada a muchos minerales, aunque lo haga especialmente con la chalcopirita blenda y galena.

1.2.2.4 Proceso de concentración

El mineral extraído de vetas es transportado hasta las chimeneas por medio de Winches (neumáticos), es depositado en los chutes, sacado por medio de carros mineros jalados por locomotoras. Este mineral es depositado en la tolva donde es transportado en cable carril a la planta concentradora.

El proceso empieza con el chancado del mineral proveniente de la mina, hasta partículas de aproximadamente 2 cm. El mineral luego es reducido a tamaños menores en molinos de bolas y varillas, siguiendo con el proceso de extracción donde se agrega agua a la mena, iniciando el proceso de separación del mineral.

La siguiente operación es la flotación, proceso de separación de materiales de distinto origen a partir de la pulpa acuosa por medio de un arrastre ascendente de burbujas de aire, aprovechando las propiedades de mojabilidad de los materiales a separar, y que operan sobre las partículas individuales contenidas en el mineral, son seleccionadas a pequeñas burbujas de aire, y que se elevan a la superficie en el tanque con agitación, las partículas valiosas son retiradas de la superficie y se finaliza con el secado producto que se denomina concentrado.

Las partículas en desecho constituyen los relaves, después de recuperar algo de agua del proceso en tanques esperadores, los relaves son bombeados a las canchas destinadas para su almacenamiento.

1.2.2.5 Nivel de contaminación

Según (MEM, 2001) En el valle del Colca se ubica la mina Madrigal inactiva de cobre que actualmente se caracteriza por presentar grandes volúmenes de relaves que constituyen una de las fuentes de mayor contaminación en la zona por efecto de la dispersión eólica afectando los campos de cultivo próximos a la mina. (Tablas 2 y 3)

Tabla 2. *Ubicación según tonelaje de material contaminante, costo estimado, nivel de contaminación.*

Mina	ESTE	NORTE	Tonelaje TM
AQP-1 Mina Madrigal	19L 195500	8 273 900	2 000 ,000

Fuente: (MEM, 2001)

Tabla 3. *Ubicación según el tipo de material acumulado, estado físico y drenaje acido.*

Mina	ESTE	NORTE	Material acumulado	Estado físico
AQP-1 Mina Madrigal	19L 195500	8 273 900	Relave Desmonte	Inestable

Fuente: (MEM, 2001)

1.2.3 Agua

Recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales (Canzio Álvarez , 2016)

1.2.3.1 Clasificación del agua

Las aguas se clasifican en tres categorías: aguas superficiales: ríos, lagos y lagunas), las aguas meteóricas y aguas subterráneas (ONU, 2006).

- Aguas superficiales, son las que se encuentran en el caudal de los ríos, lagos, lagunas, las de una cuenca de embalse, presas, etc. (ONU, 2006).
- Aguas meteóricas, son aquellas procedentes directamente de la atmósfera, en forma de lluvia, rocío o neblina (ONU, 2006).

- Aguas subterráneas, son las que se filtran en el terreno pudiendo aflorar en forma de manantiales. El agua sufre modificaciones, ya que al atravesar las capas terrestres puede absorber ácido carbónico, se puede mineralizar, perder oxígeno, etc. (ONU, 2006).

1.2.3.2 Calidad del agua

Calidad del río Colca, se encuentra ubicado en la unidad hidrográfica Alto Camaná, sub cuenca Colca, perteneciente a la cuenca Camaná, tiene una longitud de 100 km, bordeando y contribuyendo con sus aguas a 16 de los 20 distritos en la provincia de Caylloma, en el desarrollo de la principal actividad: La agricultura y turismo (Autoridad Nacional del Agua., 2013).

Se estima que aproximadamente el 70% del agua dulce es usada para agricultura. El agua en la industria absorbe una media del 20% del consumo mundial, empleándose en tareas de refrigeración, transporte y como disolvente de una gran variedad de sustancias químicas. El consumo doméstico absorbe el 10% restante. (Ibañez Esquivel, 2012)

La calidad del agua es un término variable en función del uso concreto que se vaya hacer de ella. Para los usos más importantes y comunes del agua existen una serie de requisitos, recogidos en normas específicas basados tradicionalmente en las concentraciones de diversos parámetros físico-químicos (Manrique Pérez, 2017)

Si el agua reúne los requisitos fijados para cada uno de los parámetros mencionados en función de su uso es de buena calidad para ese proceso o consumo en concreto (Guía para la calidad del agua de consumo humano OMS, 2006)

1.2.3.3 Contaminación del agua

Contaminación es la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o a su vez, que puedan ser

perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos (Gabriel & Chang, 2017). Se entiende por contaminación del agua a la acción o al efecto de introducir algún material o inducir condiciones sobre el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación a sus usos posteriores o sus servicios ambientales. (Ibañez Esquivel, 2012)

La contaminación del agua es la acumulación de sustancias tóxicas y derrame de fluidos en un sistema hídrico (río, mar, cuenca, etc.) alterando la calidad del agua. Las sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un curso de agua, al ser excedidos causan o pueden causar daños a la salud, y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente (Gabriel & Chang, 2017).

Los efectos de los depósitos de relave no terminan con la contaminación. El colapso de sus estructuras se configura como uno de los temores más grandes de las comunidades afectadas, sobre todo tomando en cuenta la sismicidad del país. (Cuenca, 2015)

1.2.4 Relaves

Los relaves son desechos minerales sólidos de tamaño entre arena y limo procedente del proceso de concentración, son transportados en forma de lodo. (Aguirre Ramos, 2017)

“Desecho tóxico que contiene arsénico, plomo, mercurio, sales de cianuro y químicos propios del procesamiento minero que se acumulan”. Cuenca (2015)

“Lo que hace tóxicos a los metales pesados no son sólo sus características químicas, sino las concentraciones en las que pueden presentarse, y más importante aún, el tipo de compuesto o metabolito que forman” Londoño, Londoño, & Muñoz (2016).

Las consecuencias sobre la vida humana y el medioambiente que estos confinamientos de material contaminante producen son incalculables. A esto se suma

que en nuestro país no existe una regulación estricta en relación al acopio de desechos de la industria extractiva. (Cuenca, 2015)

A este tipo de sustancia se debe adicionar el drenaje de agua ácida y floculante (polímeros sintéticos), coagulantes (Fe, Al y Sales) y reactivos químicos para ajustar el pH que se emplea en el proceso de concentrado, así mismo, se emplea para la filtración, arenas para reducir las partículas ultra finas en suspensión.

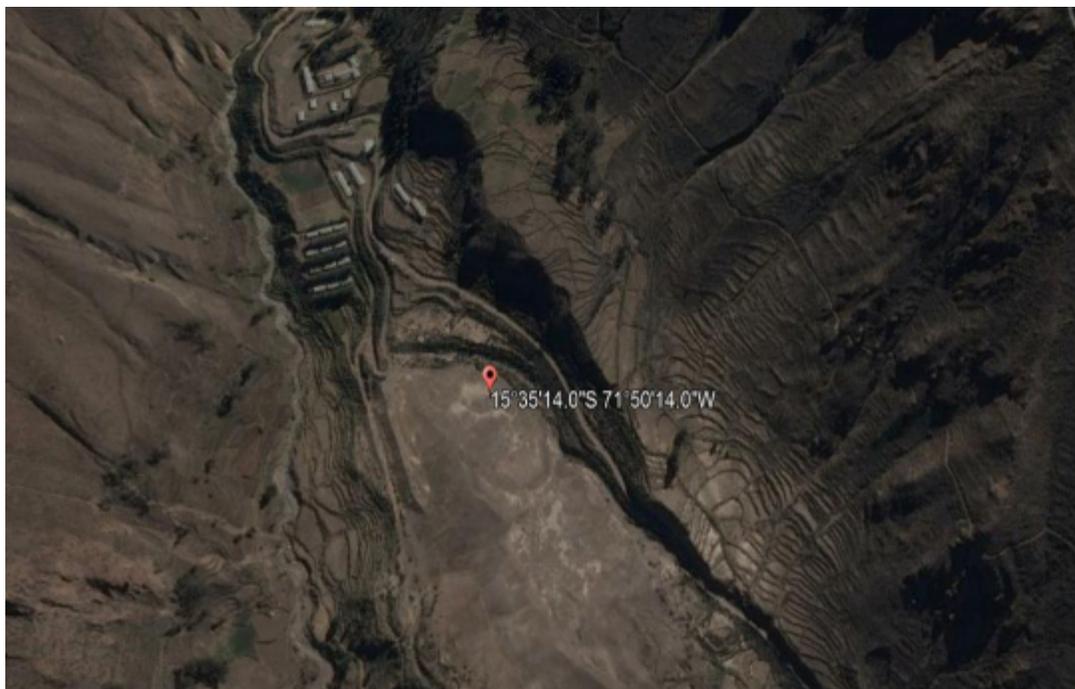


Figura 2. Vista panorámica y ubicación del depósito de relave de la mina El Madrigal. Evaluación del Estado de Conservación de Suelos contaminados por la relavera El Madrigal Arequipa y Propuesta de Fitorremediación 2018

1.2.4.1 Efectos de la contaminación de los relaves

Los efectos se presentan según el contenido de metal que contiene el relave:

Plomo: altas concentraciones de plomo en las plantas impiden su desarrollo celular.

Cadmio: su presencia es un indicador de contaminación en el medio, siendo bioacumulable, en seres vivos ocasiona daños al hígado, nervios, presión sanguínea.

Mercurio: su presencia es un indicador de contaminación en el medio, los compuestos orgánicos que se llegan a formar con mercurio son fácilmente absorbibles y acumulables en organismos vivos, lo cual les ocasiona daños en el sistema nervioso.

Arsénico: sus compuestos son tóxicos, siendo las formas inorgánicas las más peligrosas. (Velarde Paz, 2016)

1.2.5 Contaminación del agua por minería

La minería provoca impactos, tanto directos como indirectos, en las condiciones físicas iniciales de las aguas, que incluyen desde los más obvios como son los descensos de niveles o desvío de cauces hasta otros menos evidentes como la alteración en la tasa de entrada de agua en el acuífero (recarga); o la variación en la facilidad con la que el agua fluye a través del acuífero (conductividad hidráulica). La alteración de las condiciones hidrológicas favorece la dispersión de material contaminante, e incrementa el área afectada. (Flores, 2016).

Los impactos en la calidad del agua por los relaves, rocas de desecho, pilas de lixiviación y lixiviación en montones pueden ser graves. Estos impactos incluyen la contaminación del agua subterránea que está debajo de estas instalaciones y en las aguas superficiales que reciben sus descargas. Las sustancias tóxicas pueden lixivarse de estas instalaciones, filtrarse a través del suelo y contaminar las aguas subterráneas, especialmente si el fondo de estas instalaciones no ha sido adecuadamente protegido con una membrana impermeabilizante (Autoridad Nacional del Agua, 2018).

La industria minera tiene un gran impacto en los recursos hídricos, ya que agota el suministro de agua con su alto uso y los contamina con descargas o infiltraciones de relaves o embalses de roca estéril. (FLUENCE NEWS TEAM, 2018)

1.2.5.1 Contaminación por metales pesados

Los metales son componentes naturales de la corteza terrestre y tienen un papel importante en los organismos al ser parte fundamental de sus funciones bioquímicas y fisiológicas. Algunos son oligoelementos imprescindibles para el mantenimiento de los sistemas bioquímicos de los seres vivos, como por ejemplo, el cobre, el manganeso o el zinc, que son esenciales en el metabolismo de los

mamíferos. Pueden actuar también como potentes tóxicos, tanto para los seres humanos como para los ecosistemas, según cuáles sean sus vías de exposición, la dosis absorbida, la naturaleza química del metal y algunos incluso cancerígenos. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO 2013)

1.2.5.2 Metales pesados

- **Arsénico (As).**

Es un metaloide que está ampliamente distribuido en el ambiente natural y donde puede llegar a los cuerpos de aguas desde las rocas por meteorización, así mismo, puede estar asociado a la reacción de oxidación con minerales sulfurosos en rocas meta-sedimentarias, cuya variabilidad de las concentraciones de As, puede superar las halladas en rocas de tipo ígnea y metamórfica. Esta condición hace que probablemente, los niveles de As ocupen grandes extensiones de áreas. (Cabrera, y otros, 2017).

Existen dos formas de contaminación por arsénico, primero liberación natural de arsénico, a partir de aguas subterráneas de alto contenido de arsénico (Smedley, Zhang, Zhang & Luo, 2003); y segundo por las emisiones humanas (Zhang, Yang, Tang, Qin & Yu, 2014), incluyendo zonas de actividad minero-metalúrgicas. (Díaz L., Carrión J., & González B., 2006)

Las formas inorgánicas de As como arsenito trivalente (As^{+3}) y arseniato pentavalente (As^{+5}) son más frecuentes y tóxicas que las formas orgánicas en general, pudiendo ejercer efectos perjudiciales sobre el metabolismo proteico por reacción con grupos sulfhidrilo existentes en residuos de cisteína (Rai et al., 2011).

La toxicidad del arsénico, es reconocida como carcinogénica donde puede causar deformaciones referidas a mutaciones (Norra, Chandrasekharam & Stu, 2005), incluso a bajas concentraciones (Gall, Boyd & Rajakaruna, 2015). En los seres humanos y otros mamíferos, ha causado trastornos neurológicos, enfermedades hepáticas y renales, cáncer, complicaciones gastrointestinales, así como otros problemas de salud (Subhani et al., 2015).

Las exposiciones al As en los ecosistemas acuáticos potencialmente perjudican su funcionalidad, ya que el uso de aguas contaminadas para fines de riego, podría causar problemas en la producción de cultivos y, en consecuencia, a la cadena alimentaria (Salgado et al., 2010).

Si bien es cierto que puede existir arsénico en los cuerpos de aguas superficiales de forma natural pero las mayores concentraciones obedecen a cargas antropogénicas y donde algunos parámetros físico-químicos como el pH, pueden condicionar la disponibilidad toxicológica inmediata. (Cabrera, y otros, 2017).

Tabla 4. *Toxicidad y factores en la asimilación asociados con la ingestión de Arsénico (As).*

Característica	Arsénico
Formas químicas más tóxicas	Arsenato y arsenito son las especies más frecuentes en agua; bastante tóxicas; al metilarse en el organismo disminuye su toxicidad.
Principales rutas de entrada	Ingestión.
Absorción después de ingestión (%)	>80
Cinética y metabolismo	Se distribuye en tejidos blancos; se metaboliza mediante reacciones de oxidación-reducción, seguidas de Metilación.
Vida media biológica	Se excretan después de 3 a 5 días,
Principal vía de excreción	Orina
Principales órganos de acumulación	Tejidos queratinosos
Toxicidad aguda	Dependiendo de la concentración: Dolor abdominal, vómito, diarrea, disminución del volumen sanguíneo; neuropatía periférica; falla multiorgánica, muerte
Toxicidad crónica	Desarrollo de lesiones en la piel; neurotoxicidad, ataxia; anemia; leucopenia; cáncer en pulmón, riñón, hígado y vejiga

Fuente: (Jaishankar, Tseten, Anbalagan, Mathew & Beeregowda, 2014); (Tchounwou, vedjou, Patlolla & Sutton, 2012).

La Normatividad internacional para el arsénico, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norte América (EPA), clasifica al arsénico como cancerígeno en el grupo A, debido a la evidencia de sus efectos adversos sobre la salud. La eliminación natural del organismo humano es por vía urinaria,

heces, sudor y epitelio de la piel (descamación), entre otros. Existen valores máximos de concentración, permitidos y establecidos por organizaciones como la EPA y la Organización Mundial de la Salud (OMS), después de algunos estudios de toxicidad del arsénico y costos de implementación de sistemas de remoción de metales en las plantas potabilizadoras. (Estudio experimental para adsorción de arsénico con lecho de arena verde mediante prueba rápida en una columna a pequeña escala, Cubillas G. 2015).

La exposición durante un largo período a bajas concentraciones relativas de arsénico (por ejemplo, por ingestión de agua) tiene efectos negativos crónicos para la salud. Por eso, el arsénico en las aguas superficiales (ríos, lagos, embalses) y aguas subterráneas (acuíferos) susceptibles de ser utilizadas para consumo, constituye una gran amenaza para la salud. Ello es así, que ha llevado a organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Unión Europea (Directiva 98/83) o la Agencia de Protección Ambiental estadounidense (USEPA) a establecer la reducción del límite del contenido de arsénico en agua de consumo de 50 a 10 $\mu\text{g/L}$ (WHO, 1993).

El consumo de agua de pozo contaminada con arsénico tiene efectos negativos crónicos para la salud. Ingerir o respirar niveles bajos de As inorgánico durante mucho tiempo puede causar un oscurecimiento de la piel y la aparición de pequeños "granos" o "verrugas" en las palmas de las manos, plantas de los pies y el torso. En contacto con la piel el arsénico inorgánico puede causar enrojecimiento e hinchazón. Se han descrito envenenamientos fatales con arsénico después de la exposición oral a dosis estimadas de 2 g (Levin-Scherz and Patrick, 1987), 8 g (Benramdane et al., 1999) y 21 g (Civantos et al., 1995), y los casos con resultados no fatales (por lo general después del tratamiento y, a menudo con secuelas neurológicas permanentes) se han reportado después de dosis orales de 1-4 g (Fincher and Koerker, 1987) hasta 8-16 g (Mathieu et al., 1992). Se han observado intoxicaciones graves, no mortales en los recién nacidos después de una dosis de 0,7 mg de trióxido de arsénico (As_2O_3) (Cullen et al., 1995), 9-14 mg (Watson et al., 1981) y 2,400 mg (4 mg/kg) (Brayer et al., 1997). También se han descrito

incidentes por exposición oral continua o repetida al arsénico durante un corto período de tiempo. El agua potable que contiene 108 mg/L expuesta por una semana a 9 personas causó el fallecimiento de 2 de ellas, 4 desarrollaron encefalopatía y 8 síntomas gastrointestinales (Armstrong et al., 1984).

- **Cadmio (Cd).**

El cadmio es un elemento natural de la corteza terrestre, generalmente se encuentra como óxido, cloruro, sulfato y sulfuro (Guzman, Idalid Cediél, & Ocampo, 2016). Es un metal dúctil, de color blanco argentino con un ligero matiz azulado. El cadmio es divalente en todos sus compuestos estables y su ion es incoloro. Es un metal más blando y maleable que el zinc, pero poco más duro que el estaño. Peso atómico de 112,40 umas y densidad relativa de $8,65 \text{ gr/cm}^3$ a 20°C (68°F). Su punto de fusión de $320,9^\circ\text{C}$ (610°F) y de ebullición de 765°C (1410°F) son inferiores a los del zinc (Minaya, 2014).

El cadmio es conocido como un factor de riesgo para la salud humana y por los daños que ocasiona en diferentes órganos y en el sistema óseo. (Ramirez Pisco, Giraldo Jimenez, & Barrera cruz, 2018). La exposición al cadmio se produce por la ingestión de alimentos contaminados o agua, y producir a largo plazo efectos en la salud. (Guzman, Idalid Cediél, & Ocampo, 2016). Se ha asociado a diversas enfermedades renales, hipertensión, anemia, osteoporosis, osteomalacia, diabetes, anosmia, rinitis crónica, eosinofilia y algunos tipos de cáncer, tales como: leucemia, cáncer de mama, páncreas, pulmones y próstata (Julin et al., 2012). En peces, aves y mamíferos genera reducción de crecimiento, anemia, hipertensión disrupciones endócrinas y en anfibios decrecimiento de la metamorfosis. (Pernía et al., 2018).

La Agencia Internacional de Investigación en Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés), clasifica al cadmio en el grupo 1, que incluye como promotor de cáncer en humanos. (Moreno Rivas & Clamont Montfort, 2018).

Tabla 5. Toxicidad y factores en la asimilación asociados con la ingestión

Característica	Cadmio
Formas químicas más tóxicas	Todas las formas químicas son muy tóxicas. El Cd ²⁺ es soluble en agua en un amplio rango de pH. En pH alcalino persisten los hidróxidos.
Principales rutas de entrada	Ingestión e inhalación.
Absorción después de ingestión (%)	5
Cinética y metabolismo	Se distribuye en hígado y riñón, formando complejos con metaloproteínas.
Vida media biológica	> 10 años.
Principal vía de excreción	Orina
Principales órganos de acumulación	Hígado y riñón.
Toxicidad aguda	Pérdida de fluidos, shock, edema pulmonar, hipotensión, oliguria, falla multiorgánica; muerte.
Toxicidad crónica	Fallo renal, osteoporosis, anemia, cáncer en pulmón, riñón, seno y próstata.

de Cadmio (Cd).

Fuente: (Jaishankar et al., 2014); (Tchounwou et al., 2012)

- **Plomo (Pb).**

El plomo es un metal pesado, de color azulado, que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible, inelástico, se funde con facilidad, se funde a 327,4°C. El plomo es anfótero, ya que forma sales de plomo de los ácidos, así como sales metálicas del ácido plúmbico. El plomo forma muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos.

El plomo es uno de los metales pesados más usados, proviene de fuentes naturales y antropogénicas. No se considera esencial para la vida. Se puede encontrar como sulfuro, carbonato, óxidos, complejos orgánicos, entre otros. Se le emplea en aleaciones, baterías, compuestos y pigmentos, revestimiento para cables, proyectiles y municiones (Navas-Ruíz y Méndez-Armenta, 2011).

El plomo es un metal tóxico ubicuo, cuyo uso generalizado ha causado problemas de contaminación ambiental y de la salud. La contaminación de plomo proviene principalmente del ambiente y a menudo comprende actividades industriales y mineras.

La exposición al plomo se estima que representa el 0,6% de la carga mundial de la enfermedad, siendo más alta en las regiones en desarrollo. (Morales Quispe, 2018).

En el organismo humano puede causar lesiones al sistema urinario, nervioso, reproductor e inmunológico y es tóxico acumulativo (Macías et al., 2016).

Tabla 6. *Toxicidad y factores en la asimilación asociados con la ingestión de Plomo (Pb).*

Característica	Plomo
Formas químicas más tóxicas	Las formas químicas de Pb son generalmente tóxicas. En agua se encuentra disuelto en forma de sulfatos e hidróxidos. A pH ácido se encuentra como catión divalente.
Principales rutas de entrada	Ingestión e inhalación.
Absorción después de ingestión (%)	10
Cinética y metabolismo	Se une a proteínas de eritrocitos y de tejidos suaves y huesos (donde se acumula).
Vida media biológica	En sangre 20 a 40 días En tejidos y huesos 10 a 30 años.
Principal vía de excreción	Orina
Principales órganos de acumulación	Huesos, riñones e hígado
Toxicidad aguda	Nefritis, hipertensión, encefalopatía; dolor abdominal, vómito, convulsiones, coma; daño hepático y renal.
Toxicidad crónica	Neuro y nefrotoxicidad, alteraciones psicomotoras, hipertensión, daño cardiovascular y del sistema hematológico; posible cáncer en pulmón, estómago, cerebro y riñón.

Fuente: (Jaishankar et al., 2014); (Tchounwou et al., 2012).

- **Mercurio (Hg).**

Es un metal blanco plateado muy tóxico, el único en estado líquido a 0°C, muy denso y poco compresible; de tensión superficial muy alta y débil reacción calorífica, posee gran capacidad de amalgamar a casi todos los metales. Se evapora a 13°C. No es esencial para ningún proceso biológico, pero se acumula en la mayoría de seres vivos (Ramírez V, 2008)

Su forma más simple es el mercurio elemental o metilmercurio, nocivo para los seres humanos y el medio ambiente. Una vez liberado a partir de los minerales, o depósitos de combustibles fósiles y minerales yacientes en la corteza terrestre, y emitido a la biósfera, el mercurio puede tener una gran movilidad y circular entre la superficie terrestre y la atmósfera. Los suelos superficiales de la tierra, las aguas y los sedimentos de fondo se consideran los principales depósitos biosféricos de mercurio (Ariza Blanco & Sampayo Campo, 2017)

Cuando se libera en el aire, es transportado a grandes distancias, favoreciendo su acumulación incluso en zonas no mineras. Puede provenir de la actividad volcánica, la erosión de las rocas o la actividad humana siendo esta última la principal fuente de las emisiones de mercurio. El mercurio puede acumularse en fuentes hídricas, donde por la acción bacteriana, es transformado en su forma orgánica más tóxica, el metilmercurio, que se puede acumular en el tejido de los peces (Guzman, Idalid Cediél, & Ocampo, 2016).

De todos los contaminantes, los metales pesados han recibido una atención especial debido a que no son biodegradables, son tóxicos en bajas concentraciones y tienden a acumularse en los organismos acuáticos donde se genera un proceso de bioacumulación y bioamagnificación. (Pernía et al., 2018)

La toxicidad del mercurio está directamente relacionada con su estado químico. El metilmercurio es la forma más dañina, con efectos neurotóxicos en adultos y en fetos de madres expuestas. El mercurio metálico no es menos tóxico (Ramírez V, 2008). Tiene efectos sobre el sistema nervioso, visión borrosa, disminución de la audición, alteración el gusto y el olfato, torpeza en las manos,

disartria, alteraciones psiquiátricas y somato sensoriales. (Guzman, Idalid Cediell, & Ocampo, 2016).

Los efectos Cardiovasculares están asociados a un mayor riesgo de tener infarto agudo de miocardio, enfermedad cerebrovascular. Efectos inmunológicos, asociado a un cofactor de enfermedades autoinmunes y empeoramiento de cuadro de enfermedades infecciosas (Vergara, 2016)

Tabla 7. *Toxicidad y factores en la asimilación asociados con la ingestión de Mercurio (Hg).*

Característica	Mercurio
Formas químicas más tóxicas	Metilmercurio
Principales rutas de entrada	Ingestión e inhalación y cutánea.
Absorción después de ingestión (%)	80
Cinética y metabolismo	Se une a proteínas de eritrocitos y de tejidos suaves y huesos (donde se acumula).
Vida media biológica	40 días.
Principal vía de excreción	Orina, pelo y uñas.
Principales órganos de acumulación	En los tejidos.
Toxicidad aguda	Sistema nervioso, renal, cardiovascular, cutáneo y respiratorio
Toxicidad crónica	Dermatitis, rinitis, conjuntivitis, efectos teratógenos y cancerígenos

Fuente: (Jaishankar et al., 2014); (Tchounwou et al., 2012).

1.2.6 Análisis para determinación de metales pesados.

Para determinación de metales pesados en el medio ambiente, se desarrolla métodos altamente sensibles y selectivos, entre los que se encuentra, Difracción de rayos X y Fluorescencia de rayos X.

Sin embargo, el análisis implica tiempos largos, instrumentos sofisticados y costosos. (Macías et al., 2016)

1.2.7 Tratamiento preliminar de muestras

El objetivo del tratamiento preliminar es proporcionar muestras adecuadas, las cuales sean tanto representativas de lo que se quiere caracterizar como compatible con el análisis que se va a llevar a cabo. Las diferentes operaciones de pretratamiento van a depender, de cada problemática concreta, pero en general suelen emplearse las siguientes: secado, tamizado para eliminar sólidos voluminosos y homogeneización por mezcla y/o trituración hasta un determinado tamaño de grano. (Ministerio de desarrollo social y medio ambiente)

Para el caso de muestras en las que queramos medir la concentración de trazas de metales totales incluyen todos los metales combinados orgánicos e inorgánicamente, tanto disuelto como en partículas: Para analizar los metales disueltos, fíltrese la muestra acidúlese el filtrado y analice directamente. Para determinar los metales suspendidos, fíltrese la muestra, realice una digestión del filtro y del material sobre el filtro (Clesceri, Greenberg, & Rhodes, 1995). Los análisis realizados en esta investigación es el análisis granulométrico, difracción de rayos X y fluorescencia de rayos X, así mismo, se trató las muestras aplicando el control de calidad señalado en las normas legales vigentes.

1.2.7.1 Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo. (España, 1995).

El análisis granulométrico se usa para determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelo. Para lograr esto se obtiene la cantidad de material que pasa a través del tamiz con una malla que es retenido en un siguiente tamiz cuya malla tiene diámetros ligeramente menores a la anterior y se relaciona esta cantidad retenida con el total de la muestra pasada a través de los tamices. (HIDRONAV, 2013)

Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis con tamices se hace, bien con la muestra entera, o bien con parte de ella después de separar los finos por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca en el horno una pequeña porción húmeda del material y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola entre los dedos. Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de aquellos, entonces el análisis con tamices se puede efectuar sin previo lavado. (ASTM D-422, AASHTO T88, 2006).

1.2.8 El Control de calidad

Respecto al control de calidad el MINAN nos dice: “Recuerde siempre el propósito general de las medidas: utilice replicado para establecer precisión y recuperación de adiciones conocidas para determinar sesgos, utilizar patrones, gráficos de control, blancos, calibraciones y otras medidas necesarias. Disponga de documentación adecuada. Los niveles de metales pueden ser de un orden de magnitud inferior a las potenciales fuentes de contaminación. Para cada marcha analítica se ha de tener como mínimo una curva de calibración formada por un blanco y dos o más patrones, un patrón de referencia externo, un replicado, y una adicción conocida para comprobar la ausencia de interferencias de la matriz. Hacer medidas de replicados submuestras tomadas de un frasco de muestra único, con el objeto de establecer la precisión del método. La precisión y la recuperación de adiciones conocidas deberán estar dentro de los registros conocidos en razón de experimentaciones anteriores. (Clesceri et al., 1995).

Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua en la Categoría 3 “Riego de Vegetales y Bebida de Animales”, Establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Tabla 8. *Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales*

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS				
Conductividad	$\mu S/cm$		2500	500
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH		6,5-8,5	6,5-8,4
Temperatura	°C		$\Delta 3$	$\Delta 3$
INORGÁNICOS				
Arsénico	mg/L		0,1	0,2
Cadmio	mg/L		0,01	0,05
Mercurio	mg/L		0,001	0,01
Plomo	mg/L		0,05	0,05

Fuente: Normas Legales, 2017. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen. Disposiciones Complementarias DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM Normas Legales publicadas en El Peruano 07.06.2017. $\Delta 3$: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada. Los metales resaltados, serán evaluados en la investigación, ya que se consideran un riesgo ambiental.

1.2.9 Base legal

En el Perú, los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua fueron establecidos por el MINAM con Decreto supremo N°004 -2017 y estos se clasifican en cuatro categorías:

- Categoría I, Poblacional y recreacional la cual se subdivide en 1A (aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable) y 1B (aguas superficiales destinadas a la recreación).
- Categoría II, Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras que se subdivide en C1 (extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeros), C2 (extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras), C3 (Actividad marino portuarias, industriales o de saneamiento marino costero) y C4 (extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos y lagunas).
- Categoría III, Riego de vegetales y bebida de animales que se subdivide en D1 (cultivo de vegetales de tallo alto y bajo) y D2 (bebida de animales).
- Categoría IV, para conservación del ambiente acuático que se divide en E1 (lagunas y lagos), E2 (ríos) y E3 (ecosistemas marino costeros). (MINAM, 2017).

1.2.10 Normatividad

La estrategia de implementación de los Estándares de Calidad Ambiental, para el caso de los recursos hídricos (ECA-AGUA), se sustentó en las siguientes normativas (DIGESA, 2010):

- Constitución Política del Perú de 1993.
- Ley Marco para el crecimiento de la Inversión Privada, D. L. N° 757.
- Ley General de Aguas D.L N° 17752.
- Ley General de Salud D.L N° 26842.
- Ley Orgánica de Aprovechamiento sostenible de los Recursos Naturales, Ley N° 26821.
- Ley N° 26839, sobre la Conservación y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad Biológica.

- Ley General de Pesca, D. Ley N° 25977.
- Ley General de Residuos Sólidos N° 27314.
- Ley General del Ambiente N° 28611.

1.2.10.1 Marco Institucional

Con relación a la institucionalidad, se ha dado un importante avance en la creación de organismos que encamina a una gestión multisectorial del agua, que conforman el Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos (SNGRH) que asegure la protección y aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos contribuyendo a la mejora de la calidad de vida de las poblaciones y la salud de los ecosistemas acuáticos (Autoridad Nacional del Agua., 2013)

Las Autoridades que destacan para el desarrollo de la gestión de los recursos hídricos son:

- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI)
- Ministerio de Energía y Minas (MINEM)
- Autoridad Nacional del Agua (ANA)
- Ministerio del Ambiente (MINAM)
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA)
- Ministerio de Producción (PRODUCE)
- Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA)

1.2.11 Control de calidad analítico

Es un sistema de control analítico y estadístico que se aplica a todos los medios que se usan para realizar análisis químicos. Se considera la calidad de los reactivos, calibración de aparatos, comprobación de los métodos analíticos, comprobación de la completitud de las reacciones propuestas, reproducibilidad, nivel de detección y sensibilidad del método, para establecer su precisión y exactitud, instalaciones, diseño del laboratorio y por último calificación del personal. Cumpliendo con la estandarización del laboratorio debe realizar controles rutinarios inter-laboratorios

El control de la contaminación en aguas es similar al que se realiza en los gases. Con la diferencia que es mucho más fácil de manipular líquidos que gases. Para los análisis se toma los métodos de la American Water Works Association (AWWA), y los parámetros del Water Quality Criteria. También se puede tomar las normas técnicas y criterios de calidad de la Organización Mundial de Salud (OMS).

Es adecuado resaltar que las técnicas descritas en el manual de la AWWA deben tomarse completas y no tratar de adaptarlas a la existencia del material o reactivos, porque así pierde su reproducibilidad, y lo que es más grave puede conducir a resultados falsos.

Es también importante tomar la totalidad de parámetros de una sola fuente, sea la OMS o el Water Quality Criteria, con lo que se ha diseñado para trabajar en conjunto.

1.2.12 Impacto ambiental

Es una actividad o acción que produce alteración o cambio, favorable o desfavorable, en el medio o en alguno de los componentes del medio, cuyos efectos se ven evidenciados en la pérdida de biodiversidad, no solo en la reducción sino también en sus frecuencias relativas.

Si la duración o efecto es fugaz dura entre 1 y 3 años. Los impactos generalmente son permanentes, cuyo efecto supone una alteración indefinidamente el tiempo de los factores medio ambientales predominantes en la estructura en función de los sistemas de relaciones ecológicas o ambientales presentes en el lugar. A efectos de estudio se sugiere manifestaciones entre 4 y 10 años.

1.2.13 Tecnología de tratamiento de agua

La adsorción es un proceso utilizado en el tratamiento de agua para remover sustancias, este proceso consiste en la adhesión de una delgada capa de moléculas a la superficie de los líquidos o sólidos que entran en contacto con ella.

-Salas & Rodriguez (2018), en su tesis “Evaluación de la cáscara de naranja (*Citrus cinensis*) como material adsorbente natural de ion” esta investigación estuvo enfocada en

mostrar como una alternativa de adsorbente natural a la cáscara de naranja “*Citrus cinensis*” de las dos variedades de jugo y huando, para la adsorción del ion metálico Cu^{2+} de una solución sintética. Las pruebas sobre el efecto de tamaño de partícula fueron de 297 μm siendo este de mayor eficiencia, el porcentaje remoción de Cu^{2+} . Se llegó a la conclusión que la cáscara de naranja (*Citrus cinensis*)-Jugo posee mayor rendimiento, así que es una buena opción para actuar como adsorbente.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1 Características del área de estudio

2.1.1 Tipo de investigación

El tema de investigación es del tipo Experimental, descriptiva y explicativa.

- Tipo Experimental. El proyecto de investigación es del tipo Experimental, se evaluaron las concentraciones de metales pesados en dos puntos de muestreo establecidos a lo largo del Río Colca para lo cual se aplicaron procedimientos de toma de muestras para ríos y lagos indicado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Estas muestras fueron analizadas en laboratorio y se determinó la presencia y concentración de metales pesados como: As, Cd, Pb y Hg. Estos resultados complementados con datos de revisión bibliográfica especializada sobre monitoreos realizados por el ANA en años pasados, se compararon con los valores establecidos por el D.S. N° 004-2017-MINAM: Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el agua. Asimismo, también se tomaron muestras en el relave minero y en laboratorio se realizó una caracterización, análisis químico y mineralógico del relave.
- Tipo Descriptiva. La investigación pretende determinar la relación que existe entre la presencia de metales pesados, el nivel de contaminación del Río Colca y sus efectos.
- Tipo Explicativa. La investigación es del tipo explicativo

2.1.2 Población y delimitación de zona de estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada en la margen derecha del río Colca en el Departamento de Arequipa, Provincia de Caylloma, Distrito El Madrigal (15°35'14" de latitud sur y 71°50'14" de longitud oeste, 3400 msnm) donde se ha realizado la explotación minera de Hierro y Plata utilizando el sistema de boca mina o socavón y como producto del procesamiento por concentración eliminaron sus relaves a las quebradas adyacentes a la zona, estos desechos procedentes de la minería han traído como consecuencia la destrucción del equilibrio original del suelo, de la biodiversidad y de la comunidad microbiana provocando en los terrenos adyacentes a las minas la degradación del ecosistema.

El Depósito de relaves de la mina "El Madrigal", tiene un perímetro de 644.65 m aproximadamente correspondiente a un área total de 27080.50 metros cuadrados.

El río Colca - Majes y Camaná, en la vertiente del Pacífico es uno de mayor longitud, sus nacientes están en el Cerro Yanasalla, a 4 886 m al NE del departamento de Arequipa, en el límite con el departamento de Puno. En sus inicios sigue una dirección SE-NO, atravesando las Pampas de Acucullo, Lazayacince y Colca, donde toma este nombre (ONERN, 1973). El río Colca, recibe una serie de afluentes, siendo el mayor el río Negrillo, luego recibe las aguas del río Acopunco y a partir de esta confluencia cambia de rumbo y se dirige al SSO, hasta Chivay donde varía nuevamente su dirección y discurre con rumbo E-W, formando un importante valle agrícola entre los 3 651 m (Chivay) y los 2 219 m (confluencia del Colca con el río Huaro Rumi). Concluye el valle agrícola y el Colca formando un largo y profundo cañón, sigue con dirección NO-SE hasta confluir con el río Andamayo, donde una vez más cambia de rumbo y de nombre pues se dirige con dirección N-S, y la denominación de río Majes nombre que se mantiene hasta poco antes de su desembocadura, llegando al mar como río Camaná, al norte de la ciudad de Camaná. Su longitud es de 397Km, con una pendiente promedio de 1.2%. Tiene una forma ensanchada en su sector superior y alargada en el inferior, como casi todos los ríos de la costa, es de fondo profundo y quebrado y de fuertes pendientes.

Se encuentran en su parte superior varias lagunas como las de Arcata, Huisca Huisca, Mamacocha, Chilacocha, Samaccota y Mucurca.

Sus afluentes principales por la margen derecha, son los ríos Blanquillo, Negrillo, Condoroma, Moqueruyo, Molloco, Chalhuanca, Ayo, 6 Mamacocha y Capisa. Por la margen izquierda los ríos Antasalla, Callalli, Hualca Hualca y Huambo. El escurrimiento superficial del río se debe principalmente a la precipitación estacional que ocurre en su cuenca alta (Zavala y Fidel, 1994).

Gómez, J. (2017). Evaluación geodinámica y modelamiento geotécnico del deslizamiento de madrigal. El río Colca pertenece a la subcuenca del río del mismo nombre, Cuenca del río Majes – Camaná, hoya del Océano Pacífico. El río Colca tiene su nacimiento en las alturas de los cerros Yaretana y Torre, ubicados en la provincia de Caylloma a 4750 msnm., alimentando sus cursos de agua primordialmente con las precipitaciones que caen en las alturas del flanco occidental de la Cordillera de los Andes y con los deshielos de éstas (Figuroa, 2009).

La cuenca media del río Colca está limitada entre las localidades de Tuti y Cabanaconde abarcando un área de drenaje de 1274.84 Km² y una longitud de recorrido de 61 Km. presentando una pendiente promedio de 2.25%, antes de entrar en el valle, en el tramo de Tuti – Chivay la dirección del río Colca es de NE– SW cambiando de dirección a E-W a la altura de Chivay hasta Cabanaconde, (Panitz, 2004). En la parte media del río Colca, las principales fuentes de recarga del río son las aguas que vienen de los nevados de la Cordillera del Chila, los nevados Ampato, Sabancaya y las aguas subterráneas, que son evidenciadas en manantiales ubicados en varias localidades de la zona. El río Colca es captado y regulado en su totalidad, con fines de riego y generación de energía por el proyecto Majes y las aguas captadas son conducidas por medio de un sistema de túneles y canales por la margen izquierda del río Colca.

2.1.3 Muestras ANA

Puntos de control del ANA, para el recojo de muestras los más cercanos a la Mina el Madrigal, primer punto de muestreo “Aguas arriba del ingreso a la bocatoma de TUTI” y como segundo punto de muestreo “A la altura del puente de TAPAY”.

Tabla 9. *Ubicación geográfica de los puntos de control ANA.*

N o	Código	Descripción	Coordenadas UTM		Altitud m.s.n.m	Zona
			Este	Norte		
1	134RColc 2	Aguas arriba del ingreso a la bocatoma de TUTI	227733	8280960	3760	19L
2	134RColc 3	A la Altura del puente de TAPAY	821686	8273758	2495	18L

Fuente: Monitoreo participativo de la calidad de agua superficial.

2.1.4 PUNTO 1: Toma de muestra

- Aguas arriba del ingreso a la bocatoma de Tuti



Figura 3. *Bocatoma de Tuti, foto satelital.* Fuente: ANA Autoridad Nacional del Agua



Figura 4. *Bocatoma de Tuti, foto panorámica* Fuente: ANA Autoridad Nacional del Agua

Identificación y ubicación de puntos de control de Monitoreo Ambiental del ANA, río Colca.

El río Colca está ubicado en las coordenadas $15^{\circ}37'57''\text{S}$ y $71^{\circ}46'45''\text{W}$ a 3.157m. Considero como fuente de información histórica dos (02) puntos de control: Punto1 (134RColc2) “Aguas arriba del ingreso a la bocatoma de Tuti” y Punto2 (134RColc3) “A la Altura del puente de Tapay”, señalados en la Figura 8.

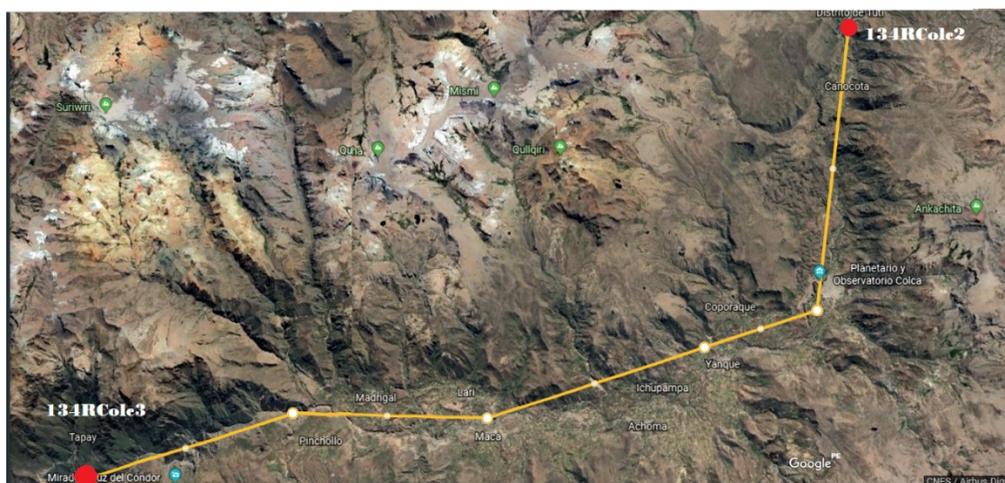


Figura 5. *Puntos de control*. Fuente: Imagen Satelital de Google earth (23.07.2019)

2.1.5 PUNTO 2: Toma de muestra

- A la Altura del puente de TAPAY (ANA)

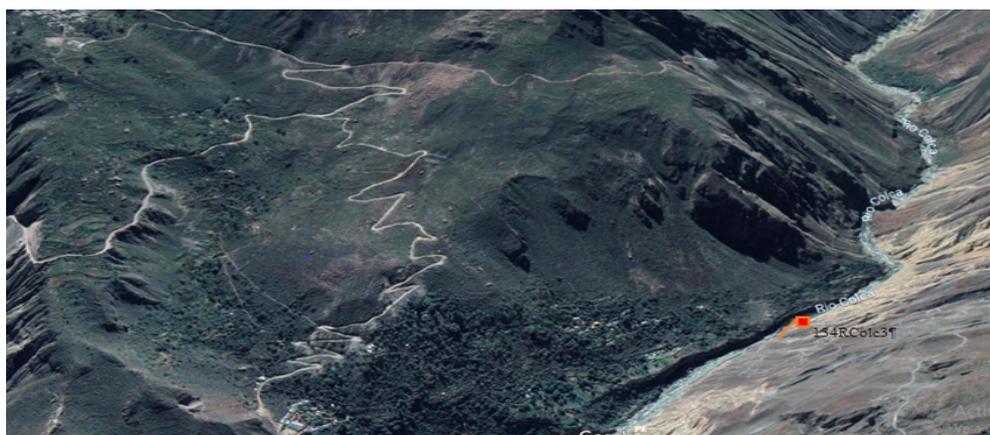


Figura 6. *Puente de TAPAY*, foto satelital Fuente: ANA Autoridad Nacional del Agua



Figura 7. Puente de TAPAY, foto panorámica.

2.1.5.1 Selección y tamaño de muestra.

La muestra se ha tomado por conveniencia y se desarrollará en la zona de influencia del depósito de relaves de la mina “El madrigal”.

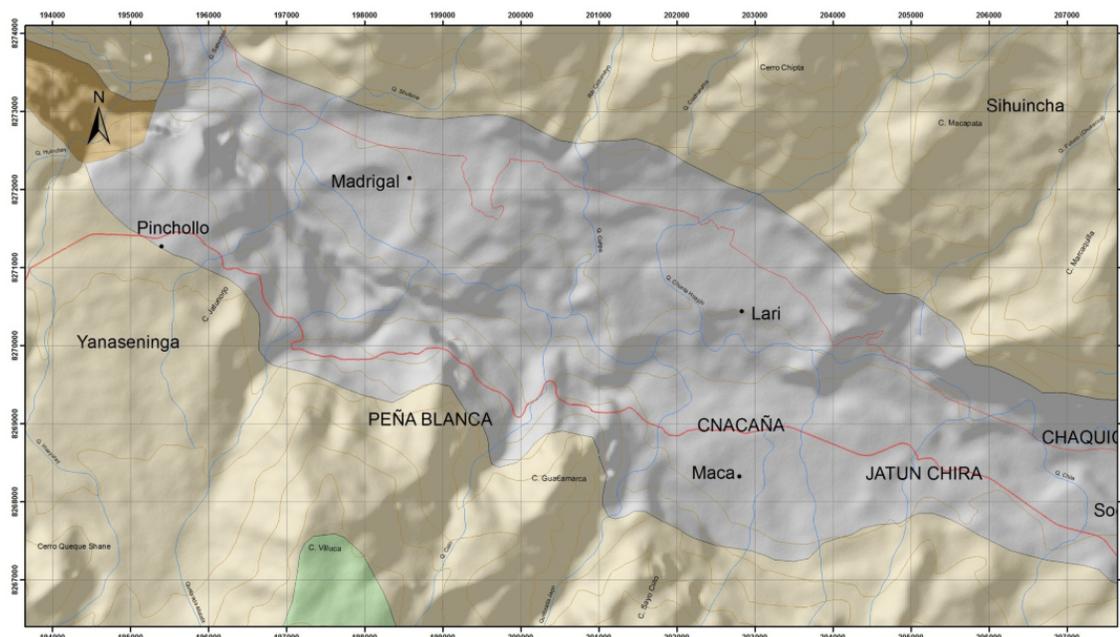


Figura 8. Geomorfología Zona de Madrigal. Fuente: Gómez, J. (2017). Evaluación geodinámica y modelamiento geotécnico del deslizamiento de madrigal

2.2 Técnicas de Recolección de Datos

2.2.1 Técnicas de Recolección de Datos y Métodos

Se buscó la información referente a la zona de estudio y al campo de investigación

2.2.2 Recolección de datos en campo

Para identificar los efectos por contaminación de los relaves, se identifican y clasifican fuentes de información de instituciones ligadas al recurso hídrico.

Para la determinación de la situacional de la calidad de agua, se reúne información de monitoreos realizados por el ANA, para la interpretación y evaluación de sus resultados.

Se toman muestras del lugar de estudio y se analizan para la interpretación y evaluación de los resultados obtenidos.

2.2.3 Métodos para la Toma de Muestras

- **Método histórico.** Se considera para asegurar el significado la confiabilidad de hechos pasados en forma general. Este método ayuda a establecer relaciones presentes de los hechos de igual modo comprender las evidencias que respalden el estado presente de los relaves en estado de abandono en la mina el Madrigal y forma que afecta al río Colca.
- **Método deductivo-inductivo.** Es la reconstrucción de los hechos o sucesos del pasado, que se complementa de lo particular a lo general. Sirve para observar, estudiar e identificar las características los efectos de los relaves y los efectos en el sector de estudio, utilizando una serie de instrumentos y herramientas técnicas para alcanzar los objetivos propuestos en la investigación.
- **Método analítico.** Este método consiste en la desmembración de todos sus elementos para observar las características de los suelos y aguas superficiales del río Colca, y comparada con los índices de calidad del agua.

2.2.4 Técnicas para la toma de Muestras

Para la recolección de datos nos serviremos de la observación, georreferencia, informes de monitoreos de la calidad de agua de la cuenca Camaná – Majes – Colca y análisis de parámetros de interés.

2.2.5 Protocolo de toma de muestras.

Antes de iniciar el muestreo, todo el personal que manipula los equipos de toma de muestra, los recipientes y frascos o los reactivos de preservación, deben colocarse guantes descartables, mascarilla y gafas protectoras. La Autoridad Nacional del Agua en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (Agua, 2016).

2.2.6 Toma de muestras en ríos o quebradas con bajo caudal

Es aplicable para ríos de bajo caudal o de poca profundidad, donde exista fácil acceso de ingreso al río. Se deberá evitar la contaminación de las muestras por disturbar los sedimentos del fondo o de la orilla del cauce.

A continuación, describimos el procedimiento:

- (a.1). El personal responsable deberá colocarse las botas de jebe y los guantes descartables antes del inicio de la toma de muestras de agua.
- (a.2). Ubicarse en un punto medio de la corriente principal, donde la corriente sea homogénea, evitando aguas estancadas y poco profundas.
- (a.3). Medir los parámetros de campo directamente en el río o tomando un volumen adecuado de agua en un balde limpio y evitar hacer remoción del sedimento.
- (a.4). Coger un recipiente, retirar la tapa y contratapa sin tocar la superficie interna del frasco.
- (a.5). Antes de coleccionar las muestras, los frascos se deben enjuagar como mínimo dos veces, a excepción de los frascos para el análisis de los

parámetros orgánicos o microbiológicos. (a.6). Coger la botella por debajo del cuello, sumergirla en dirección opuesta al flujo de agua.

- (a.7). Para los parámetros orgánicos (aceites y grasas, hidrocarburos de petróleo, etc.) la toma de muestras se realiza en la superficie del río.
- (a.8). Considerar un espacio de alrededor de 1 % aproximadamente de la capacidad del envase para aquellos parámetros que requieran preservación.
- (a.9). Para muestras microbiológicas dejar un espacio del 10 % del volumen del recipiente para asegurar un adecuado suministro de oxígeno para las bacterias.
- (a.10). Para el parámetro demanda bioquímica de oxígeno (DB05), el frasco debe llenarse lentamente en su totalidad para evitar la formación de burbujas.
- (a.11). Evitar coleccionar suciedad, películas de la superficie o sedimentos del fondo.

2.2.7 Toma de muestras en ríos o lagos desde la orilla

Este procedimiento se realiza cuando la corriente del río es caudaloso o profundo y en el muestreo de lagos desde la orilla, utilizando un brazo muestreador.

A continuación, describimos el procedimiento:

- (b.1). El personal responsable deberá colocarse las botas de jebe y los guantes descartables antes del inicio de la toma de muestras de agua.
- (b.2). Ubicarse en un punto donde exista fácil acceso, donde la corriente sea homogénea y poco turbulenta.
- (b.3). Antes del inicio de la toma de muestras enjuagar el balde con agua del punto de muestreo como mínimo dos veces, luego tomar una muestra de agua para medir los parámetros de campo de acuerdo al ítem a.3 y registrar las mediciones en la Ficha de registro de datos de campo (anexo 1).
- (b.4). Para la toma de muestras colocar un frasco en el brazo muestreador, asegurarlo y retirar la tapa y contratapa sin tocar la superficie interna del frasco.

- (b.5). Extender el brazo muestreador y sumergir la botella en sentido contrario a la corriente, hasta que esté parcialmente llena y proceder a su enjuague (mínimo dos veces), a excepción de los frascos para el análisis de los parámetros orgánicos o microbiológicos.
- (b.6). Sumergir el recipiente a una profundidad aproximada de 20 a 30 cm desde la superficie en dirección opuesta al flujo del río.
- (b.7). Repetir los procedimientos (a.7) hasta (al 2) del ítem anterior. (R.J. N° 010-2016-ANA, 2016, pp. 25-26)

2.2.8 Análisis para determinación de metales pesados.

Para determinación de metales pesados en el medio ambiente, se desarrolla métodos altamente sensibles y selectivos, entre los que se encuentra, Difracción de rayos X y Fluorescencia de rayos X.

Sin embargo, el análisis implica tiempos largos, instrumentos sofisticados y costosos. (Macías et al., 2016)

2.2.9 Tratamiento preliminar de muestras

El objetivo del tratamiento preliminar es proporcionar muestras adecuadas, las cuales sean tanto representativas de lo que se quiere caracterizar como compatible con el análisis que se va a llevar a cabo. Las diferentes operaciones de pretratamiento van a depender, de cada problemática concreta, pero en general suelen emplearse las siguientes: secado, tamizado para eliminar sólidos voluminosos y homogeneización por mezcla y/o trituración hasta un determinado tamaño de grano. (Ministerio de desarrollo social y medio ambiente)

Para el caso de muestras en las que queramos medir la concentración de trazas de metales totales incluyen todos los metales combinados orgánicos e inorgánicamente, tanto disuelto como en partículas: Para analizar los metales disueltos, fíltrese la muestra acidúlese el filtrado y analice directamente. Para determinar los metales suspendidos, fíltrese la muestra, realice una digestión del filtro y del material

sobre el filtro (Clesceri, Greenberg, & Rhodes, 1995). Los análisis realizados en esta investigación son los que mencionamos a continuación:

2.2.10 Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo. (España, 1995).

El análisis granulométrico se usa para determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelo. Para lograr esto se obtiene la cantidad de material que pasa a través del tamiz con una malla que es retenido en un siguiente tamiz cuya malla tiene diámetros ligeramente menores a la anterior y se relaciona esta cantidad retenida con el total de la muestra pasada a través de los tamices. (HIDRONAV, 2013)

Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis con tamices se hace, bien con la muestra entera, o bien con parte de ella después de separar los finos por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca en el horno una pequeña porción húmeda del material y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola entre los dedos. Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de aquellos, entonces el análisis con tamices se puede efectuar sin previo lavado. (ASTM D-422, AASHTO T88, 2006).

2.2.11 Difracción de rayos X.

El análisis por Difracción de Rayos X (DRX) es una de las herramientas analíticas mayormente usada para identificar los compuestos presentes en cualquier sólido cristalino. Ya sea que se requiera analizar muestras geológicas, cerámicas, fundentes, polímeros, metales, etc. Proporciona información muy valiosa para poder evaluar y conocer sus materiales (DifracLab, 2019).

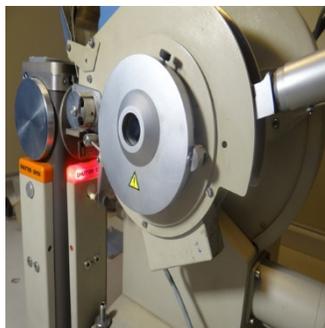


Figura 9. Equipo de difracción de rayos x. Fuente: (DifracLab, 2019)

La Difracción de Rayos X está basada en las interferencias ópticas que se producen cuando una radiación monocromática atraviesa una rendija de espesor comparable a la longitud de onda de la radiación. Los rayos X tienen longitudes de onda de Angstroms, del mismo orden que las distancias interatómicas de los componentes de las redes cristalinas. Al ser irradiados sobre la muestra a analizar, los rayos X se difractan con ángulos que dependen de las distancias interatómicas. El método analítico del Polvo al Azar o de Debye-Scherrer consiste en irradiar con rayos X sobre una muestra formada por multitud de cristales colocados al azar en todas las direcciones posibles. (Vazquez, 1964).

Las muestras analizadas mediante difracción de rayos X identifican sus principales componentes mineralógicos. Para ello, todas las muestras deben de tener un tamaño de partícula, la radiación y el intervalo angular para el adecuado análisis. (Díaz et al., 2006)

2.2.12 Fluorescencia de Rayos X

La técnica de Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X (FRX) es un método rápido y preciso para el análisis químico de ELEMENTOS. Desde el flúor hasta el uranio, y en concentraciones que pueden ser desde una cuantas PPM a 100%, es posible analizar una gran diversidad de materiales sólidos y líquidos con gran exactitud. El análisis es rápido no destructivo y bastante confiable y puede hacerse en muestras tan pequeñas como de unos cuantos miligramos o de forma irregular de 2 a 3 mm (DifracLab, 2019).



Figura 10. Equipo de fluorescencia de rayos x. Fuente: (DifracLab, 2019)

La fluorescencia de rayos-X es una técnica de análisis que puede clasificarse dentro del campo de la espectroscopia de emisión. Esta técnica, relativamente reciente, es un poderoso instrumento de análisis multielemental simultáneo; es utilizada ampliamente en numerosos campos en los cuales se requiere identificación y cuantificación de elementos químicos. Algunos de sus grandes ventajas son su precisión y exactitud. (Contreras, 2004).

Se basa en la irradiación de una muestra por un haz de rayos X, de muy baja intensidad, y por la detección de los rayos X secundarios emitidos por la muestra. La técnica de FRX es necesaria para evaluar la presencia de elementos químicos de interés como es el Pb, Zn, Cu, etc. (Chui B, Miramira T., & Jacay H., 2009)

La reflexión total de rayos X es una modificación de fluorescencia de rayos X. En el campo de la contaminación ambiental, específicamente en el análisis de aguas, han sido aprovechadas las ventajas que ofrece esta técnica. Trazas de V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Pb, y U. (Mendoza de Cid, 1993).

El muestreo y preparación de la muestra tiene los siguientes procedimientos:

- a. Proceso de extracción de la muestra
- b. Caracterización de la muestra
- c. Preparación de la muestra para el análisis por técnica de fluorescencia de rayos X.

La fluorescencia de rayos X, consisten hacer incidir el haz de rayos X sobre la superficie pulida de un reflector de cuarzo en el centro del cual se ha colocado la muestra. El ángulo de incidencia del rayo debe ser sólo de unos pocos minutos de arco para lograr una reflexión total de rayo y que no penetre al porta muestras de cuarzo. De esta manera se elimina casi totalmente la radiación, con lo cual se consigue una drástica reducción del fondo del espectro, y la radiación fluorescente que emite la muestra duplica su intensidad. La reflexión total de un haz de radiaciones ocurre cuando incidente es menor que el ángulo crítico. El ángulo crítico es el que forma el rayo incidente con la superficie sobre la cual incide. (Mendoza de Cid, 1993).

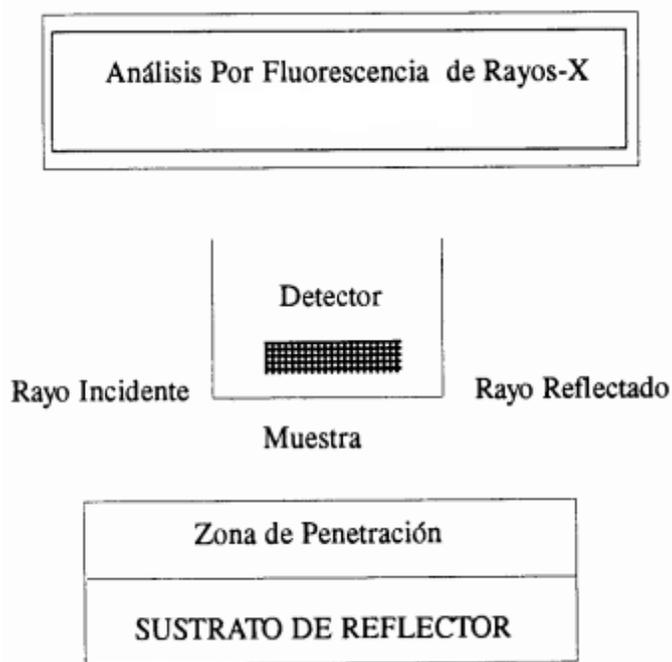


Figura 11. Análisis por fluorescencia de rayos X. Fuente: (Mendoza de Cid, 1993). Nota: El ángulo crítico para la reflexión total depende del material que está constituido el portamuestra y de la longitud de onda del rayo incidente.

2.2.13 Espectrometría de Masas de Plasma (ICP-MS)

La espectrometría de masas es una técnica de muy alta precisión usada para determinar gran parte de todos los elementos existentes en la tabla periódica. El objetivo es separar la muestra en iones y luego detectarlas. Su aplicación es amplia ya que puede ser utilizado para el área medioambiental, la medicina, electrónica y tecnología en alimentos.

Fundamentos básicos del ICP-MS

La introducción de la muestra se lleva a cabo por una bomba peristáltica con flujos mínimos estables 0.3 hasta 1.2 mL min⁻¹. El ICP-MS utiliza plasma de Argón (Ar) acoplado inductivamente como fuente de excitación para la ionización de los elementos contenidos en la muestra y un espectrómetro de masas (cuadrupolo o sector magnético) como analizador, para separar y conducir selectivamente los iones (elementos ionizados por el plasma previamente) de una sola masa o varias masas de un mismo elemento o de elementos diferentes, aplicándole una carga (m/z). Una computadora controla todos los componentes del hardware, incluidos los periféricos involucrados en la introducción automatizada de muestras, así como la adquisición, almacenamiento, visualización y procesamiento de datos. La introducción de la muestra se realiza mediante una bomba peristáltica, un nebulizador y una cámara de pulverización. También puede ser a través de partículas sólidas (aerosol), generadas por un sistema de ablación láser. (Lugo & Hernandez, 2020).

La región de interfaz, es una zona de vacío que se encuentra entre dos discos cónicos, generalmente hechos de Ni o Pt. La interfaz de vacío también sirve para

eliminar la mayoría de los átomos de Ar en este punto. La óptica de lentes iónicas y celda de colisión/reacción del ICP-MS permite que los iones salgan de la región de interfaz. El total de iones pasan a la óptica de lentes iónicas, que consisten en una o más lentes cargadas positivamente (típicamente de acero inoxidable) y unido a voltajes diferenciales aplicados a los componentes de la lente logran dos propósitos. El primero; es la discriminación de masa mínima -separación de iones cargados positivamente de especies neutrales y fotones no deseados y la segunda es el enfoque y colimación (estrechamiento) del haz de iones. La corriente de iones cargada positivamente resultante, pasa a través de la celda de reacción de colisión, que puede usarse para eliminar o atenuar las interferencias poliatómicas en el analizador de masas cuadrupolo. La acción de una o más bombas turbomoleculares, logra nuevas reducciones de presión de $\sim 10^{-3}$ hasta 10^{-4} torr para la óptica de lente iónica y $\sim 10^{-5}$ hasta 10^{-6} torr para la celda de colisión y reacción, así como del analizador de masa cuadrupolo. La celda de colisión y reacción es una tecnología usada desde hace 3 décadas por los aceleradores de partículas. Su funcionamiento es la introducción de un gas (He o O_2) que impacta directamente en el flujo de iones. El analizador de masas cuadrupolo filtra los iones no deseados, permitiendo así, que solo se transmitan al detector los iones deseados de una sola relación m/z . El detector, es generalmente un multiplicador de electrones, el cual recibe y amplifica una señal de iones que es proporcional a la concentración. Para ello se determina mediante la calibración externa o adición estándar, además del uso, de uno o más materiales de referencia (Lugo & Hernandez, 2020).

2.2.14 Instrumentación.

Los instrumentos a utilizar son información bibliográfica primaria y secundaria, registros, normas técnicas, formatos de muestreos e informes de ensayos. Asimismo, cámaras de fotografía, sistema de posicionamiento global (GPS) y computadoras.

2.2.15 Desarrollo de la Metodología

Para identificar los efectos por contaminación de los relaves se hará uso de fuentes de información primaria y secundaria para identificar instituciones ligadas al recurso hídrico, y datos de monitoreos de calidad del agua realizados en los años del 2012, 2013, 2014 y mediados del 2014.

Para la determinación del estado situacional de la calidad de agua se hará un comparativo de la información recopilada de monitoreos realizados de años pasados en los puntos de control del tramo en estudio, estos estarán designados con nombres, la recolección de estos datos se dará para identificar como va evolucionando en el transcurso de los años como afecta los relaves en estado de abandono con la calidad del agua del río Colca.

La información recolectada del muestreo mostrará la situación actual de la calidad del agua, se desarrollará la interpretación, gráfica y evaluación de los resultados.

Tabla 10. *Caracterización de la metodología y uso de equipos para realizar mediciones de parámetros de campo.*

Parámetros Muestreados	Descripción del Levantamiento de la muestra o Medición de Parámetros	Equipos y/o insumos utilizados
01 pH	Las mediciones del pH, temperatura y conductividad se efectuaron en el cauce principal del cuerpo de agua y en una jarra plástica disponiendo los electrodos en una cantidad de 1000 ml de muestra en lugares de condiciones inseguras.	Se mide con el uso de dos equipos.
02 Temperatura		
03 Conductividad Eléctrica		Multiparámetros previamente calibrados.
04 Análisis Granulométrico	La muestra se recogió en potes de plástico de 500 ml.	-
05 Metales totales (*)	Las muestras se recogieron en potes de plástico de 500 ml, con previo doble enjuague.	Se preservó con ácido nítrico y se refrigeró con ice pack para su traslado

(*) El ensayo de Metales Disueltos por ICP-MS analiza 35 elementos: Aluminio (Al), Antimonio (Sb), Arsénico (As), Bario (Ba), Berilio (Be), Bismuto (Bi), Boro (B), Cadmio (Cd), Calcio (Ca), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Estaño (Sn), Estroncio (Sr), Fósforo (P), Hierro (Fe), Litio (L), Magnesio (Mg), Manganeso (Mn), Mercurio (Hg), Molibdeno (Mo), Níquel (Ni), Plata (Ag), Plomo (Pb), Potasio (K), Selenio (Se), Silicio (Si), Sodio (Na), Talio (Tl), Telurio (Te), Titanio (Ti), Uranio (U), Vanadio (V), Wolframio (W), Zinc (Zn)

Fuente: Elaboración propia

2.2.16 Análisis e interpretación de la información

Todos los resultados serán comparados con los parámetros de calidad de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aguas Categoría 3, para el riego de vegetales y bebidas de Animales.

Se hará uso de la Norma Oficial para Calidad del agua, R.M 95-SA-DIGESA-SA Y D.L. 556, Artículo 81° de la ley General de Aguas.

Para la determinación del índice de calidad de agua se hará uso de los límites de Calidad de agua Vigentes en el Perú de Acuerdo a la Ley General Del agua.

Considerando el uso que tiene las aguas, de acuerdo a la normatividad de la legislación peruana se hallan comprendidos según su criterio. Los cuerpos de agua se clasificarán respecto a sus usos de la siguiente manera:

- Aguas de abastecimiento doméstico con simple desinfección.
- Aguas de abastecimiento doméstico con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, filtración y cloración aprobados por el Ministerio de Salud.
- Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales.
- Agua de zonas recreativas de contacto primario (baños y similares).
- Aguas de zona de pesca de mariscos bivalvos.
- Aguas de zona de Preservación de Fauna Acuática y Pesca Recreativa o Comercial.

2.2.17 Análisis Contextual

Para regular la calidad del agua nace dentro del marco de ordenamiento de la gestión ambiental del país, uno de los aspectos principales es el establecimiento de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) acorde a las exigencias y orientaciones ambientales actuales, la que se sustenta en el Reglamento Nacional para la Aprobación de Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles. Su uso se debe ejercerse de manera eficiente, evitando la afectación de su calidad y de las condiciones naturales de su entorno, respetándose los usos primarios y derechos de uso del agua otorgados, según el artículo 54° según la Ley de Recursos Hídricos N° 2933811. (Guerrero Padilla, 2015)

2.2.18 Para la formulación de las propuestas de solución.

La carga que derivan los relaves al agua del Río Colca, incrementa la presencia de metales pesados lo que va genera efectos sobre las poblaciones que tienen relación directa con el agua del río Colca, así como su agricultura; como parte del estudio se han analizado entre las posibles soluciones: el tratamiento de los relaves, evitar la que los relaves lleguen al río Colca y el tratamiento del agua del río Colca, a continuación presentamos un esquema donde graficamos el problema que se presenta en la calidad del agua del Río Colca por la carga de los relaves abandonados generados por la actividad minera en la zona.

Esquema de Análisis del Problema

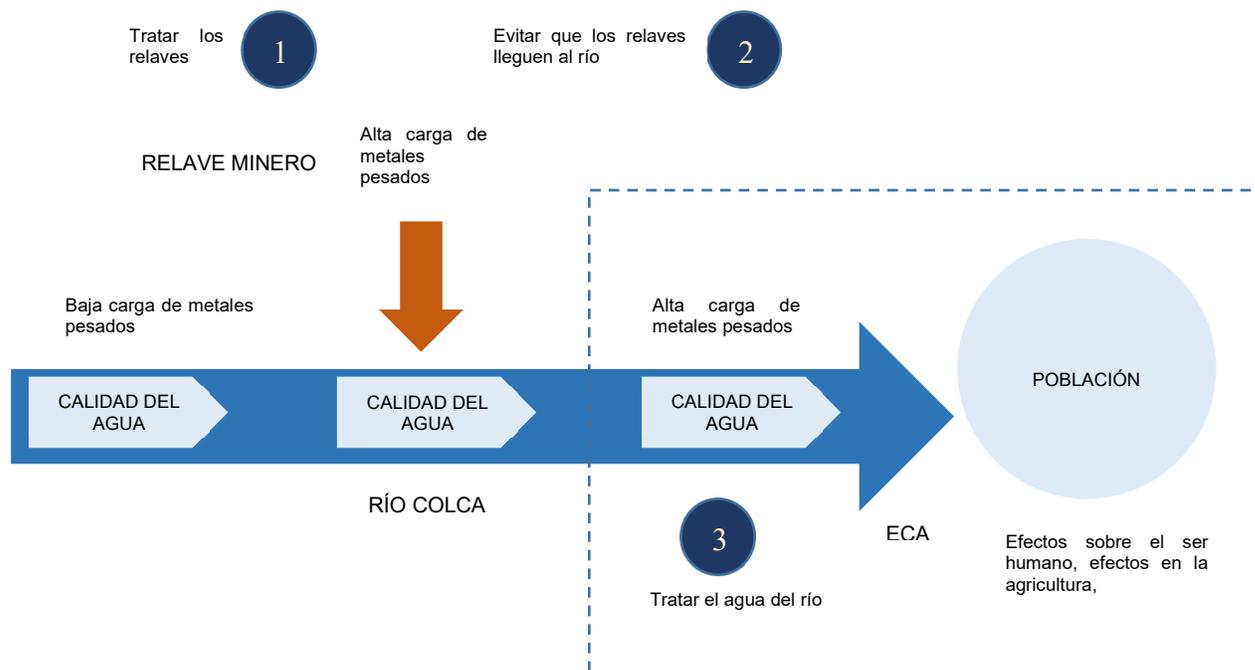


Figura 12. Esquema de Análisis del Problema y Propuesta de Solución Fuente: Elaboración Propia

En el esquema graficamos también las alternativas de solución que serían 1) Tratar los relaves mineros in situ 2) Evitar que los relaves mineros tengan contacto con las aguas del río Colca y 3) Tratar las aguas del río Colca, para reducir la contaminación después que esta ya sucedió.

CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Criterio de evaluación

3.1.1 Análisis e interpretación de la información

Como criterio de evaluación de los resultados de la calidad del agua Superficial del río Colca, se considera como base la aplicación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua en la Categoría 3 “Riego de Vegetales y Bebida de Animales”, Establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Véase la tabla 11.

A continuación, se compara las muestras tomadas del ANA en los años 2012, 2013, 2014 y a mediados del 2014 para determinar la presencia de metales en el río Colca.

Tabla 11. *Comparativo de los resultados de los parámetros analizados de la toma de muestras de los monitores de agua superficial del río Colca del ANA.*

		1° Monitoreo 2012 - ANA		2° Monitoreo 2013 – ANA		3° Monitoreo 2014 - ANA		4° Monitoreo 2014 – ANA	
Muestras		134RColc2	134RColc3	134RColc2	134RColc3	134RColc2	134RColc3	134RColc2	134RColc3
Parámetros Analizados	Lugar de análisis	Aguas arriba del ingreso a la bocatoma de Tuti	A la Altura del puente de Tapay	Aguas arriba del ingreso a la bocatoma de Tuti	A la Altura del puente de Tapay	Aguas arriba del ingreso a la bocatoma de Tuti	A la Altura del puente de Tapay	Aguas arriba del ingreso a la bocatoma de Tuti	A la Altura del puente de Tapay
	Fecha y hora de muestreo	23/10/2012 8:50	23/10/2012 12:30	30/10/2013 10:40	31/10/2013 09:15	06/03/2014 9:20		22/08/2014 9:30	22/08/2014 12:50
	Unidad	°C					-		
Temperatura (T)	°C	10,9	21	12	18,5	13	-	8	21,1
pH	-	8,2	7,98	8,51	8,22	8,93	-	8,24	8,05
Plomo (Pb)	mg/L	<0,001	0,0025	0,0012	0,0111	<0,0004	-	0,0017	0,0051
Mercurio (Hg)	mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	<0,0001	<0,0001
Cadmio (Cd)	mg/L	<0,0006	<0,0006	<0,0004	<0,0004	<0,0004	-	<0,0004	<0,0004
Arsénico (As)	mg/L	0,021	0,068	0,024	0,069	0,019	-	0,035	0,106

Fuente: Autoridad Nacional del Agua ANA Monitoreo participativo de la calidad de agua superficial, 2012, 2013, 2014.

Nota:

134RColc2: Aguas arriba del ingreso a la bocatoma de TUTI

134RColc3: A la Altura del puente de TAPAY

3.1.2 Figuras de interpretación

Los resultados serán graficados y delimitados por los valores máximos y mínimos de los estándares de calidad especificados en la tabla 11., estos parámetros fueron tomados de los monitores de Aguas superficiales del río Colca del ANA.

3.1.2.1 PUNTO 1: Toma de muestra

- Aguas arriba del ingreso a la bocatoma de Tuti (ANA)

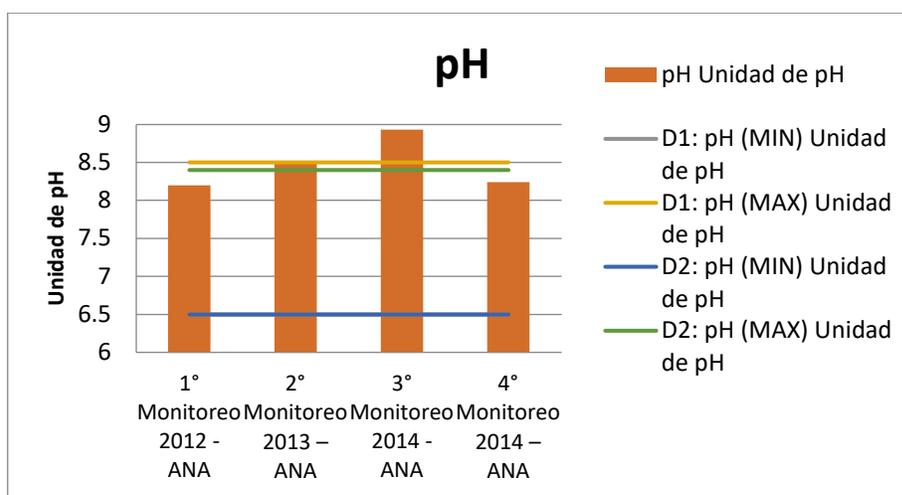


Figura 13. pH. Fuente: (ANA, 2012, 2013, 2014).

En la figura, se observa que, de los cuatro monitores tomados como referencia, el tercer monitoreo del ANA en el 2014, supera el valor del pH de aguas superficiales, la concentración de pH, es de 8,93, la cual supera los valores de los límites superiores de 8,5 para el riego de vegetales en un 0,12% y de 8,4 para la bebida de animales en un 1,31%; de los rangos indicados para el pH en los ECA para Agua Categoría 3. Esta característica se atribuye a la presencia de formaciones calcáreas (ANA, 2014).

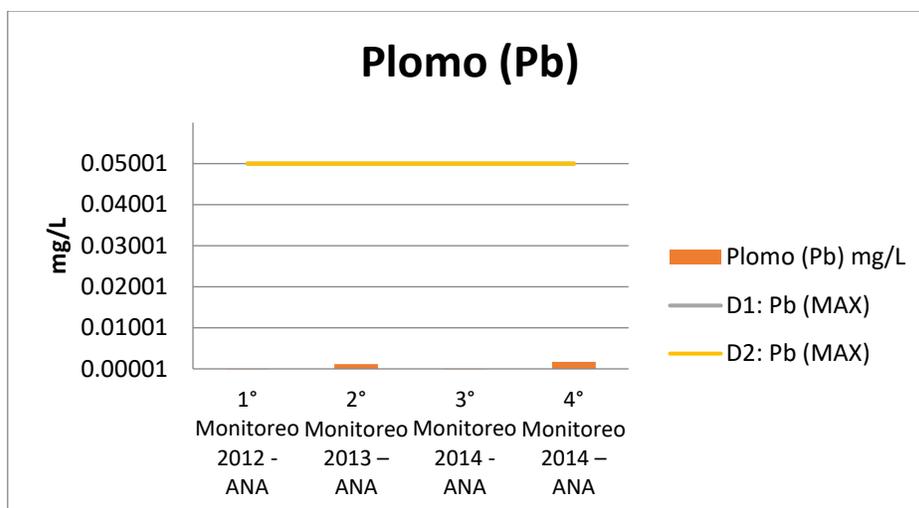


Figura 14. Plomo. Fuente: (ANA, 2012, 2013, 2014).

En la figura, se observa que el plomo no supera el valor de los ECA para Agua Categoría 3.

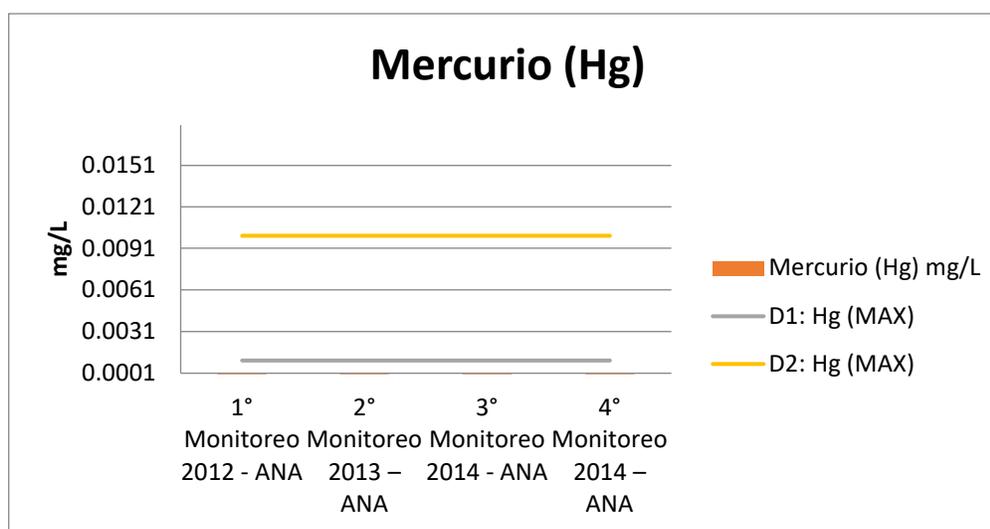


Figura 15. Mercurio. Fuente: (ANA, 2012, 2013, 2014).

En la figura, se observa que el mercurio no supera el valor de los ECA para Agua Categoría 3.

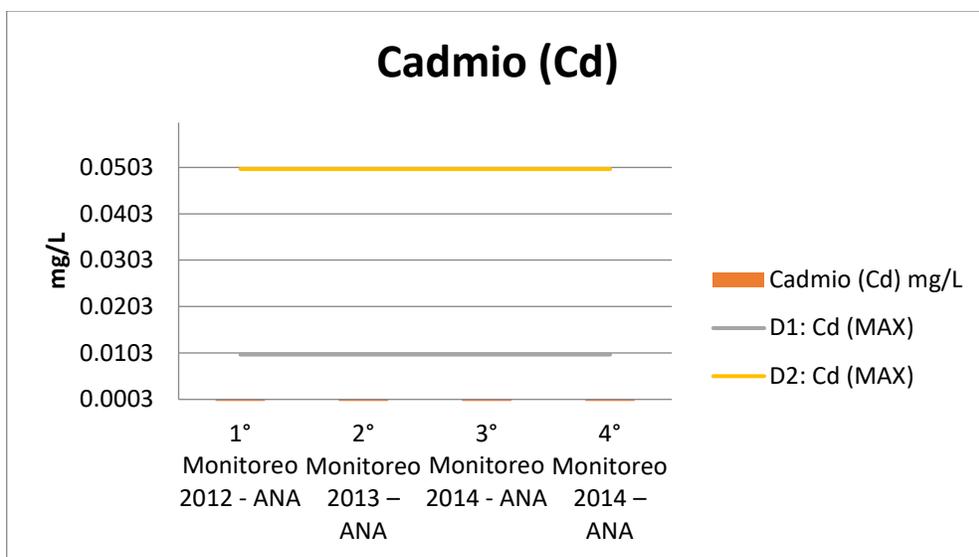


Figura 16. Cadmio. Fuente: (ANA, 2012, 2013, 2014).

En la figura, se observa que el cadmio no supera el valor de los ECA para Agua Categoría 3.

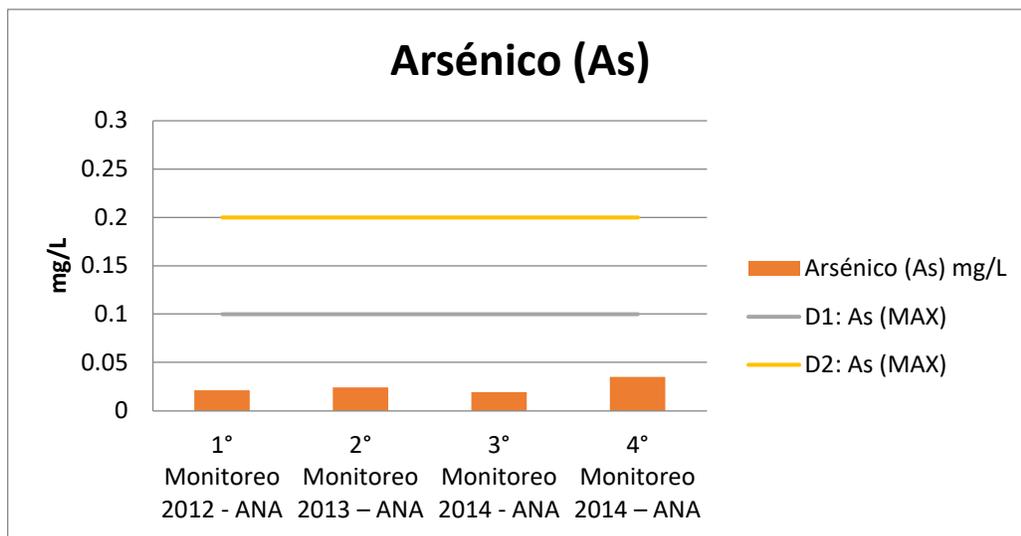


Figura 17. Arsénico. Fuente: (ANA, 2012, 2013, 2014).

En la figura, se observa que el arsénico no supera el valor de los ECA para Agua Categoría 3.

3.1.2.2 PUNTO 2: Toma de muestra

- A la Altura del puente de TAPAY (ANA)

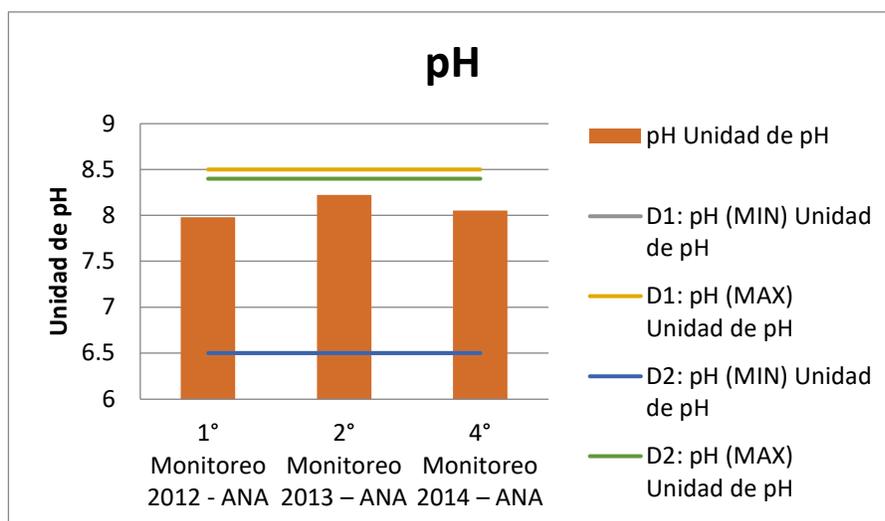


Figura 18a. pH. Fuente: (ANA, 2012, 2013, 2014).

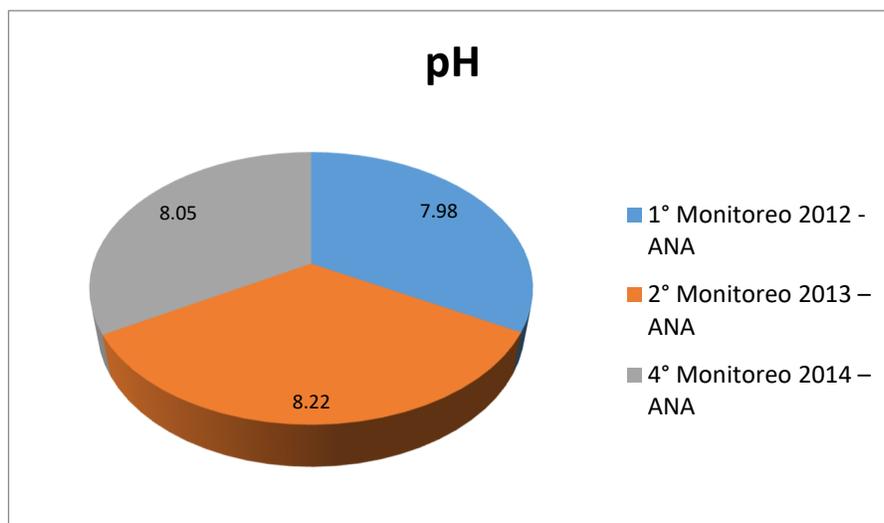


Figura 18b. pH. Fuente: (ANA, 2012, 2013, 2014).

En la figura, se observa que el pH no supera el valor de los ECA para Agua Categoría 3.

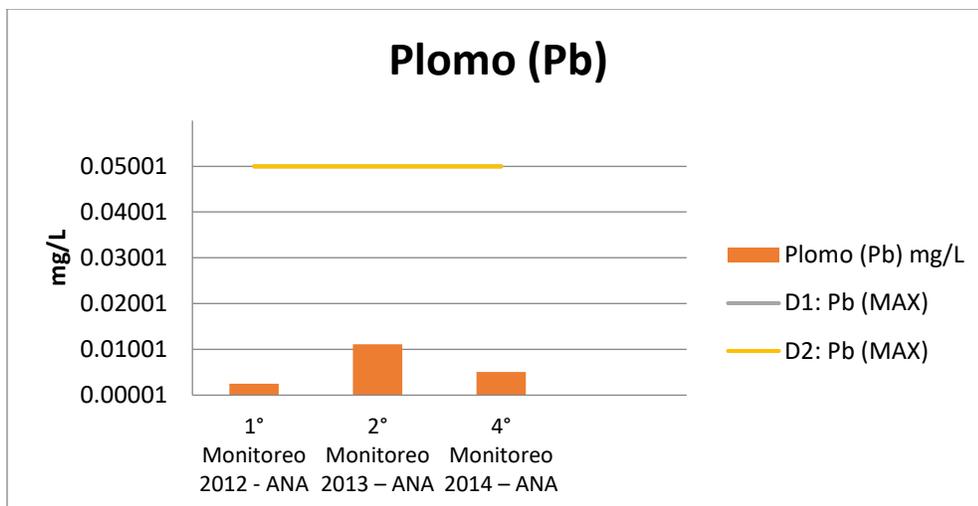


Figura 19a. Plomo. Fuente: (ANA, 2012, 2013, 2014).

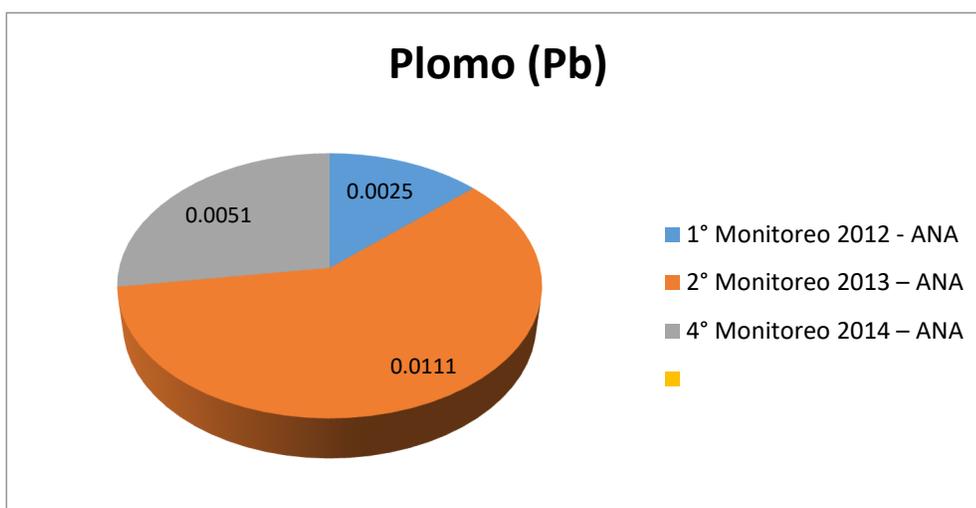


Figura 19b. Plomo. Fuente: (ANA, 2012, 2013, 2014).

En la figura, se observa que el plomo no supera el valor de los ECA para Agua Categoría 3.

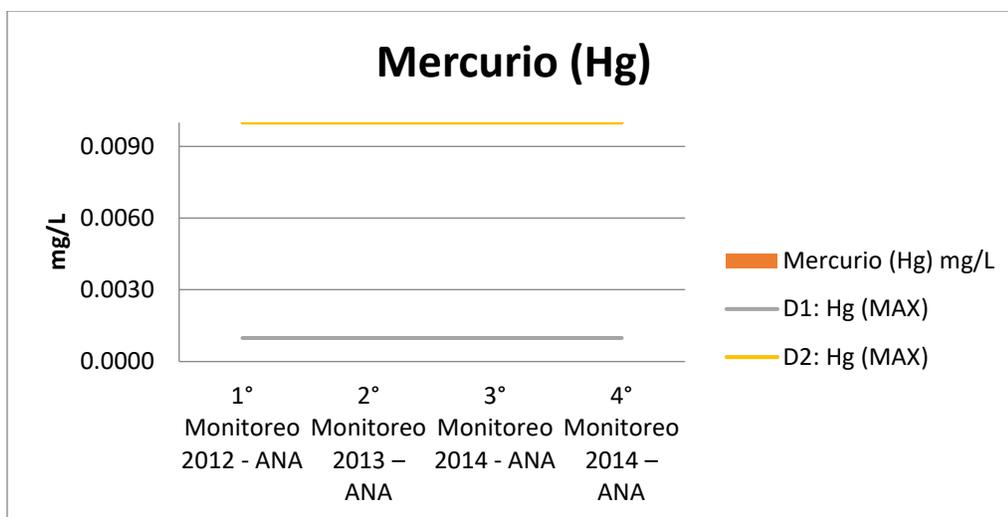


Figura 20. Mercurio. Fuente: (ANA, 2012, 2013, 2014).

En la figura, se observa que el mercurio no supera el valor de los ECA para Agua Categoría 3.

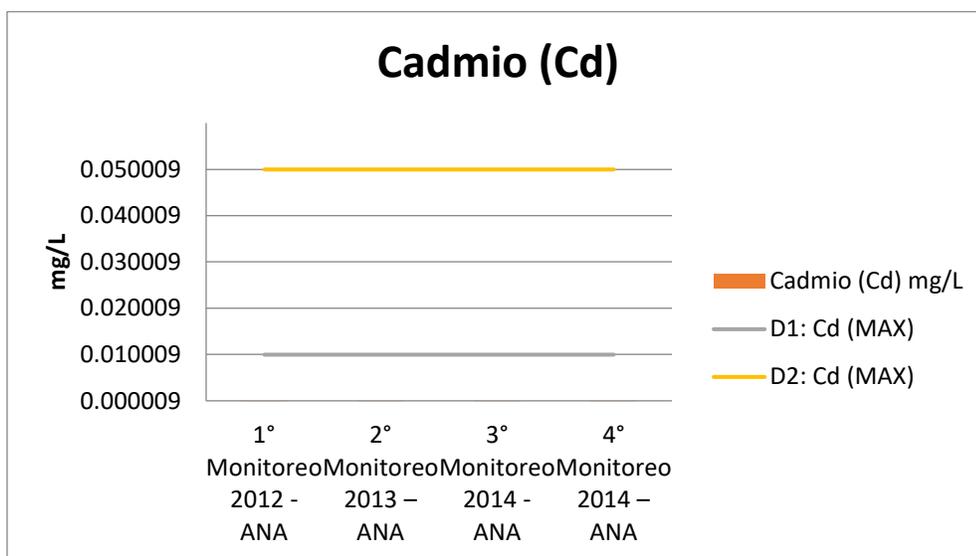


Figura 21. Cadmio. Fuente: (ANA, 2012, 2013, 2014).

En la figura, se observa que el cadmio no supera el valor de los ECA para Agua Categoría 3.

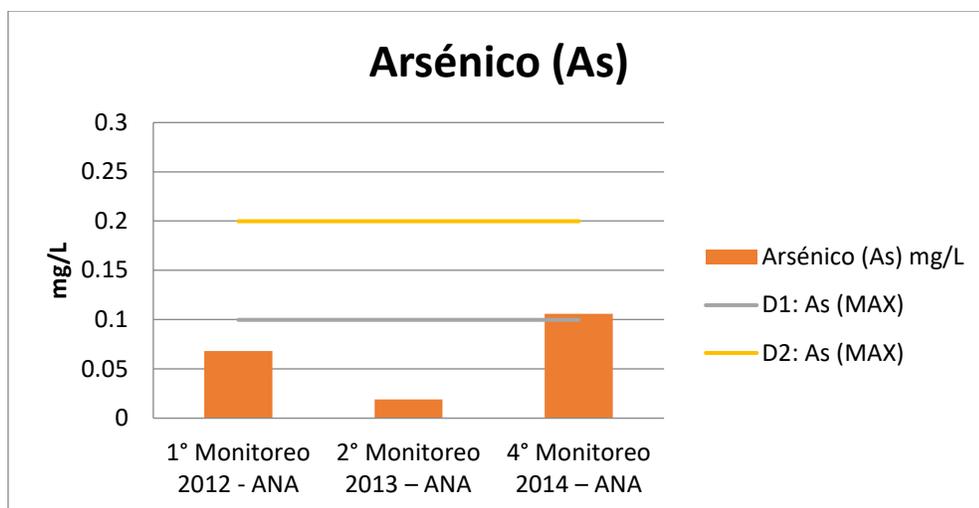


Figura 22a. Arsénico. Fuente: (ANA, 2012, 2013, 2014).

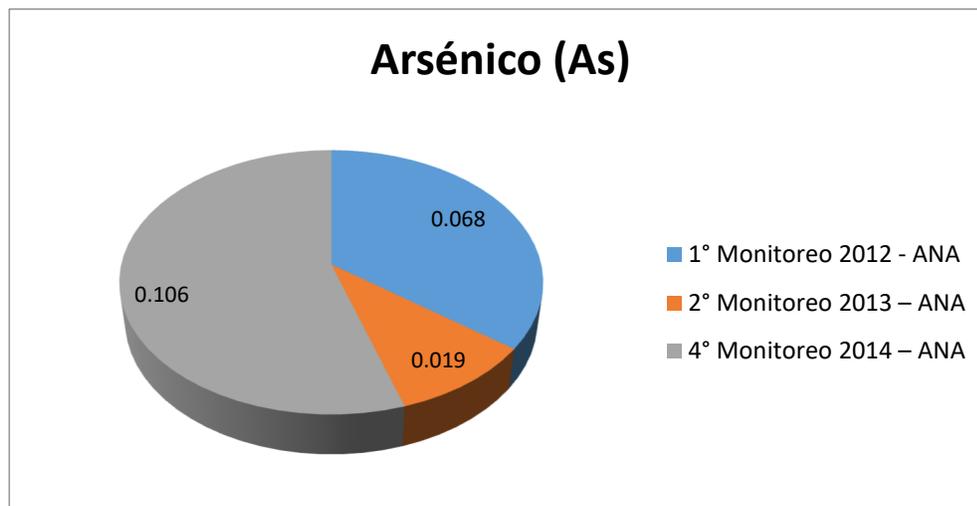


Figura 22b. Arsénico. Fuente: (ANA, 2012, 2013, 2014).

En la figura, se observan los resultados obtenidos de los monitoreos de aguas superficiales del río Colca, el arsénico supera el ECA para Agua Categoría 3, presentando los siguientes valores: la concentración obtenida de arsénico en el cuarto monitoreo es de 0,106 mg/L, la cual supera el valor de 0,1 mg/L para el riego de vegetales, por otro lado, este valor no supera la calidad exigida para bebida de animales. Esta característica se atribuye a la naturaleza hidrogeológica de la zona. (ANA, 2014)

Cabe destacar que el valor obtenido de 0.1 mg/L indica que la peligrosidad que tiene el arsénico para la población debido a que los productos de los cuales se alimentan posiblemente estén siendo regadas con estas aguas, lo que puede derivar en problemas de cognitivos en los niños y problemas cancerígenos en las personas que estén en contacto constantemente con productos contaminados.

3.1.3 Muestras – mina Madrigal 2019

La mina Madrigal comenzó sus operaciones con 30 000 TM de concentrados de cobre, zinc y plomo, hasta 1991. Ubicada a ocho horas de camino a pie, dado que a la fecha no existe servicio de transporte por estar cerrada, se aprecia varios socavones, desde donde sale al exterior una corriente de agua contaminada. Vizcarra (2018) afirma “Se trata de aguas ácidas o drenaje ácido, existe sedimentos que contienen arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc; además de 2 200000 toneladas de relaves que por acción del viento el polvo cae a los campos de cultivo próximos a la mina”.

El secretario de Defensa Civil de Municipalidad Provincial de Caylloma, Donato Quispe, pidió a la Autoridad Nacional del Agua y al Ingemmet, tomar nuevas muestras para medir la calidad de agua y de esa forma evitar una posible contaminación de la cuenca.

De acuerdo al informe Geoquímica Ambiental de la Cuenca del río Camaná - Majes - Colca, boletín N° 25 Serie B Geología Económica del Ingemmet, página 49, “Después de operar muchos años, han quedado acumulaciones de relave emplazadas en forma muy precaria y sin cuidado”. Además, Tomas C. (2018) afirma “desde los socavones, bocaminas, canchas de relave y campamentos abandonados, discurren líquidos de coloración amarillenta y verdosa que alcanzan los cauces del Cahuira, aportante del Colca que forma parte de la cuenca Majes – Camaná”.

En vista de este problema, es que se hace el muestreo de la mina Madrigal, tomando un muestreo de agua y suelo, dicha información se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 12. Información muestra de suelos

Detalle	Descripción
Lugar de Muestreo	MINAS MADRIGAL
Fecha de Muestreo	2019-09-07
Cantidad de Muestras para el Ensayo	0,5 Kilogramos
Forma de Presentación	Potes de plástico
Ensayo realizado	Laboratorio Hidrobiología

Fuente: Elaboración propia. Análisis de laboratorio CERPER, 2019.

Tabla 13. *Puntos de muestreo*

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Observaciones
	Este	Norte	
Toma C1	19L0195739	8274293	Altitud: 3181 m.s.n.m
Toma C2	19L0195739	8274293	Altitud: 3181 m.s.n.m

Fuente: Elaboración propia. Análisis de laboratorio CERPER, 2019.

Tabla 14. *Información muestra de suelos, agua superficial – mina Madrigal*

Detalle	Descripción
Lugar de Muestreo	MINAS MADRIGAL
Fecha de Muestreo	2019-09-07
Cantidad de Muestras para el Ensayo	0,5 Kilogramos 0,25 Litros
Forma de Presentación:	Potes de plástico. En frascos de plástico, cerrado, refrigerado y preservado.
Ensayo realizado en:	Laboratorio Ambiental Arequipa

Fuente: Elaboración propia. Análisis de laboratorio CERPER, 2019.

Tabla 15. *Coordenadas UTM puntos de muestreo*

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM		Observaciones
	WGS 84		
	Este	Norte	
R Cahuire 1	19L0195440	8274426	Altitud: 3125 m.s.n.m pH: 4,54 unidad de pH CE: 644 uS T: 12,3°C ST: 305 ppm
R Colca 2	19L0200596	8269878	Altitud: 3106 m.s.n.m pH: 9,09 unidad de pH CE: 790 uS T: 14,9°C ST: 396 ppm

Fuente: Elaboración propia. Análisis de laboratorio CERPER, 2019.

3.1.4 Caracterización del relave

Tabla 16. Ensayos analizados en laboratorio – Granulometría en sedimentos.

	Estación de muestreo	Toma C1	Toma C2
	Fecha de Muestreo	2019-09-07	2019-09-07
	Hora de Muestreo	11:38	11:57
Parámetro	Unidad	Resultados	Resultados
Guijarro (64-4 mm)	g/100g	0,00	0,00
Grava (4-2 mm)	g/100g	0,00	0,00
Arena muy gruesa (2-1 mm)	g/100g	0,00	0,86
Arena gruesa (1-0.5 mm)	g/100g	1,38	3,06
Arena media (0.5-0.25 mm)	g/100g	36,84	32,61
Arena fina (0.25-0.125 mm)	g/100g	40,81	32,53
Arena muy fina (0.125-0.0625 mm)	g/100g	17,28	21,60
Limo grueso (0.0625-0.031 mm)	g/100g	1,66	4,38
Limo mediano (0.031-0.0156 mm)	g/100g	0,65	1,38
Limo fino (0.0156-0.0078 mm)	g/100g	0,42	1,26
Limo muy fino (0.0078-0.0039 mm)	g/100g	0,16	0,55
Arcilla gruesa (0.0039-0.002 mm)	g/100g	0,14	0,53
Arcilla mediana (0.002-0.00098 mm)	g/100g	0,10	0,28
Arcilla fina (0.00098-0.00049 mm)	g/100g	0,24	0,45
Arcilla muy fina (0.00049 mm)	g/100g	0,24	0,51

Fuente: Elaboración propia. Análisis de laboratorio CERPER, 2019.

Tabla 17. *Trazas metálicas y Metales totales en Suelo*

				Estación de muestreo	R Cahuire 1
				Fecha y Hora de Muestreo	2019-09-07 15:15
Parámetro	Límite de detección	de	Unidad	Resultados	
Metales Totales ICP-Masa					
Arsénico (As)	0,02		mg/kg	06,36	
Cadmio (Cd)	0,02		mg/kg	0,20	
Mercurio (Hg)	0,03		mg/kg	<0,03	
Plomo (Pb)	0,02		mg/kg	12,9	

Fuente: Elaboración propia. Análisis de laboratorio CERPER, 2019.

De la Tabla 17 podemos determinar la desviación estándar de las muestras (Anexo 14), el cual concluye que para el Arsénico se tiene un valor de desviación estándar de 0,05; para el Cadmio, de 0,02 y para el plomo, de 0,08. Los valores son muy cercanos al 0 por lo que se puede considerar que los resultados obtenidos no se encuentran dispersos y son coherentes entre si

Tabla 18. *Análisis químico por fluorescencia de rayos X – Toma C1*

Formula	%
SiO ₂	73,01
SO ₂	6,56
Fe ₂ O ₃	4,55
Al ₂ O ₃	4,25
CaO	3,30
K ₂ O	2,02
MgO	0,41
Mn ₂ O	0,37
ZnO	0,16
TiO ₂	0,14
PbO	0,11
MnO	0,07
P ₂ O ₅	0,06
CuO	0,03
Cr ₂ O ₃	0,03
BrO	0,01
Rb ₂ O	0,01

Fuente: Elaboración propia. Análisis de laboratorio CERPER, 2019.

Tabla 19. Análisis mineralógico por difracción de rayos X – Toma C2

Nombre del mineral	Formula general	Resultado aproximado (%)
Cuarzo	SiO ₂	12
Feldespato (Ortoclasa)	K KAISI ₃ O ₈	5
Calcita	CaCO ₃	3
Plagioclasas (Oligoclasa)	(Ca, NA) (Al, Si) ₄ O ₈	2
Yeso	CaSO ₄ 2(H ₂ O)	2
Dolomita	CaMg (CO ₃)	2
Pirita	FeS ₂	2
Mica (Muscovita)	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	2
Clorita (Clinocloro)	(Mg,Fe) ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₈	<L.D.

Fuente: Elaboración propia. Análisis de laboratorio CERPER, 2019.

3.1.5 Graficas de interpretación

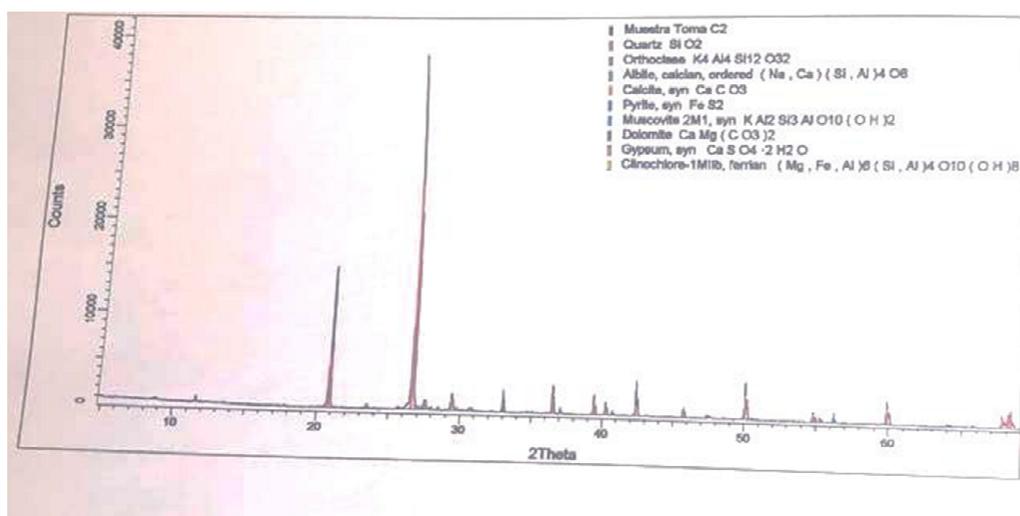


Figura 23. Diffractograma de la muestra Toma C2 con los respectivos minerales identificados.

3.1.6 Resultados obtenidos

Tabla 20. *Comparativo de ECA con metales disueltos en agua superficial.*

				R Cahuire 1	R Colca 2	
		D1: Riego de vegetales	D2:	2019-09-07	2019-09-07	
				Bebida	10:37	15:08
				de		
				animales		
Parámetro	Unidad	Agua para riego restringido	Agua para riego restringido	Bebida de animales	Resultados	Resultados
pH	-		6,5-8,5	6,5-8,4	4,54	9,09
Metales Disueltos						
Arsénico (As)	mg/L		0,1	0,2	0,00480	0,03720
Cadmio (Cd)	mg/L		0,01	0,05	0,00680	<0,00005
Mercurio (Hg)	mg/L		0,001	0,01	<0,00003	<0,000003
Plomo (Pb)	mg/L		0,05	0,05	0,00840	0,00030

Fuente: Elaboración propia. Análisis realizados por ICP-MS CERPER, 2019.

3.1.7 Figuras de interpretación

Las figuras representan los valores máximos y mínimos de los estándares de calidad especificados en la tabla, y los valores de los muestreos tomados en el río Colca y el río Cahuire, aguas superficiales del río Colca 2019.

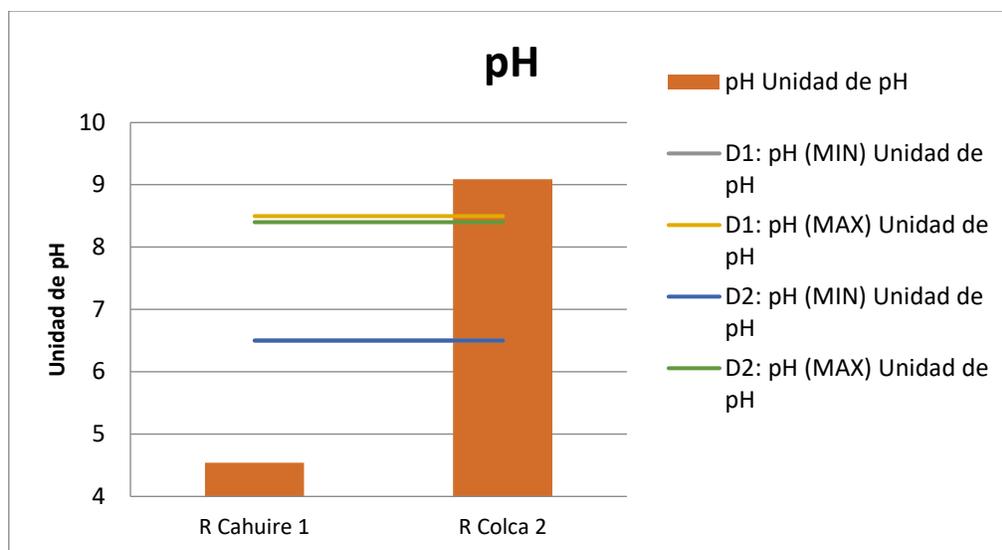


Figura 24a. pH. Fuente: Elaboración propia.

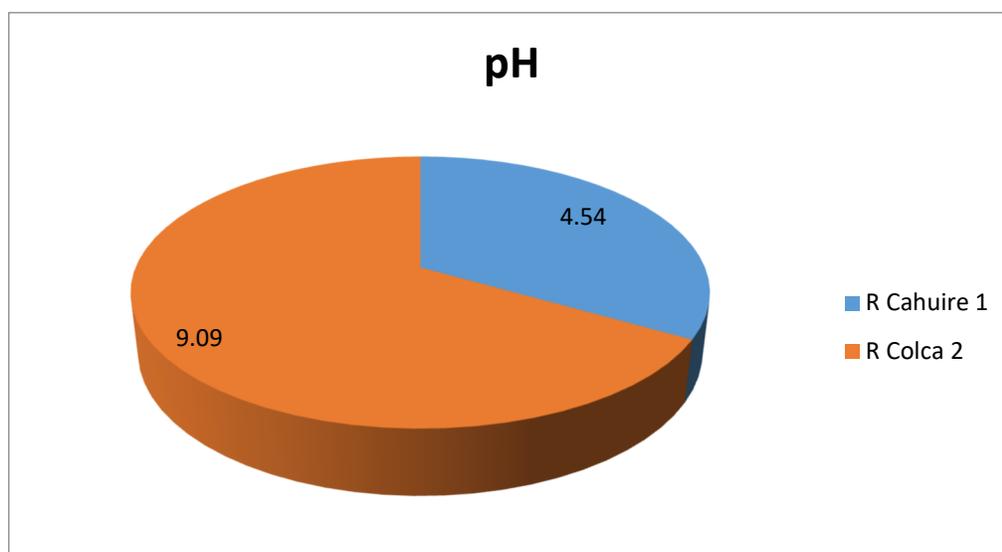


Figura 24b. pH. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos de los muestreos realizados de aguas superficiales del río Colca en el 2019, en la figura, se observa que los valores de pH, en el río Colca es de 9,09, la cual supera los valores de los límites superiores de 8,5 para el riego de vegetales y de 8,4 para la bebida de animales de los rangos indicados para el pH en los ECA para Agua Categoría 3. Además, el valor de pH en el río

Cahuire es deu 4,54 por lo que está por debajo de los límites mínimos animales de los rangos indicados para el pH en los ECA para Agua Categoría 3.

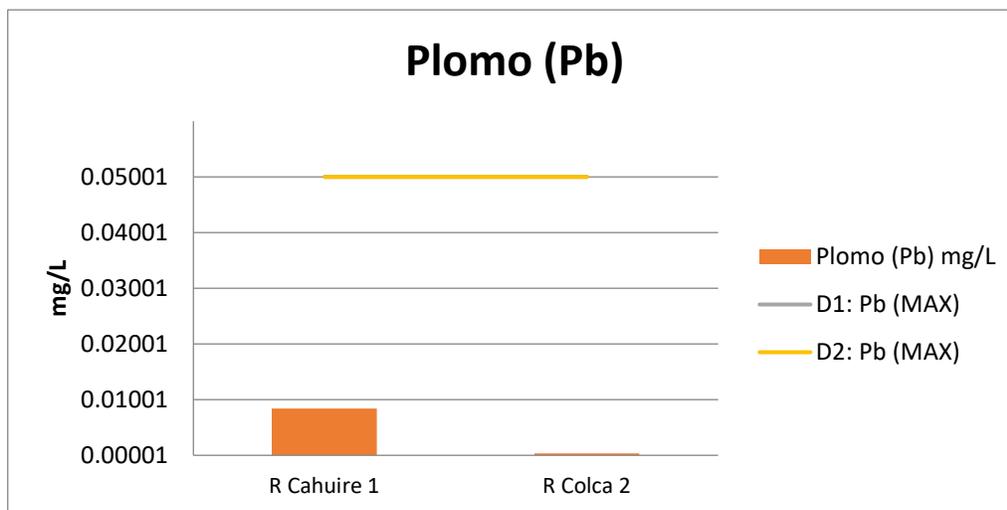


Figura 25a. Plomo. Fuente: Elaboración propia.

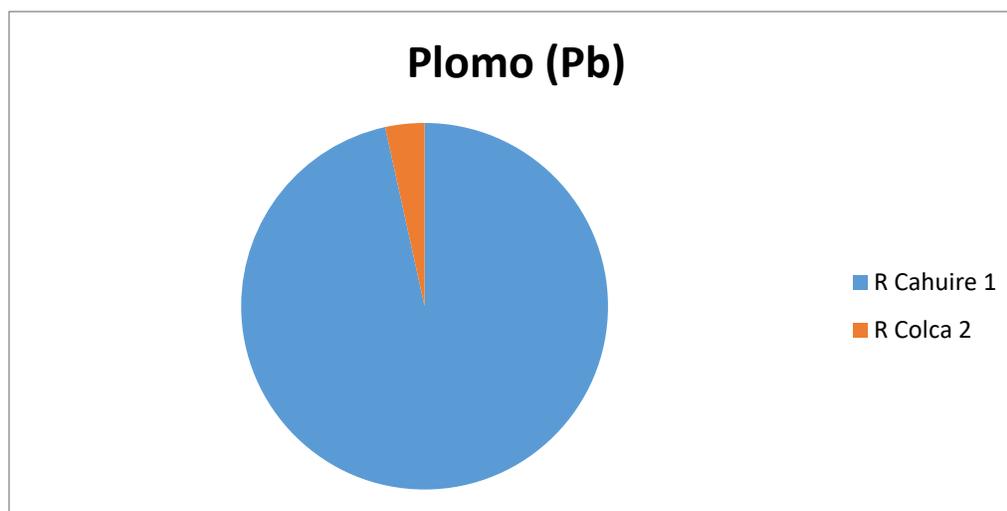


Figura 25b. Plomo. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en la figura 22, se observa que el plomo no supera el valor de los ECA para Agua Categoría 3.

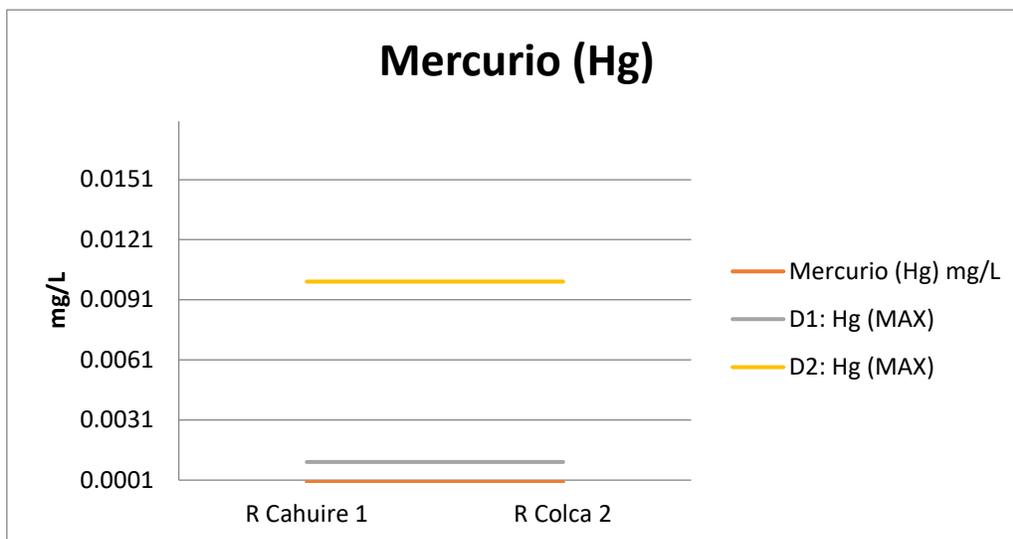


Figura 26. Mercurio. Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: Los resultados obtenidos en la figura 23, se observa que el mercurio no supera el valor de los ECA para Agua Categoría 3.

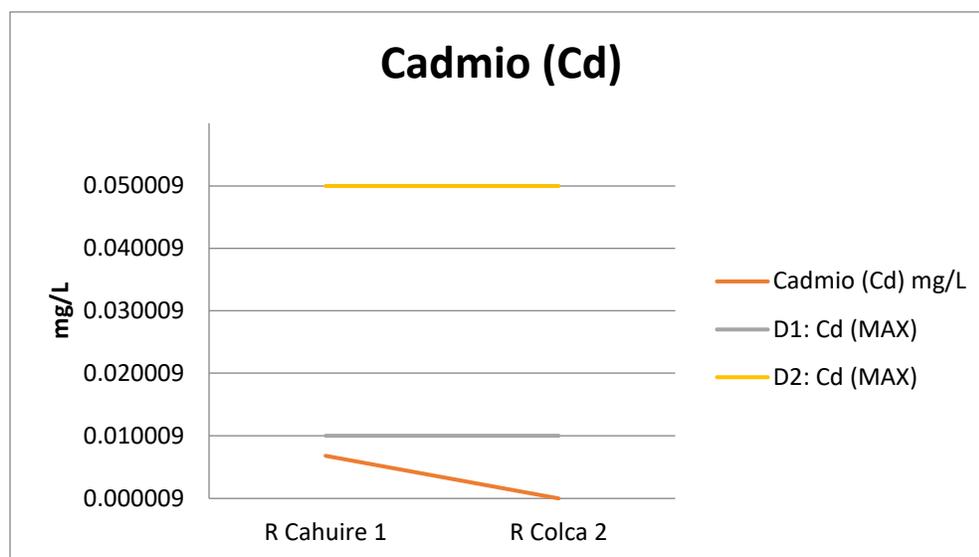


Figura 27. Cadmio. Fuente: Elaboración propia.

Interpretación: Los resultados obtenidos en la figura 24, se observa que el cadmio no supera el valor de los ECA para Agua Categoría 3.

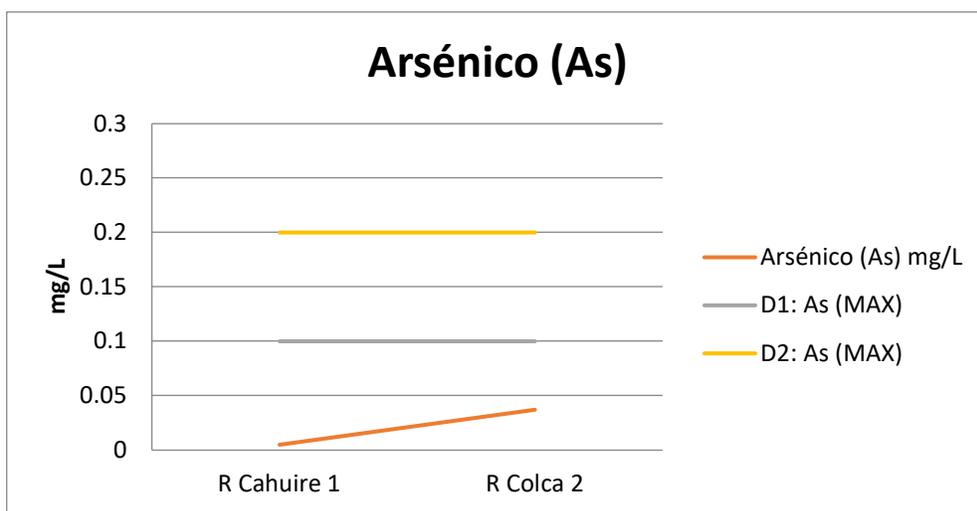


Figura 28a. Arsénico. Fuente: Elaboración propia.

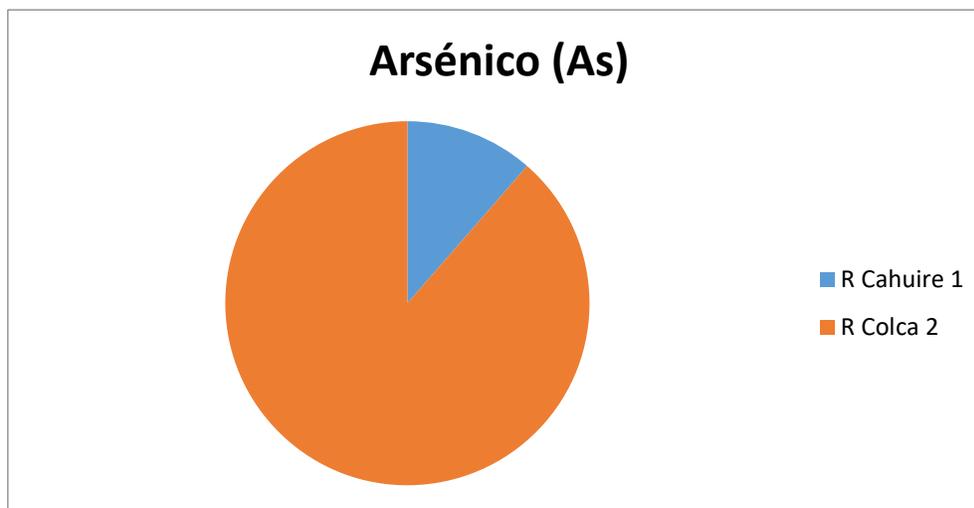


Figura 28b. Arsénico. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos de los muestreos realizados de aguas superficiales del río Colca en el 2019, se evaluaron los parámetros de pH, T°, Hg, Pb, Cd y As; la concentración de pH, es de 9,09, la cual supera los valores de los límites superiores de 8,5 para el riego de vegetales y de 8,4 para la bebida de animales de los rangos indicados para el pH en los ECA para Agua Categoría 3.

La presencia de metales pesados en el ambiente y los cultivos de acuerdo a lo mencionado causa daños irreparables en la salud humana y animal, tan graves como cáncer e incluso la muerte. Además, altas concentraciones de dichos metales en el organismo de los seres vivos alteran los procesos bioquímicos y fisiológicos ocasionando patologías en el ser vivo. De modo que ser consiente en proteger y conservar el ambiente, tomar medidas para remediar problemas en los impactos de la minería y la reacción toxica que puede generar los metales pesados.

A continuación, detallamos una tabla comparativa de los ECA.

Tabla 21. Resumen general del análisis de metales pesados en el Rio Colca

		ECA		1° Monitoreo 2012 - ANA		2° Monitoreo 2013 – ANA		3° Monitoreo 2014 - ANA		4° Monitoreo 2014 – ANA		Monitoreo 2019	
		D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales	134RColc2	134RColc3	134RColc2	134RColc3	134RColc2	134RColc3	134RColc2	134RColc3	R Cahuire 1	R Colca 2
pH	-	6,5-8,5	6,5-8,4	8,2	7,98	8,51	8,22	8,93	-	8,24	8,05	4,54	9,09
Metales Disueltos													
Arsénico (As)	mg/L	0,1	0,2	0,021	0,068	0,024	0,069	0,019	-	0,035	0,106	0,00480	0,03720
Cadmio (Cd)	mg/L	0,01	0,05	<0,0006	<0,0006	<0,0004	<0,0004	<0,0004	-	<0,0004	<0,0004	0,00680	<0,00005
Mercurio (Hg)	mg/L	0,001	0,01	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	<0,0001	<0,0001	<0,00003	<0,000003
Plomo (Pb)	mg/L	0,05	0,05	<0,001	0,0025	0,0012	0,0111	<0,0004	-	0,0017	0,0051	0,00840	0,00030

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla se observa un resumen general, los monitoreos realizados por el ANA en los años 2012, 2013 y 2014; además los valores obtenidos del recojo de muestras realizadas en esta investigación en el 2019. Se puede observar que la acidez tiene un valor de 4,54 en el rio Cahuire siendo uno de los aportantes al rio Colca que por debajo del límite del valor del pH mínimo (6.5). Asimismo, se obtuvo un valor de 9,09 en el rio Colca, la cual supera el valor del pH superando los valores de los límites superiores de ph (8.5) para el riego de vegetales y bebida de animales. (ECA para Agua Categoría 3).

Además se observa en tabla comparativa de los monitoreos realizados por el ANA en los años 2012, 2013 y 2014; además los valores obtenidos del recojo de muestras realizadas en esta investigación en el 2019, que el arsénico supera el ECA para Agua Categoría 3, presentando los siguientes valores: la concentración obtenida de arsénico en el cuarto monitoreo es de 0,106 mg/L, la cual supera el valor de 0,1 mg/L para el riego de vegetales, por otro lado este valor no supera la calidad exigida para bebida de animales. Sin embargo los valores expresados en el 2019 los límites están dentro de los estándares. Además, mencionar que las concentraciones de los metales estudiados como el cadmio, mercurio y plomo, sus concentraciones son cada vez más bajas.

Por lo que se considera pertinente que las explotaciones mineras, la contaminación del suelo, el agua, las plantas y animales, han propiciado el aumento exagerado de metales pesados: mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), cadmio (Cd), entre otros y como consecuencia directa la contaminación. Además, sumado a factores como: el cambio climático, el efecto invernadero, la deforestación, la pérdida de recursos naturales en flora y fauna han aumentado la amenaza de los metales pesados en la naturaleza. El objetivo consiste en examinar los metales pesados en cuanto su origen, distribución y principales alteraciones sobre el ambiente. A fin de propiciar mayor investigación sobre el tema, y a la disminución de los riesgos de los metales pesados en los ecosistemas.

Quecaño-Mamani (2008). Menciona que en la actividad minera principalmente una inadecuada disposición de relaves, drenaje de aguas ácidas y desmontes son las principales fuentes de contaminación hacia cauces de ríos más cercanos. Entre ellos los contaminantes ambientales más tóxicos son los metales pesados, debido a su permanencia y tendencia a acumularse en los organismos acuáticos (Salas-Urviola, 2014).

La contaminación del Río Colca está siendo afectada por la mala disposición de los relaves en la Mina El Madrigal, en consecuencia, los metales pesados encontrados en el río, fueron traídos a través de los vientos o por acción de drenajes de aguas ácidas.

Los metales pesados de la mena, al incorporarse a una red fluvial, la dispersión de sus contenidos aumenta y puede concentrarse en diferentes lugares y extenderse a lo largo de la cuenca de un río (Nuñez-Del Carpio, 2015).

Al llegar al río estos contaminantes se han distribuido en la zona en diferentes concentraciones en función al movimiento de las aguas, por ese motivo es que los valores de concentraciones en diferentes puntos varían significativamente. Una mala aplicación de los métodos de toma de muestra puede implicar un mal análisis de la situación de la calidad del agua del Río Colca.

La inadecuada aplicación de procedimiento ocasiona la contaminación del agua por metales pesados, en el cual se debería plantear varias alternativas con métodos que no tengan efectos en la contaminación (Mina-Aycaya, 2017).

La falta de aplicación de un procedimiento de cierre de mina o manejo de los relaves genera el reto de buscar nuevas alternativas que busquen remediar la contaminación del Río Colca por presencia de metales pesados, en especial del Arsénico que es uno de los metales que sobrepasa lo establecido por el D.S. 004 – 2017. MINAM.

La contaminación de las aguas es un problema que abarca principalmente, al impacto y vertimiento de los relaves mineros hacia cauces de los ríos más cercanos (Huaranga-Moreno, 2012).

Asimismo, podemos observar según la Tabla 17 que los valores de Arsénico y Plomo en la relavera se encuentran en concentraciones altas de 6,36 mg/Kg y 12,9 mg/Kg respectivamente. En consecuencia, es imperativo tomar acciones inmediatas para controlar o eliminar la relavera y evitar que por acción del viento y agua estos metales continúen depositándose en el Río Colca y cada vez se convierta en un mayor peligro para la población y biodiversidad de las zonas aledañas.

3.2 Efectos de la Contaminación y Propuesta de Mejora

3.2.1 Efectos de la Contaminación por Arsénico

Según se ha observado, el Arsénico es el contaminante con valores que sobrepasan los Valores Máximos Admisibles para la Categoría 3 del ECA del agua. Por esa razón es imprescindible entender cómo afecta este contaminante en la calidad de vida de las personas, así como también en la biodiversidad biológica de los lugares aledaños al río Colca.

La exposición a arsénico puede darse por 3 vías fundamentales: por inhalación de aire, por ingestión de alimentos y agua, y por absorción dérmica (Abernathy & Morgan, 2001), lo cual para este caso particular del río Colca el peligro se encuentra en los alimentos que se riegan con estas aguas y son consumidas por la población.

(Stöhner, 1991) señala que es conocido desde hace años que la exposición crónica al arsénico por la ingestión de agua puede causar efectos adversos a la salud humana. Gracias a los estudios realizados en 1888 por el investigador Hutchinson se tienen los primeros antecedentes históricos que relacionaron la presencia de arsénico en el agua y lesiones en la piel como hiperpigmentación, hiperqueratosis y cáncer cutáneo (Carabantes & Fernicola, 2003).

(Astolfi et al., 1982). señala que: “en el año 1913, en Argentina, fueron identificados dos pacientes que presentaban los síntomas de una intoxicación por arsénico, siendo que en un primer momento fue considerada como accidental. El número de casos fue en aumento y la enfermedad llegó a ser conocida como enfermedad de Bell Ville, en la provincia de Córdoba, por ser este el lugar donde se registró el mayor número de casos, en regiones rurales, en donde los niveles de arsénico en el agua eran superiores a 1 000 µg/L. En 1917, esta enfermedad pasó a ser conocida como hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE). Se llegó a la conclusión de que la etiología de la enfermedad era debida a la ingestión de agua con arsénico” (Carabantes & Fernicola, 2003)

(Prunes, 1939) indicó que, en Chile, en el año 1923, se observó por primera vez los síntomas de una enfermedad que le llamaron enfermedad del salitre o cáncer de los

salitreros. Los síntomas que presentaban eran hiperqueratosis y alteraciones degenerativas de la piel (Carabantes & Fernicola, 2003).

Se calcula que en América Latina alrededor de 4,5 millones de personas se exponen a niveles altos de As, lo cual puede generar numerosos problemas adversos a la salud como cánceres internos y externos, problemas reproductivos y alteraciones en la función cognitiva infantil. (McClintock, et al., 2012)

El Arsénico puede generar diferentes tipos de cáncer. Los problemas de cancer pueden afectar a todos los órganos y sistemas, pudiendo causar principalmente cáncer de pulmón, vejiga, de piel, hígado, riñón y próstata (Medina, et al., 2018).

En cuanto a las alteraciones cognitivas en niños, se puede observar una asociación negativa entre la exposición posnatal a Cd y el desarrollo neuropsicológico y entre la exposición de As con el déficit de atención; afectando directamente durante la época escolar de los niños, los cuales tienen un mayor riesgo de desarrollar trastornos de déficit de atención e hiperactividad (Rodríguez, 2015).

(Henke, s.f.) señala que el arsénico daña sin ningún tipo de discriminación todos los órganos del cuerpo humano inhibiendo diversas reacciones enzimáticas. Las enfermedades que se relacionan con el arsénico van directamente relacionadas a la piel donde las afectaciones pueden llegar a ser permanentes. Asimismo, el arsénico puede ocasionar cáncer a la piel y pulmón a causa de una exposición crónica al arsénico. El tamaño de las partículas tiene una implicancia decisiva; mientras más pequeñas sean las partículas, mayor será el daño a las fosas nasales, tendrá una mayor accesibilidad al organismo que el de partículas más grandes. Se conoce que existen cáncer de vejiga, hígado y riñón. Los efectos más graves generadas por el arsénico se dan con las personas que tienen constante contacto con fuentes contaminadas con arsénico. Hay efectos en la salud de las personas que no son tan graves, pero si merecen atención como enfermedades gastrointestinales, como consecuencia del consumo directo del metal (Castillo & Venegas, 2010).

A continuación, se detalla algunos efectos que se producen por el contacto con el Arsénico:

(Gehle, 2009) citado en (Castillo & Venegas, 2010) explica lo siguiente sobre los efectos cardio-vasculares: “Sin distinción alguna la exposición aguda o por un periodo de tiempo prolongado provocan una variedad de efectos cardiovasculares, por ejemplo: hipertensión, taquicardias y enfermedades vasculares entre otras. La magnitud del daño puede variar por distintos factores como la dosis de arsénico, la edad o la susceptibilidad individual; hoy en día los efectos cardiovasculares son uno de los problemas más graves que entrega el arsénico”.

(Gehle, 2009) citado en (Castillo & Venegas, 2010) indica sobre los efectos renales: “Los riñones no son el órgano más sensible a sufrir enfermedades derivadas de la toxicidad arsénica, sin embargo las principales patologías renales son la necrosis tubular aguda, fallas renales agudas, cálculos, insuficiencia renal, y necrosis cortical”.

(Gehle, 2009) citado en (Castillo & Venegas, 2010) explica sobre los efectos neurológicos lo siguiente: “Las enfermedades neurológicas principales son: neuropatía periférica, también hay casos en los que una exposición mayor produce una encefalopatía, que se caracteriza también por adormecimientos cerebrales, calambres musculares, sensibilidad muscular y sudoración en la parte distal de las extremidades, lo que si no es tratado a tiempo, puede desembocar en enfermedades más graves como tumores, infartos cerebro vasculares”.

(Gehle, 2009) citado en (Castillo & Venegas, 2010) explica sobre los efectos dérmicos lo siguiente: “Principalmente estas enfermedades comienzan con una pigmentación de la piel. Una queratosis benigna por ejemplo al entrar en contacto con este cuerpo extraño se puede transformar en una queratosis maligna, desembocando en una hipermentación y cáncer de piel, hiperqueratosis que puede presentarse en cualquier parte del cuerpo, por ejemplo: en axilas, ingle, cuello, parpados, pezones y sienes”.

(Gehle, 2009) citado en (Castillo & Venegas, 2010) indica sobre los efectos respiratorios lo siguiente: “Sus principales consecuencias en contacto directo con el organismo son lesiones inflamatorias, y erosivas en la mucosa respiratoria, las cuales

podrían llegar a provocar una perforación en el tabique nasal. El cáncer al pulmón frecuentemente se produce por una exposición al arsénico en trabajadores de fundidoras y ciudades mineras”.

(Caceres, 1999) citado en (Castillo & Venegas, 2010) explica sobre el cáncer de piel lo siguiente: “ El cáncer de piel se caracteriza por afectar zonas expuestas como palmas de la mano, pies, y tronco. El cáncer de piel se subdivide en distintos tipos de padecimientos como lo son: carcinoma intraepidérmico, carcinomas de las células basales y carcinoma de las células escamosas. Todas empiezan de la misma forma, pero su desarrollo varía en distintos niveles de gravedad.

(Sancha, 1998) citado en (Castillo & Venegas, 2010) explica sobre los efectos reproductivos lo siguiente: “Se destacan los abortos espontáneos, malformaciones cognitivas y además física. Estos efectos son irreversibles, ya que un lactante que nace con una malformación, siempre tendrá secuelas adversas, aunque se someta a tratamientos y terapias, su recuperación jamás será completa, es decir, padecimiento será de por vida”.

Según (Helgesen y Larsen, 1998; Abedin y col., 2002; Nordstrom, 2002; Alam y col., 2003; Roberts y col., 2007; Moyano y col., 2009; De la Fuente y col., 2010; Neumann y col., 2011) citado en (Llopart, et al., 2017) indica que el uso de agua contaminada para el riego provoca la aparición de altas concentraciones de As en tierras de cultivo convirtiéndose un peligro para quienes consuman esos cultivos.

La toxicidad del As en alimentos varía según la especie, generalmente su toxicidad es mayor en As^{3+} y As^{5+} (Medina, Robles, Mendoza, & Torres, 2018), por lo que determinar que especies de Arsénico se están formando es de vital importancia conjuntamente con los monitoreos ambientales que se realice y los tratamientos de remediación que se pueden utilizar para reducir el contenido de As y otros metales pesados.

3.2.2 Propuestas de mejora

De acuerdo al análisis reportado por el ANA en el 2014, el Arsénico supera en 17.7 veces el valor permitido por el ECA- Categoría III que es 0.006 mg/L. Las propuestas de mejora están dirigidas para la remoción de este metal, entre las alternativas propuestas tenemos propuestas para la mejora de los procesos biológicos, adsorción.

3.2.3 Procesos biológicos

Es una ecotecnología, que consiste en la aplicación de plantas para la eliminación de metales tóxicos y contaminantes orgánicos (en suelo, aire, agua y sedimentos) que afectan a los seres vivos.

Prado (2015), en su tesis “Fitorremediación de suelos contaminados con plomo utilizando *Amaranthus spinosus* – *Amaranthaceae* en Cusco del 2012”, donde trató la problemática de la contaminación de los suelos por metales pesados., tuvo como objetivo principal evaluar la capacidad de absorción y acumulación de plomo en *Amaranthus spinosus* sometidos a diferentes concentraciones de este metal. Para este proceso se usó una metodología experimental donde se obtuvo un resultado positivo, y se llegó a la conclusión que la planta de *Amaranthus spinosus* dio buenos resultados.

Manchego (2018), en su tesis “Evaluación del estado de conservación de suelos contaminados por la relavera el Madrigal-Arequipa y propuesta de fitorremediación”, hizo un estudio de investigación dónde tuvo como objetivo determinar el estado de conservación de suelos contaminados por la Relavera “El Madrigal” e hizo una propuesta de fitorremediación con la especie *Baccharis salicifolia* (Ruiz & Pav.) que se comporta como especie fitoestabilizadora; mientras que la especie *Schoenoplectus pungens* (Vahl) Palla como fitoextractora, llegando a la conclusión que ambas especies pueden usarse para la fitorremediación de depósitos de relave Minero.

Cerrón, Figueroa, Leyton, & Sánchez (2018), en su trabajo de investigación “Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de *Stevia* en suelos degradados por contaminación con metales pesados” utilizaron el maíz como planta fitorremediadora. Para ello emplearon los suelos agrícolas del valle del Mantaro, cuyos contenidos de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en el suelo superan el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de suelos del

Perú. Los resultados de los cálculos del Factor de Bioconcentración (FBC) y de Translocación (FT), indican que el maíz es una planta exclusora y estabilizadora.

Vasquez (2018), en su tesis “Tratamiento de aguas residuales domesticas por Fitorremediación con *Eichornia Crassipes* en la zona rural del caserío Santa Catalina Moyobamba 2017”, el objetivo principal fue determinar la contribución de la fitorremediación con *Eichornia crassipes* en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la zona rural caserío Santa Catalina; así como diseñar y aplicar un sistema de Fitorremediación de las aguas residuales. En esta investigación realizada se demostró que esta especie presenta una aclimatación adecuada, además de una respuesta altamente positiva a las condiciones ambientales que se le ajusten o instalen. El tratamiento fue muy efectivo para el control de la contaminación de aguas residuales domesticas en el caserío Santa Catalina.

Ríos (2019) en su tesis “Biorremediación del agua recirculante en el cultivo intensivo del camarón blanco, utilizando microbiota autóctona del ecosistema del mangle rojo”, tuvo como objetivo determinar la actividad biorremediadora de la microbiota autóctona del ecosistema del mangle rojo, utilizada en la biorremediación del agua recirculante en el cultivo del camarón blanco. Se concluyó que la microbiota del mangle rojo actúa eficazmente en la biorremediación del agua en el cultivo del camarón blanco. Las especies más predominantes son: Unclassified, Uncultured bacterium y *Lactobacilos*.

“La fitorremediación engloba un grupo de técnicas emergentes basadas en el uso de especies vegetales y sus microorganismos asociados para extraer, acumular, inmovilizar o transformar los contaminantes del suelo”, (Barceló y Poschenrieder, 2003; Ghosh y Singh, 2005; Pilon, 2005).

“Es una tecnología de remediación que reduce el riesgo de contaminación causado por depósitos de desechos mineros masivos post-operativos, mediante la incorporación de plantas capaces de tolerar las altas concentraciones de metales pesados y de acondicionadores de sustrato adecuados. Mediante esta tecnología los metales biodisponibles son precipitados, absorbidos y/o adsorbidos por los materiales agregados al sustrato, por las raíces de las plantas y por los microorganismos, donde son acumulados en

formas inocuas” (Berti y Cunningham, 2000; Dietz y Schnoor, 2001; Ginocchio y León-Lobos, 2007).

En el trabajo de investigación Evaluación del potencial fitorremediador de la especie Brassica juncea (mostaza) en suelos contaminados con zinc y arsénico provenientes de relaves mineros, “se evalúa el potencial fitorremediador de la especie Brassica juncea sobre suelos contaminados con zinc y arsénico procedentes de relaves mineros porque estos en la actualidad presentan un problema ambiental de gran magnitud. El trabajo fue realizado en condiciones de laboratorio, en el distrito y provincia de Santiago de Chuco. El método de investigación consistió en un diseño experimental y muestreo aleatorio simple que consistió en una especie vegetal y cuatro tratamientos con 0%, 20%, 40% y 60% de relave minero mezclados con suelo agrícola”. (Rebaza Paredes, Deiber Ronald; Valverde Vasquez, Katty Jeteli, 2019)

En Fitorremediación, se tendría que hacer una búsqueda de datos de especies nativas de la zona que sean tolerantes al arsénico.

En el 2018 en el marco del proyecto de Innovación y Tecnología, ejecutado por la Asociación de pequeñas Curtiembres de Arequipa y la UCSM se desarrolló la tesis Implementación de Humedales Artificiales para mejorar la calidad de las aguas residuales previamente tratadas de la Industria del Curtido de Cuero en el Parque Industrial Rio Seco.

“Las aguas residuales de la industria del curtido de pieles son muy complejas y conducen a la contaminación del agua y suelo si se descargan sin tratamiento, especialmente por a su alta carga orgánica, químicos residuales y contenido de cromo. El trabajo experimental se realizó en una curtiembre del Parque Industrial Rio Seco Arequipa a condiciones reales y tuvo como objetivos de investigación evaluar la capacidad de los humedales artificiales para mejorar la calidad del agua, remover cromo y contaminantes orgánicos a diferentes concentraciones, analizar la distribución y destino del cromo dentro de un ambiente de humedal y seleccionar entre Eleocharis palustris y Chenopodium album para la conformación del humedal de flujo sub-superficial.” (Arizabal V. 2018)

También existen microorganismos que son aptos para remover arsénico a través de la biometilación, co - precipitación y procesos de óxido- reducción por medio de biomasa o biofiltros.

3.2.4 Adsorción

Bravo (2019), en su tesis “Aplicación del carbón activado de la cáscara de coco, en la purificación y absorción del hierro y plomo del agua de consumo de los pobladores de Paragsha - Pasco 2018”, plantea como objetivo principal identificar y determinar el grado de eficacia y viabilidad de la aplicación del carbón activado de la cáscara de coco, en la purificación y absorción del hierro y plomo del agua de consumo de los pobladores de Paragsha. Los resultados de este estudio demuestran que la hipótesis planteada se acepta ya que la aplicación del carbón activado de la cáscara de coco, si tiene un alto grado de eficacia y viabilidad en la purificación y absorción del hierro y plomo del agua de consumo de los pobladores de Paragsha, el cual se debería implementar a largo plazo.

-Sueto (2019), en su tesis “Adsorción de Pb^{2+} mediante aserrín xantado de las aguas del río Jatun Ayllu Ocuvi-Puno”, presenta una alternativa para el tratamiento de aguas residuales urbanas, considerando como zona de estudio el río Jatun Ayllu en el Distrito de Ocuvi Provincia de Melgar Ayaviri. Los resultados experimentales de acuerdo a los objetivos planteados, dieron como resultado que el Aserrín Xantado se comporta como un buen adsorbente de metales pesados, para lo cual se utilizó Ácido Clorhídrico 0,1 N para el lavado y Disulfuro de Carbono P.A e Hidróxido de Sodio 0,1 N.

Rojas, Díaz, Medina, & Rodríguez (2012) en el artículo que realizaron “Análisis de la adsorción como método de pulimiento en el tratamiento de aguas residuales”, mostraron técnicas y procedimientos que en su conjunto son una opción viable para el tratamiento de aguas residuales, la adsorción, como un tratamiento de pulimiento, se lleva a cabo al final de los sistemas convencionales, el proceso de adsorción emplea biomateriales y representa una opción viable, los residuos orgánicos generados por las actividades del hombre han mostrado ser prometedores en la remoción de elementos contaminantes tales como metales pesados, sustancias orgánicas como colorantes, principios activos de medicinas disueltos en aguas residuales que generan las empresas industriales.

En el trabajo de investigación Estudio experimental para adsorción de arsénico con lecho de arena verde mediante prueba rápida en una columna a pequeña escala se menciona “El crecimiento de la actividad minera en el Perú en los últimos años, ha llevado al país a ser tercer productor de plata, cobre, zinc y estaño, cuatro lugar de plomo y sexto lugar en la producción de oro en el mundo (MINEM, 2013), pero también este crecimiento trajo consigo problemas ambientales, una de ellas es la presencia de arsénico por encima de niveles admisibles para efluentes de operaciones minero metalúrgicos. Además, se han incrementado también el control y regulación mediante una exigente normativa ambiental, la cual ubica el contenido de arsénico de algunas descargas por encima de los límites máximos permisibles. Los métodos convencionales para la remoción de Arsénico solo pueden remover concentraciones bajas, pero no lo suficiente para ciertos rangos de concentración. Por lo que el tratamiento en aguas industriales se realiza en varias etapas, la reducción de arsénico a valores por debajo del recomendado por la legislación ambiental peruana, o más aun a valores por debajo de lo recomendado por la OMS, solo se logran mediante métodos avanzados de tratamiento.” (Cubillas G. 2015)

En el 2017 se realizó la investigación que dio lugar a la Tesis Uso de la zeolita para el tratamiento del agua del río Rímac en Matucana Huarochirí “La investigación consistió en evaluar el tratamiento en las aguas del río Rímac en Matucana con zeolita, un mineral volcánico que se utilizó para la reducción de DBO, DQO, conductividad, pH y turbidez. Para lo cual se tomó una muestra representativa de 10 litros de agua del río Rímac en Matucana” (Knutzen R. 2017)

En el 2018 se realizó una investigación basada en la problemática de las aguas de consumo humano contaminadas por arsénico que abastecen a los pobladores de San Mateo de Huanchor. El objetivo fue buscar una alternativa de tratamiento para reducir el arsénico de las aguas superficiales que abastecen a la población de San Mateo de Huanchor, utilizando zeolitas naturales del anexo de Yura Viejo perteneciente al departamento de Arequipa. La metodología consistió en activar las zeolitas naturales con cloruro férrico para mejorar su capacidad de adsorción. (Remoción de Arsénico de las Aguas de San Mateo de Huanchor. Lima con Zeolitas Naturales, Chaupis R., 2018)

3.2.5 Tratamiento de los Relaves mineros in situ.

Se han realizado una serie de publicaciones sobre el uso de estos residuos como material de construcción como la elaboración de ladrillos. Se propone como alternativas para disminuir la contaminación agua del río cercana a la mina, así como la recuperación del área geográfica.

En 2019 se presentó la investigación que dio lugar al trabajo de tesis Diseño y Elaboración de Concretos de Alta Resistencia usando Relaves Mineros, donde se investiga sobre la reutilización del relave minero como reemplazo total del agregado fino y la reutilización del material volado de socavón como reemplazo total del agregado grueso.

En enero 2020 se presentó el trabajo de investigación Determinación de Propiedades Físico Mecánicas de unidades de albañilería fabricados con relaves mineros para uso en la Construcción, Distrito de Ananea – Puno, en el que se propone un procedimiento para la fabricación de ladrillos a partir del procesamiento de relaves mineros.

“De acuerdo a los ensayos obtenidos a la resistencia de compresión de ladrillos artesanales que se encuentran actualmente en el mercado y los ensayos de compresión de ladrillos con relaves mineros, minero queda en evidencia que los ladrillos con relaves mineros son superiores en todo los casos, superando así en más del 100% de su resistencia de la compresión del ladrillo artesanal existente en el mercado Si tomamos en cuenta que existen viviendas de más de dos pisos construidos con los ladrillos artesanales que se vende en el mercado actual, el ladrillo con relave minero que supera ampliamente en cuanto a resistencia a compresión cumpliría satisfactoriamente la demanda de la construcción de viviendas en la región Puno, lo cual resultaría ser más beneficioso construir con los ladrillos con relaves mineros que con los ladrillos artesanales que se tiene actualmente” (Marca R. 2020)

Otra aplicación innovadora de la reutilización de los relaves mineros es como elemento complementario que permita reducir los costos del asfalto, en el 2019 se presenta la tesis doctoral EVALUACIÓN DE UN MODELO MEJORADO DE CAPA ASFÁLTICA MEDIANTE EL USO DE PLÁSTICO RECICLADO EN AREQUIPA en que se propone la combinación de asfalto con plástico, asimismo es posible y sería

conveniente desarrollar pruebas de la combinación de asfalto con material procesado de relaves mineros que permita mantener las características del asfalto y reducir los costos del mismo.

- Ticlavilca (2019), en su trabajo de investigación “Propuesta de uso de relaves de mina polimetálica en la fabricación de unidades de albañilería - caso ex unidad minera Mercedes 3”, no plantea la eliminación total de los depósitos de relaves o relaveras, es decir que esta propuesta de uso de relaves es solo con el fin de utilizar un porcentaje del relave como agregado en la fabricación de unidades de albañilería. Así mismo se propone soluciones a la problemática ambiental nacional, mediante un valor agregado que se le daría al relave para que se permita su utilización en las construcciones civiles.

- Vasquez & Silva (2020), es su tesis “Estudio de los relaves mineros para la elaboración de ladrillos eco amigables”, tiene por objetivo estudiar los Relaves Mineros y así plantea la elaboración de ladrillos eco amigables. Se tiene como resultado que el uso de relaves mineros en la construcción de ladrillos sí será posible, dentro de las propiedades y características del relave minero de resaltan la concentración de los metales pesados, densidad, peso y resistencia; los diseños de mezclas son múltiples de acuerdo a los criterios de investigación; las características mecánicas cumplen con los estándares de construcción civil y ambientales.

- Flores, Nuñez, Zegarra, Flores, & Flores (2019), en su artículo “Metodología de tratamiento de remediación de pasivos ambientales mineros de Cerro El Toro de Huamachuco para el desarrollo sostenible”, propusieron la implementación de una tecnología Limpia para tratar los Pasivos Ambientales Mineros (PAMs) de las relaveras de todas las regiones del país. El objetivo es lograr la máxima recuperación de los metales pesados tales como: bario, cadmio, mercurio y plomo regulados por el Estándar de Calidad Ambiental del Suelo-ECA SUELO (MINAM, 2013), que logra convertir los relaves remediados en agregados de construcción para fabricar los ladrillos ecotecnológicos.

- Romero & Flores (2010), en su trabajo de investigación “Reúso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas” hace referencia al reuso de relave mediante la forma de un agregado de construcción para la fabricación de ladrillos y agregados de construcción. Frente a un

problema ambiental encontrado, surge la necesidad de formular soluciones frente a ello y se desarrollaron varios proyectos de investigación en la zona de Ticapampa, donde se propone resolver mediante la alternativa de solución que propone dar valor agregado al relave mediante el reuso de relave bajo la forma de un agregado de construcción que constituye la materia prima para la fabricación de agregados de construcción.

3.2.6 Otras tecnologías emergentes

Se pueden mencionar también como alternativa la Tecnología fotoquímica, que es de bajo costo ya que emplean la luz solar utilizando hierro disuelto para la remoción de arsénico, se han utilizado en la India, Nicaragua, Argentina, Chile.

CONCLUSIONES

1. El pH en todos los puntos medidos se encuentra sobre los parámetros que establece el **D.S. 004-2017- MINAM** a excepción del punto de monitoreo **RCahuire 1**. Se encontró presencia de metales pesados como: Arsénico, Cadmio, Mercurio y Plomo obteniendo sus concentraciones se observó que el punto de monitoreo **134RColca 3**, el contenido de Arsénico asciende a un valor de **0.106 mg/L**, superando lo establecido por el Estándar de Calidad de Agua.
2. Se caracterizó y determinó la presencia de metales pesados en los relaves. Obteniéndose los siguientes resultados. Se encontró presencia de Arsénico con una concentración de **6.36 mg/kg (S=0.05)**, Cadmio en una concentración de **0.2 mg/Kg(S=0.02)**, Mercurio en una concentración **< 0.003 mg/kg** y Plomo en una concentración de **12.9 mg/Kg (S=0.08)**. También se realizó un análisis granulométrico, un análisis químico por fluorescencia de rayos X y mineralógico por refracción de rayos X.
3. Según el análisis realizado los efectos de la contaminación del río Colca afectan a la salud de las poblaciones aledañas en función al grado de contacto que hayan tenido con el Arsénico. Los efectos pueden asociarse a daños cardio-vasculares, daños renales, efectos neurológicos, problemas respiratorios, problemas dérmicos y reproductivos, muchos de los cuales pueden terminar en cuadros cancerígenos.
4. Se presenta 3 propuestas centradas en la reducción de la concentración de arsénico, la primera relacionada a procesos biológicos de **Fitorremediación** con el uso especies como: *Baccharis salicifolia* (azumiate) y *Schoenoplectus* (Junco Espadaña), capaces de tratar metales pesados.
La segunda propuesta involucra procesos de **Adsorción**, haciendo uso de la capacidad de adsorción de las zeolitas para la remoción de arsénico de las aguas del río Colca.
La tercera propuesta involucra el uso de los relaves mineros en la elaboración de ladrillos u otros materiales de construcción.

RECOMENDACIONES

- Es importante que además de entidades gubernamentales, también entidades de investigación como universidades, institutos y Centro de Innovación y Tecnología, CITES pueda realizar monitoreos sobre Calidad del agua en fuentes naturales como el Río Colca
- En el presente estudio nos hemos enfocado en análisis contrastantes sobre calidad del agua, pero, también es importante realizar monitoreos para el ECA del aire y ECA de suelos.
- Consideramos importante crear conciencia social sobre la importancia de mantener la calidad del agua, dar a conocer los niveles de contaminación por relaves mineros abandonados y que estudios y propuestas como ésta puedan llevar a mejorar las políticas y los procedimientos sobre gestión y cierre de proyectos mineros y pasivos ambientales.
- En el estudio se han identificado y presentado tres propuestas de mejora en el marco del tratamiento ambiental, es recomendable profundizar en estas tecnologías e incentivar a otros investigadores y centros de investigación, así como entidades gubernamentales a desarrollar propuestas específicas para brindar soluciones efectivas a la contaminación en ríos y sus efectos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. Poma, P. (2016). *Intoxicación por plomo en humanos*. Chicago.: Scielo .
- Abernathy, C., & Morgan, A. (2001). *EXPOSURE AND HEALTH EFFECTS*. USA: United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.
- Agua, A. N. (11 de 01 de 2016). *Protocolo Nacional*. Acceso em 14 de 10 de 2021, disponível em www.ana.gob.pe
- Aguirre Ramos, R. (2017). *Análisis de la estabilidad física del deposito de relaves n°5 de la concesión de beneficio Belen de minera Titán del Perú*. Arequipa: Universida Nacional de San Agustín: Geofísica y Minas.
- ANA. (2015). *Evaluación de recursos hídricos en la cuenca Camaná - Majes - Colca*. Lima: Ministeri de Agricultura y Riego.
- ANA. (2015). *Evaluación de recursos hídricos en la cuenca Camaná - Majes - Colca*. Lima: Ministeri de Agricultura y Riego.
- ANA. (s.d.). *Metodología para la determinacion del indice de calidad del agua de los recursos Hidricos Superficiales en el Perú*. .
- Ariza Blanco, A., & Sampayo Campo, L. (2017). *DETERMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN EL EMBALSE EL GUÁJARO, DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO*. Barraquilla: Optar el Título de Ingeniero Ambiental.
- Arizaca, G. F. (2015). *Informe Técnico N°003- 2015-ANA-AAA-CO-ALA.CM-AT/GFA*. Camaná: Memorando N° 101-2014-ANA-AA. CO/SDGCRH(CUT. 955262014).

Arizaca, I. G. (2015). *INFORME TÉCNICO No 001-2015-ANA-AAA.CO-ALA.CM-AT /GFA.*

Camaná, 15 de Enero del 2015: Memorando (M) W 002-2014-ANA-AAA.

CO/SDGCRH.

ASTM D-422, AASHTO T88. (2006). *ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO.* Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil.

Autoridad Nacional del Agua. (2015). *Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca Camaná - Majes - Colca.* Arequipa: INCLAM PERÚ.

Autoridad Nacional del Agua. (2018). *Informe Técnico N° 014-2018-ANA-AAA IC-O-ALA*
Autoridad Nacional del Agua.

Autoridad Nacional del Agua. (2013). *Plan Nacional de Recursos Hídricos del Perú .* Memoria Final.

Barraza, T. L. (2015). *Evaluación de la contaminación del suelo por arsénico, plomo y mercurio en la zona de presa de mina la prieta en Hidalgo del Perral, Chihuahua.* Chihuahua : Maestro en Ingeniería.

Beltrán Rodríguez, L. N., M. Larrahondo , & Cobos , D. (2018). Tecnologías emergentes para disposición de relaves: oportunidades en Colombia. *Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín: Facultad de Minas , 17.*

Bravo, D. G. (2019). *Aplicación del carbón activado de la cáscara de coco, en la purificación y absorción del hierro y plomo del agua de consumo de los pobladores de Paragsha - Pasco 2018.* Fonte:

http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1563/1/T026_73665141_T.pdf

- Bravo, R. H. (2012). *Resusltados de monitoreo de Calidad del Agua Superfial de Cuenca de Camaná - Majes -Colca*. Arequipa: Memorando N° 1499-2012 ANA-DGCRH.
- Cabrera, D. U., Cáceres, E. A., Ramos, D. Z., Prado, J. F., Rodas, Z. L., & Ventura, A. T. (2017). *Arsénico total no deseado ante valores referenciales de ph en agua superficial, cuenca hidrográfica sama, Región Tacna-Perú*. Tacna : Rev. investig. Altoandin. vol.19 no.3 Puno July/Sept. 2017.
- Calderón Soncco, V., & Umiña Quipe, M. (2015). *Evaluación de concretos geopoliméricos mediante activación alcalina de residuos Mineros (Relave) y Zeolita Natural*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa - Repositorio Institucional - UNSA.
- Canzio Álvarez , M. J. (2016). *Proyecto de Ley que Crea el Cánón por el Aprovechamiento de las Aguas* . Lima: Congreso de la República .
- Carabanos, J. (2015). *Niveles de plomo en Sangre en Mexico y su implicacion para lacarga Pedriatica de la enfermedad*.
- Carabantes, A., & Fernicola, N. (2003). Arsénico en el agua de bebida: un problema de salud pública. *Revista Brasileira de Ciencias Farmaceuticas*.
- Castillo, H., & Venegas, G. (2010). Impacto y consecuencia del arsénico en la salud y el medio ambiente en el norte de Chile. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo.*, 53-60.
- Cerrón, R. M., Figueroa, O. L., Leyton, A. A., & Sánchez, G. G. (2018). Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. *Scientia Agropecuaria*. Fonte:

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172018000400011&lng=es&nrm=iso&tlng=es

- Chui B, H., Miramira T., B., & Jacay H., J. (2009). *Determinacion de metales pesados en sedimentos del río Chillón mediante la técnica de fluorescencia de rayos X*. Lima: Rev. Per. Quím. Ing. Quím. Vol. 12 N.º 2, 2009. Págs. 9-14.
- Clesceri, L., Greenberg, A., & Rhodes, T. (1995). *AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION WATER POLLUTION CONTROL FEDER TION*. Madrid: Ediciones diaz de Santos S.A.
- Contreras, P. J. (2004). *Determinacion de metales pesados en aguas y sedimentos del río Haina*. Santo Domingo: Ciencia y Sociedad ISSN: 0378-7680.
- Corral Pérez, V. (2012). *LA INDUSTRIA EN EL DESARROLLO ECONÓMICO DE MÉXICO*.
- Covarrubias, S. (2015). *Los microorganismos en la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados*.
- Cuenca, L. (2015). *Relaves Mineros*. Eldesconcierto.
- D. Manrique, F. (2017). *DIAGNOSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA Y DISEÑO DE PROPUESTA DE SOLUCION PARA LA ZONA CRITICA ESTABLECIDA MEDIANTE EL INDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA) EN EL RIO COLCA*". Arequipa: Universidad nacional de San Agustín.
- Delgado Manrique, F. A. (2018). *Diagnostico de la calidad del agua y diseño de propuesta de solución para la zona critica establecida mediante el índice de calidad de agua (Ica) ene el rio Colca*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín .

- Díaz L., C., Carrión J., M., & González B., L. (2006). *Estudio de la contaminación por Hg, Pb, Cd y Zn en la bahía de Chetumal, Quintana Roo, México*. Chetumal: Revista de la Sociedad Química del Perú.
- DifracLab. (17 de Diciembre de 2019). *DifracLab S.A. de C.V.* Fonte: Difraclab S.A. de C.V. | Diseño por SysOp: <http://difraclab.com.mx/difrax.html>
- El-Shahat, & Gabr, A. (2016). *Altered testicular Morphology and Oxidative Stress Induce by Cadmiun in Experimental Rtas and Protective Effect of Simultaneous Green Tea Extract*.
- España, I. T. (1995). *Análisis por difracción de rayos X*. Madrid: Laboratorio dle ITGE.
- Farnese, F. (2014). *Uptake arsenic by plants: Effectson mineral nutrition*.
- Flavia Bertolotti, R., & Noé Moccett, N. (2018). *BiConcentración de plomo, mercurio y cadmio en músculo de peces y muestras de agua procedentes del Río Santa, Ancash - Perú*. Ancash.
- Flores, H. (2016). *Evaluacion de la concentracion de metales pesados en las aguas del rio Grande en relacion con la mineria*.
- Flores, S., Nuñez, P., Zegarra, E., Flores, N., & Flores, J. (2019). *Metodología de tratamiento de remediación de pasivos ambientales mineros de Cerro El Toro de Huamachuco para el desarrollo sostenible*.
- FLUENCE NEWS TEAM. (2018). *Uso del agua en la industria minera*. Fluence.
- Gabriel, M. &. (2017). *Daños del mercurio en el medio ambiente*.
- García Valdés, M., & Suárez Marín, D. (2013). *El método Delphi para la consulta a expertos en la*. La Habana: Revista Cubana de Salud Pública. 2013; 39(2) 253-267.

- Grado, T. F. (2017). *Análisis de contaminantes en aguas residuales industriales mediante espectrofotometría de absorción molecular y atómica.*
- Guerrero Padilla, A. M. (2015). Demanda hídrica y calidad de agua de uso agrícola de la cuenca del río Jequetepeque, Perú. *REBIOL Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú. ISSN: 2313-3171.*, 14.
- Guerrero, M. A. (2016). *Adaptación Tecnológica a los cambios.*
- Guzman, S., Idalid Cediél, S., & Ocampo, P. (2016). *Evaluación del grado de contaminates por mercurio y otras sustancias tóxicas, y su afección en la salud humana en las poblaciones de la cuenca del río Atrato, como consecuencia de la actividad minera.* Bogota: Protocolo elaborado por entidades del sector salud para dar respuesta a lo establecido por la Sentencia T622 .
- Hergenreder, M., & Pereyra, F. (2015-2016). *Estudios Preliminares para la Remoción de Arsénico en Aguas Subterráneas Utilizando Métodos de Adsorción.* Santa fe: Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Rafaela. Acuña 49.
- HIDRONAV. (2013). *Norma Técnica Hidrográfica N°10 .*
- Ibañez Esquivel, G. (2012). *Plan de manejo ambiental para la conservación de la subcuenca del río San pablo en el Canton la Maná.* Cotopaxi: Ingeniero en Medio Ambiente.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. (2016). *Geoquímica ambiental en la cuenca del río Camaná - Majes - Colca.*

- Lee, K. P. (2017). *Exposure assessment of hexavalent chromium for a powder coating spray painter associated with the development of lung cancer. Aerosol and Air Quality Research, 17(8), 2080. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2016.0>.*
- Leiva, N. G. (2016). *Differential effect of manganese on the germination of Triglochin striata (Juncaginaceae) and Cotula coronopifolia (Asteraceae) in Laguna.*
- Londoño, F. (2016). *Los riesgos de los metales pesados.*
- Londoño, F., Londoño, M., & Muñoz, G. (2016). *Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. Popayán: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.*
- López Gómez, E. (2018). *El método Delphi en la investigación actual en educación: una revisión teórica y metodológica. Madrid: Educación XX1, 21(1), 17-40, doi: 10.5944/educXX1.15536.*
- López Moreno, B. (2015). *Tratamiento y vertimiento de aguas residuales de origen doméstico y municipal en el ámbito urbano. Lima.*
- Lugo, R., & Hernandez, H. (2020). *Fundamentos Teóricos de ICP - MS y su importancia en el análisis de elementos tóxicos en el agua subterránea. Glosa. Revista de Divulgación., 4-15.*
- M. Cornejo, M. (2005). *Contaminación por metales pesados en efluentes del río Colca. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.*
- Macías Socha, C., Gacía Colmenares, M., & Chaparro S, P. (2016). *Determinación electroquímica de plomo y cadmio en aguas superficiales. Bogota: Luna Azul ISSN 1909-2474.*

- Manchego, L. A. (2018). “*EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR LA RELAVERA EL MADRIGAL-AREQUIPA Y PROPUESTA DE FITORREMEDIACIÓN*”. Fonte:
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7789/CNDmamala2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Manchego, L. A. (2018). *Evaluación del estado de conservación de suelos contaminados por la relavera El Madrigal y propuesta de fitorremediación*. Arequipa.
- Mancilla, V. (2012). *Metales pesados totales y arsénico en le agua*.
- Manrique Pérez, N. (2017). *Simulación matemática de la interacción entre la DQO y OD en el río Chili con el Método de los elementos finitos*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín: Ingeniería de Procesos.
- Manzanares Palacios, F. (2017). *Romción de materia orgánica de agua residual sintética con filtros aerobios en medio sintético reciclable a escala piloto*. Huancayo.
- Martinez, M. L. (2018). *Evaluación del estado de conservación de suelos contaminados por relaves el Madrigal Arequipa y Propuesta de fitorremediación*. Arequipa, Perú.: Maestría: Ciencias y Tecnologías Medioambientales Universidad Nacional de San Agustín.
- Medina, M., Robles, P., Mendoza, M., & Torres, C. (2018). Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*.

- MEM. (2001). *Proyecto eliminación de pasivos: Inventario de minas inactivas del departamento de Arequipa*. Arequipa: Universidad nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería geológica, minera y metalúrgica.
- Mendoza de Cid, L. (1993). *Determinación de elementos químicos en las aguas del río Ozama mediante la técnica de fluorescencia de rayos - x por reflexión total*. Santo Domingo: CIENCIA Y SOCIEDAD Volumen XVIII. Número .
- MINAM. (7 de Junio de 2017). Decreto Supremo N° 004-2017 - MINAM. *Aprueban estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen Disposiciones Complementarias*. Lima, Perú: El peruano.
- Ministerio de desarrollo social y medio ambiente. (s.d.). *Monitoreo de agua y sedimentos en cursos superficiales y de suelos afectados por contaminantes de origen industrial*. N° 768 / OC - AR y 907 / SF - AR del BID: PRODIA.
- Ministerio de Energía y Minas. (2015). *Glosario técnico minero*. Bogotá.
- Ministerio de Energía y Minas. (7 de 02 de 2017). *Estudio de minas inactivas en el departamento de Arequipa*. Arequipa, Perú: Ministerio de Energía y Minas.
- Morales Cabrerías , D. U., Avendaño Cáceres , E., Zevallos Ramos, D., Fernández Prado, Z. L., & Torres Ventura, A. (2017). Niveles de boro no permisibles en reservorio de agua potable, cuenca hidrográfica Locumba. *Universidad Nacional Jorge Basadre*, 7.
- Morales Quispe, J. (2018). *Niveles de plomo sanguíneo y factores asociados en niños residentes de un distrito del Callao*. Lima: Ingeniero Ambiental.

- Moreno Rivas, S., & Clamont Montfort, G. (2018). *Descontaminación de arsénico, cadmio y plomo en agua por biosorción con Saccharomyces cerevisiae*. Zaragoza: TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 21(Supl. 2): 51-68, 2018.
- Neira Taboda, M. (2017). *Niveles de contaminación por metales pesados en Huamachico*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo: PostGrado .
- Nigam, H. D. (2015). *Effect of chromium generated by solid waste of tannery and microbial degradation of chromium to reduce its toxicity : A review*, 6(3), 129–136.
- Oviedo Anchundia, R., Moína Quimí , Naranjo Morán, J., & Barcos Arias, M. (2017). *Contaminación por metales pesados en el Sur del Ecuador asociada a la actividad minera*. Universidad Católica de Oriente, Bionatura, Vol 2, Iss 4.
- Parra, M. (2014). *Effect of heavy metal concentration on the physiological responses and heavy metal accumulation of three tropical plant species used for physiological of landfill leachate*.
- Pérez López, E. (2016). *Control de calidad en aguas para consumo humano en la región de occidental de Costa Rica*. Tecnología en Marcha.
- Pérez, J. (2016). *Heavy metals and agricultural quality of treated wastewater*.
- Pernía, B., Mero, M., Cornejo, X., Ramirez, N., Ramirez, L., Bravo, K., . . . Muñoz, J. (2018). *Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado, Ecuador*. Quito: On-line version ISSN 1390-6542 Print version ISSN 1390-9363.

- Prado, G. M. (2015). *Fitorremediación de suelos contaminados con plomo*. Fonte:
<https://docplayer.es/80802844-Fitorremediacion-de-suelos-contaminados-con-plomo-utilizando-amaranthus-spinosus-amaranthaceae-en-cusco-del-2012.html>
- Qahtani, K. (2015). *Science Direct Water purification using different waste fruit cortexes of The removal of heavy metals*.
- Ramirez Pisco, R., Giraldo Jimenez, D., & Barrera cruz, D. (2018). *Fitoextracción de cadmio con hierba mora (Solanum nigrum L.) en suelos cultivados con cacao (Theobroma cacao L.)*. Medellín: Acta Agron. (2018) 67 (3) p 420-424 ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118.
- Ramírez V, A. (2008). *Intoxicación ocupacional por mercurio*. Cajamarca: An. Fac. med. v.69 n.1 Lima ene./mar 2008.
- Ramos, S. J. (2009). *Uso do silício na redução da toxidez de zinco em mudas de eucalipto*.
- Rimache, A. (2018). *Daño genotóxico en trabajadores de minería*.
- Rimarachin, P. (2015). *Tratamiento de aguas de efluentes mineros - metalúrgicos utilizando, métodos pasivos y activos en sistemas experimentales*.
- Ríos, W. C. (2019). *Biorremediación del agua recirculante en el cultivo intensivo del camarón blanco, utilizando microbiota autóctona del ecosistema del mangle rojo*. Fonte:
https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/10867/Torres_rw.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodríguez, D. (2015). *Educación ambiental vs. baja percepción acerca de la contaminación por metales pesados en las comunidades costeras*.

- Rodríguez, M. (2015). *Desarrollo neuropsicológico y trastornos de la conducta en población infantil por exposición a metales pesados*. España: Universidad de Granada.
- Rojas, N. G., Díaz, P. V., Medina, E. C., & Rodríguez, A. V. (2012). *Análisis de la adsorción como método de pulimiento en el tratamiento de aguas*. Fonte: <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894007.pdf>
- Romero, A., & Flores, S. (2010). *Reúso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas*. Fonte: <https://www.redalyc.org/pdf/816/81619984010.pdf>
- Salas, M. B., & Rodriguez, C. P. (2018). *Evaluación de la cáscara de naranja (citrus cinensis) como material adsorbente natural de ion*. Fonte: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7105/IQagsamb.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez Ramos, D. (2015). Ingeniería Ambiental. Calidad de las Aguas. *Contaminación del Agua*. Castilla, Perú: Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la ciudad Real.
- SENAMHI. (s.d.). *Monitoreo de la calidad de agua de los ríos en el Perú, Servicio Nacional de* Perú: Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos .
- Sucto, E. H. (2019). *Adsorción de pb (ii) mediante aserrín xantado de las aguas del río Jatun Ayllu Ocuvirí-Puno*. Fonte: <https://1library.co/document/z1d9gp3z-adsorcion-mediante-aserrin-xantado-aguas-jatun-ayllu-ocuviri.html>

- Tejada, C. (2015). *Absorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico*.
- Ticlavilca, F. J. (2019). *Propuesta de uso de relaves de mina polimetálica en la fabricación de unidades de albañilería - caso ex unidad minera Mercedes 3*. Fonte:
https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/625225/CardenasT_F.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Tripevich, N. (2012). *Obsidian hydration at high elevation: Archaic quarrying at the Chivay source*.
- Vasquez, J. J., & Silva, W. M. (2020). *Estudio de los relaves mineros para la elaboración de ladrillos eco amigables*. Fonte:
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/24461/Meza%20Vasquez%2C%20Juan%20Jonatan%20-%20Mamani%20Silva%2C%20Wilder.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vasquez, K. L. (2018). *Tratamiento de aguas residuales domesticas por Fitorremediación con Eichornia Crassipes en la zona rural del caserío Santa Catalina Moyobamba 2017*.
Fonte:
<http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2734/AMBIENTAL%20%20Kelith%20Liliana%20Perales%20Vasquez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vazquez, T. (1964). *Preparacion demuestras para analisis por rayos X*. consejo Superior de investigacion científica.
- Vega, R. (2015). *Efectos del cacio sobre la toxicidad aguda de alumino en alevines de trucha*.

- Velarde Paz, B. (2016). *Índice de calidad de agua superficial del río Chili en el sector de Sachaca - Tiabaya - Huayco*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín: Escuela Profesional Química.
- Vergara, I. (2016). *CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS : IMPLICACIONES EN SALUD , AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA*, 16, 66–77.
- Villa Gonzales, G. F., Huamani Pacsi , C., Chavez Ruiz, M., & Huamani Azorza , J. A. (2018). Evaluación de la remoción de arsénico en agua superficial utilizando filtros domiciliarios. *Rev Perú Med Exp Salud Pública.*, 5.
- Vizcarra, J. (2018). *Sesenta pasivos mineros ponen en peligro al valle del Colca*. Arequipa: Correo.
- Weiner, M. A. (2016). *Cradle to Cradle – An analysis of the market potential in the German outdoor apparel industry BACHELOR THESIS*, 1–75. Retrieved from <https://d-nb.info/1128141213/34>.
- Ynfa, F. J. (2017). *Efecto del relave minero en la respiración potencial y la actividad enzimática del suelo y su relación con la germinación de semillas, crecimiento de plántulas de maíz (Zea mays L.) c.v. cabanita y bioacumulación de metales pesados*. Arequipa: Título de biólogo.
- Zambrano, C. (2014). *Impacto de la actividad minera de la zona norte de las esmeraldas*.
- Zárate, A. (2017). *Fuentes hidrotermales* .
- Zavala, J. L. (2014). *Informe Técnico N° 011–2014–ANA–AAA I CO-SDGCRH/JLFZ*. Arequipa, 18 de julio del 2014: Memorando N° 2735-2013-ANA-DGCRH.

- Zuñiga Huaco, E. (2017). *Determinacin de perdidas de suelos en la cuenca aportenate de embalse aguada blanca - Arequipa.*
- Gómez, J. (2017). Evaluación geodinámica y modelamiento geotécnico del deslizamiento de madrigal – Arequipa, Perú. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Amachi, A. (2017). Evaluación de los niveles de contaminación del agua del Río Ilave y sus Tributarios – Puno, Perú. Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Altiplano.
- Martinez L. (2018). Evaluación del Estado de Conservación de Suelos Contaminados por la Relavera El Madrigal - Arequipa y propuesta de Fitorremediación– Arequipa, Perú. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Agustín de Arequipa.
- Paccara.D. (2019). Contaminación del Agua por las Actividades Minero Metalurgicas – Arequipa, Perú. Tesis de Grado, Universidad Nacional del Altiplano.
- Flores.H. (2016). Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas del río Grande y su relación con la actividad minera – Arequipa, Perú. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Cajamarca.
- Ibañez E. (2016). Estudio de la Contaminacion por Plomo y Cianuro en las Aguas de La Laguna de Sausacocha. Huamachuco- Provincia De Sanchez Carrión, La Libertad, Perú. 2015 – Trujillo, Perú. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Trujillo.
- Malaver R. (2018). La Contaminación del Agua por efecto de ls operaciones mineras y los conflictos sociales en la ciudad de Cajamarca – Cajamarca, Perú. Tesis de Maestría, Universidad Inca Garcilaso de la Vega.

Jung H. (2005) Transport and sediment–water partitioning of trace metals in acid mine drainage: an example from the abandoned Kwangyang Au–Ag mine area, South Korea.

Department of Earth and Environmental Sciences, Korea University

Ashwani T.(2017) Assessment of Metal Contamination in the Mine Water of the West Bokaro

Coalfield, India. Department of Earth and Environmental Sciences,

Argumedo C.(2017) Metales pesados Cd , Cu , V , Pb en agua lluvia de la zona de mayor

influencia de la mina de carbón en La Guajira, Colombia Facultad de Ingeniería

Universidad de La Guajira

ANEXOS

Anexo 1: Acta de monitoreo ANA



ACTA DE MONITOREO

En cumplimiento al "Plan de Acción para el Monitoreo Participativo de la Calidad del Agua en la Cuenca Camaná - Majes - Colca", a cargo de la Autoridad Administrativa del Agua I Caplina Ocoña y la ALA Colca - Sigua - Chivay; se desarrolló el monitoreo participativo en los puntos indicados en el Numeral I y contando con la participación de los representantes de las instituciones públicas y privadas indicadas en el numeral IV, se suscribe la presente Acta en señal de conformidad del trabajo realizado en campo, siendo las 8:50 horas del día Martes 23 de Octubre de 2012.

I. PUNTOS IDENTIFICADOS

Nº	Código	Descripción	Coordenadas UTM (WGS-84)		Observaciones
			ESTE	NORTE	
1	134 RColc2	Río Colca, antes del ingreso a la Bocatoma de Luti	827734	8280960	
2					
3	134 RColc3	Río Colca, altura del Puente Tapay	821686	8273758	
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

II. OBSERVACIONES

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

III. RESPONSABLES DEL MONITOREO

ALA Colca - Sigua - Chivay: Lardy Chalco Manzillo.

AAA I. Caplina - Ocoña: Inj. María del Pilar Pino Colque.



Fuente: Informe de Vigilancia y Control del Cuarto Monitoreo Participativo de Calidad de Agua Superficial en la Cuenca Camaná Majes Colca ANA Autoridad Nacional del Agua 2105

CUENCA CAMANA - MAJES - COLCA
MONITOREO PARTICIPATIVO DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL

N°	Codigo	Descripcion	Localidad	Distrito	Provincia	Altitud	Coordenadas UTM (WGS-84)		FECHA	HORA	Propiedades Físico Químicas del Agua					Observaciones
							ESTE	NORTE			T °C	pH	STD (mg/l)	OD (mg/l)	C.E. (Us/cm)	
1	184	Río Colca, antes del ingreso a la Bocatoma de Tuti	Tuti	Tuti	Puno	3758	227734	8280960	28/10	8:50	10,9	8,20	-	6,41	486,0	
2																
3	184	Río Colca, altura del Puente Topay	Cobana	Baylón	Puno	2119	821686	8273755	28/10	12:30	21,0	7,98	-	6,58	3010,0	
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																

RESPONSABLE: ALA



RESPONSABLE

Técnico / Especialista

PARTICIPANTE

Fuente: Informe de Vigilancia y Control del Cuarto Monitoreo Participativo de Calidad de Agua Superficial en la Cuenca Camaná Majes Colca ANA Autoridad Nacional del Agua 2105

Anexo 2: Actas de muestreos realizados

VCERPER
 CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DEL PERU S.A.
 DIRECCION LEGAL C/CP. 1125 - Cayma
 TELEFONO: 051 1 271 1133
 LUGAR DE MUESTREO: PISCAS MEDIANAS

CONTACTO: Miriam Malaga
 EMAIL: miriam.malaga@vcerper.com
 CELULAR: 978 024 938

CADENA DE CUSTODIA PARA PROTOTIPO
 HB: 1901217
 EXMA: 13358-2019

CODIGO DE ESTACION Y/O MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	TIPO DE ENVASE		# de Envases	Muestreo (Residual)	Muestreo (Prototipo)	ESTADO			
		FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO				ESTADO	NOTAS		
R Cabeiro 1	A sup	7/9/19	10:57	01	✓	✓	2.25	0195440	827	
R Colca 2	A sup	7/9/19	15:08	01	✓	✓	2.106	0200506	826	
A Colca 2	Suelo	7/9/19	15:15	01	✓	✓	1.6	0200506	826	
TOTAL							8			

CONDICION DE RECEPCION DE LA MUESTRA:
 En buen estado: SI NO
 Recipiente apropiado: SI NO
 Dentro del tiempo de conservacion: SI NO
 Correctamente preservadas: SI NO
 RECIBIDO POR: Miriam Malaga B

OBSERVACIONES:
 R Cabeiro 1: pH: 4.54 CR: 644 ug S: 12
 R Colca 2: pH: 7.07 CR: 790 ug S: 14.9C
 7° 4 RM/1/14

RESPONSABLE DEL MUESTREO: Miriam Malaga
 RESPONSABLE DE MUESTREO / HORA Y FECHA: 07-09-19 21:05

VCERPER
 CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DEL PERU S.A.
 DIRECCION LEGAL C/CP. 1125 - Cayma
 TELEFONO: 051 1 271 1133
 LUGAR DE MUESTREO: PISCAS MEDIANAS

CONTACTO: Miriam Malaga
 EMAIL: miriam.malaga@vcerper.com
 CELULAR: 978 024 938

CADENA DE CUSTODIA PARA PROTOTIPO
 HB: 13358-2019

CODIGO DE ESTACION Y/O MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	TIPO DE ENVASE		# de Envases	Muestreo (Residual)	Muestreo (Prototipo)	ESTADO			
		FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO				ESTADO	NOTAS		
Toma C 1	Suelo	07/09/19	11:30	01	✓	✓	1.51	0195359	8274243	
Toma C 1	Suelo	07/09/19	11:35	01	✓	✓	1.5	0195339	8274243	
Toma C 2	Suelo	07/09/19	11:57	01	✓	✓	1.5	0195342	8274243	
Toma C 2	Suelo	07/09/19	11:57	01	✓	✓	1.5	0195342	8274243	
TOTAL							8			

CONDICION DE RECEPCION DE LA MUESTRA:
 En buen estado: SI NO
 Recipiente apropiado: SI NO
 Dentro del tiempo de conservacion: SI NO
 Correctamente preservadas: SI NO
 RECIBIDO POR: Miriam Malaga B

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL MUESTREO: Miriam Malaga
 RESPONSABLE DE MUESTREO / HORA Y FECHA: 07-09-19 21:05

Fuente: Informe de Vigilancia y Control del Cuarto Monitoreo Participativo de Calidad de Agua Superficial en la Cuenca Camaná Majes Colca ANA Autoridad Nacional del Agua 2105

Anexo 3: Guías para la Calidad del Agua de Consumo Humano

GUÍAS PARA LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO

IDA	0-0.002 mg/kg de pc, basado en un NOAEL de 0.22 mg/kg de pc por día para los cambios histopatológicos en el hígado y la glándula suprarrenal en un estudio de toxicidad y carcinogenicidad de dos años en ratas en el que se aplicó un factor de seguridad de 100
DARf	0.2 mg/kg de pc, basado en un NOAEL de 15 mg/kg de pc para la disminución del peso corporal y la disminución de la ingesta de alimentos en un estudio de neurotoxicidad aguda en ratas en el que se aplicó un factor de seguridad de 100
Límite de detección	La extracción con disolvente seguida de GC-ECD puede ser efectiva (límite de cuantificación 5 ng/L)
Eficacia del tratamiento	Debe eliminarse por adsorción con carbón activado y el dicofol adsorbido en materia particulada probablemente será eliminado durante la coagulación
Cálculo del valor basado en la salud	
• asignación al agua	20% del límite superior de la IDA
• peso	adulto de 60 kilos
• consumo	2 litros al día
Cálculo del valor agudo basado en la salud	
• asignación al agua	100% de la DARf
• peso	adulto de 60 kilos
• consumo	2 litros al día
Comentarios adicionales	Se ha utilizado un factor de asignación por defecto del 20% para tener en cuenta el hecho de que los datos disponibles sobre la exposición a los alimentos, que sugieren que la exposición por esta vía es baja, generalmente no incluyen información procedente de países en desarrollo, donde la exposición por esta ruta podría ser más alta En la sección 8.5.3 se puede encontrar orientación sobre la interpretación del valor basado en la salud y cuándo decidir el monitoreo
Fecha de la evaluación	2016
Referencia principal	WHO (2012). <i>Pesticide residues in food – 2011 evaluations</i> WHO (2016). <i>Dicofol in drinking-water</i>

* Aunque el dicofol no cumple uno de los tres criterios para ser evaluado en las Guías, se ha preparado un documento de antecedentes y se ha establecido un valor basado en la salud para atender una solicitud de orientación de los Estados Miembros.

** Cuando no se ha establecido un valor de referencia formal, se puede determinar un "valor basado en la salud" para proporcionar orientación a los Estados Miembros cuando haya un motivo de preocupación local. El establecimiento de un valor de referencia formal para estas sustancias puede alentar a los Estados Miembros a incorporar un valor en sus normas nacionales cuando ello puede ser innecesario.

*** Para obtener más información sobre el valor agudo basado en la salud, vea la sección 8.7.5.

Anexo 4: Normas sobre calidad del agua de la Organización Internacional de la Normalización ISO

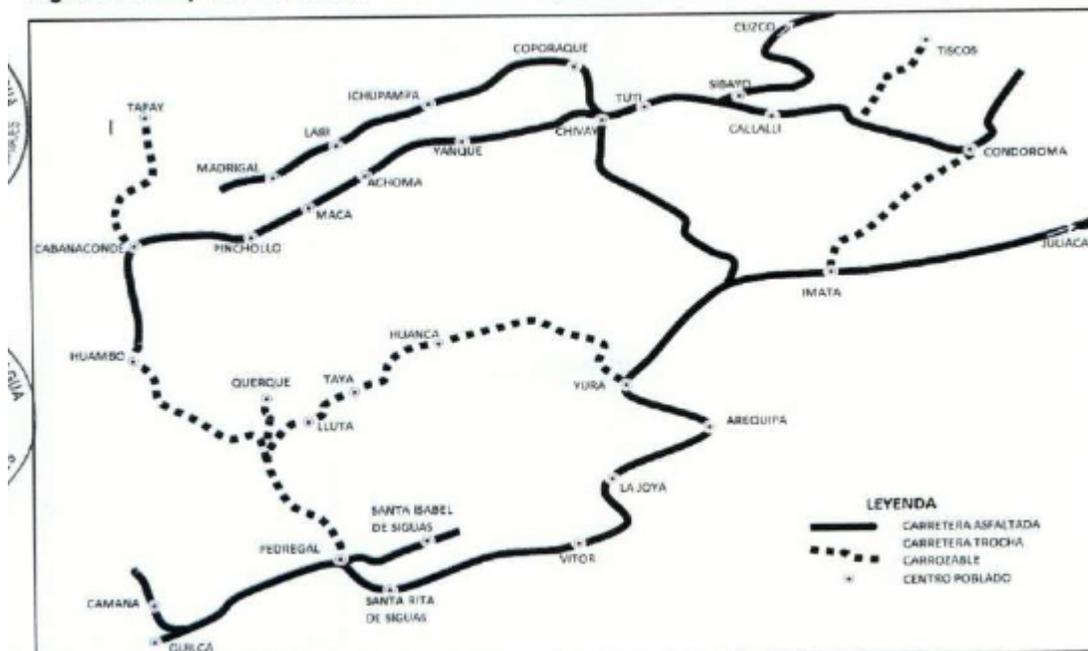
Cuadro 4.5 Normas sobre calidad del agua de la Organización Internacional de Normalización (ISO) que proporcionan orientación sobre el muestreo^a

Norma ISO no.	Título (calidad del agua)
5667-1:2006	Muestreo-Parte 1: Guía para el diseño de los programas de muestreo y técnicas de muestreo
5667-3:2003	Muestreo-Parte 3: Guía para la conservación y manipulación de las muestras de agua
5667-4:1987	Muestreo-Parte 4: Guía para el muestreo de lagos naturales y artificiales
5667-5:2006	Muestreo-Parte 5: Guía para el muestreo de agua de consumo humano obtenida de agua tratada y sistemas de distribución por cañería
5667-6:2005	Muestreo-Parte 6: Guía para el muestreo de ríos y corrientes
5667-11:2009	Muestreo-Parte 11: Guía para el muestreo de aguas subterráneas
5667-13:1997	Muestreo-Parte 13: Guía para el muestreo de lodos procedentes de aguas residuales y de instalaciones de tratamiento de agua
5667-14:1998	Muestreo-Parte 14: Guía sobre el aseguramiento de la calidad del muestreo y el manejo de aguas medioambientales
5667-16:1998	Muestreo-Parte 16: Guía para los ensayos biológicos de muestras
5667-20:2008	Muestreo-Parte 20: Guía sobre el uso de datos de muestreo para la toma de decisiones – Cumplimiento con umbrales y sistemas de clasificación
5667-21:2010	Muestreo-Parte 21: Guía para el muestreo del agua de consumo humano distribuida por camiones cisterna u otros medios que no sean tuberías de distribución
5667-23:2011	Muestreo-Parte 23: Guía para el muestreo pasivo en aguas superficiales
5668-17:2008	Muestreo-Parte 17: Guía para el muestreo de sedimentos en suspensión
13530:2009	Guía sobre el control de la calidad analítica para el análisis químico y fisicoquímico del agua
17381:2003	Selección y aplicación de métodos que utilizan kits de ensayo listos para usar en el análisis de agua

^a La ISO ha establecido normas de gestión de la calidad relacionadas con el abastecimiento de agua potable, incluida la ISO 24510:2007, Actividades relacionadas con los servicios de agua potable y de agua residual – Directrices para la evaluación y para la mejora del servicio a los usuarios, y la ISO 24512:2007, Actividades relacionadas con los servicios de agua potable y de agua residual – Directrices para la gestión de las entidades prestadoras de servicios de agua potable y para la evaluación de los servicios de agua potable.

Anexo 6: Esquema de Accesibilidad en Tiempo Ámbito de la ALA Colca Sigvas Chivay

Figura 02: Esquema de Accesibilidad en Tiempo – Ámbito de la ALA Colca Sigvas Chivay



FUENTE : ALA COLCA SIGUAS CHIVAS

Fuente: Informe de Vigilancia y Control del Cuarto Monitoreo Participativo de Calidad de Agua Superficial en la Cuenca Camaná Majes Colca AANa Autoridad Nacional del Agua 2105

Anexo 7: Red de monitoreo en la Cuenca Camaná Majes Colca

Tabla 11: Red de Monitoreo en la Cuenca Camaná Majes Colca

N°	Código	Descripción	Coordenadas UTM		Altitud m.s.n.m.
			Este	Norte	
01	134RCnd	Río Condorama, antes del ingreso a la Represa de Condorama	259 765	8 296 691	4 219
02	134RCclc	Río Colca, antes del ingreso a la Represa de Condorama	253 485	8 285 576	4 225
03	134RCclc1	Río Colca, salida de las aguas de la Represa de Condorama	254 305	8 296 088	4 125
04	134RCclc2	Río Colca, antes del ingreso a la Bocatoma de Tuti	227 734	8 280 960	3 758
05	134RCclc3	Río Colca, altura del Puente Tapay	821 586	8 273 758	2 119
06	134RMama1	Río Mamacocha, salida de la Laguna Mamacocha	795 399	8 264 638	1 696
07	134RCclc4	Río Colca, antes de la confluencia con el río Capiza	773 841	8 246 195	897
08	134RTpa1	Río Tipán, 20 metros antes del puente Capiza	771 194	8 255 627	1 492
09	134RTapa1	Río Taparza, 20 metros antes de la confluencia con el río Tipán	771 248	8 255 584	1 513
10	134RCapi1	Río Capiza, antes de la confluencia con el río Colca	773 755	8 246 058	910
11	134RGran1	Río Grande, altura del puente Huarío.	762 216	8 238 798	1 779
12	134RMaje1	Río Majes, altura del puente Huancarqui	769 374	8 220 779	608
13	134RMaje2	Río Majes, altura del puente Punta Colorada	772 336	8 198 900	368
14	134RCama1	Río Camaná, altura Bocatoma El Brazo	745 348	8 169 601	74
15	134RCama2	Río Camaná, sector Montes Nuevos antes del ingreso al mar	738 970	8 160 302	3

FUENTE: FICHAS REGISTRO CAMPO - ALA CAMANA MAJES COLCA (2014)

Fuente: Informe de Vigilancia y Control del Cuarto Monitoreo Participativo de Calidad de Agua Superficial en la Cuenca Camaná Majes Colca ANA Autoridad Nacional del Agua 2105

Anexo 8: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua Categoría 3 para el Riego de Vegetales y bebida de Animales

Item N°	Parámetros	Unidades	ECA para Agua Categoría 3	
			Vegetales de Tallo Bajo	Bebidas de Animales
Fisicoquímicos				
1	Bicarbonatos	mg/L	370	-
2	Calcio	mg/L	200	-
3	Carbonatos	mg/L	5	-
4	Cloruros	mg/L	100 - 700	-
5	Conductividad Eléctrica	uS/cm	<2000	<=5000
6	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15	<=15
7	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40	
8	Fluoruros	mg/L	1	2
9	Fosfatos-P	mg/L	1	-
10	Nitratos (NO3-N)	mg/L	10	50
11	Nitritos (NO2-N)	mg/L	0,06	1
12	Oxígeno Disuelto	mg/L	>=4	>5
13	pH	Unidades de pH	6,5 - 8,5	6,5 - 8,4
14	Sodio	mg/L	200	-
15	Sulfatos	mg/L	300	500
16	Sulfuros	mg/L	0,05	0,05
Inorgánicos				
17	Aluminio (Al)	mg/L	5	
18	Arsénico (As)	mg/L	0,05	0,1
19	Bario (Ba)	mg/L	0,7	-
20	Berilio (Be)	mg/L	-	0,1
21	Boro (B)	mg/L	0,5 - 5	5
22	Cadmio (Cd)	mg/L	0,005	0,01
23	CN Wad	mg/L	0,1	0,1
24	Cobalto (Co)	mg/L	0,05	1
25	Cobre (Cu)	mg/L	0,2	0,5
26	Cromo VI	mg/L	0,1	1
27	Hierro (Fe)	mg/L	1	
28	Litio (Li)	mg/L	2,5	
29	Magnesio (Mg)	mg/L	150	
30	Manganeso (Mn)	mg/L	0,2	
31	Mercurio (Hg)	mg/L	0,001	
32	Níquel (Ni)	mg/L	0,2	
33	Plata (Ag)	mg/L	0,05	
34	Plomo (Pb)	mg/L	0,05	
35	Selenio (Se)	mg/L	0,05	
36	Zinc (Zn)	mg/L	2	24
Orgánicos				
37	Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	1	
38	Fenoles	mg/L	0,001	
39	S.A.A.M. (Detergentes)	mg/L	1	
Plaguicidas				
40	Aldicarb	ug/L	1	
41	Aldrin (CAS 309-00-2)	ug/L	0,004	0,03
42	Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3	

Fuente: Informe de Vigilancia y Control del Cuarto Monitoreo Participativo de Calidad de Agua Superficial en la Cuenca Camaná Majes Colca ANA Autoridad Nacional del Agua 2105

44	Dieldrín (N°CAS 72-20-8)	µg/L	0,7		
45	Endrín	µg/L	0,004		
46	Endosulfán	µg/L	0,02		
47	Heptacloro (N°CAS 76-44-8) y heptacloropóxido	µg/L	0,1		
48	Lindano	µg/L	4		
49	Paratión	µg/L	7,5		
Biológicos					
50	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1 000	2 000	1 000
51	Coliformes Totales	NMP/100 mL	5 000	5 000	5 000
52	Enterococos	NMP/100 mL	20	100	20
53	Escherichia Coli	NMP/100 mL	100		
54	Huevos de Helminfos	huevo/L	< 1	< 1	< 1
55	Salmonella sp.		Ausente		
56	Vibrión Cholerae		Ausente		
NOTA:					
NMP/100 mL: Número más probable en 100 mL.					
Vegetales de Tallo Alto: Son plantas cultivables o no, de porte arbustivo o arbóreo y tienen una buena longitud de tallo, las especies leñosas y forestales tienen un sistema radicular pivotante profundo (1 a 20 metros). Ejemplo: Forestales, árboles frutales, etc.					
Vegetales de Tallo Bajo: Son plantas cultivables o no, frecuentemente porte herbáceo, debido a su poca longitud de tallo alcanzan poca altura. Usualmente, las especies herbáceas de porte bajo tienen un sistema radicular difuso o fibroso, poco profundo (10 a 50 cm). Ejemplo: Hortalizas y verduras de tallo corto, como ajo, lechuga, fresas, col, repollo, apio y arveja, etc.					
Animales mayores: Entiéndase como animales mayores a vacunos, ovinos, porcinos, camélidos y equinos, etc.					
Animales menores: Entiéndase como animales menores a caprinos, cuyes, aves y conejos.					
SAAM: Sustancias activas de azul de metileno.					

FUENTE: D.S. N° 002-2008-MINAM.

Respecto a los valores indicados en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua Categoría 3: Riego de Vegetales, para la concentración de Boro: 0,5 mg/L y 6 mg/L. Según la Canadian Water Quality Guidelines del Canadian Council of Resource and Environment Ministers (CCREM 1987 – CCME 1999) y las Guías de Calidad de Aguas para usos agrícolas de Alberta – Canadá. Considerar en la evaluación, que la concentración de Boro en aguas de riego no debe exceder 0,5 mg/L para plantas sensibles, pero puede ser tan alto como 6 mg/L para plantas tolerantes.

Fuente: Informe de Vigilancia y Control del Cuarto Monitoreo Participativo de Calidad de Agua Superficial en la Cuenca Camaná Majes Colca ANA Autoridad Nacional del Agua 2105

Anexo 9: Resultados de parámetros fisicoquímicos, inorgánicos, orgánicos y biológicos del Río Colca

Item N°	Parámetros	Unidades	Unidad Hidrográfica	ECA para Agua Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebidas de Animales		
			Medio Camaná			
			Río Colca	Vegetales de Tallo Bajo	Vegetales de Tallo Alto	Bebidas de Animales
			134RCol4			
Fisicoquímicos						
1	Calcio	mg/L	48.36	200	-	
2	Caudal	L/s	32200.00	-		
3	Conductividad Eléctrica	µS/cm	1334.00	<2000	<=5000	
4	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	<2.00	15	<=15	
5	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	<10.0	40		
6	Fosfatos-P (PO ₄ ⁻³)	mg/L	<0.030	1	-	
7	Nitratos (NO ₃ -N)	mg/L	0.178	10	50	
	Nitrógeno Amoniacal	mg/L	0.025	-		
	Oxígeno Disuelto	mg/L	8.50	>=4	>5	
	pH	Unidades de pH	8.85	6,5 - 8,5	6,5 - 8,4	
	Sodio	mg/L	53.13	200	-	
12	Sólidos suspendidos totales (STS)	mg/L	<3.00	-		
13	Sulfuros	mg/L	0.002	0,05		
14	Temperatura	°C	17.5	-		
Inorgánicos						
15	Aluminio (Al)	mg/L	0.10	5		
16	Arsénico (As)	mg/L	0.026	0,05	0,1	
17	Bario (Ba)	mg/L	0.022	0,7	-	
18	Berilio (Be)	mg/L	<0.0002	-	-	0,1
19	Boro (B)	mg/L	0.734	0,5 - 6	5	
20	Cadmio (Cd)	mg/L	<0.0004	0,005	0,01	
21	CN Wad	mg/L	<0.008	0,1		
22	CN Libre	mg/L	<0.004	-		
23	Cobalto (Co)	mg/L	<0.0003	0,05	1	
24	Cobre (Cu)	mg/L	0.0016	0,2	0,5	
25	Hierro (Fe)	mg/L	0.074	1		
26	Litio (Li)	mg/L	0.150	2,5		
27	Magnesio (Mg)	mg/L	10.02	150		
28	Manganeso (Mn)	mg/L	0.0098	0,2		
29	Mercurio (Hg) (**)	mg/L	<0.0001	0,001		
30	Níquel (Ni)	mg/L	<0.0004	0,2		
31	Nitrogeno Total	mg/L	<1.00	-		
32	Plata (Ag)	mg/L	<0.0005	0,05		
33	Plomo (Pb)	mg/L	0.0023	0,05		
34	Selenio (Se)	mg/L	<0.003	0,05		
35	Zinc (Zn)	mg/L	0.042	2	24	
Orgánicos						
36	Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	<0.5	1		
Biológicos						
37	Coliformes Termotolerantes ^(*)	NMP/100 mL	17	1 000	2 000	1 000

Valor que no cumple el Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua Categoría 3 para el Riego de Vegetales y Bebida de Animales

(*) El método indicado no ha sido acreditado por el INDECOPI-SNA

(**) Parámetros no analizado por haber superado el tiempo de conservación para el análisis

Fuente: Informe de Vigilancia y Control del Cuarto Monitoreo Participativo de Calidad de Agua Superficial en la Cuenca Camaná Majes Colca ANA Autoridad Nacional del Agua 2105

Anexo 10: Estándares de Calidad Ambiental

18						
NORMAS LEGALES						
Miércoles 7 de junio de 2017 /  El Peruano						
Categoría 4: Conservación del ambiente acuático						
Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FISICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081

Fuente: Normas Legales Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias - DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM Diario Oficial El Peruano 2017

Anexo 11: Estándares de Calidad Ambiental Categoría 3 Riego de vegetales y bebida de animales

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FISICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/ Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Niquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
ORGÁNICO				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35		35
Organoclorados				
Aldrin	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrin	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrin	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
Carbamato				
Aldicarb	µg/L	1		11

Fuente: Normas Legales Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias - DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM Diario Oficial El Peruano 2017

Anexo 12: Estándares de Calidad Ambiental Categoría 2 Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

16

NORMAS LEGALES

Miércoles 7 de junio de 2017 /  El Peruano

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

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
FÍSICOS- QUÍMICOS					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 – 8,5	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	80	60	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
INORGÁNICOS					
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Niquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Talio	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
ORGÁNICO					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
Bifenilos Policlorados					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
ORGANOLEPTICO					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**

Fuente: Normas Legales Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias - DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM Diario Oficial El Peruano 2017

Anexo 13: Artículo 10°. -Del nivel, los objetivos y el contenido del Plan de Cierre de Minas

El Plan de Cierre de Minas debe ser elaborado a nivel de factibilidad, en base a la estructura señalada en el Anexo I del presente Reglamento. Debe ser ejecutado en forma progresiva durante la vida útil de la operación minera, al término de la cual se debe cerrar el resto de áreas, labores e instalaciones que por razones operativas no hubieran podido cerrarse durante la etapa productiva o comercial, de forma tal que se garantice el cumplimiento efectivo de los siguientes objetivos:

- a) Estabilidad física a largo plazo.
- b) Estabilidad química a largo plazo.
- c) Rehabilitación de las áreas afectadas.
- d) Uso alternativo de áreas o instalaciones, de conformidad con lo establecido en el artículo 18.
- e) Determinación de las condiciones del posible uso futuro de dichas áreas o instalaciones.

Para tal efecto, en la elaboración del Plan de Cierre de Minas se tendrá en cuenta lo siguiente:

- 10.1 Debe incluir las medidas y presupuesto necesarios para rehabilitar el lugar en el que se han desarrollado actividades mineras, asegurar la estabilidad física y química de los residuos y componentes mineros susceptibles de generar impactos negativos y establecer condiciones adecuadas para que el desarrollo y término del proyecto minero, sea acorde con los mandatos establecidos en la legislación vigente.
- 10.2 Su contenido debe sujetarse a las características propias de la unidad minera correspondiente, a la aplicación de prácticas, métodos y tecnologías probados, considerando la ubicación geográfica de la unidad minera, la cercanía a centros poblados, los atributos del área de influencia, entre otros factores relevantes. Debe incluir el estimado del presupuesto, el cronograma anualizado y las garantías del Plan de Cierre de Minas, la atención prioritaria de los componentes de mayor riesgo para la salud de las personas y el medio ambiente.
- 10.3 En caso que en el Plan de Cierre de Minas se deba considerar medidas para la rehabilitación de áreas que han sido impactadas por las operaciones del titular de actividad minera solicitante y por terceros, se podrá optar por presentar:

a) Medidas de rehabilitación colectivas, con expresa indicación de los componentes que estarán a cargo de cada titular de actividad minera participante, cada uno de los cuales debe suscribir ante la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros, los compromisos que corresponden al cierre de las áreas, labores o instalaciones a su cargo.

b) Medidas de rehabilitación individual, para lo cual el titular de actividad minera deberá presentar los estudios que sustenten la responsabilidad de dicho titular y consecuentemente las medidas de rehabilitación ambiental que estarán a su cargo.

10.4 Debe incluir medidas relativas a:

- a) El cierre progresivo de áreas, labores o instalaciones.
- b) Eventuales suspensiones temporales de operaciones.
- c) El cierre final de la unidad minera.
- d) El post cierre. (Reglamento para el cierre de Minas, 2005, pp. 4-5)

Anexo 14: Determinación de la Desviación Estándar para la Tabla 22. Trazas metálicas y Metales totales en Suelo

		Estación de muestreo	R Cahuire 1				
		Fecha y Hora de Muestreo	07/09/2019 15:15				
Parámetro	Límite de detección	Unidad	Resultados				PROMEDIO
Metales Totales ICP-Masa							
Arsénico (As)	0,02	mg/kg	6,36	6,39	6,3	6,4	6,36
Cadmio (Cd)	0,02	mg/kg	0,2	0,19	0,22	0,17	0,20
Mercurio (Hg)	0,03	mg/kg	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	No Aplica
Plomo (Pb)	0,02	mg/kg	12,9	12,96	13,1	13	12,99
* Para el Arsénico			* Para el Cadmio			* Para el Plomo	
	S= 0,05		S= 0,02			S= 0,08	

Fuente: Elaboración Propia