



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL



**EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS
GENERADO POR EL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DE LA RELAVERA PERTENECIENTE A LA UNIDAD
MINERA SAN RAFAEL, ANTAUTA, 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. WILSON JOSE VILCA APAZA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL**

JULIACA – PERÚ

2024



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS
GENERADO POR EL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DE LA RELAVERA PERTENECIENTE A LA UNIDAD
MINERA SAN RAFAEL, ANTAUTA, 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. WILSON JOSÉ VILCA APAZA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

: 
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

PRIMER MIEMBRO

: 
Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

SEGUNDO MIEMBRO

: 
M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

ASESOR DE TESIS

: 
Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

: CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL – P22



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1838 2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 23 de diciembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-17011 presentado por el (la) Bachiller: **WILSON JOSE VILCA APAZA** estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita reprogramación de la sustentación de tesis.

CONSIDERANDO: Que, el (la) Bach. **WILSON JOSE VILCA APAZA**, solicita reprogramación de la sustentación de la Tesis Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS GENERADO POR EL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA RELAVERA PERTENECIENTE A LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL, ANTAUTA, 2024** la misma que pertenece a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL** para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental.

Que, a través de la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 1486-2024-D-UI-FICP-UANCV** emitida el 11 de noviembre del 2024 se aprueba la nominación de jurados y programación de fecha y hora de sustentación programada para el día viernes 15 de noviembre en forma presencial, y que mediante la solicitud remitida por el Bach. **WILSON JOSE VILCA APAZA**, quien solicita reprogramación de sustentación de la tesis por problemas sociales que se acontecieron en la región.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- * **Presidente** : Dr. **MILTHON QUISPE HUANCA**
- * **1er Miembro** : Dr. **EFRAIN PARILLO SOSA**
- * **2do Miembro** : M.Sc. **JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**

ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, Mgr. **SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS**.

ARTICULO TERCERO. - APROBAR, la **REPROGRAMACION** de **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **WILSON JOSE VILCA APAZA**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS GENERADO POR EL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA RELAVERA PERTENECIENTE A LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL, ANTAUTA, 2024** para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : Viernes 27 de diciembre del 2024
- * **HORA** : 14:00 horas
- * **LUGAR** : Aula 306 - Pabellón de Hidráulica

ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. **MILTHON QUISPE HUANCA**
DECANO
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. **Efraín Parillo Sosa**
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (a)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1147-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 27 de setiembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU - 12070 por el señor (a): **WILSON JOSE VILCA APAZA** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 983 - 2024-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 077- 2024 del integrante del comité de investigación EPISA de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **WILSON JOSE VILCA APAZA**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS GENERADO POR EL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA RELAVERA PERTENECIENTE A LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL, ANTAUTA, 2024**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Mgtr. Franz Joseph Barahona Perales de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 077- 2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS GENERADO POR EL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA RELAVERA PERTENECIENTE A LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL, ANTAUTA, 2024**, Correspondiente a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **WILSON JOSE VILCA APAZA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS GENERADO POR EL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA RELAVERA PERTENECIENTE A LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL, ANTAUTA, 2024** correspondiente a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la, Mgtr. **SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. WILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. Efraín Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (a)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 455-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 17 de junio del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU- 05712, presentado el o (la) Bachiller WILSON JOSE VILCA APAZA solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 351 -2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 56 -2024 del integrante del comité de investigación EPISA de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el o (la) Bachiller: WILSON JOSE VILCA APAZA ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS GENERADO POR EL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA RELAVERA PERTENECIENTE A LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL, ANTAUTA, 2024**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Mgtr. Franz Joseph Barahona Perales de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 56 -2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS GENERADO POR EL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA RELAVERA PERTENECIENTE A LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL, ANTAUTA, 2024**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el o (la) Bachiller: WILSON JOSE VILCA APAZA, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS GENERADO POR EL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA RELAVERA PERTENECIENTE A LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL, ANTAUTA, 2024** correspondiente a la línea de investigación **SANEAMIENTO AMBIENTAL**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a) docente M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

WILSON JOSE VILCA APAZA
DECANO
CIP: 47793



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
OFICINA DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2024
Interesado (a)



EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS GENERADO POR EL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA RELAVERA PERTENECIENTE A LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL, ANTAUTA, 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

21%

FUENTES DE INTERNET

13%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	6%
2	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	4%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	1%



METADATOS COMPLEMENTARIOS

TÍTULO DE LA TESIS	
EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS GENERADO POR EL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA RELAVERA PERTENECIENTE A LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL, ANTAUTA, 2024	
Datos del autor	
Nombres y apellidos	WILSON JOSE VILCA APAZA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70171028
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0003-5597-0346
Datos del asesor	
Nombres y apellidos	SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02383061
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0008-8660-8733
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	MILTHON QUISPE HUANCA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02424528
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	EFRAIN PARILLO SOSA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02416058
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01323821



Datos de investigación	
Línea de investigación	CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL – P22
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	<p>Ubicación País: Perú Departamento: Puno Provincia: Melgar Distrito: Antauta Coordenadas: Latitud: 14°16'41.4"S Longitud: 70°18'04.6"W</p> <p>URL: https://maps.app.goo.gl/db4rAFhUn7BcCgkB8</p> 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Abril 2024 - Octubre 2024
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	Ingeniería ambiental https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00 Minería, Procesamiento de minerales https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.05 Ingeniería ambiental y geológica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01



UNIVERSIDAD NACIONAL NESTOR CERREJA VELASQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Efraín Pajillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo Wilson Jose Vilca Apaza, identificado con DNI Nro. 70171028, en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
- Programa de Segunda Especialidad,
- Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación, Trabajo Académico denominada:

EVALUACION DE LA CONCENTRACION DE METALES PESADOS
GENERADO POR EL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA
RELAVERA PERTENECIENTE A LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL, ANTAUTA, 2024

Asesorado por: Magr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 09 de ENERO del 20 25


Firma del Asesor


Firma del Estudiante



Huella



DEDICATORIA

Todo logro de mi vida se la dedico a mis padres Wulfrano Vilca y Gloria Apaza por darme fuerzas, guiarme con el ejemplo personal y el apoyo incondicional que siempre me han ofrecido, .

Wilson Jose Vilca Apaza



AGRADECIMIENTO

A nuestro padre celestial por haberme complementado y orientado a el transcurso de mi carrera por ser mi fuerza en las situaciones de agotamiento y por darme una vida colmada de aprendizajes, prácticas y específicamente en bienestar. A la UANCV, a los docentes de la EPISA, en especial a mi pequeña hija Jazmin Nahomi y a mi compañera de vida Beky por estar en todo momento a mi lado.

Wilson Jose Vilca Apaza



ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ix
AGRADECIMIENTO	x
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	16

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Análisis de la situación problemática	18
1.2. Planteamiento del problema.....	20
1.2.1. Problema general	20
1.2.2. Problemas Específicos	20
1.3. Objetivos de la investigación.....	20
1.3.1. Objetivo general.....	20
1.3.2. Objetivos específicos.....	21
1.4. Justificación de la investigación	21
1.5. Hipótesis de la investigación	22



1.5.1. Hipótesis alterna	22
1.5.2. Hipótesis nula	22
1.6. Variables.....	22
1.6.1. Variable 1.....	22
1.6.2. Variable 2.....	22
1.7. Operacionalización de variables	22

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación.....	24
2.1.1. Antecedentes Internacionales	24
2.1.2. Antecedentes nacionales	27
2.1.3. Antecedentes locales.....	29
2.2. Marco teórico.....	31
2.2.1. Metales pesados.....	31
2.2.2. Vertimiento de aguas residuales	32
2.2.3. Drenaje ácido de minas	34
2.2.4. Calidad del agua posterior a la zona de mezcla del punto de vertimiento de aguas residuales.....	40
2.2.5. Relaves mineros	43
2.2.6. Minera	44
2.3. Marco conceptual	45



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION

3.1. Diseño de la investigación.....	47
3.2. Tipo de la investigación.....	47
3.3. Nivel de la investigación.....	47
3.4. Población y muestra.....	47
3.4.1. Población.....	48
3.4.2. Muestra.....	48
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	48
3.5.1. Técnicas.....	48
3.5.2. Instrumentos.....	49
3.6. Materiales y equipos.....	49
3.7. Ubicación de la zona en estudio.....	50
3.8. Procedimiento metodológico.....	51
3.8.1. Caracterizar los metales pesados en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024.....	51
3.8.2. Realizar la zonificación de la concentración de metales pesados en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024.....	53



3.8.3. Proponer una tecnología que permita disminuir la carga de contaminantes en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024 54

3.9. Prueba estadística..... 55

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados..... 56

4.1.1. Determinar la concentración de metales pesados en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024 56

4.1.2. Realizar la zonificación de la concentración de metales pesados en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024..... 71

4.1.3. Proponer una tecnología que permita disminuir la carga de contaminantes en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024 76

4.1.4. Prueba estadística 82

4.2. Discusión 84

CONCLUSIONES 87

RECOMENDACIONES..... 89



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	90
ANEXOS	95



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de variables.....	23
Tabla 2 Clasificación de aguas residuales de mina en función al pH.....	36
Tabla 3 Clasificación de drenajes en función del pH y el potencial de acidez/alcalinidad de los minerales.....	37
Tabla 4 Puntos de muestreo de agua.....	51
Tabla 5 Concentración de los parámetros monitoreados.....	57
Tabla 6 Concentración de parámetros físicos del río Antauta.....	60
Tabla 7 Concentración de metales pesados del río Antauta.....	62
Tabla 8 Concentración de parámetros físicos en el efluente de la Unidad Minera San Rafael.....	68
Tabla 9 Concentración de metales pesados en el efluente de la Unidad Minera San Rafael.....	69
Tabla 10 Prueba de normalidad Shapiro – Wilk.....	82
Tabla 11 Prueba estadística ANOVA (Metales pesados vs. ECA).....	84



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Ubicación del área en estudio	50
Figura 2 Concentración del plomo en el rio Antauta	63
Figura 3 Concentración del cadmio en el rio Antauta.....	64
Figura 4 Concentración del arsénico en el rio Antauta.....	65
Figura 5 Concentración del zinc en el rio Antauta.....	66
Figura 6 Concentración del mercurio en el rio Antauta	67
Figura 7 Concentración de parámetros físicos en el efluente de la Unidad Minera San Rafael.....	68
Figura 8 Concentración de metales pesados en el efluente de la Unidad Minera San Rafael.....	70
Figura 9 Zonificación de la concentración de plomo en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera.....	71
Figura 10 Zonificación de la concentración de cadmio en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera.....	72
Figura 11 Zonificación de la concentración de arsénico en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera.....	73
Figura 12 Zonificación de la concentración de zinc en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera.....	74
Figura 13 Zonificación de la concentración de mercurio en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera.....	75
Figura 14 Toma de muestras aguas abajo del punto de vertimiento	100
Figura 15 Toma de muestras aguas abajo del punto de vertimiento	101



Figura 16	Toma de muestras aguas arriba del punto de vertimiento.....	102
Figura 17	Toma de muestras aguas arriba del punto de vertimiento.....	103
Figura 18	Toma de muestras del punto de vertimiento	104
Figura 19	Toma de muestras del punto de vertimiento	105



RESUMEN

La investigación surge debido a que existe el vertimiento constante de agua residual de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael hacia el río Antauta; generando zozobra por que desconoce el contenido de metales pesados, ante ello se planteó el objetivo de evaluar la concentración de metales pesados producido por el vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024; con procedimiento mediante la determinación del contenido de (Plomo, Cadmio, Arsénico, Zinc, Mercurio), en el cuerpo receptor (aguas arriba, punto de vertimiento, y aguas abajo), y consecutivamente realizar la zonificación de dichos metales empleando el software ArcGIS, mediante la herramienta de interpolación Kriging; siendo resultante que el punto aguas arriba presento concentraciones de plomo, 0.001mg/l, cadmio 0.01mg/l, arsénico 0.01mg/l, zinc 0.045mg/l, y mercurio 0.01mg/l; mientras que en el punto de vertimiento presento; plomo de 0.0109mg/l, cadmio 0.011mg/l, arsénico 0.011mg/l, zinc 0.025mg/l, mercurio 0.01mg/l; y aguas abajo presento concentraciones de plomo 0.0130mg/l, cadmio 0.012mg/l, arsénico 0.011mg/l, zinc 0.090mg/l, mercurio 0.01mg, en base a la zonificación se encontró que existe variación de metales pesados en la masa receptora del punto de vertimiento. Concluyendo que el plomo, arsénico y zinc no exceden el ECA de agua; mientras que el cadmio y mercurio si sobrepasan el ECA de agua para consumo humano, riego de vegetales y bebida de animales; en el punto de vertimiento de agua residual de la relavera.

Palabras clave: Metales pesados, relavera, agua residual, punto de vertimiento, Estándar de calidad ambiental



ABSTRACT

The research arises because there is a constant discharge of wastewater from the tailings dam belonging to the San Rafael mining unit into the Antauta river; generating anxiety because the content of heavy metals is unknown, so the objective was to evaluate the concentration of heavy metals produced by the discharge of wastewater from the tailings dam belonging to the San Rafael mining unit, Antauta, 2024; with procedure by determining the content of (Lead, Cadmium, Arsenic, Zinc, Mercury), in the receiving body (upstream, discharge point, and downstream), and consecutively perform the zoning of these metals using ArcGIS software, using the Kriging interpolation tool; resulting that the upstream point presented concentrations of lead, 0.001mg/l, cadmium 0.01mg/l, arsenic 0.01mg/l, zinc 0.045mg/l, and mercury 0.01mg/l; while at the discharge point there was lead of 0.0109mg/l, cadmium 0.011mg/l, arsenic 0.011mg/l, zinc 0.025mg/l, mercury 0.01mg/l; and downstream it presented concentrations of lead 0.0130mg/l, cadmium 0.012mg/l, arsenic 0.011mg/l, zinc 0.090mg/l, mercury 0.01mg, based on the zoning it was found that there is a variation of heavy metals in the receiving body of the discharge point. It was concluded that lead, arsenic and zinc do not exceed the ECA for water; while cadmium and mercury do exceed the ECA for water for human consumption, vegetable irrigation and animal drinking water; at the tailings pond wastewater discharge point.

Keywords: Heavy metals, tailings, tailings dam, wastewater, discharge point, Environmental Quality Standard



INTRODUCCIÓN

Actualmente el sector minero ha contribuido de manera importante al crecimiento y desarrollo económico del Perú; sin embargo, la minería tiene consecuencias tanto positivas como negativas, ya que destruye la ecología circundante al contaminar el aire, el suelo, el agua y quizás otras fuentes de vida (Aguirre & Huaman, 2019), uno de los primordiales contribuyentes a la contaminación de las aguas continentales, así como subterráneas son los efluentes de los relaves; este problema debe evitarse en la medida de lo posible y manejarse mejor cuando surja, ya que sus efectos pueden persistir durante décadas (Barreto, 2016)

Así mismo la minería, las presas de relaves y los relaves mineros son fuentes comunes de estas descargas peligrosas, que comprenden metales solubles y componentes orgánicos solubles e insolubles; también se observa decoloración y turbidez del agua de ríos y lagos, así como la muerte de miles de especies acuáticas. Además, de tener un pH bajo el efluente ácido de la mina también tiene una gran cantidad de metales pesados y se pueden encontrar sulfatos (Fe, Zn, Al, Mn, Hg, Cu, Ni, Pb y Cd) en concentraciones elevadas (De la Cruz, 2019). La mayoría de estas sustancias son tóxicas para los seres vivos, contaminan los sistemas de agua y amenazan la infraestructura hecha por el hombre; (Coaquia, 2021).

Los líquidos de los efluentes de operaciones mineras y metalúrgicas tienen concentraciones máximas permitidas especificadas para una variedad de elementos, compuestos y características; superar estas cantidades es peligroso



para la salubridad de las personas, para la biota y otras especies. Estos LMP son firmes y no se pueden cambiar. Se sabe que la salud humana y la sostenibilidad ambiental están en peligro cuando los efluentes o las emisiones incluyen cantidades excesivas de componentes físicos, químicos o biológicos (Huaman, 2024). Estos estándares se establecen para los efluentes de la minería metalúrgica para evitar una contaminación extensa del medio ambiente y cambios extremos en un ecosistema, como la extinción de animales acuáticos. Dado que el agua es esencial, se considera importante evaluar qué tan bien se trata y monitorea el agua en las operaciones mineras metalúrgicas de mina interior (Flores, 2023), por ello es trascendental conocer las concentraciones de las aguas servidas provocadas por las actividades minero metalúrgicas,

De lo indicado, se propicia el desarrollo de la investigación nombrado: "Evaluación de la concentración de metales pesados producidos por el vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024"; el cual presenta IV capítulos que seguidamente se exhibe:

En el **Capítulo I**, se establecen el problema, los objetivos, la justificación y las hipótesis; en el **Capítulo II**, se delimitan el marco teórico, el marco conceptual y las referencias bibliográficas; en el **Capítulo III**, se especifican el diseño y tipo de estudio, la población y la muestra, las técnicas e instrumentos, la metodología y el diseño estadístico; en el **Capítulo IV**, se especifican los resultados logrados, junto con la prueba estadística correspondiente y la discusión; y, finalmente, se formulan las conclusiones y recomendaciones.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Análisis de la situación problemática

Actualmente la minería en el mundo es demasiado competitiva, pero irónicamente es visualizada como una labor predatoria de los ecosistemas, este giro ha seguido aumentando y ascendiendo, además ha incrementado el rechazo hacia esta, por los desechos tóxicos que se emanan como es el caso del drenaje ácido de minas provocados por la acumulación de relaves (Flores, 2023), dándose cuando los sulfuros en las rocas mineralógicas expuestas reaccionan con el oxígeno y el agua, dando como resultado una solución con un pH bajo y grandes cantidades de iones inorgánicos peligrosos, siendo reconocido como uno de los inconvenientes ecológicos más apremiantes en muchas comunidades mineras peruanas (Parra, 2022); con ello se presentan elevados valores de ácidos, cobre, sulfatos, hierro, así como la lixiviación de ciertos metales relacionados con los minerales, azufre, y cómo estas propiedades



afectan negativamente la calidad hidrica consumida por los organismos acuáticos y los seres humanos (Trujillo, 2022).

Debido a su larga historia y a su papel en la producción de divisas para conservar la moderación macroeconómico, la minería también se valora y se considera el principal motor del desarrollo de la economía peruana. Sin embargo, durante la extracción y el procesamiento de minerales, se dejan residuos y relaves que dan lugar a aguas residuales ácidas que con frecuencia se vierten en los ríos, causando una grave contaminación (Eloisa, 2023), como consecuencia de la extracción y el procesamiento se han producido relaves mineros y aguas residuales ácidas de mina, que han tenido un efecto perjudicial en las masas de agua de cabecera, incluidas las lagunas altoandinas (Barreto, 2016).

De igual manera en la región de Puno en específico en la unidad minera San Rafael, no escapa de esta realidad; debido a que presenta el vertimiento constante de aguas servidas de la relavera (drenaje ácido de minas); sin previo tratamiento hacia el cuerpo receptor, lo cual conlleva a que se contamine las masas receptoras debido al transporte de los lixiviados tóxicos; perjudicando drásticamente la vida acuática de ríos y la biota; además generando efectos negativos como la muerte de especies acuáticas, pérdida de cultivos, patologías y problemas sociales hacia la población porque genera perjuicios en sus medios de vida, como es la deformación y muerte de sus animales. En tal sentido se propicia el desarrollo del presente estudio planteándose las siguientes interrogantes:



1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Problema general

¿La concentración de metales pesados generado por el vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael influirá en la calidad del cuerpo receptor?

1.2.2. Problemas Específicos

- ✓ ¿Cuáles son las características de metales pesados en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, Melgar, 2024?
- ✓ ¿Cuál será la variación de la concentración de metales pesados en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, Melgar, 2024?
- ✓ ¿Cuál es la tecnología que permita disminuir la carga de contaminantes en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la concentración de metales pesados generado por el vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024



1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar los metales pesados en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024
- ✓ Realizar la zonificación de la concentración de metales pesados en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024
- ✓ Proponer una tecnología que permita disminuir la carga de contaminantes en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024

1.4. Justificación de la investigación

El estudio se justifica a razón de que que los relaves de la unidad minera San Rafael provocan aguas residuales o también mejor llamados el drenaje ácido de minas, que representa una amenaza para la vida acuática en el cuerpo receptor, la flora y la calidad hídrica para la ingesta humano y animal, debido al contenido de contaminantes, especialmente metales disueltos. Lo cual puede ser dañino a la salud humana si sus concentraciones superan los umbrales seguros, causando síntomas que incluyen insuficiencia hepática y renal.

Además, este estudio tiene un valor científico significativo, ya que genera nueva información para abordar un problema específico, utilizando un enfoque de desarrollo sencillo y rentable, servir de ayuda a las organizaciones a practicar con sus obligaciones ambientales continuos, refinar sus operaciones, disminuir su huella y aumentar la calidad ambiental. El drenaje ácido de minas debe tratarse para reducir los



contaminantes antes de que pueda liberarse en un área receptora (ríos, lagos, suelo, etc.) y usarse nuevamente para fines como riego de vías y sitios verdes.

1.5. Hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis alterna

La concentración de metales pesados generado por el vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, influye en la calidad de agua del cuerpo receptor

1.5.2. Hipótesis nula

La concentración de metales pesados generado por el vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, no influye en la calidad de agua del cuerpo receptor.

1.6. Variables

Por ser una investigación descriptiva, de carácter no experimental no presenta una dependencia de variables, por ende, se establece variables únicas, inferenciales.

1.6.1. Variable 1

- ✓ Vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael.

1.6.2. Variable 2

- ✓ Concentración de metales pesados

1.7. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

<u>VARIABLES</u>	<u>DIMENSIONES</u>	<u>INDICADOR</u>	<u>UND</u>	<u>METODOLOGIA</u>
Variable 1		ECA de agua	---	<u>Diseño de investigación</u>
	Normativa de medición de la calidad del agua	LMP (D. S. N° 010-2010-MINAM) "límites máximos permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos"	---	
Vertimiento de aguas residuales de la relavera de la unidad minera San Rafael				No experimental
	Parámetros adicionales	pH	Und.	<u>Tipo de investigación</u> Aplicativo
		Sólidos suspendidos totales	mg/l	
Variable 2		Turbiedad	NTU	
	Metales pesados	Plomo	mg/l	
		Cadmio	mg/l	
		Arsénico	mg/l	
		Zinc	mg/l	
		Mercurio	mg/l	
Concentración de metales pesados	Concentración de metales pesados	Aguas arriba	---	
		Punto de vertimiento	---	
		Aguas abajo	---	
	Programa para la zonificación de la concentración de metales pesados	Software Arcgis	---	



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Barragan & Mantilla (2022), **describió, de acuerdo con la norma 0631, las aguas residuales no domésticas vertidas por la Sociedad Minera La Providencia LTDA en la localidad de Vetas Santander.** Se caracterizaron fisicoquímicamente los vertimientos de aguas servidas no domésticas de la organización Sociedad Minera la Providencia a cuerpos de agua superficiales (quebrada Jaimes), con el fin de analizar la calidad del vertimiento de acuerdo con la normatividad ambiental (resolución 0631 de 2015) que aborda los vertimientos puntuales a masas de agua superficiales. Al comparar los resultados con los límites máximos permitidos por la resolución 0631 de 2015 para las actividades de minería aurífera, fue posible identificar los impactos ambientales generados en la calidad hídrica de la masa receptora como consecuencia del vertimiento, especialmente en las altas contenidos de sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, Fe y Pb (artículo 10).



Al contrastar los resultados con las restricciones mineras más altas permitidas por la Resolución 0631 de 2015, esto nos dio la oportunidad de ofrecer sugerencias, alternativas y soluciones adecuadas para disminuir los efectos sobre la industria impactada mientras se adhieren a las leyes existentes.

Hernández, Rodríguez, Peña, Gonzales, & Tomas (2018), **caracterizaron y evaluaron la calidad de las aguas servidas mineras para su empleo agrícola**; en la quebrada «Biajaca», sitio de desembocadura de los efluentes de las Minas de Castellano y Matahambre, Pinar de Río, se tomaron 5 muestras puntuales. El ph y la conductividad eléctrica se analizaron muestra compuesta que se creó combinando las cinco muestras puntuales. Por medio de la digestión por microondas y análisis ICP-OES se comprobaron que los elementos Na, Bi, Cd, Ni, Sr, Pb, Tl, Be, Zn, As, Fe, Mo, S, Sb, V, Se, Ti, Cr, P, Co, Cu, Li, Mn, K, Ca, Mg, B, Al y Rb tras filtrado y conservación adecuada. También se utilizó la cromatografía líquida de intercambio iónico para determinar los iones NO_2^- , Br^- , NO_3^- , F^- , Cl^- , PO_4^{3-} , y SO_4^{2-} . Siempre que la acidez del agua se neutralice previamente, los hallazgos mostraron que este tipo de agua es común en la zona de investigación y tiene un pH ácido, salinidad, permeabilidad y indicadores de toxicidad

Ramos (2018), **examinó la calidad hidrica en cauces que reciben vertimientos de oro de la minería en la vereda Yolombó, ubicada en el corregimiento La Toma, en Suarez**; así como en el río Ovejas antes y después del vertido de los arroyos indicados anteriormente. En esta



evaluación se emplearon prubeas de nocividad aguda utilizando *Daphnia pulex* como indicadores biológicos, precisiones fisicoquímicas y bacterológicas, índices de calidad del agua e índices de contaminación, entre otros. El ICA y el ICO no revelaron un impacto conocido en el río Ovejas tras la salida de los arroyos de la región minera, Sin embargo, hay dos condiciones de calidad diferentes para cada una de las dos fuentes superficiales. Según los índices IDEAM, DINIUD Y NSF el agua en el punto en que los arroyos desembocan en el río puede clasificarse como Mala, Regular o Regular-Mala, respectivamente. El agua del río Ovejas se clasifica del mismo modo según los mismos índices como Regular, Regular-Buena y Regular-Mala. La materia orgánica y los SST fueron las fuentes de contaminación en los puntos de origen del río Ovejas, visibles incluso antes de que los arroyos se desborden. Durante el estudio, los valores de ICOMO indicaron una contaminación «Baja» y «Media», mientras que ICOSUS alcanzó una contaminación «Alta» durante las lluvias. Entre los principales parametros destacan: el total de sólidos en suspensión, que presentó índices de contaminación entre 820 y 22730 mg/L y «Muy Alto»; el pH, que mostró niveles elevados para su ICO durante la estación de lluvias e indicó un medio ácido; y el mercurio total, que presentó valores de 4 µg/L, excediendo los valores máximos permitidos en la normativa examinada para su conservación de la vida del agua. Los hallazgos indican que la erosión está relacionada con el arrastre de sustancias de la actividad mineera, así como con la escorrentía superficial el contenido mostrado para la muestra, 2 – 4 µg/L y 0.36 – 0.65 mg Hg/Kg, superan los rangos sugeridos, y ponen en peligro para el



ecosistema acuatico. Como conclusion, se sugiere efectuar otros ensayos con mayor proporcion para analizar los efectos que pueden ser tantos agudos como crónicos.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Cruzado (2022), **calculo el Índice de Calidad del Agua de la Subcuenca Cajamarquino y Crisnejas** ; en el proceso se desarrollo con la muestra del estudio proviene de los esfuerzos de monitoreo del MINAN, los cuales se reportan anualmente entre 2016 y 2020. Los ríos Ronquillo, Maashcón y Namorino tienen clasificaciones AQI (66,53, 65,30 y 66,25), lo que indica que el 2020 ha experimentado el mayor impacto ambiental debido a las aguas servidas de la población y los pasivos ambientales de la minería. Los ríos están clasificados como de calidad Regular a Mala. Se ha producido una superación de las Concentraciones Metálicas de Hierro, Manganeso, Aluminio y Arsénico al comparar los parámetros de monitoreo con los ECAs. Concluyendo que los ríos Mashcón, Cajamarquino y Namorino presentan una recurrente ocurrencia de coliformes termotolerantes y Escherichia coli en cuanto a presencia microbiológica.

Pardave (2022), **evaluo la calidad físicaquímica de los efluentes de la unidad minera Cerro S.A.C. en la localidad Simón Bolívar y Yanacancha- Pasco**; desde que la empresa Cerro S.A.C. ha reanudado la producción, existe la preocupación de que los ríos de la zona estén contaminados por metales, y que los residentes de esta ciudad puedan estar expuestos a niveles de metales pesados que superen los límites



permitidos. Por este motivo, es crucial comprobar la calidad físicoquímica del agua. Podremos determinar si el agua emitida por Cerro SAC cumple los límites máximos permitidos, lo que hace que esta investigación sea extremadamente importante. Lo resultante del presente estudio en el río Ragra muestran que, aguas arriba de la escombrera de Ocroyoc, La calidad hidrica no cumple con los (ECA) en términos de metales totales, de igual forma en el río Tingo . Se concluyo que la desmontadora de Rumiallana es responsable de la presencia de metales totales, ya que se observa un aumento en los metales totales en el punto de monitoreo E-303-iv, ubicado a 600 metros del pie de stock Rumiallana.

Ramos (2022), **En el área afectada por la minería del distrito de Gorgor en 2021, realizo un análisis de calidad hidrica del río Chanquillo.** La tactica es transversal y de carácter descriptivo. Las especificaciones para el muestreo se ajustan a la resolución ANA N° -010 -2016; se eligieron tres localidades de referencia para realizar un muestreo básico de aguas superficiales, teniendo en cuenta las estaciones de observación del EIA del Proyecto Minero Candelaria del año 2012. Los resultados evidenciaron que el acidez = 6,5, Plomo = 0,006 mg/L., Zinc = 0,03 mg/L., Aceites y grasas = 0,5 mg/L., Cadmio = 0,0004 mg/L, Cobre = 0,03 mg/L., Cromo = 0,0008 mg/L., Mercurio = 0,001 mg/L, Arsénico = 0,13, Taco de cianuro = 0,014 mg/L, Arsénico = 0,007 mg/L. En consecuciom, la calidad del agua esta en las exigencias de calidad ambiental para los 10 parámetros analizados, con excepción del mercurio, cuyo valor equivale a la a lo que especifique del ECA por lo que se sugierre realizar un seguimiento a estos parametros.

Guillen (2020), demostró que las aguas del río Tinyacclla no son contaminadas por el flujo del desecho de la mina Marta. Se tomaron muestras antes y posterior a la depuración de aguas servidas mineras de enero a junio de 2012, se recogerán datos diarios de la población, y las leídas de los parámetros se almacenarán en una data para su posterior análisis. Lo resultante de la depuración activo de los efluentes de la mina cumplen con los requisitos establecidos por el ds 010 - 2010 de LMP del Ministerio del Ambiente. Por lo tanto, se puede afirmar que las descargas de influentes de la mina no contaminan la masa receptora.

2.1.3. Antecedentes locales

Tapara (2023), **evaluó la cantidad de contaminantes producidos por por la laguna de oxidación en el distrito de Nuñoa, Melgar,** Cuyo objetivo es la zonificación de la concentración físicoquímicos y Bacteriologicos donde se monitoreo en puntos de monitoreo en aguas arribay aguas abaaajo del vertido siguiendo el Protocolo nacional de les. Los resultados muestran que los coliformes termotolerantes (aguas abajo) superan todos los demás elementos excepto el SST y el pH, mientras que los aceites y las grasas, la DBO y los CT (aguas arriba) no superan los ECA. En la zona de vertido, los aceites y grasas, la DBO y los CT superan todos los demás parámetros excepto el SST y el pH. Variación: DBO5 117,33 mg/L, aceites y grasas=22,6mg/L, SST=0,365 mg/L, Ph=- 0,07, y coliformes termotolerantes=11533 NMP/100 ml. Se pueden encontrar variacion de concentraciones en parámetros físicoquímicos y bacterologicos en los puntos de zonificación; sin embargo, estas



concentraciones acaban mezclándose con el agua del río para formar concentraciones medias.

Paccara (2019), **analizo la contaminación del agua por metales en la mina Cerro de Pasco Copper Corporation S.A.** Esta es la sección donde discuto una selección de cinco objetos de investigación: los ríos San Juan, Tingo, Huallagua, Yanamate y Quiulacocha. Las muestras de agua fue tomada en la inmediaiones de la empresa minera Cerro de Pasco Copper. El estudio empleó un diseño de investigación cuantitativo, La conclusión es que la descarga de aguas tóxicas está fuera del rango de los LMP y los ECA para el agua debido al nivel y cantidad extremadamente altos de contaminación del agua.

Pari (2017), **evaluo los efectos del derrame de relaveras en la calidad hidrica del río Ananea (microcuenca Alto Azángaro) que presentan metales pesados (de acuerdo con los ECA para aguas).** Para ello, se utilizaron métodos que incluían el muestreo de aguas superficiales en cinco lugares clave, y se planificaron 2 empresas de muestreo: una en marzo, durante la estación de crecidas, y otra en junio, durante la estación seca, se utilizo el método de Espectrometría para determinar los metales pesados; Según los resultados, durante la estación de estiaje en el punto M-1 se evidencio que el hierro fue de 131,900 mg/l y el aluminio de 96,780 mg/l superando el ECA. Del mismo modo, durante la estación de crecida, los contenidos más altas también se analizaron en el punto de muestreo M-1, donde el hierro fue de 63,785 mg/l y el Al de 41,416 mg/l; estas contenidos se echiben muy superior al (ECA) para aguas. De forma



similar, se demostró que los metales pesados situados por encima de las ECA eran los lugares más vulnerables y críticos a la contaminación en la región investigada, siendo el punto M-1 el más crítico para los metales. además, se utilizaron métodos como la encuesta para recabar información sobre los efectos de la contaminación minera en la vida cercana. Se elaboró un cuestionario para las personas de los alrededores basado en las actividades realizadas en esta zona de la cuenca. En conclusión, Los metales pesados presenets en la calidad hidrica está teniendo un incidencia perjudicial en toda la vida circundante en la zona estudiada.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Metales pesados

El término «metal pesado» describe cualquier elemento químico metálico que sea tóxico o venenoso incluso en concentraciones muy bajas y que tenga una densidad relativamente alta -cinco veces la del agua-, como el mercurio (Hg), el cadmio (Cd), el arsénico (As), el cromo (Cr), el talio (Tl) y el plomo (Pb) (Rivera y Alarcón, 2024).

Debido a sus propiedades no biodegradables, que les permiten bioacumularse en los organismos y tener consecuencias mortales tanto para el medio ambiente como para los seres vivos, los metales pesados se consideran sustancias potencialmente peligrosas. Los metales se encuentran de forma natural en la corteza terrestre, pero cuando las concentraciones de metales pesados superan los límites permisibles establecidos por los organismos reguladores, pueden suponer un peligro.



Tras entrar en el medio acuático, los metales pesados provocan un cambio en los procesos químicos y biológicos que permite que los metales se distribuyan en los sedimentos de las aguas superficiales. Como resultado, los animales marinos absorben los metales y pasan a formar parte de la cadena alimentaria (Sonone et al, 2020). Debido a su elevada toxicidad, resistencia a las condiciones ambientales y capacidad biológica para no biodegradarse mediante reacciones químicas o mecanismos fisiológicos, los metales pesados suponen una amenaza para la seguridad ambiental, así como para la salud de diversos organismos, incluida la vida humana.

2.2.2. Vertimiento de aguas residuales

Como subproducto de las operaciones mineras, se producen efluentes residuales que, al contacto con rocas mineralizadas en su mayoría; se caracterizan por ser impactadas y contaminadas. Antes de ser liberadas en el medio ambiente, pasarán por un sumario de tratamiento; el influente de las actividades mineras y metalúrgicas necesitan ser tratado antes de vertirlos (Puente, 2019).

En relación a la característica de las aguas mineras, es necesario tener en cuenta que ellas sólo representan fuentes potenciales de generación de aguas residuales si están vinculadas con:

- Las concentraciones de SST superan los LMP del Ministerio del Ambiente.
- El pH está por debajo o por encima de los LMP del Ministerio del Ambiente.



- Cuando se observa elevados contenidos de metales solubles: Cu, Zn, As, Fe, Mn, Hg, Pb, Se, Ni, Cd y otros.
- Cuando nos indican altas concentraciones de metales totales: Cu, Pb, Cu, Zn, Fe, Mn, As, Hg, Se, Ni, Cd y otros

Todas las aguas de las minas serán tratados antes de ser liberados al medio ambiente después de leer las muestras analizadas en cualquiera de estos casos (Puente, 2019).

2.2.2.1. Clasificación de aguas residuales

- a) Aguas residuales domesticas:** Proviene de la cocina, las tareas domésticas, la higiene personal y las manos y objetos humanos. Estos fluidos contienen organismos patógenos, nutrientes (nitrógeno y fósforo, sólidos suspendidos (material orgánico biodegradable) y sólidos sedimentables (elementos inorgánicos) (Tapara, 2023).
- b) Aguas Blancas:** Pueden proceder de la limpieza de calles, parques y zonas públicas, o de procesos atmosféricos (lluvia, nieve o hielo). En regiones con niveles significativos en la atmósfera, también podrían contener componentes químicos o algunos metales pesados, además de una enorme cantidad de partículas en suspensión (Tapara, 2023).
- c) Aguas Residuales industriales:** Presenta compuestos químicos como también metales peligrosos como Pb, Hg, Co y otros, además de los ya enumerados. Proceden de

residuos de actividades industriales o manufactureras y su composición se altera sustancialmente en base a las variadas actividades técnicas (Tapara, 2023).

d) Aguas residuales Agrícolas: La mano de obra rural rural, estos cursos de agua a menudo desembocan en aguas domesticas que se utilizan para la agricultura, tratadas o no (Tapara, 2023).

2.2.2.2. Consecuencias del vertido de aguas residuales

Cuando los efluentes residuales se vierten al medio ambiente después de haber sido tratadas insuficiente o parcialmente, contaminan los ríos, lagos, suelo y los acuíferos, puesto que se disuelven y se desplazan río abajo o se destilan en acuíferos, donde logran afectar a la disponibilidad y calidad de las fuentes de agua dulce (ONU, 2019).

El vertimiento de efluentes residuales no tratadas suficientemente o sin tratar puede tener tres tipos de efectos distintos: los que repercuten negativamente en la bienestar humana y la calidad de agua; los que repercuten negativamente en el ecosistema al causar la ruina de ecosistemas y masas hidricas; y los que pueden tener un impacto en la actividad económica (ONU, 2019).

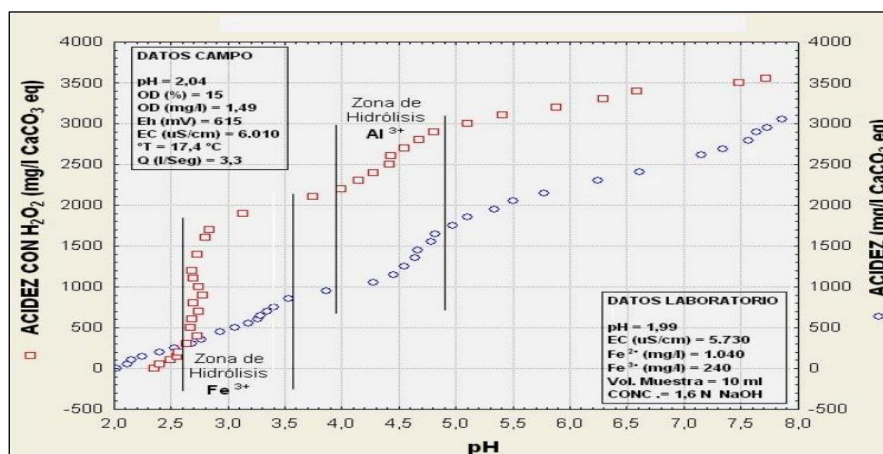
2.2.3. Drenaje acido de minas

Las operaciones mineras a menudo producen drenaje ácido de mina (AMD), que tiene un pH entre 2 y 6 y está lleno de cationes y aniones

disueltos como Al, Cd, Ca, K, Cu, Fe, Mn, Mg. A través de la toxicidad, la corrosión y otros impactos provocados por la descomposición de sus ingredientes, AMD destruye los ecosistemas acuáticos y cambia la calidad del agua. Idealmente, la curva de acidez (Fig. 1), que tiene en cuenta los componentes hidrolizados y tamponados, debería usarse para clasificar el agua ácida de mina previo del tratamiento. Cuando el potencial de Hidrogeno del agua de mina es inferior a 4,5 y contiene grandes concentraciones de carga metálica, se clasifica como agua ácida pura (Aduvire, 2018).

Figura 1

Curvas de acidez de agua de mina



Nota: Obtenido de (Aduvire, 2018)

El DUA tendrá concentraciones de partículas en suspensión y metales pesados superiores, dependiendo de la composición de la roca estéril y los vertederos de residuos. Se aconseja el tratamiento del DUA a medida que se va formando debido a la contaminación freáticas y superficiales, y puede durar cientos o incluso miles de años. Además, tiene un coste adicional (Shim, y otros, 2015).

2.2.3.1. Caracterización de aguas residuales de mina

Cuando se vierten, las aguas de superficie, el suelo y acuífero se contaminan.

Se requiere una investigación exhaustiva para identificar el sistema de drenaje. Se recolectan muestras de agua y sedimentos del fondo y se envían a un laboratorio donde se puede calcular la concentración de metal en función del clima local, las características de los efluentes de la mina y otros factores naturales, elementos de medición que incluyen pH, concentración de conductividad, potencial (redox), temperatura °C, O₂, Fe, ph, turbidez y otros directamente en el campo (Aduvire, 2018), Hay dos tipos principales de drenaje de mina, dependiendo de dónde se originó

- Aguas residuales ácidas o solubles altamente
- Aguas alcalinas o residuales de baja solubilidad

Tabla 2

Clasificación de aguas residuales de mina en función al pH

Clase	pH
Altamente ácidas	1.5 a 4.5
Blandas, ligeramente ácidas	5.0 a 7.0
Duras, neutras o alcalinas	7.0 a 8.5
Blandas, alcalinas	7.5 a 11.0
Muy salinas	6.0 a 9.0
Blandas ácidas	3.5 a 5.5

Nota. Obtenido de (Aduvire, 2018)

Hay cuatro tipos distintos de drenaje, que se distinguen por las concentraciones en el agua de varios metales y minerales.

Tabla 3

Clasificación de drenajes en función del pH y el potencial de acidez/alcalinidad de los minerales.

Clase	pH	Descripción
Acido	< 6	<ul style="list-style-type: none">- Acidez por oxidación de minerales, especialmente de sulfuros.- En drenajes casi neutros, hay más metales disueltos.- asociado con minas de piritas, carbono y metales
Alcalino	< 9 o 10	<ul style="list-style-type: none">- Puede tener un impacto en la acumulación de metales.- Agrupado con la minería no metálica, como la potasa, las sales, los boratos, las bentonitas, la grava y las arcillas, entre otras.
Casi neutro	6 - 9 o 10	<ul style="list-style-type: none">- en base a la abundancia de los minerales, logran ser ácidos o alcalinos en momentos específicos.- Algunas veces, el contenido de metales disueltos puede superar los niveles peligrosos.
Otros	Irrelevante	<ul style="list-style-type: none">- a mayor alcalinidad se produce como resultado de la solución de minerales básicos, principalmente óxidos, hidróxidos y otros silicatos.- Las concentraciones de metales como es el Al son más altos que en drenajes casi neutros.- Agrupación con la minería de diamantes, la molienda de bauxita y las cenizas producidas por la ignición del carbón

Nota. Obtenido de (Aduvire, 2018)

2.2.3.2. Mecanismos de formación de aguas acidas

Aduvire (2018), los siguientes cuatro elementos provocan la producción de agua ácida:

- Mayoría el sulfuro de hierro (Mineral sulfuroso)
- Tipo de líquido o humedad (Agua)
- Oxígeno procedencia química o del aire (Oxidante)
- Bacterias como catalizadores.

2.2.3.3. Etapas de formación del DAM

El pH del agua marca el proceso en tres etapas.

Los minerales de sulfuro sufren una oxidación química en la primera etapa, en la que el oxígeno actúa como oxidante primario. Como resultado de esta oxidación se liberan iones ferrosos (Fe^{+2}). En pH superiores a 7, estos iones se oxidan velozmente a iones férricos (Fe^{+3}) y arrojan en forma de hidróxidos. Como en este punto no hay suficiente hierro férrico para actuar como oxidante tiene una velocidad oxidativa baja. A modo que la producción de ácido aumenta, el pH del agua desciende hasta 4,6 (Aduvire, 2018).

Para la segunda fase, más modificaciones químicas y biológicas de oxidación dan lugar a sulfato ferroso. Este sulfato ferroso se convierte en sulfato férrico por oxidación adicional, se forma ácido sulfúrico e hidróxido férrico, que da al agua su tonalidad amarilla (Aduvire, 2018). En tal sentido, las resistencias de

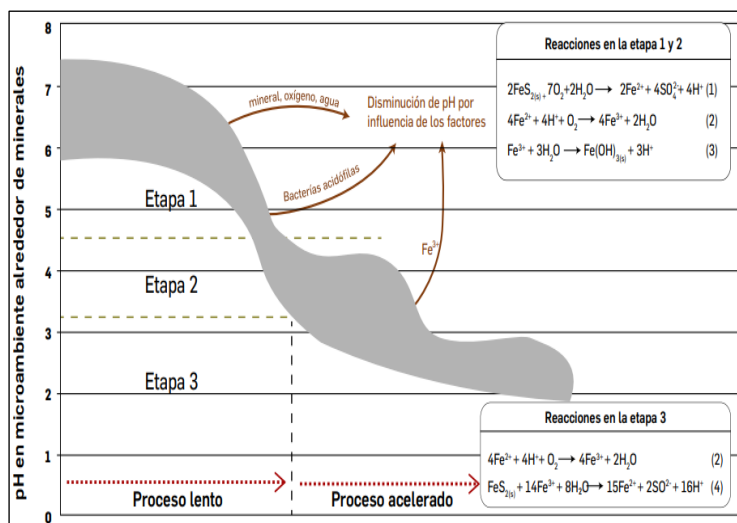


oxidación generan un ion ferroso (Fe^{+2}), que en aspecto de bacterias se transforma en un ion férrico (Fe^{+3}), que es el nuevo oxidante. En la 3ra fase, el agente oxidante de los sulfuros se convierte en hierro férrico (Fe^{+3}), cuyo potencial de oxidación es superior al oxígeno. Del mismo modo, los procesos de oxidación-reducción influyen en el ion férrico en el pH del agua se desvanece por debajo de 4,6, y la ejercicio bacteriana puede extraer directamente el sulfuro de hierro del sulfato. En el proceso, las bacterias convierten el ion ferroso en férrico, que seguidamente oxida los sulfuros. Esto da lugar a la producción de abundantes cantidades de ácidos a un ritmo notablemente más rápido que el de la primera etapa (Aduvire, 2018).

La influencia de parámetros ecológicamente significativos como el pH, el OD, el potencial redox, la compatibilidad de clorito (Cl_2), los metales sensitivos al redox como el hierro cero-valente (Fe^0) y el (Al), y los metales orgánicos complejos son algunos de los factores estudiados sobre la hacendosa y los técnicas de oxidación de la pirita (Aduvire, 2018).

Figura 2

Etapas en la generación del DAM



Nota: Obtenido de (Barral, 2018)

2.2.4. Calidad del agua posterior a la zona de mezcla del punto de vertimiento de aguas residuales

El hecho de que la masa de agua haya cambiado significativamente con respecto a sus circunstancias iniciales y, en caso afirmativo, de manera positiva o negativa, dependerá tanto la cantidad como la calidad hídrica después del vertido. Para que la masa de agua se recupere con el tiempo, los primeros cambios drásticos que pueden afectarla suelen producirse en la zona de mezcla. Estos cambios penden de una serie de variables, tal la cantidad y calidad del efluente, las peculiaridades de la masa de agua y otras.

2.2.4.1. Zona de mezcla

La zona donde se produce la desintegración primera del vertido en la masa de agua se conoce como zona de mezcla. Es necesario realizar su cálculo para determinar un área limitada

donde se produce la mezcla completa del vertido con la masa de agua recibida. Es importante señalar que en esta zona no siempre se cumplen las normas medioambientales.

Para calcular el tamaño del área de mezcla pueden utilizarse programas informáticos de modelización o métodos matemáticos básicos. Para calcular los vertidos a masas de agua lóaticas se utiliza la siguiente fórmula:

$$Extension_{zdm} = \frac{(W_{min})^2 * u}{f \pi c d \sqrt{g s}}$$

Donde:

Extension_{zdm}: Área de mezcla (mt)

W_{min}: El diámetro espejo de agua

u: La velocidad de flujo promedio

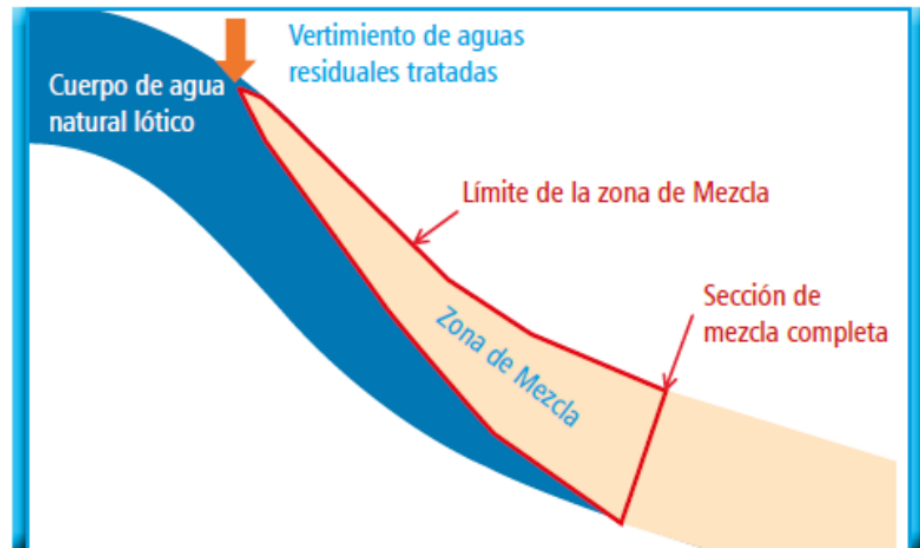
d: La altura promedio del agua es

c: Factor que contribuye a la irregularidad del flujo. El valor es de 0,6.

f: El lugar donde se produce el vertimiento Los valores para un vertimiento en la orilla u centro del río/quebrada son $f=2$ y $f=8$.

g: La velocidad por gravedad es de 9.8 m/s².

s: El pendiente del cauce en metros cúbicos

Figura 3*Zona de mezcla en cuerpos de agua lóticos*

Nota: Obtenido de la (ANA, 2016)

2.2.4.2. Concentración en el cuerpo de agua posterior al vertimiento

Examinar los parámetros en aguas servidas depuradas las especificados para las distintas actividades y clases de aguas ECA-, así como los productos químicos utilizados y producidos durante el proceso de generacion, además de cualquier reacción potencial o producto de degradación, tal y como se indica en las aguas ECA de la categoría correspondiente.

El cálculo de masa debe utilizarse para establecer las concentraciones de todos los parámetros característicos de los productos tratados.

$$C_0 = \frac{(C_{RH} * Q_{RH,CRIT}) + (C_{VERT} * Q_{VERT})}{(Q_{RH,CRIT} + Q_{VERT})} + C_{ECA}$$

Donde:



C_0 : calculada en el límite del área de mezcla aguas abajo del vertimiento

C_{ECA} : ECA-Agua del parámetro en evaluación de acuerdo con la categoría correspondiente

C_{RH} : Contenido en el cuerpo que recibe el tratamiento

C_{VERT} : Nivel de contenido más alto en aguas residuales tratadas

$Q_{RH,CRIT}$: La cantidad de cuerpo receptor utilizable para la disolución es crucial.

El plan de gestión del agua se modifica para tener en cuenta el uso de métodos sostenibles que disminuyan el volumen y/o la concentración de contaminantes en las aguas servidas producidas o la reutilización de las aguas servidas en la diligencia, si el cálculo de masas indica que la niveles calculados en la masa receptora es superior a la conveniente al ECA-Agua. Alternativamente, podría modificarse la arquitectura del sistema de tratamiento para mejorar su capacidad para eliminar elementos dañinos. El centro de descarga del río permite una mezcla total más rápida, lo que eleva el caudal crítico que puede diluirse (ANA, 2016).

2.2.5. Relaves mineros

Las escombreras de mina son residuos producidos durante el proceso de explotación minera que suelen estar compuestos por rocas, tierra,



metales y agua. También se utilizan algunos productos químicos para recuperar los metales de los estériles, de modo que el horizonte superficial, que depende de la capacidad del suelo para intercambiar cationes, pueda mantenerse en el momento de su eliminación (Llacza, 2021).

El agua contaminada por residuos mineros es el resultado de un vertido indirecto o directo sin tratar de materiales peligrosos en un recurso hídrico. Esto puede provocar enfermedades, destruir la agricultura, ocasionar importantes pérdidas económicas como también a la flora y fauna (Renzhi, 2019).

Las aguas ácidas se producen cuando los metales deseados se extraen de zonas mineralizadas durante el proceso de minería, contaminando las aguas superficiales y subterráneas. Además, los lixiviados son producidos por algunos otros procesos, lo que aumenta el riesgo de acidificación de los recursos hídricos (Ruiz, 2018). Abundancia en metales disueltos y totales en las mayoría de aguas acidificadas con pH de 2 a 4 (López, 2018).

2.2.6. Minera

Es la extracción de minerales u otros materiales selectivos de la corteza terrestre, con excepción de los compuestos orgánicos de reciente producción. La minería a cielo abierto se utiliza en zonas donde los minerales se encuentran a poca profundidad y se desarrolla gradualmente de forma escalonada o en terrazas dentro de un territorio previamente designado (Nazario, 2024).

Este proceso industrial de extracción cuidadosa de minerales y rocas de la corteza terrestre con fines lucrativos. En sentido amplio, se desarrolla la depuración de elementos extraídas (trituration y la codificación por dimensiones, el lavado, el contenido, etc.), con la finalidad de preparar estos elementos para la venta, las operaciones subterráneo y cielo abierto que exigen el uso de explosivos o técnicas mineras (Nazario, 2024).

2.3. Marco conceptual

- a) **Agua residual-**. Aguas consumidas y derivadas de nuestras acciones cotidianas. Estas aguas están llenas de basura que no debe consumirse directamente; suelen ser de tono oscuro y pasan drenaje. Algunas se someten a tratamiento antes de su aplicación en los tejidos corporales, mientras que otras no (Tapara, 2023).
- b) **Aguas residuales mineras-**. Son un subproducto de las actividades mineras. Dado que entra en contacto con rocas mineralizadas en su mayoría, tendrá propiedades únicas al ser impactada y contaminada antes de ser tratada y vertida (Guillen, 2020).
- c) **Efluentes mineros.** – Es un flujo de agua que ha sido impactado por operaciones mineras y metálicas y que requiere tratamiento antes de ser liberado en una masa receptora (Guillen, 2020).
- d) **Cuerpo receptor-**. agua continental que absorbe las aguas residuales tratadas (Morales, 2018)
- e) **Cuerpo de agua natural lótico-**. Agua de la continental o marino-costera que absorbe las aguas residuales tratadas (Morales, 2018)



- f) **Calidad del agua-** Agua apta para la ingesta humano podría no ser apropiada para la industria, y que un origen de agua bastante limpia para conservar la vida acuática podría no ser apropiada para nadar (Abal, 2018).
- g) **Estándar de Calidad Ambiental (ECA)-** La Evaluación Química Ambiental (ECA) mide la cantidad o concentración de compuestos o factores físicos, químicos y biológicos en el aire, en el suelo y el agua en su estado de la masa receptora que no suponen un daño importante para la salubridad humana o el medio ambiente (Abal, 2018).



CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION

3.1. Diseño de la investigación

El diseño investigativo para este trabajo tiene un carácter **NO EXPERIMENTAL**, dado que la variable independiente no existirá maniobrada de manera deliberadamente (Hernandez & Fernandez, 2018).

3.2. Tipo de la investigación

Es de representación **DESCRIPTIVO**, porque permite describir características, situaciones, fenómenos o hechos específicos sin establecer relaciones de causalidad entre las variables que se observan (Hernandez & Fernandez, 2018).

3.3. Nivel de la investigación

Es **EXPLORATORIA**, porque cuyo principal objetivo es explorar un tema o fenómeno poco conocido o estudiado, con el fin de identificar patrones, ideas y comprender mejor la naturaleza del problema (Hernandez & Fernandez, 2018).

3.4. Población y muestra



3.4.1. Población

Un grupo de personas, personas u objetos que cumplen con un conjunto de requisitos se denomina población (Hernandez & Fernandez, 2018).

En consecuencia, las aguas residuales vertidas son la población en estudio en esta investigación por la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael hacia el cuerpo receptor

3.4.2. Muestra

Hernandez & Fernandez (2018), Se supone que la muestra es " una porción de la sociedad que personifica a la misma.

La muestra estará constituida en 3 puntos (PM1 Aguas Arriba; PM2 Punto de vertimiento de efluentes servidas de la relavera y PM3 aguas arriba); donde se analizará la concentración metales pesados.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas

Según Hernandez & Fernandez (2018), explica que la recopilación de datos conlleva al forjamiento de un causa preciso de métodos que le permitirán reunir datos con una finalidad específica; utilizando las siguientes habilidades el actual proyecto de estudio:

✓ **Revisión bibliográfica**

A través de la revisión bibliográfica, se elaboró un esbozo de definicion fundamentales que sirvió como marco teórico para el estudio llevado a cabo (Mejía, 2005).

✓ **Observación Directa**



La observación directa es un adecuado enfoque para medir algo. Por ello el investigador prefiere una conducta que despierte su utilidad y crea un forma sistemático para mostrarle, clasificar y documentar en un ambiente nativo o no dispuesto (Mejía, 2005).

3.5.2. Instrumentos

Córdova (2018), explica que los métodos físicos u virtuales del investigador utilizada para recopilar datos que lleven a la evaluación de una o más variables.

- Microsoft Word
- Microsoft Excel
- Laboratorio

3.6. Materiales y equipos

A continuación, se describen las herramientas y materiales necesarios para llevar a cabo la investigación.

a) Materiales

- ✓ Reloj
- ✓ Bolsas herméticas
- ✓ Plumón indeleble.
- ✓ Bota impermeable.
- ✓ Chaleco
- ✓ Guantes de latex.
- ✓ Lapicero.
- ✓ Envases de polietileno
- ✓ Transportador de muestras (cooler).
- ✓ Cadena de custodia.

b) Equipos

- ✓ Cámara digital
- ✓ Laptop
- ✓ Impresora
- ✓ Equipos de Laboratorio
- ✓ GPS

3.7. Ubicación de la zona en estudio

El área de estudio se ubica en la unidad minera San Rafael, jurisdicción del distrito de Antauta en la provincia de Melgar - Puno; ubicada en las coordenadas geográficas latitud: $14^{\circ}13'56.90''S$, Longitud $70^{\circ}19'19.05''O$ a una altitud de 4127 m.s.n.m.

Figura 1

Ubicación del área en estudio



3.8. Procedimiento metodológico

Toda la información utilizada en esta investigación se obtuvo de publicaciones, artículos, sitios web, tesis, revistas, y otras fuentes.

3.8.1. Caracterizar los metales pesados en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024

En la actualidad, la unidad minera San Rafael está arrojando las aguas residuales de la relavera sin previo tratamiento al cuerpo receptor; para determinar el contenido de metales en el cuerpo receptor de la zona de vertimiento de aguas residuales siguiendo los procedimientos establecidos en el "Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (ANA, 2016); instituyendo los siguientes juicios para tomar la muestra:

a) Toma de muestra- Se utilizaron envases de polietileno de elevada densidad se lavaron previamente con ácido nítrico al 1% de acuerdo con el protocolo de muestreo (ANA, 2016), Luego, se monitoreo los puntos de agua arriba, agua abajo del vertimiento y dos puntos adicionales (Dique de la relavera y confluencia de aguas residuales de la relavera), según lo recomendado por el R.J. No 010-2016-ANA.

Tabla 4

Puntos de muestreo de agua

N°	Nombre del punto	Coordenadas	
		Este	Sur
1	PM1 (Aguas Arriba)	359528.00	8421138.00
2	PM2 (Punto de vertimiento)	359645.00	8421165.00
3	PM3 (Aguas Abajo)	359681.00	8421061.00
4	PM4 (Dique de la relavera)	357616.00	8423501.00



5	PM6 (Confluencia de aguas residuales de la relavera)	358784.00	8422676.00
---	--	-----------	------------

Para tomar las muestras se persiguieron los siguientes procedimientos:

- La muestra del efluente se obtuvo en condiciones de mejor mezcla y, idealmente, cercano de un lugar fácilmente accesible para asegurar la seguridad del que muestrea.

Aguas abajo se localizó a un trayecto específica basada en la fórmula para determinar la distancia entre el punto de vertido y aguas abajo (Anexo 2): Metodología abreviada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos – USEPA (1995). El punto aguas arriba se localizó a 50 metros de la descarga (ANA, 2016).

$$Extension_{zdm} = \frac{(W_{min})^2 * u}{f \pi c d \sqrt{g s}}$$

Donde:

Extension_{zdm}: área de mezcla en mtrs.

W_{min}: El diámetro del espejo de agua

u: La velocidad de flujo promedio

d: Altura promedio del agua

c: Factor del cauce. 0.6

f: El lugar donde se produce el vertimiento los valores para un derramamiento en la orilla, río/quebrada son f=2 y f=8.

g: La velocidad por gravedad es de 9.8 m/s².

s: El pendiente del cauce en mtrs cúbicos.

- Se ubicó el frasco debajo de la corriente con la tapa en la mano.



- Mientras se realiza el muestreo, se sujeta el frasco con la mano para evitar tocar el interior del tapón. También se evita colocarlo sobre algún elemento que pueda contaminarlo.
- Se obtuvieron tres muestras, cada una en un litro aproximadamente, para analizar los contenidos de metales pesados (Pb, Cd, As, Zn y Hg) y otros parámetros (pH, SST y turbiedad), como se indica en la tabla 3.

Consideraciones para la toma de muestra

- La muestra hídrica de desecho al tomar muestras, uso guantes quirúrgicos.
- Para eliminar todo contaminante potencial, las botellas de muestreo se limpiaron de dos a 3 veces con agua recolectada. Luego se eliminó el agua de enjuague.
- Después de recolectar la muestra, se aplicó el conservante requerido según el tipo de análisis y se cerró herméticamente el recipiente.
- Los envases etiquetada a mano claro y legible, sin rayones, y cuya coincidencia debía ser coherente con lo que se había comunicado.
- Finalmente, para comparar el contenido de metales pesados (Pb, Cd, As, Zn y Hg) y otros parámetros (pH, sólidos suspendidos totales y turbia) con los ECA y LMP (D. S. No 010-2010-MINAM) LMP para influente líquidos minero-metalúrgicos.

3.8.2. Realizar la zonificación de la concentración de metales pesados en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales

de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024

El contenido de metales pesados para cumplir con este objetivo (Plomo, Cadmio, Arsénico, Zinc y Mercurio) y parámetros adicionales (pH, Sólidos suspendidos totales y Turbiedad) con sus concernientes coordenadas de muestreo correspondientes, en el Software Excel; para seguidamente importarla en el Software ArcGIS 10.5.

Para realizar la georreferenciación, para el área en estudio, se utilizaron imágenes satelitales de alta resolución, utilizando componentes "ArcToolbox" y la herramienta "Kriging" para efectuar el modelamiento de la zonificación del área. Este modelamiento incluye los contenidos de metales pesados y otros parámetros presentes en aguas arriba, en el punto de vertimiento y en aguas abajo en el vertimiento de efluentes servidos de la relavera

3.8.3. Proponer una tecnología que permita disminuir la carga de contaminantes en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024

En base a los análisis realizados de los metales pesados; se propondrá una tecnología que permita disminuir la carga de contaminantes en la masa receptora del punto de vertimiento de aguas servidas de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael del distrito de Antauta.



3.9. Prueba estadística

La concentración de metales pesados provocado por el vertimiento de aguas servidas y la calidad del agua, serán evaluadas por una prueba de normalidad de tipo **Shapiro-Wilks**, la cual se aplica para muestras menores a 50 unidades y consiente medir si las variables muestran una distribución normal o no normal, todo este proceso se realizará en el software SPSS.

Seguidamente se efectuará la prueba estadística **ANOVA** de un factor para conocer la relación de las variables en estudio; siendo la prueba de decisión en este examen, el valor p-value, el cual debe ser menor a 0.05 y esto mostrará la coexistencia de una relación significativa.



CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Determinar la concentración de metales pesados en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024

Para lograr este objetivo, primero se realizó una caracterización de los parámetros físicoquímicos en 5 puntos establecidos en el presente proyecto se procedió con muestreo y la determinación de los parámetros analizados en el laboratorio de la EPISA-UANCV.

a) Resultados de los parámetros monitoreados

En la tabla 5, se exhibe el contenido de los parámetros monitoreados aguas arriba, punto de vertimiento, aguas abajo y dos puntos adicionales (dique de la relavera y confluencia de aguas residuales de la relavera), indicando que se ha analizado parámetros físicos (Temperatura, pH, turbidez, sólidos suspendidos totales) y parámetros inorgánicos (plomo, cadmio, arsénico, zinc y mercurio).



Tabla 5

Concentración de los parámetros monitoreados

Cod. De Muestra	Parámetros físicos				Parámetros inorgánicos				
	Temperatura (°C)	pH	Turbidez (NTU)	STT (mg/L)	Plomo (mg/L)	Cadmio (mg/L)	Arsénico (mg/L)	Zinc (mg/L)	Mercurio (mg/L)
PM1	15.4	7.61	1.09	3.45	<0.001	0.0105	0.0102	0.05	<0.01
PM - R1	14.2	7.54	1.12	3.29	<0.001	0.0103	0.0104	0.04	<0.01
PM2	15.3	7.18	0.98	1.23	0.0107	0.0104	0.0106	0.02	<0.01
PM - R2	14.2	7.23	1.05	1.38	0.0110	0.0107	0.0107	0.03	<0.01
PM3	15.3	7.19	9.09	34.82	0.0128	0.0117	0.0115	0.1	<0.01
PM - R3	14	7.17	10.2	39.12	0.0132	0.0121	0.0119	0.08	<0.01
PM4	15.1	7.25	1.01	4.9	0.0119	0.0104	0.0108	0.02	<0.01
PM - R4	14.3	7.28	1.06	5.6	0.0122	0.0109	0.0107	0.03	<0.01
PM5	15.4	7.25	0.56	0.92	0.0109	0.0111	0.0112	0.03	<0.01
PM - R5	14.2	7.2	0.61	1.10	0.0113	0.0113	0.0115	0.02	<0.01

Donde: (PM) Punto de monitoreo; (PM – R) Punto de muestreo – repetición

Nota. Emitido por el laboratorio de calidad Ambiental, EPISA-UANCV.



b) Concentración de parámetros físicos en el río Antauta (cuerpo receptor)

En la tabla 6, se exhibe los resultados del contenido de parámetros físicos del río Antauta (aguas arriba, punto de vertimiento, y aguas abajo), indicando que el estándar establece que la temperatura del agua no debe variar más de 3°C en, comparación con la temperatura natural del cuerpo de agua; los rangos obtenidos en los puntos M1, M2 y M3 se encuentra dentro de un rango típico de los ECA y no muestran variaciones significativas que pudieran indicar que no hay riesgo térmico para el riego de vegetales ni para la bebida de animales y tampoco para la ingesta humana; así también los valores de pH obtenidos en los tres puntos se exhiben dentro del rango reconocido por los ECA, siendo favorable para la mayoría de los cultivos y seguro para los animales como también para consumo humano, de igual manera con respecto a la turbidez, sólidos suspendidos totales (SST) no se especifica un estándar para riego de vegetales ni para consumo de animales; y tampoco para la ingesta humano, pero es importante señalar que niveles altos de turbidez, como el valor de M3 (9.65 NTU), pueden indicar la presencia de sólidos en suspensión, lo que podría obstruir sistemas de riego o afectar la absorción de luz en el agua.

Tabla 6*Concentración de parámetros físicos del río Antauta.*

Parámetros	Und	PM1	PM2	PM3	ECAs		
					Consumo humano	Riego de vegetales	Bebida de animales
Temperatura	°C	14.80	14.75	14.65	**	Δ 3	Δ 3
pH		7.58	7.21	7.18	5.5-9.0	6.5-8.5	6.5-8.4
Turbidez	NTU	1.11	1.02	9.65	**	-	-
SST	mg/L	3.37	1.31	36.97	-	-	-

c) Concentración de metales pesados en las aguas del río Antauta

En esta parte del estudio se pretende estimar el contenido de metales pesados, y evaluar estas según los parámetros de calidad de los ECAs para agua (consumo humano, riego de cultivos y bebida de animales).

En la tabla 7, se exhibe el contenido de metales pesados del río Antauta (aguas arriba, punto de vertimiento, y aguas abajo), indicando que los metales pesados (Plomo, Cadmio, Arsénico, Zinc), se encuentran dentro del ECAs de agua tanto para las categorías consumo humano, riego de vegetales, bebida de animales; además el mercurio si supera los ECAs para las 3 categorías.

Tabla 7*Concentración de metales pesados del rio Antauta.*

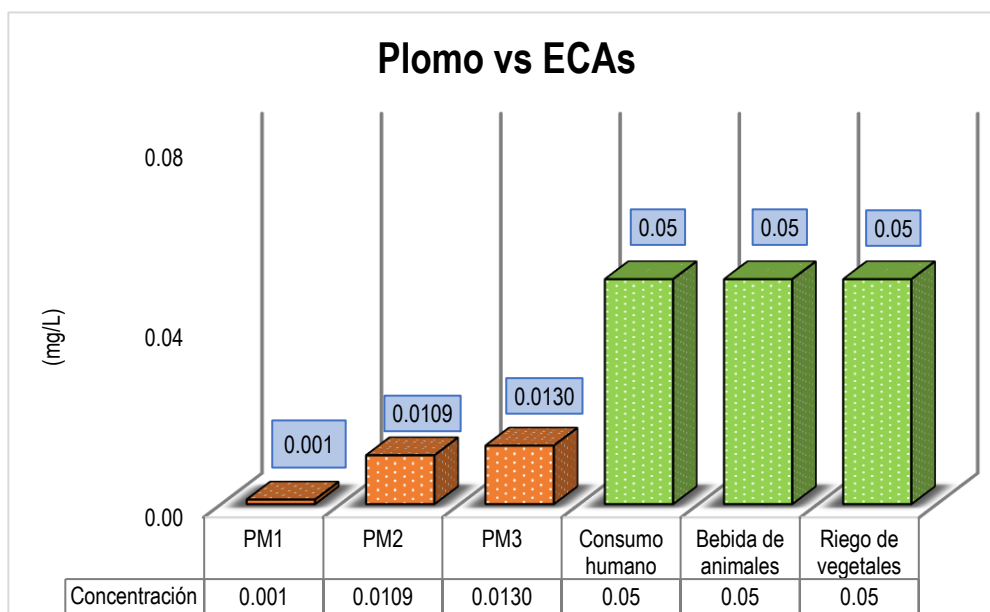
Parámetros	Und.	PM1	PM2	PM3	ECA		
					Consumo humano	Riego de vegetales	Bebida de animales
Plomo	mg/L	0.001	0.011	0.013	0.05	0.05	0.05
Cadmio	mg/L	0.010	0.011	0.012	0.010	0.01	0.05
Arsénico	mg/L	0.010	0.011	0.012	0.150	0.1	0.2
Zinc	mg/L	0.045	0.025	0.090	5.000	2	24
Mercurio	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	0.002	0.001	0.001

- **Plomo**

En la figura 2, se exhibe el contenido del plomo en el rio Antauta, (aguas arriba, punto de vertimiento, y aguas abajo), indicando que el plomo se encuentra por debajo del límite permitido por los ECAs que es de de 0.05 mg/L, lo que indica que el plomo no representa un riesgo para el uso del agua en riego o consumo animal así también, para consumo humano.

Figura 2

Concentración del plomo en el río Antauta



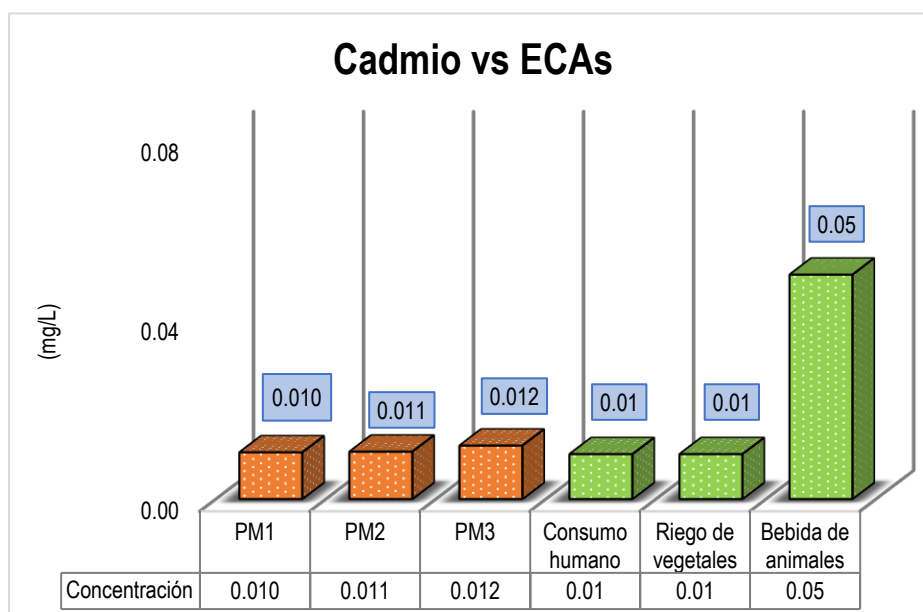
- **Cadmio**

En la figura 3, se exhibe el contenido del cadmio en el río Antauta, (aguas arriba, punto de vertimiento, y aguas abajo), indicando que el cadmio en el punto: PM2 (punto de vertimiento) y PM3 (aguas abajo) exceden ligeramente el límite para riego de cultivos y consumo humano (0.010 mg/L) lo que podría ser preocupante si el agua se utiliza para riego sin restricciones; aunque los valores no son alarmantemente altos, la superación del límite sugiere la necesidad de investigar la fuente de cadmio y considerar medidas de remediación o tratamiento, especialmente si el agua se destina al riego de cultivos sensibles y sobre todo para consumo humano, mientras que el punto PM1 (aguas arriba), se encuentra por debajo del límite permitido por los ECAs que es de 0.05 mg/L, lo que indica que el plomo no representa un riesgo para

el uso del agua en riego o consumo animal así también, para consumo humano.

Figura 3

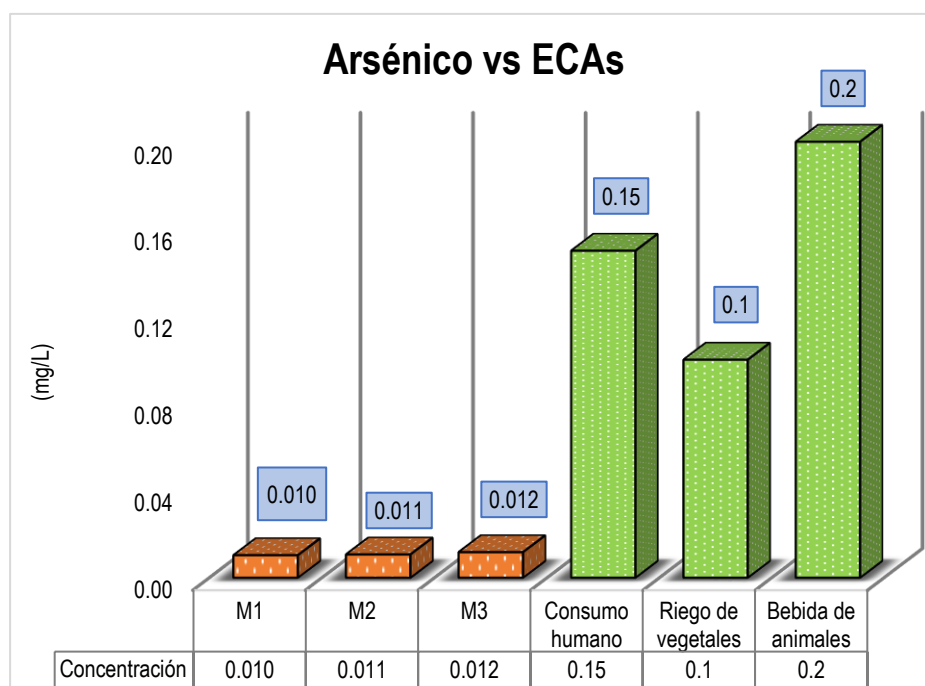
Concentración del cadmio en el rio Antauta



- **Arsénico**

En la figura 4, se muestra el contenido del arsénico en el rio Antauta, (aguas arriba, punto de vertimiento, y aguas abajo), indicando que en los puntos evaluados los contenidos de arsénico se exhiben por debajo de los límites, lo que alude que no existe un riesgo significativo de contaminación por este elemento.

Figura 4

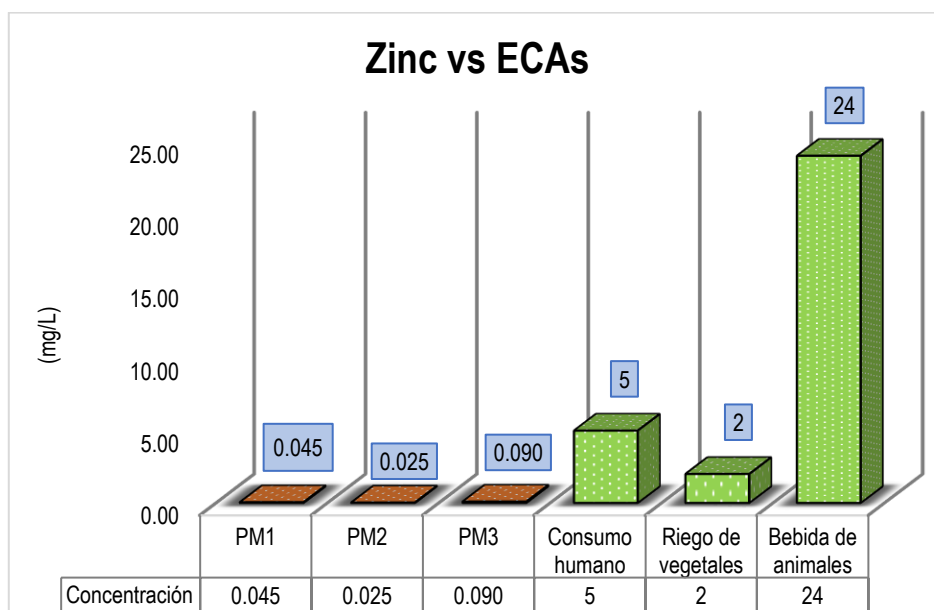
Concentración del arsénico en el río Antauta

- **Zinc**

En la figura 5, se exhibe el contenido del zinc en el río Antauta, (aguas arriba, punto de vertimiento, y aguas abajo), indicando que el límite exigido por la normativa es de 2 mg/L para riego de veegetales, 24 mg/L para bebida de animales y 0.15 mg/L para ingesta humana; los valores de zinc están significativamente por debajo de los límites exigidos, lo que indica que no hay preocupación por toxicidad para plantas, animales y consumo humano.

Figura 5

Concentración del zinc en el río Antauta

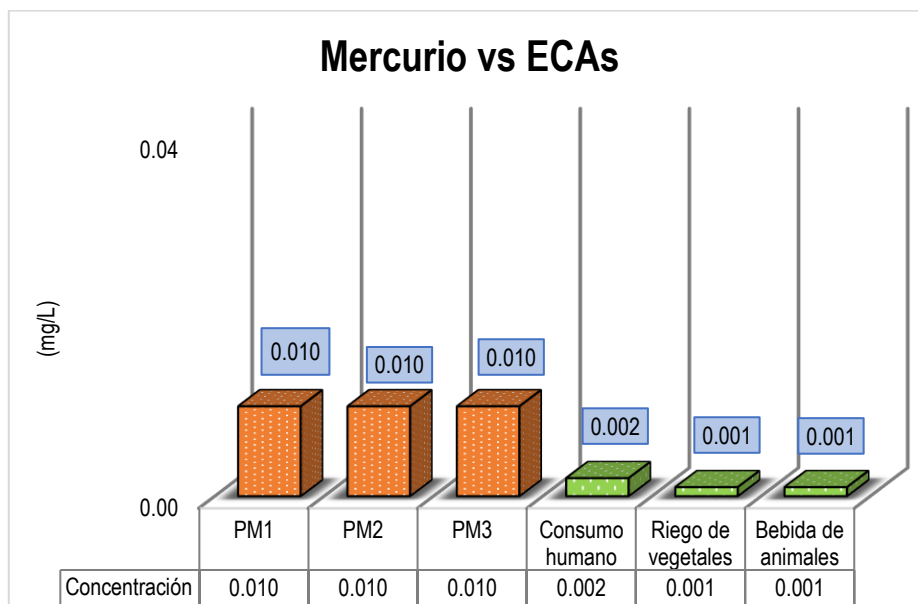


- **Mercurio**

En la figura 6, se exhibe el contenido del mercurio en el río Antauta, (aguas arriba, punto de vertimiento, y aguas abajo), indicando que el límite exigido por la normativa es de 0.001 mg/L para riego de vegetales y bebida de animales, para consumo humano es de 0.002 mg/L; además lo resultante son reportados como menores a 0.01 mg/L por ello es importante notar que este valor se encuentra por encima del límite exigido por el ECA; cualquier cantidad de mercurio, dado su alto nivel de toxicidad, es preocupante.

Figura 6

Concentración del mercurio en el río Antauta



d) Concentración de parámetros en el efluente de la Unidad Minera San Rafael.

En la tabla 8 y figura 6, se exhibe que el contenido de parámetros físicos en el efluente de la Unidad Minera San Rafael, indicando que los valores del pH en la muestra que el PM4 es de 7.27 y el PM5 es de 7.23, según los LMP indica que el límite es de 6 - 9 (en cualquier momento y promedio anual), ambos valores se encuentran dentro del rango permisible, indicando que el pH de los efluentes está adecuadamente neutralizado, lo cual es fundamental para evitar efectos adversos en la vida acuática y en los procesos biológicos de tratamiento; con respecto a los SST se muestra que el PM4 presenta 5.25mg/L y el PM4 presenta 1.01mg/L, viendo en los dos puntos de monitoreo se exhiben muy por debajo de los límites exigidos; esto es positivo, ya que altos niveles de sólidos pueden causar turbidez, afectando la penetración de

luz en cuerpos de agua y obstruir las branquias de los peces, y finalmente para los parámetros de temperatura y turbidez no se especifica un estándar.

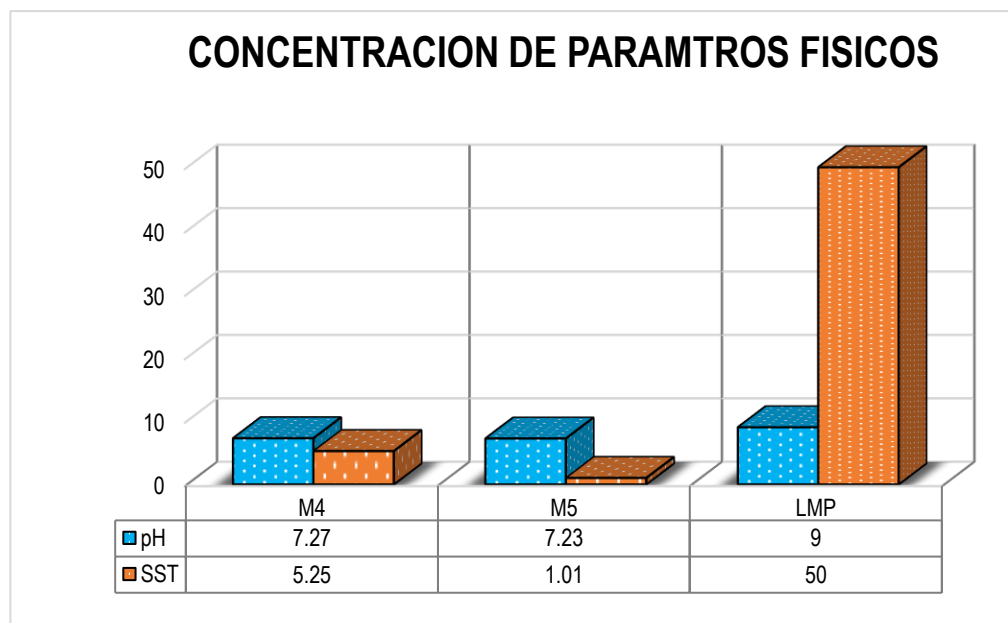
Tabla 8

Concentración de parámetros físicos en el efluente de la Unidad Minera San Rafael.

Parámetro	Unid. de Medida	PM4	PM5	LMP
Temperatura	°C	14.7	14.8	-
pH	-	7.27	7.23	6-9
Turbidez	NTU	1.04	0.59	-
SST	Mg/L	5.25	1.01	50

Figura 7

Concentración de parámetros físicos en el efluente de la Unidad Minera San Rafael.





En la tabla 9 y figura 8, se exhibe que el contenido de metales pesados en el efluente de la Unidad Minera San Rafael, indicando que en los puntos de muestreo PM4 y PM5; el plomo tiene el valor de 0.012 - 0.011 mg/L, Cadmio con 0.011-0.011 mg/L, Arsénico de 0.011-0.011 mg/L, zinc que tiene 0.025-0.025 mg/L y en ambas muestras el mercurio es <0.01mg/L; los resultados muestran un cumplimiento general con los LMP para la mayoría de los parámetros; sin embargo, los niveles de mercurio representan una preocupación significativa que debe ser abordada con urgencia, sugiriendo una fuente de contaminación significativa que necesita ser identificada y controlada de manera urgente.

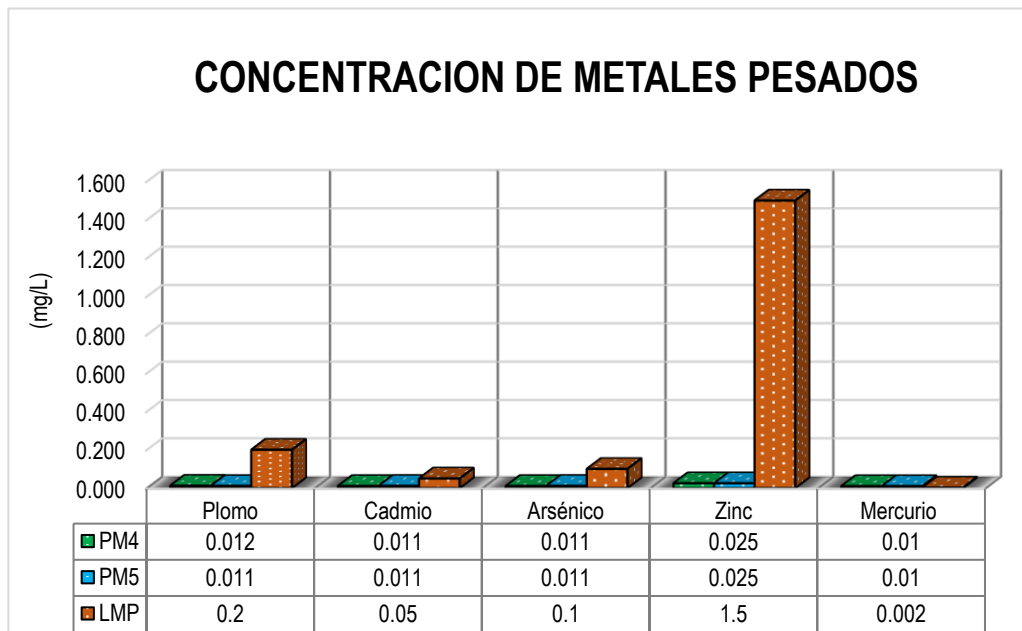
Tabla 9

Concentración de metales pesados en el efluente de la Unidad Minera San Rafael.

Parámetro	Unid. de medida	PM4	PM5	LMP
Plomo	mg/L	0.012	0.011	0.2
Cadmio	mg/L	0.011	0.011	0.05
Arsénico	mg/L	0.011	0.011	0.1
Zinc	mg/L	0.025	0.025	1.5
Mercurio	mg/L	<0.01	<0.01	0.002

Figura 8

Concentración de metales pesados en el efluente de la Unidad Minera San Rafael.

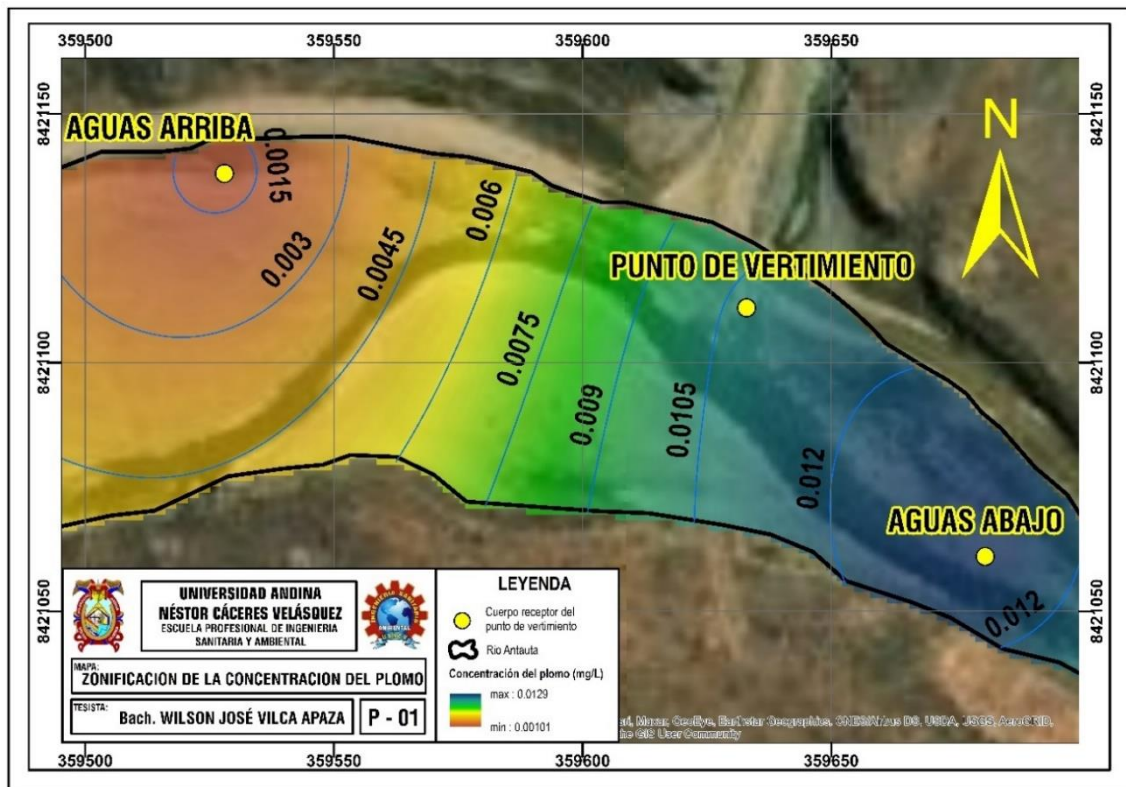


4.1.2. Realizar la zonificación de la concentración de metales pesados en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024

En la figura 9, se muestra la zonificación del contenido de plomo en la masa receptora del punto de vertimiento de aguas servidas de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, indicando que el contenido del plomo en el cuerpo receptor es variada; con valores que fluctúan entre 0.00101 a 0.0129mg/L, la cual no sobrepasa el límite exigido por el ECA para riego de vegetales, bebida de animales y para ingesta humana respectivamente.

Figura 9

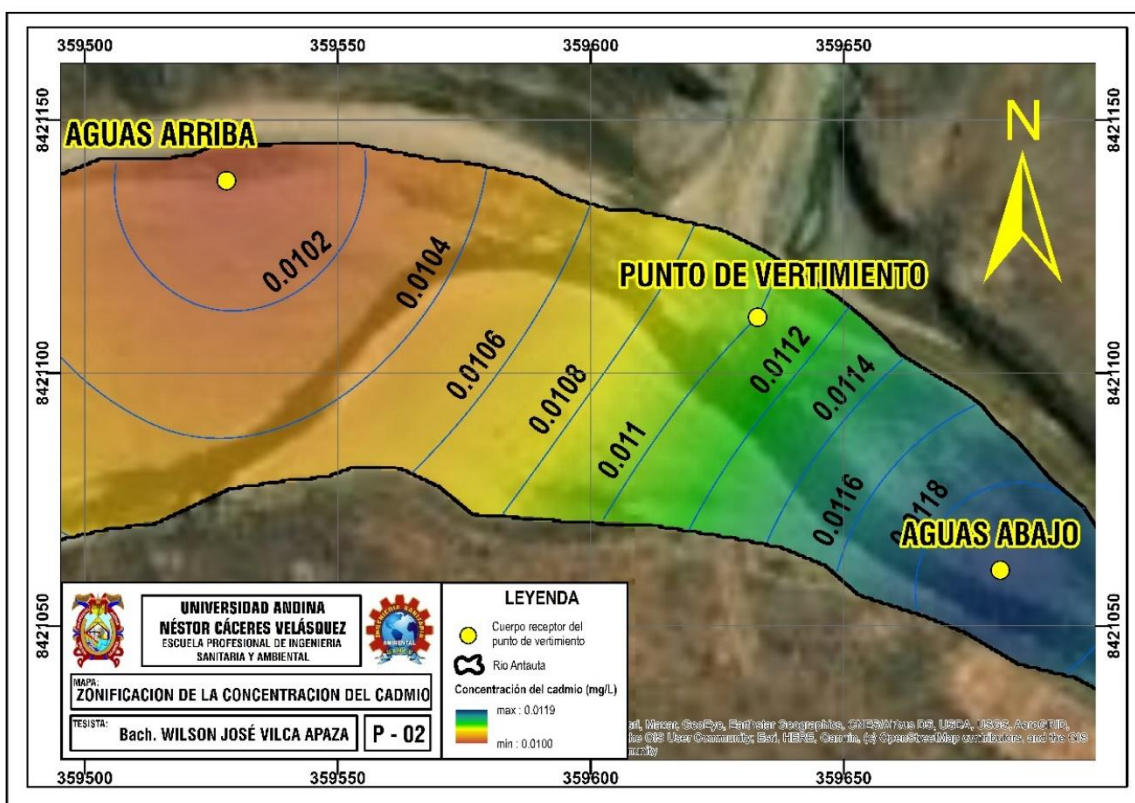
Zonificación de la concentración de plomo en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera



En la figura 10, se muestra la zonificación del contenido de cadmio en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas servidas de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, indicando que el contenido del cadmio en el cuerpo receptor es variada; con valores que fluctúan entre 0.00100 a 0.0119mg/L, la cual exceden ligeramente el límite exigido por los ECAs para consumo humano y riego de vegetales; mientras que para la bebida de animales no excede el ECA.

Figura 10

Zonificación de la concentración de cadmio en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera

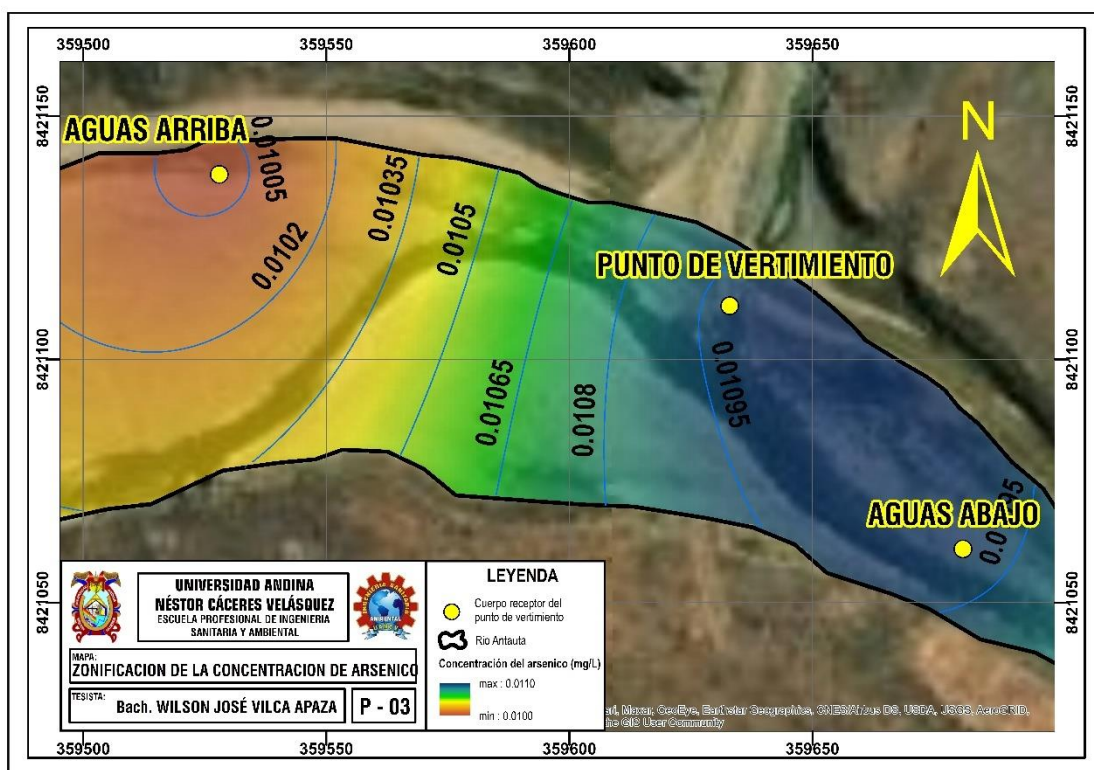


En la figura 11, se muestra la zonificación del contenido de arsénico en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas servidas de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, indicando que el contenido del arsénico en el

cuerpo receptor es variada; con valores que fluctúan entre 0.00100 a 0.0110mg/L, la cual no sobrepasa el límite exigido por el ECA para riego de vegetales, bebida de animales y para consumo humano respectivamente.

Figura 11

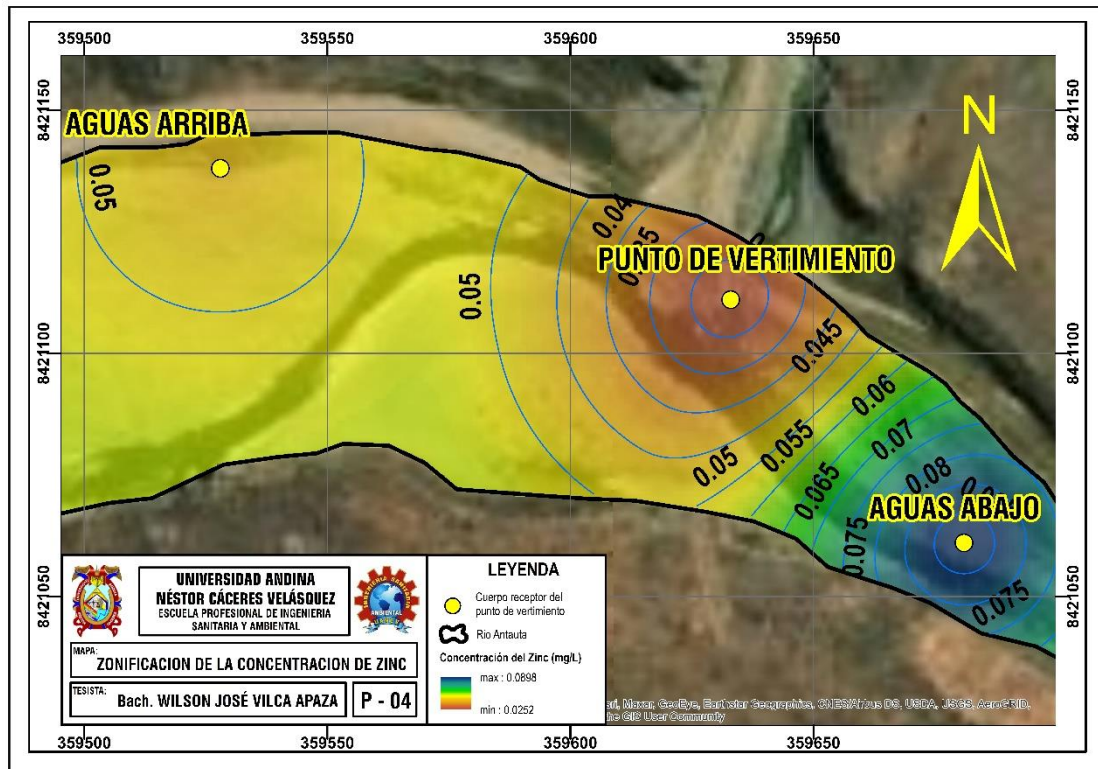
Zonificación de la concentración de arsénico en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera



En la figura 12, se muestra la zonificación del contenido de zinc en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas servidas de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, indicando que el contenido del zinc en el cuerpo receptor es variada; con valores que fluctúan entre 0.0252 a 0.0898mg/L, la cual no sobrepasa el límite exigido por el ECA para riego de vegetales, bebida de animales y para consumo humano respectivamente.

Figura 12

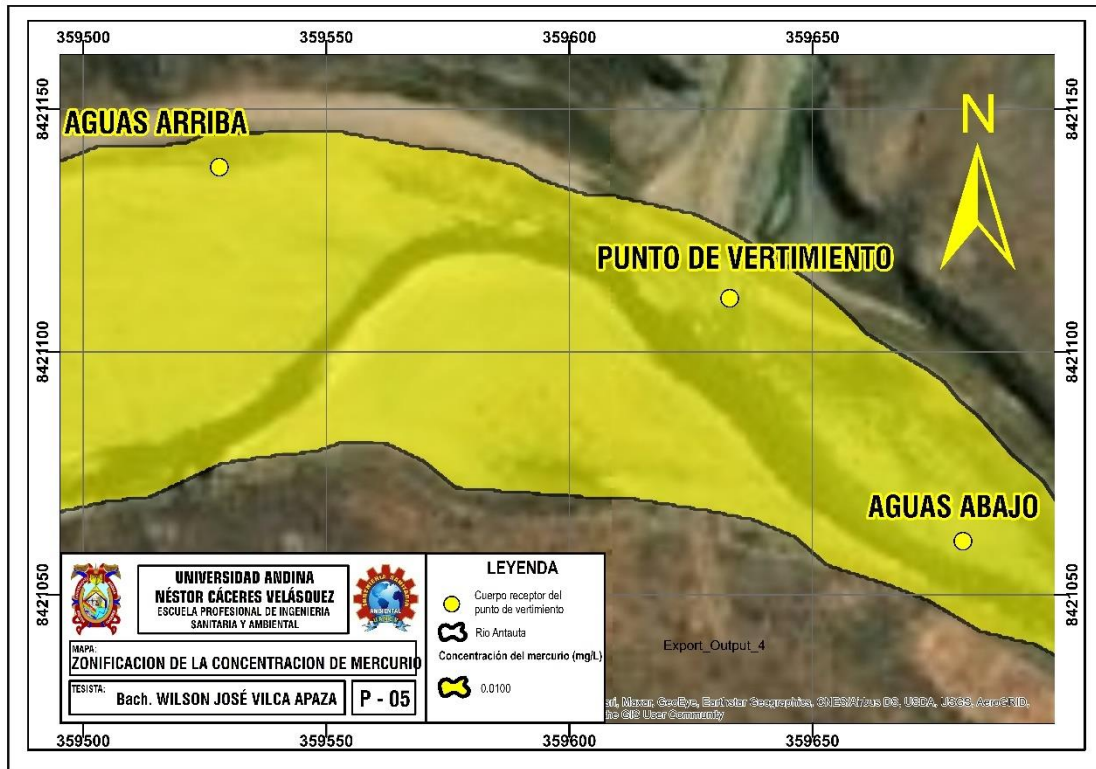
Zonificación de la concentración de zinc en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera



En la figura 13, se muestra la zonificación del contenido de mercurio en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas servidas de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, indicando que el contenido del mercurio en el cuerpo receptor presenta mismas proporciones que es de 0.0100mg/L, la cual, si sobrepasa el límite exigido por el ECA para riego de vegetales, bebida de animales y para consumo humano respectivamente.

Figura 13

Zonificación de la concentración de mercurio en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera





4.1.3. Proponer una tecnología que permita disminuir la carga de contaminantes en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024

Para proponer una tecnología que permita disminuir la carga de contaminantes en el cuerpo receptor del punto de vertimiento se realizara una evaluación de las tecnologías existentes; que a continuación se mencionan:

a) Adsorción

- **Carbón activado**

Eficiencia: Alta, con una capacidad de eliminación superior al 90% para metales como el plomo, cadmio, mercurio, y cromo.

Costo: Moderado a alto. El carbón activado es relativamente costoso debido a la necesidad de regenerarlo o reemplazarlo, aunque su reutilización mejora su viabilidad económica.

Ventajas: Amplia disponibilidad, alta capacidad de adsorción.

Desventajas: Puede saturarse rápidamente con altas concentraciones de contaminantes.

- **Zeolitas**

Eficiencia: Alta, puede eliminar entre 70% y 90% de metales pesados como plomo, cadmio, y cobre.

Costo: Bajo a moderado. Las zeolitas naturales son más económicas que las sintéticas, pero su eficiencia puede variar.

Ventajas: Económica, alta capacidad de intercambio iónico.



Desventajas: Menos eficaces en concentraciones extremadamente bajas.

b) Filtración por membranas

- **Ósmosis inversa**

Eficiencia: Muy alta, con una capacidad de eliminación superior al 95% para una amplia gama de metales pesados, como mercurio, plomo, y arsénico.

Costo: Alto. El costo de instalación y operación es significativo debido a la necesidad de alta presión y mantenimiento frecuente.

Ventajas: Altamente eficaz para metales pesados y otros contaminantes.

Desventajas: Elevado consumo energético y alto costo de mantenimiento.

- **Nanofiltración**

Eficiencia: Alta, eliminando entre el 70% y 90% de metales pesados.

Costo: Moderado a alto. Aunque el costo inicial es más bajo que la ósmosis inversa, sigue siendo considerable debido a la sustitución de membranas.

Ventajas: Menor consumo energético comparado con la ósmosis inversa.

Desventajas: Requiere pretratamiento del agua para evitar el ensuciamiento de la membrana.

- **Ultrafiltración**



Eficiencia: Moderada a alta, con capacidades de eliminación de entre el 50% y el 80%.

Costo: Moderado. Menor costo en comparación con ósmosis inversa, pero menos eficaz en la eliminación de metales específicos.

Ventajas: Eficaz para partículas más grandes.

Desventajas: Menos eficiente para eliminar metales pesados en estado disuelto.

c) Precipitación química

- **Precipitación de hidróxidos y sulfuros**

Eficiencia: Alta, con una capacidad de eliminación del 80% al 95% para metales como cobre, zinc y plomo.

Costo: Moderado. Los reactivos químicos son relativamente económicos, pero se deben considerar los costos de manejo de lodos.

Ventajas: Amplia disponibilidad y simple implementación.

Desventajas: Generación de grandes cantidades de lodo tóxico, que requiere tratamiento posterior.

- **Coagulación y floculación**

Eficiencia: Moderada a alta, con eficiencias de eliminación del 70% al 90%.

Costo: Bajo a moderado. El costo de los coagulantes y floculantes es bajo, pero se deben considerar los costos de manejo de residuos.

Ventajas: Eficaz y económico.



Desventajas: Generación de lodos que requieren tratamiento adicional.

d) Electroquímica

- **Electrocoagulación**

Eficiencia: Alta, con una capacidad de eliminación del 80% al 95% para metales como plomo, cromo y cadmio.

Costo: Moderado. Los costos operativos dependen del consumo eléctrico, pero es menos costoso que otras tecnologías avanzadas.

Ventajas: Genera pocos residuos y tiene alta eficiencia.

Desventajas: Requiere supervisión técnica y equipo especializado.

- **Electrodialisis**

Eficiencia: Muy alta, con capacidades de eliminación de hasta el 95% para metales como zinc y cobre.

Costo: Alto. Los equipos y el consumo energético pueden elevar significativamente los costos operativos.

Ventajas: Eficaz para concentraciones altas de iones metálicos.

Desventajas: Alto costo de instalación y operación.

e) Tecnologías biológicas

- **Fitorremediación**

Eficiencia: Moderada, con capacidades de eliminación del 50% al 80% dependiendo del tipo de planta y metal.

Costo: Bajo. Es una tecnología de bajo costo, ya que utiliza plantas naturales, pero requiere tiempo y espacio.

Ventajas: Sostenible y de bajo impacto ambiental.

Desventajas: Tiempo prolongado para obtener resultados y limitada a ciertos metales y concentraciones.

- **Biorremediación con bacterias y hongos**

Eficiencia: Moderada a alta, con eliminaciones que oscilan entre el 60% y el 90%.

Costo: Bajo a moderado. El costo de implementar y mantener microorganismos es bajo, pero requiere condiciones adecuadas para su supervivencia.

Ventajas: Sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

Desventajas: Requiere condiciones específicas y tiempo para resultados efectivos.

f) **Nanotecnología**

- **Nanopartículas de óxidos metálicos (Fe, Ti)**

Eficiencia: Muy alta, con eficiencias de eliminación superiores al 90% para metales como el arsénico, cromo y plomo.

Costo: Moderado a alto. Las nanopartículas son costosas de producir, aunque la inversión puede reducirse con el uso repetido o regeneración.

Ventajas: Alta capacidad de adsorción y superficie activa.

Desventajas: Requiere más investigación para aplicaciones a gran escala y manejo adecuado de las nanopartículas.

- **Nanotubos de carbono**

Eficiencia: Alta, con eficiencias de eliminación entre el 80% y el 95%.

Costo: Alto. Los nanotubos de carbono son costosos de producir y pueden no ser viables para grandes volúmenes de agua.

Ventajas: Excelente capacidad de adsorción y potencial de regeneración.

Desventajas: Alto costo y desafíos en la producción a gran escala.

Tabla 10

Resumen de la comparación de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales mineras

Tecnología	Eficiencia	Costo	Ventajas	Desventajas
Carbón activado	Alta (90%)	Moderado-Alto	Alta disponibilidad, reutilizable	Saturación rápida, costo de reemplazo
Ósmosis inversa	Muy alta (95%)	Alto	Altamente eficaz	Alto costo de operación y mantenimiento
Precipitación química	Alta (80%-95%)	Moderado	Económica, fácil de aplicar	Generación de lodos
Electrocoagulación	Alta (80%-95%)	Moderado	Bajo costo de residuos	Requiere supervisión técnica
Fitorremediación	Moderada (50%-80%)	Bajo	Sostenible, bajo costo	Lento, limitado a ciertos metales
Nanotecnología (nanopartículas)	Muy alta (90%)	Moderado-Alto	Alta capacidad de adsorción	Alto costo y manejo de nanopartículas

Con respecto a la tabla 10, se aprecia la comparación de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales mineras; indicando que la osmosis inversa y las nanotecnologías son las más eficaces, aunque tienen costos elevados; así

mismo las tecnologías biológicas como la fitorremediación y biorremediación con bacterias y hongos son económicas y sostenibles, por ello es que se escoge estas tecnologías para que permitan disminuir la carga de contaminantes en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024

4.1.4. Prueba estadística

a) Prueba de normalidad

- Grado de significancia = 5 %
- Grado de confianza = 95 %
- Prueba de normalidad: Shapiro- Wilk
- Estimador:

Si P valor \Rightarrow 0.05, = exhibe distribución normal de la data

Si P valor $<$ 0.05, = no exhibe distribución normal de la data

En la tabla 10, se muestra la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk sobre la concentración de metales pesados en el punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Se ha demostrado que el P-Valor es mayor que el valor alfa ($\alpha > 0.05$), lo que indica que la data presenta una distribución normal. Como resultado, se puede utilizar el análisis estadístico ANOVA..

Tabla 11

Prueba de normalidad Shapiro – Wilk

Shapiro-Wilk		
Estadístico	GI	Sig.



Metales pesados	,955	5	,744
------------------------	------	---	------

b) Prueba estadística

- Grado de confianza al 95%
- Grado de significancia al 5%
- Análisis estadístico: "Análisis de la Variancia (ANOVA)"

Estimador:

Si $P < 0,05$ se acepta la hipótesis alterna rechazando la nula.

Si $P > 0,05$ se acepta la hipótesis nula rechazando la alterna.

En la tabla 11, se aprecia la prueba estadística ANOVA para identificar la relación entre la calidad del agua (ECA) y la concentración de metales pesados producidos por el vertimiento de aguas servidas de la relavera de la unidad minera San Rafael; eligiendo dicho método a razón de que la dará presentan una distribución normal (paramétrico), manifestando que el p-valor fue 0,018 es menor al alfa 0,05, es sin duda menor; lo cual es indicativo que presenta una correlación estadísticamente significativa; aceptando la hipótesis planteada: La calidad del agua del cuerpo receptor está influenciada por la concentración de metales pesados producidos por el vertimiento de aguas servidas de la relavera de la unidad minera San Rafael.

Tabla 12

Prueba estadística ANOVA (Metales pesados vs. ECA)

		ANOVA				
		Suma de cuadrado s	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Metales pesados vs. ECA	Entre grupos	4,579	1	3,108	.	,018
	Dentro de grupos	,000	0	.		
	Total	4,579	1			
			0			

4.2. Discusión

Según Ramos (2022), los resultados logrados en la estimación de la calidad del agua del río Chaquillo en el distrito de Gorgor, Cajatambo muestran una cierta similitud con los siguientes parámetros en comparación con D. S. N° 004-2017-MINAM; descartando la presencia de concentraciones preocupantes en el pH, CN, Cr, Cu, Cd, Pb y Zn; no obstante, el mercurio exhibe valores muy colindantes de lo admisible (estiaje=0.001 mg/L), lo que conlleva a que las consecuencias derivadas en el presente investigación sobre el mercurio (<0.01 mg/L) se muestran por debajo del rango de detección concordando en ambas investigaciones que el mercurio no es un contaminante significativo en las áreas estudiadas; esto es un resultado positivo, considerando que es un metal peligroso para el bienestar humano y el ambiente; de igual manera los resultados obtenidos respaldan la tesis de Ramos (2022) que indica que el cadmio es un metal



importante en áreas mineras, cuya concentración obtenida fue 0000 mg/L cerca a los límites permitidos de los ECAs, sugiriendo una posible fuente minera lo que concuerda en ambos estudios indicando que es necesario monitorear constantemente para evitar excedencias.

De acuerdo con los hallazgos de la investigación de Pardave (2022), se evaluó en el flujo de agua del almacén de relaves de Ocroyoc, concerniente a metales totales como plomo, cadmio, zinc, arsénico y mercurio encuentran dentro de los LMP sugiriendo una buena eficiencia en la en los procesos de tdepuracion, pero debemos tener en cuenta que se presenta resultados similares con respecto al pH donde se obtuvo 8.22 encontrándose dentro del límite máximo permisible de 6.0-9.0 según el D.S. N° 010-2010-MINAM en el vertimiento; del mismo modo, lo valores de pH obtenido en la presenta investigación muestra un rango en puntos de muestreo M4=7.27 y M5=7.2 dichos valores cumplen con los límites para la calidad hidrica tanto para riego como para la bebida de animales, lo que indica que no hay acidificación o alcalinización significativo términos de pH por las actividades mineras.

Así mismos, los resultados con respecto al estudio realizado por Ramos (2018), dicho resultados se pueden observar tanto similitudes como diferencias en los parámetros de pH, turbidez, conductividad eléctrica, (SST), y el contenido de metales como Pb, Hg y Cd; después de que el efluente minero haya sido tratado activamente, debe cumplir con las normas establecidas por el ds 010-2010 del MINAM sobre Imp; la investigación efectuada muestra resultados con cierta similitud con



respecto al cadmio en el punto M2 y M3 que exceden ligeramente el límite para riego de vegetales (0.010 mg/L) comprando con los valores con la tesis muestra niveles más altos, esto indicaría una mayor severidad de la contaminación en el río Tinyacclla, en cambio el mercurio reporta niveles bajos < 0.0005 mg/L, indicando que la presente muestra es de < 0.001 indicando que se encuentra por encima del límite extremadamente bajo permitido por los ECAs.



CONCLUSIONES

- Primera:** En general se concluye que el contenido de metales pesados en el punto PM1 “aguas arriba”, PM2 “punto de vertimiento” y PM3 “aguas abajo”; con respecto al plomo, arsénico y zinc, se presentan dentro de los ECAs para de agua para ingesta humana, riego de vegetales y bebida de animales, mientras que el cadmio y el mercurio sobrepasan los ECAs para de agua para consumo humano, riego de vegetales y bebida de animales
- Segunda:** Se concluye que la concentración de metales pesados en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas ervidas de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, con respecto al punto PM1 “aguas arriba”, presenta una concentración de plomo de 0.001mg/l, cadmio 0.01mg/l, arsénico 0.01mg/l, zinc 0.045mg/l, mercurio 0.01mg/l; mientras que en el punto de vertimiento PM2, presenta un contenido de plomo de 0.0109mg/l, cadmio 0.011mg/l, arsénico 0.011mg/l, zinc 0.025mg/l, mercurio 0.01mg/l; y finalmente con respecto al PM3 “aguas abajo”, presenta una concentración de plomo de 0.0130mg/l, cadmio 0.012mg/l, arsénico 0.011mg/l, zinc 0.090mg/l, mercurio 0.01mg/l.
- Tercera:** Se concluye que la concentración en base a la zonificación realizada en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas sertvidas de la relavera, es variado; presentando valores para el plomo que fluctúan entre 0.00101mg/L a 0.0129mg/L, mientras que para el cadmio exhiben valores que oscilan entre 0.00100mg/L a



0.0119mg/L, además con respecto al arsénico presentan valores que fluctúan entre 0.00100mg/L a 0.0110mg/L; mientras que para el zinc presentan valores que oscilan entre 0.0252mg/L a 0.0898mg/L, y finalmente con respecto al mercurio presenta en todos los puntos una concentración de 0.0100 mg/L.

Cuarta: Se concluye que la tecnología más factible que permitan disminuir la carga de contaminantes en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas servidas de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael son las tecnologías biológicas como la fitorremediación y biorremediación con bacterias y hongos que son económicas y sostenibles con el medio ambiente.



RECOMENDACIONES

- Primera:** Se recomienda primordialmente implementar controles de calidad de agua del río Antauta de manera constante, para conocer si la carga de contaminantes sobrepasa el ECA.
- Segunda:** Se recomienda realizar un tratamiento preventivo de las aguas servidas de la relavera para su vertimiento adecuado al cuerpo receptor.
- Tercera:** Se recomienda a las universidades que funcionan en la región de Puno, a través de sus escuelas académicas, realizar proyectos de conservación y preservación del río Huallaga.
- Cuarta:** Finalmente la provisión de recursos justo a tiempo nos consentirá cumplir con las normas que estandarizan la optimización a los más altos niveles de excelencia, fomentando oportunidades para la mejora continua del Sistema de depuración de Agua de Mina y permitiendo la descarga de calidad necesaria, dado que la minería es una actividad extremadamente dinámica..



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abal, P. (2018). *Influencia del vertimiento de aguas residuales en el grado de contaminación de las aguas del río Huallaga en Huanuco, año 2017*. Huanuco: Universidad Alas Peruanas.
- Aduvire, O. (2018). *Dimensionado de sistemas de tratamiento de aguas acidas de mina*. El Salvador: Revista de medio ambiente.
- Aduvire, O. (2018). *Dimensionado de sistemas de tratamiento de aguas acidas de mina*. El Salvador: Revista de medio ambiente.
- ANA. (2016). *Guía para la determinación de la Zona de Mezcla y evaluación del Impacto Ambiental*. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- Avellaneda, P. (2016). Evaluación de la calidad del agua en el río Mashcón, Cajamarca, 2016. 307.
- Barragan, M., & Mantilla, M. (2022). *Caracterización del vertimiento de aguas residuales no domésticas bajo la norma 0631 en la empresa sociedad minera la providencia LTDA del municipio de Vetas Santander*. Bogota: Unidades Tecnologicas de Santander.
- Barral, M. (2018). *Precipitados de hierro en medios sulfato-acidos que resultan de la alteracion de anfíbolitas ricas en sulfuros*. Caracas: Cuadernos - Laboratorio Xeoloxico de Laxe.
- Barreto, H. (2016). *Efecto de la dosificación de cal en la remoción de hierro y cobre del efluente de la empresa minera San Simón- La Libertad*. Trujillo: Universidad Cesar Vallejo.



- Castañeda, M. (2017). *Calidad del agua en la microcuenca del río Challhuahuacho comparado con los estándares de calidad ambiental para riego y bebedero (Eca 3) en la zona de Challhuahuacho, Cotabamba – Apurímac*. Cajamarca: Universidad Nacional de Apurímac.
- Córdova Baldeón, I. (2018). *"Instrumentos de investigación"*. Lima: San Marcos de Aníbal Jesús Paredes Galván.
- Cruzado, J. (2022). *Cálculo del índice de calidad de agua de subcuenca Cajamarquino - Crisnejas, que recibe vertimientos de aguas residuales poblacionales y pasivos ambientales mineros, del 2016-2020*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Eloisa, F. (2023). *Remoción de Cu, Fe y Zn en las aguas ácidas de la relavera Quiulacocha-pasco tras una dilución y adición de cal*. Lima: Universidad San Ignacio de Loyola.
- Flores, E. (2023). *Remoción de Cu, Fe y Zn en las aguas ácidas de la relavera Quiulacocha-Pasco tras una dilución y adición de cal*. Lima: Universidad San Ignacio de Loyola.
- Guamán, V., & Molina, M. (2015). Evaluación de las plantas de depuración de agua residual de las comunidades de Macas y San Pedro, cantón Cuenca, Azuay. *Universidad De Cuenca*, 134.
- Guillen, J. (2020). *Vertimiento de efluentes mineros de mina marta en la contaminación de las aguas del río Tinyacclla*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.



- Hernandez, R., & Fernandez, C. (2018). *Metodología de la Investigación*. Mexico: McGrawHill Education.
- Hernandez, Y., Rodriguez, P., Peña, M., Gonzales, P., & Tomas, F. (2018). Caracterización química y agronómica de las aguas residuales del yacimiento Castellano, Pinar del Río. *Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas*, 11 - 17.
- Infante, N., & Tacilla, T. (2019). *Influencia del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en la calidad de agua del río Cajamarquino - Llacanora, 2017*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Morales, S. (2018). *Vertimiento proyectado de la mezcla de efluentes domésticos e industriales tratados y su influencia sobre la calidad ambiental del agua de la quebrada Mayo Punco, en la unidad minera Mallay del distrito y provincia de Oyón, departamento de Lima en el año*. Lima: Universidad Alas Peruanas.
- MVCS. (2014). *Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las Plantas de Tratamiento de aguas residuales Domésticas o municipales*. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Nazario, N. (2024). *Comportamiento de la calidad de agua superficial, de la planta complementaria para el beneficio de minerales oxidados de la empresa Óxidos de Pasco S.A.C., para el cumplimiento de los dispositivos legales ambientales del sector minero – 2022*. Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.



ONU. (2019). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. *Los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <https://doi.org/10.2307/j.ctv14t4706>

Paccara, D. (2019). *Contaminación del agua por las actividades minero metalúrgicas*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.

Pardave, M. (2022). *Evaluación de la calidad física y química de aguas que influyen de las actividades de la unidad minera Cerro S.A.C ubicada en los distritos de Simón Bolívar y Yanacancha, provincia de Pasco 2020*. Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

Pari, D. (2017). *Efectos de los relaves mineros en la calidad del agua del río Ananea – Puno*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.

Parra, N. (2022). *Evaluación de la eficiencia del óxido de calcio, para la remoción del hierro, en relaves de la mina MINSUR por precipitación alcalina*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

Portero, M., & Amat, V. (2017). Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Babahoyo. *Universidad Católica de Santiago de Guayquil*, 112.

Puente, A. (2019). *Optimización del sistema de tratamiento y disposición sanitaria de aguas residuales industriales para vertimiento clase III, provenientes de la boca mina del nivel 250 (EF 03) al río San José*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Ramos, A. (2018). *Evaluación de la calidad del agua del río ovejas por descarga de quebradas provenientes de zona minera de la Vereda Yolombó, en el*



corregimiento la Toma, Suárez, Cauca. Santiago de Cali: Universidad del Valle.

Ramos, L. (2022). *Evaluación de calidad de agua del rio chanquillo, en zona de influencia por actividades mineras, distrito de Gorgor, Cajatambo- 2021.* Huacho: Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.

Saverus, D. (2019). Evaluacion del impacto de vertimiento de aguas residuales de una industria papelera a un tramo del Rio Rimac. *In Jurnal Kajian Pendidikan Ekonomi dan Ilmu Ekonomi.*

Shim, M., Choi, B., Lee, G., Hwang, Y., Yang, J., Loughlin, E., & Kwon, M. (2015). Water quality changes in acid mine drainage streams in Gangneung, Korea, 10years after treatment with limestone. (234 – 242).

Tapara, A. (2023). *Evaluación de carga de contaminantes generado por el vertimiento de aguas residuales de la laguna de oxidación del distrito de Nuñoa, provincia Melgar-2022.* Puno: Universidad Nacional del Altiplano.

Trujillo, Y. (2022). *Optimización de la remoción de hierro del drenaje ácido de mina del pasivo ambiental minero de Mesapata, Recuay- Áncash, 2020-2021.* Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.



ANEXOS



Anexo 1. Matriz de consistencia

<u>PROBLEMA</u>	<u>OBJETIVO</u>	<u>HIPÓTESIS</u>	<u>VARIABLES</u>	<u>DIMENSIONES</u>	<u>INDICADOR</u>	<u>UND</u>	<u>METODOLOGIA</u>
<p>General</p> <p>¿La concentración de metales pesados generado por el vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael influirá en la calidad del cuerpo receptor?</p>	<p>General</p> <p>Evaluar la concentración de metales pesados generado por el vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024</p>	<p>Hipótesis alterna</p> <p>La concentración de metales pesados generado por el vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, influye en la calidad de agua del cuerpo receptor</p>	<p>Variable 1</p> <p>Vertimiento de aguas residuales de la relavera de la unidad minera San Rafael</p>	<p>Normativa de medición de la calidad del agua</p>	ECA de agua	---	<p>Diseño de investigación</p> <p>No experimental</p> <p>Tipo de investigación</p> <p>Aplicativo</p>
					LMP (D. S. N° 010-2010-MINAM) "límites máximos permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos"	---	
<p>Específicas</p> <p>¿Cuáles son las características de metales pesados en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, Melgar, 2024?</p> <p>¿Cuál será la variación de la concentración de metales pesados en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, Melgar, 2024?</p> <p>¿Cuál es la tecnología que permita disminuir la carga de contaminantes en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024?</p>	<p>Específicas</p> <p>Caracterizar los metales pesados en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024</p> <p>Realizar la zonificación de la concentración de metales pesados en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024</p> <p>Proponer una tecnología que permita disminuir la carga de contaminantes en el cuerpo receptor del punto de vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, Antauta, 2024</p>	<p>Hipótesis nula</p> <p>La concentración de metales pesados generado por el vertimiento de aguas residuales de la relavera perteneciente a la unidad minera San Rafael, no influye en la calidad de agua del cuerpo receptor</p>	<p>Variable 2</p> <p>Concentración de metales pesados</p>	Parámetros adicionales	pH	Und.	
				Metales pesados	Sólidos suspendidos totales	mg/l	
					Turbiedad	NTU	
					Plomo	mg/l	
				Concentración de metales pesados	Cadmio	mg/l	
					Arsénico	mg/l	
					Zinc	mg/l	
					Mercurio	mg/l	
				Programa para la zonificación de la concentración de metales pesados	Aguas arriba	---	
					Punto de vertimiento	---	
Aguas abajo	---						
Software Arcgis	---	---					



Anexo 2. Calculo de la zona de mezcla aguas abajo del punto de vertimiento

$$Extension_{zDM} = \frac{(W_{min})^2 * u}{f \pi c d \sqrt{g s}}$$

Donde:

$Extension_{zDM}$: Longitud de la zona de mezcla en metros

W_{min} : Ancho del espejo de agua (11.70m)

u : Velocidad de flujo media (2.50m/s)

d : Profundidad media del agua (0.45m)

c : Factor de irregularidad del cauce. El valor será: 0.6

f : Ubicación del vertimiento. El valor será: $f = 2$ para vertimiento en la orilla y $f=8$ para un vertimiento en el centro del río/quebrada.

g : Aceleración por gravedad de 9.801 m/s²

s : Pendiente del fondo del cauce en m/m (0.26 m/m)

Reemplazando:

$$Extension_{zDM} = \frac{11.70)^2 * 1.50}{2 * \pi * 0.6 * 0.45 \sqrt{9.801 * 0.4 * 0.26}}$$

$$Extension_{zDM} = 113.029m$$



Anexo 3. Resultados de análisis de las aguas residuales de la relavera de la unidad minera San Rafael



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELASQUEZ
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

RESULTADO DE ANALISIS - AGUAS

INFORME N° LCA051 - 2024

I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. Solicitante : WILSON JOSE VILCA APAZA
- 1.2. Proyecto : EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS GENERADO POR EL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA RELAVERA PERTENECIENTE A LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL ANTAUTA 2024

II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. Producto : Aguas
- 2.2. Numero de muestras : 05
- 2.3. Muestreado por : Wilson Jose Vilca Apaza
- 2.4. Fecha de ensayo : 24/06/2024
- 2.5. Departamento : Puno
- 2.6. Provincia : Melgar
- 2.7. Distrito : Antauta
- 2.8. Código, ubicación, fecha y hora de muestreo

Código	Coordenadas	Fecha	Hora
M1 - A. A	E: 359528 N: 8421138	22/06/2024	8:27
M2 - A.M	E: 359645 N: 8421165	22/06/2024	8:33
M3 - A. R	E: 359681 N: 8421061	22/06/2024	8:43
M4 - DIQUE	E: 357616 N: 8423501	22/06/2024	14:25
M5 - R.M3	E: 358784 N: 8422676	22/06/2024	13:45



N°B.: 00086149



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
 LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

III. RESULTADOS

Parámetro	Unidad	M1 - A. A	M2 - A.M	M3 - A. R	M4 - DIQUE	M5 - R.M3
Temperatura en laboratorio	°C	15.4	15.3	15.3	15.1	15.4
pH		7.61	7.18	7.19	7.25	7.25
Turbidez	NTU	1.09	0.98	9.09	1.01	0.56
Sólidos totales en suspensión	mg/L	3.45	1.23	34.82	4.9	0.92
Plomo	mg/L	<0.001	0.0107	0.0128	0.0119	0.0109
Cadmio	mg/L	0.0105	0.0104	0.0117	0.0104	0.0111
Arsénico	mg/L	0.0102	0.0106	0.0115	0.0108	0.0112
Zinc	mg/L	0.05	0.02	0.10	0.02	0.03
Mercurio	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

IV. MÉTODO DE ENSAYO

Los parámetros fueron analizados de acuerdo a las recomendaciones de los Métodos normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWW.WEF.21th ed. 2005

Juliaca, 25 de julio del 2024


 UNIVERSIDAD ANDINA
 NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
 Mgtr. Ing. Milton Quispe Huanca
 CIP. 47790
 JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL FICP

N°B.: 00086149

2



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

RESULTADO DE ANALISIS - AGUAS

INFORME N° LCA060 - 2024

I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. **Solicitante** : WILSON JOSE VILCA APAZA
1.2. **Proyecto** : EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS
GENERADO POR EL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA RELAVERA
PERTENECIENTE A LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL ANTAUTA 2024

II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. **Producto** : Aguas
2.2. **Numero de muestras** : 05
2.3. **Muestreado por** : Wilson Jose Vilca Apaza
2.4. **Fecha de ensayo** : 17/07/2024
2.5. **Departamento** : Puno
2.6. **Provincia** : Melgar
2.7. **Distrito** : Antauta
2.8. **Código, ubicación, fecha y hora de muestreo**

Código	Coordenadas	Fecha	Hora
M1 - A. A	E: 359528 N: 8421138	15/07/2024	8:00
M2 - A.M	E: 359645 N: 8421165	15/07/2024	8:20
M3 - A. R	E: 359681 N: 8421061	15/07/2024	8:45
M4 - DIQUE	E: 357616 N: 8423501	15/07/2024	14:00
M5 - R.M3	E: 358784 N: 8422676	15/07/2024	13:20



N°B.: 00086149

3



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELASQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

III. RESULTADOS

Parámetro	Unidad	M1 - A. A	M2 - A.M	M3 - A. R	M4 - DIQUE	M5 - R.M3
Temperatura en laboratorio	°C	14.2	14.2	14.0	14.3	14.2
pH		7.54	7.23	7.17	7.28	7.20
Turbidez	NTU	1.12	1.05	10.2	1.06	0.61
Sólidos totales en suspensión	mg/L	3.29	1.38	39.12	5.6	1.10
Plomo	mg/L	<0.001	0.0110	0.0132	0.0122	0.0113
Cadmio	mg/L	0.0103	0.0107	0.0121	0.0109	0.0113
Arsénico	mg/L	0.0104	0.0107	0.0119	0.0107	0.0115
Zinc	mg/L	0.04	0.03	0.08	0.03	0.02
Mercurio	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

IV. MÉTODO DE ENSAYO

Los parámetros fueron analizados de acuerdo a las recomendaciones de los Métodos normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWW.WEF.21th ed. 2005

Juliaca, 25 de julio del 2024

UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELASQUEZ"

Mgtr. Ing. Milton Quispe Huanca
CIP. 47790
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL FICP

N°B.: 00086149

4

Anexo 4. Panel fotográfico



Figura 14 Toma de muestras aguas abajo del punto de vertimiento



Figura 15 Toma de muestras aguas abajo del punto de vertimiento



Figura 16 Toma de muestras aguas arriba del punto de vertimiento



Figura 17 Toma de muestras aguas arriba del punto de vertimiento



Figura 18 Toma de muestras del punto de vertimiento



Figura 19 Toma de muestras del punto de vertimiento



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 09-01-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: Wilson Jose Vilca Apaza

Dirección: COMUNID. CARPESINA YANARICO A-150 SECT. PUNCUINI II

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70171028

Teléfono: 964498043 email: wilso1012000@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL

Asesor: SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS GENERADO POR EL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA RELAUERA PERTENECIENTE A LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL, ANTAUTA, 2024

Palabras claves, (3 a 5 términos): METALES PESADOS, RELAUERA, AGUA RESIDUAL, PUNTO DE VERTIMIENTO

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2}?

2

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entré otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

- Bachiller Título 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

- Internacional
- Nacional

Línea de investigación: CONTAMINACIÓN y CALIDAD AMBIENTAL - P22


Firma de Autor



huella digital

09-07-2025

Fecha