



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL



**NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE HIERRO PRODUCTO
DEL DRENAJE ACIDO DE ROCA EN AGUAS
SUPERFICIALES DE LA MICROCUENCA
ARICOMA LIMBANI 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. VICTOR RAUL HUARACHA CCARCOSTO

**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**


**NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE HIERRO PRODUCTO
DEL DRENAJE ACIDO DE ROCA EN AGUAS
SUPERFICIALES DE LA MICROCUENCA
ARICOMA LIMBANI 2024**


TESIS PRESENTADA POR:


Bach. VÍCTOR RAÚL HUARACHA CCARCOSTO


PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE : 
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

PRIMER MIEMBRO : 
Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

SEGUNDO MIEMBRO : 
M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

ASESOR DE TESIS : 
Mgtr. ARNALDO YANA TORRES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : CONTAMINACION Y CALIDAD AMBIENTAL – P22



RESOLUCIÓN DECANAL N° 690-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 26 de julio del 2024

VISTO: El expediente N° 2024- 08846 presentado por el (la) Bachiller: **VICTOR RAUL HUARACHA CCARCOSTO** estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **VICTOR RAUL HUARACHA CCARCOSTO**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE HIERRO PRODUCTO DEL DRENAJE ACIDO DE ROCA EN AGUAS SUPERFICIALES DE LA MICROCUENCA ARICOMA LIMBANI 2024**, la misma que pertenece a la línea de investigación **CONTAMINACION Y CALIDAD AMBIENTAL** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**.

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** : Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
- * **2do Miembro** : M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER como asesor de la propuesta de investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Dr. ARNALDO YANA TORRES**.

ARTICULO TERCERO . - APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **VICTOR RAUL HUARACHA CCARCOSTO**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE HIERRO PRODUCTO DEL DRENAJE ACIDO DE ROCA EN AGUAS SUPERFICIALES DE LA MICROCUENCA ARICOMA LIMBANI 2024**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : Viernes 02 de agosto del 2024
- * **HORA** : 10:00 a.m.
- * **LUGAR** : Aula 306 - Pabellón de Hidraulica

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

cc.
Archivo
interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Efraín Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 336-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 23 de mayo del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU - 5715 por el o (la) Bachiller: **VICTOR RAUL HUARACHA CCARCOSTO** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 374 - 2024-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 013 - 2024 del integrante del comité de investigación **EPISA** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el o (la) Bachiller: **VICTOR RAUL HUARACHA CCARCOSTO**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE HIERRO PRODUCTO DEL DRENAJE ACIDO DE ROCA EN AGUAS SUPERFICIALES DE LA MICROCUENCA ARICOMA LIMBANI 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° 013 - 2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE HIERRO PRODUCTO DEL DRENAJE ACIDO DE ROCA EN AGUAS SUPERFICIALES DE LA MICROCUENCA ARICOMA LIMBANI 2024**, Correspondiente a la línea de investigación **CONTAMINACION Y CALIDAD 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 o (la) Bachiller: **VICTOR RAUL HUARACHA CCARCOSTO**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**, con el Tema Titulado: **NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE HIERRO PRODUCTO DEL DRENAJE ACIDO DE ROCA EN AGUAS SUPERFICIALES DE LA MICROCUENCA ARICOMA LIMBANI 2024** correspondiente a la línea de investigación **CONTAMINACION Y CALIDAD AMBIENTAL**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), **Mgtr. ARNALDO YANA TORRES**.

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

Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



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

Dr. Efraín Paredón Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
Investigado (a)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 016-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 08 de marzo del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU-02460, presentado por el señor (a) **VICTOR RAUL HUARACHA CCARCOSTO** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el PROVEIDO - N° 058-2024-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 009-2024 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 (la) estudiante: **VICTOR RAUL HUARACHA CCARCOSTO** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE HIERRO PRODUCTO DEL DRENAJE ACIDO DE ROCA EN AGUAS SUPERFICIALES DE LA MICROCUENCA ARICOMA LIMBANI 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° 009-2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE HIERRO PRODUCTO DEL DRENAJE ACIDO DE ROCA EN AGUAS SUPERFICIALES DE LA MICROCUENCA ARICOMA LIMBANI 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: **VICTOR RAUL HUARACHA CCARCOSTO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulado: **NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE HIERRO PRODUCTO DEL DRENAJE ACIDO DE ROCA EN AGUAS SUPERFICIALES DE LA MICROCUENCA ARICOMA LIMBANI 2024** correspondiente a la línea de investigación **CONTAMINACION Y CALIDAD 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 la) docente Mgtr. **ARNALDO YANA TORRES**.

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
Dr. MILTON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790


UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
DIRECTOR
Dr. Etrain Ruylo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2024
Interesado (a)



NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE HIERRO PRODUCIDO DEL DRENAJE ACIDO DE ROCA EN AGUAS SUPERFICIALES DE LA MICROCUENCA ARICOMA LIMBANI 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

24%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

12%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

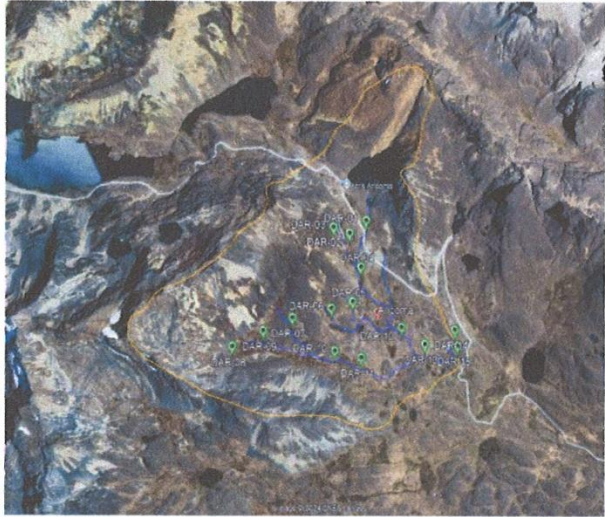
1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	8%
2	repositorio.inaigem.gob.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	2%
5	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unaj.edu.pe:8080 Fuente de Internet	1%
7	worldwidescience.org Fuente de Internet	1%



Metadatos Complementarios

Título de la tesis	
NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE HIERRO PRODUCTO DEL DRENAJE ACIDO DE ROCA EN AGUAS SUPERFICIALES DE LA MICROCUENCA ARICOMA LIMBANI 2024	
Datos de autor	
Apellidos y Nombres	HUARACHA CCARCOSTO VICTOR RAUL
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	71943128
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0001-7152-0025
Datos de asesor	
Apellidos y Nombres	YANA TORRES ARNALDO
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-6740-5024
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Apellidos y Nombres	QUISPE HUANCA MILTHON
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02424528
Miembro del jurado 1	
Apellidos y Nombres	BARAHONA PERALES FRANZ JOSEPH
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02442876
Miembro del jurado 2	
Apellidos y Nombres	CASTILLO MACHACA JESÚS ESTEBAN
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01323821
Datos de investigación	



Línea de investigación	CONTAMINACION Y CALIDAD AMBIENTAL - P22
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	SIN FINANCIAMIENTO
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: Sandia Distrito: Limbani Sector: Aricoma</p> <p>Latitud: -14.285133° Longitud: -69.769839°</p> <p>https://maps.app.goo.gl/ggyCiUnRpX9TwBbg8</p> 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Marzo 2024 – Agosto 2024
URL de disciplinas OCDE	<p>Ingeniería Ambiental https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00</p> <p>Ciencias ambientales https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#5.07.01</p>

UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLEROS CACERES VELAZQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PUNO
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN
Dr. Eirain Pajillo Sosa
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo VICTOR RAUL HUARACHA CCARCOSTO, identificado con DNI Nro. 71943128, 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:

“ NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE HIERRO PRODUCTO DEL DRENAJE ACIDO DE ROCA EN AGUAS SUPERFICIALES DE LA MICROCUENCA ARICOMA LIMBANI 2024 ”

Asesorado por: M^{gr}. ARNALDO YANA TORRES

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 14 de agosto del 2024


Firma del Asesor


Firma del Estudiante


Huella



DEDICATORIA

Primero expresar mi gratitud y agradecimiento hacia mis padres; Sr. Agustín Huaracha Pacha que hoy me acompaña desde el cielo y a mi madre Sra. Rosa Ccarcosto Caso, por su confianza, apoyo y enseñanzas, que me ha dado fortaleza para enfrentar los desafíos con dignidad y determinación.

Segundo agradecer a mi abuelo Sr. Agustín Socco Larico que hoy me acompaña desde el cielo el cual fue como un padre para mí; ameritando su apoyo y amor constante.

Tercero agradecer al Lic. Juan Rene Zapata Pacheco, por la confianza brindada, orientación y asesoramiento en mi formación académica, por su amistad y sabios consejos en esta etapa de mi vida.

A mis hermano(as), Ubaldino, Benjamín, Irene y Guimena; por su comprensión y ejemplo, por verme como ejemplo y así nunca parar de mejorar.



AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar agradezco dios, por darme salud y vida
A mi madre Sra. Rosa Ccarcosto Caso por guiarme y
permitir cumplir mis objetivos y darme su confianza,
apoyo y enseñanzas, que me ha dado fortaleza para
enfrentar los desafíos con dignidad y determinación.*



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	xii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Análisis de la situación problemática.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.2.1 Problema general.....	3
1.2.2 Problemas específicos.....	3
1.3. Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4. Justificación del estudio.....	4
1.4.1 Justificación técnica.....	4
1.4.2 Justificación ambiental.....	5
1.4.3 Justificación social.....	6
1.5. Hipótesis.....	7
1.5.1 Hipótesis general.....	7
1.5.2 Hipótesis específicas.....	7
1.6. Variables.....	7



1.6.1	Variable independiente:.....	8
1.6.2	Variable dependiente:.....	8
1.6.3	Operacionalización de variables	8

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1.	Antecedentes del estudio	9
2.1.1	A nivel internacional	9
2.1.2	A nivel nacional	11
2.1.3	A nivel local.....	15
2.2.	Bases teóricas.....	17
2.2.1	Agua	17
2.2.2	Tipos de fuentes de abastecimiento de agua	18
2.2.3	Aguas superficiales	19
2.2.4	Tipos de aguas superficiales.....	19
2.2.5	Tipos de contaminantes del agua	20
2.2.6	Recursos hídricos y medio ambiente en la subcuenca.....	21
2.2.7	Drenaje ácido de roca (DAR)	22
2.2.8	Factores para la generación del drenaje ácido de roca (DAR)....	23
2.2.9	Etapas de la generación del drenaje ácido de roca	26
2.2.10	Hierro	28
2.2.11	Tipos de hierro.....	28
2.2.12	Problemas causados por la presencia del hierro en el agua	29
2.3.	Marco Conceptual	31
2.3.1	Monitoreo.....	31
2.3.2	Muestra.....	31
2.3.3	Microcuenca	31
2.3.4	Puntos críticos	31



2.3.5 Estándares de Calidad Ambiental (ECA) 32

CAPÍTULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación..... 33
3.2. Diseño de investigación 34
3.3. Técnicas e instrumentos de la investigación 35
3.4. Lugar de estudio..... 37
3.5. Población y muestra..... 39
3.6. Procedimiento Metodológico..... 40

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Resultados..... 46
4.1.1 Resultados de la identificación de los puntos críticos de generación del drenaje acido de roca en aguas superficiales de la microcuenca Aricoma Limbani. 46
4.1.2 Resultados de la concentración de hierro en aguas en los puntos críticos. 47
4.1.3 Resultados para plantear un método de tratamiento para las aguas acidas producto del drenaje acido de roca de la microcuenca. 51
4.2. Discusiones 55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES **¡Error! Marcador no definido.**
CONCLUSIONES 59
RECOMENDACIONES..... 61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 62
ANEXOS 64



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables de la presente investigación.	8
Tabla 2 Coordenadas de los puntos de muestreo de la investigación.	38
Tabla 3 Coordenadas de los puntos críticos de generación del drenaje ácido de roca en aguas superficiales de la microcuenca Aricoma, Limbani.....	46
Tabla 4 Concentraciones del hierro producto del drenaje ácido de roca en aguas superficiales de la microcuenca Aricoma.	48
Tabla 5 Concentraciones del potencial de hidrógeno en los 15 puntos de muestreo de las aguas superficiales de la microcuenca Aricoma.....	51



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Dinámica de factores en la generación del Drenaje ácido roca (DAR).	25
Figura 2 Etapas en la generación del Drenaje ácido roca (DAR).....	27
Figura 3 Localización de los puntos de muestreo de las aguas superficiales de la microcuenca Aricoma Limbani.	39
Figura 4 Comparación del contenido del hierro con el ECA para agua (CAT.1 – A1).....	49
Figura 5 Comparación del contenido del hierro con el ECA para agua (CAT.1 – A2).....	50
Figura 6 Comparación del contenido del potencial de hidrógeno con el ECA para agua (CAT.4 – E2).	53



RESUMEN

La actual investigación indaga las aguas superficiales de la microcuenca Aricoma, del distrito de Limbani, en el mes de marzo del 2024, cuya finalidad principal fue evaluar los niveles de concentración de hierro producto del drenaje ácido de roca en aguas de superficie de la microcuenca Aricoma Limbani, en su metodología esta investigación para la toma de muestreo de agua de superficie primero se identificó los 15 puntos de monitoreo, se utilizó la indumentaria adecuada EPP y se procedió con la anotación de las coordenadas y posterior a ello se efectuó el monitoreo en cada punto enjuagando del envase como mínimo en dos ocasiones, estas muestras fueron trasladadas en un cooler puntos: DAR-1, DAR-2, DAR-3, DAR-4, DAR-5, DAR-6, DAR-7, DAR-11, DAR-12, DAR-13, DAR-14 y DAR-15 no superan el valor de 0.3 mg/L de la norma del D. S. N° 004-2017-MINAM – DAR-8 se obtuvo una concentración de 0.46mg/L, el DAR-9 obtuvo una concentración de 0.86mg/L y el DAR-10 consiguió una concentración de 0.42mg/L, estos 03 puntos de muestreo superan la normativa en mención. En cambio, para el pH se encontró un mínimo de 3.73 y máximo de 6.21 considerándose aguas ácidas. Concluyéndose que el método de procesamiento para neutralizar la acidez en el agua de superficie de la microcuenca Aricoma es la neutralización con lechada de cal, ya que ayuda a neutralizar la acidez y a estabilizar el recurso hídrico.

Palabras clave: Drenaje ácido roca, neutralización, microcuenca y ECA.



ABSTRACT

The current investigation investigated the surface waters of the Aricoma micro-watershed, Limbani district, in the month of March 2024, whose main purpose was to evaluate the levels of iron meeting product of acid rock drainage in surface waters of the micro-watershed Aricoma Limbani, In its methodology this research for the sampling of surface water first identified the 15 monitoring points, used the appropriate clothing PPE and proceeded with the annotation of the coordinates and after that the monitoring was carried out at each point rinsing the container at least twice, these samples were transferred in a cooler to the Environmental Condition of the UANCV. The following results were obtained at the points: DAR-1, DAR-2, DAR-3, DAR-4, DAR-5, DAR-6, DAR-7, DAR-11, DAR-12, DAR-13, DAR-14 and DAR-15 do not exceed the value of 0.3 mg/L of the standard of D. S. N° 004-2017-MINAM - ECA for H₂O, Category 1: Population and Recreational, Subcategory and A1: Waters that can be potabilized with disinfection. However, in the points of DAR-8 a concentration of 0.46mg/L was obtained, DAR-9 obtained a concentration of 0.86mg/L and DAR-10 got a meeting of 0.42mg/L, these 03 sampling points exceed the regulation in mention. On the other hand, for pH, a minimum of 3.73 and a maximum of 6.21 were found to be acidic water. It was concluded that the processing method to neutralize the acidity in the surface water of the Aricoma micro-watershed is neutralization with lime slurry, since it helps neutralize the acidity and stabilize the water resource.

Keywords: Acid rock drainage, neutralization, microbasin and ECA.



INTRODUCCIÓN

La presencia de elevados niveles de concentración de hierro en las aguas superficiales de los ríos debido al drenaje ácido de roca es una problemática ambiental de creciente preocupación en diversas regiones del mundo. El drenaje ácido de roca (DAR) es un fenómeno que ocurre cuando minerales sulfurosos, como la pirita, son expuestos al agua y al aire durante la actividad minera, desencadenando reacciones químicas que liberan ácido sulfúrico y metales pesados, incluido el hierro, hacia el medio ambiente (Valencia Espinoza C. E., 2022).

El hierro es uno de las primordiales poluciones que se hallan en las aguas de superficie afectadas por el DAR. Cuando el agua se filtra a través de depósitos de minerales sulfurosos, el hierro se disuelve en ella, resultando en una concentración elevada de este metal en los cuerpos de agua, especialmente en los ríos. Esta polución puede tener una sucesión de impactos negativos así como en el ambiente como en la salubridad humana (Aguasanta Miguel, 2007).

Actualmente, a lo largo de su curso, el río Limbani exhibe un cauce estrecho y encajonado, indicando una erosión profunda en su lecho. A medida que atraviesa desde la región alto andina hasta la ceja de selva, presenta una marcada ruptura de pendiente, generando múltiples cascadas y rápidos. Este afluente aumenta su volumen de agua a medida que avanza hacia el este, mostrando claramente el fenómeno del drenaje ácido de roca (DAR). Por tal motivo, el actual estudio busca evaluar los niveles de concentración de hierro producto del drenaje ácido de roca en aguas de superficie de la microcuenca Aricoma Limbani 2024.



CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Análisis de la situación problemática

A nivel internacional

La polución de los cuerpos de agua constituye un desafío global que guarda una estrecha relación con nuestra utilización de los recursos nativos. El incremento de la población, el proceso de industrializaciones y la concentración urbana, son factores que contribuyen a esta amenaza para la sociedad moderna: la degradación de su entorno ambiental (Aguasanta Miguel, 2007).

El DAR es una problemática ambiental grave que conmueve a numerosas cuencas hidrográficas en todo el mundo, incluidas las aguas superficiales de los ríos. Este fenómeno sucede cuando minerales sulfurosos, existentes en los peñascos, entran en empalme con el agua y el aire, creando un ambiente ácido que libera ácido sulfúrico y metales pesados, como el hierro, en las aguas de superficies. La existencia de altos niveles de hierro en estas aguas puede poseer efectos nocivos en los ecosistemas acuáticos como: Toxicidad para la vida acuática, variación de la cadena alimentaria y permutas en la función y estructura del ecosistema. En cambio, los efectos en la salubridad humana están relacionado con los impactos en la condición del agua dulce, peligros para la seguridad alimentaria e impactos en las actividades recreativas (Cervantes Macedo, 2014).



A nivel nacional

En el territorio peruano, se identifican alrededor de 52 cuencas hidrográficas, las cuales enfrentan la problemática de la polución debido a la presencia de residuos provenientes tanto de áreas urbanas como industriales en las zonas costeras. Destacan ríos como el Rímac y el Tumbes, entre otros, que se ven afectados por esta polución, generando impactos negativos en los sectores costeros y las bahías donde desembocan. En el Perú, la presencia creciente de metales en el entorno puede atribuirse tanto a procesos naturales, relacionados con la composición mineralógica del suelo, como a actividades humanas, especialmente las operaciones mineras y metalúrgicas. Esta situación se refleja en la prevalencia de contaminantes como el cadmio y el hierro en el norte, el plomo en el centro y el arsénico en el sur del país, lo cual plantea desafíos significativos en cuanto al procesamiento y gestión del agua potable (Escobar, 2022).

Actualmente, en uno de los departamentos del Perú, como es el caso de Áncash, resulta inquietante la polución inherente del agua de superficie por metales, la cual está asociada con la reproducción de drenajes ácidos de roca en cuencas glaciares, posiblemente como resultado del retroceso glaciar. Esto tiene repercusiones adversas en la salubridad humana y medios de subsistencia, ya que el problema del drenaje ácido puede persistir durante largos períodos y dar lugar a otros problemas adicionales. Los altos niveles de hierro en aguas superficiales pueden tener efectos nocivos en la vida acuática, incluyendo la mortalidad de peces, la mengua de la diversidad de especies y la variación de los hábitats acuáticos (Fow Esteves , 2021).



A nivel local

La microcuenca Aricoma del distrito de Limbani, cuenta con un sistema Integral Hídrico Azángaro y del Sub Sistema Integral Crucero. Actualmente, a la vista de todos en dicho lugar se ve el proceso del DAR el cual es un programa nativo y complejo coherente con la existencia de peñascos con minerales sulfurados. En donde, la presencia de DAR en aguas superficiales de un afluente puede tener una serie de impactos negativos que afectan tanto al ecosistema acuático Algunos de estos impactos son: polución del agua, acidificación del agua, destrucción del hábitat acuático, impacto en la agricultura tóxicas presentes en el agua pueden causar enfermedades graves, como problemas gastrointestinales, enfermedades del sistema nervioso y daño renal.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1 Problema general

- ¿Cuál será los niveles de concentración de hierro producto del drenaje acido de roca en aguas superficiales de la microcuenca Aricoma Limbani 2024?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles serán los puntos críticos de generación del drenaje acido de roca en aguas superficiales de la microcuenca Aricoma Limbani?
- ¿Cuál será la concentración de hierro en aguas en los puntos críticos?
- ¿Qué método de tratamiento para las aguas acidas producto del drenaje acido de roca de la microcuenca?



1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

- Evaluar los niveles de concentración de hierro producto del drenaje ácido de roca en aguas superficiales de la microcuenca Aricoma Limbani 2024

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar los puntos críticos de generación del drenaje ácido de roca en aguas superficiales de la microcuenca Aricoma Limbani.
- Determinar la concentración de hierro en aguas en los puntos críticos.
- Plantear un método de tratamiento para las aguas ácidas producto del drenaje ácido de roca de la microcuenca.

1.4. Justificación del estudio

La problemática del agua superficial abarca una sucesión de desafíos y problemáticas que afectan la condición, disponibilidad y gestión de fuentes de agua superficial, como afluentes, lagos y arroyos. Las fuentes de agua de superficie pueden contaminarse con una variedad de desechos orgánicos y nutrientes como nitratos y fosfatos.

1.4.1 Justificación técnica

El drenaje ácido de roca es una problemática ambiental significativo que afecta a muchas regiones altoandinas en todo el mundo, incluido Perú. La liberación de ácido sulfúrico y metales sólidos, como el hierro, en las aguas superficiales de los ríos puede poseer efectos adversos en la condición del agua y en los ecosistemas marítimos. Comprender los niveles de concentración de



hierro en estas aguas es fundamental para evaluar el alcance y la gravedad del problema y para diseñar estrategias efectivas de mitigación y remediación. Investigar los niveles de concentración de hierro en aguas de superficies afectadas por el Drenaje ácido de roca contribuirá al conocimiento científico sobre este tema.

La elaboración de este estudio aportará con nuevas ilustraciones acerca de la problemática de la polución del agua de superficie para la vegetación y vida acuática, suministrando pesquisa sobre la posible existencia y principio del hierro en las muestras desarrolladas; lo que llevará al diseño y diligencia de medidas para el procesamiento y/o despolución de las fuentes nativas de aguas superficiales en la microcuenca de Aricoma distrito de Limbani. Por ende, esta indagación es realista y excelente ya que cuenta con los materiales apropiados y recursos del hombre.

1.4.2 Justificación ambiental

La actual justificación ambiental es sólida debido a su importancia para preservar la condición del agua, proteger la biodiversidad acuática, mitigar los impactos climáticos, y promover la gestión sostenible del agua.

Es conocido que el agua constituye un recurso nativo de incalculable valor que sostiene la existencia en el planeta y resulta esencial para la supervivencia de los ecosistemas tanto acuáticos como terrestres, además de ser vital para la salud humana y el bienestar. La polución del agua con altos niveles de hierro debido al drenaje ácido de roca representa una amenaza para la condición del agua, comprometiendo su cabida para compensar las necesidades de las



comunidades humanas y mantener la biodiversidad y la salubridad de los ecosistemas acuáticos.

Investigar y comprender los niveles de concentración de hierro producto del drenaje ácido de roca en aguas de superficie de la microcuenca Aricoma, Limbani es fundamental para identificar áreas de alto riesgo y tomar medidas para proteger y restaurar la biodiversidad acuática.

En donde, el amortiguamiento de los impactos ambientales confederados con el drenaje ácido de roca es esencial para prevenir daños irreversibles en los ecosistemas acuáticos y terrestres. Al investigar los niveles de concentración de hierro en aguas de superficie de un río afectado por esta forma de polución, se pueden identificar las fuentes y los puntos críticos de polución, así como desarrollar estrategias efectivas de control y remediación para minimizar los impactos ambientales adversos.

1.4.3 Justificación social

El derecho a acceder a agua potable y segura es un principio esencial de derechos humanos, examinado por la comunidad internacional por medio de las Naciones Unidas. La polución del agua con drenaje ácido de roca puede comprometer este derecho, especialmente para comunidades rurales y marginadas que dependen de las fuentes de agua superficial del río para sus necesidades básicas de consumo, agricultura y actividades domésticas. Investigar los niveles de concentración de hierro en estas aguas es esencial para identificar y abordar las amenazas a derechos humanos al agua y saneamiento; ya que el sustento para los pobladores del lugar es la crianza de animales y la vegetación. La elaboración de este trabajo de investigación es de gran interés,



por lo cual se recolecto información necesaria sobre la generación del drenaje ácido de roca en aguas de superficies de la microcuenca Aricoma. Además, la población tendrá conocimiento de los resultados del estudio, estas acciones serán de gran provecho para promover la educación sanitaria sobre el uso y la preservación del agua, mediante la implementación de medidas preparatorias destinadas a evitar su polución, tanto de origen humano como natural.

1.5. Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

- Los niveles de concentración de hierro producto del drenaje ácido de roca en aguas superficiales de la microcuenca Aricoma Limbani son significativas.

1.5.2 Hipótesis específicas

- Los puntos críticos de generación del drenaje ácido de roca en aguas superficiales de la microcuenca Aricoma Limbani tendrán una aproximación de 10.
- La concentración de hierro en aguas en los puntos críticos no supera la normatividad.
- El método de tratamiento para las aguas ácidas producto del drenaje ácido de roca de la microcuenca será eficiente.

1.6. Variables



1.6.1 Variable independiente:

- Concentración de hierro.

1.6.2 Variable dependiente:

- Drenaje ácido de roca en aguas superficiales.

1.6.3 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables de la presente investigación.

VARIABLE	DIMENSIÓN DE ANALISIS	INDICADORES	UNIDAD
Variable Dependiente: Concentración de Hierro	Parámetros inorgánicos Normatividad peruana	Hierro Estándares de condición ambiental para el agua como el D.S N.º 004-2017-ECA.	mg/L Calidad aceptable/no aceptable
Variable Independiente Drenaje ácido de roca en aguas superficiales.	Parámetros fisicoquímicos Tratamiento de aguas ácidas producto del DAR	Temperatura pH Conductividad Desinfección Convencional Avanzado	°C Unidad pH µS/cm Varios Varios Varios



CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1 A nivel internacional

Aguasanta (2007) en su trabajo de investigación titulado "Análisis de la polución por drenaje ácidos de mina en las aguas de superficies de la cuenca del afluente Odiel (suroeste de España)", el objetivo principal fue examinar el impacto de los drenaje ácidos de mina en las aguas de superficies de dicha cuenca. En su metodología, se efectuó la identificación de puntos de observación y un programa de muestreo, así como la determinación de cationes y aniones disueltos. Los muestreos de agua se recolectaron en recipientes y posteriormente se analizaron en el laboratorio. Los resultados obtenidos en septiembre de 2004 muestran que durante este período se registra un incremento en la concentración de componentes principales en el epilimnion, atribuible a la vaporización del agua debido al acrecentamiento de los temples. A una profundidad de 15 metros, se pueden ver una mengua en la concentración de la mayoría de los componentes, con excepción de Zn, Se y Sb. En cambio, en la muestra más profunda, a 29 metros, se registra un aumento y en menor medida de Sr, Ca, Mg y Pb. La concentración de sulfatos, por otro lado, reduce gradualmente con la hondura, pasando de 54 mg/L a 33 mg/L.

Valencia (2022) en su investigación denomina "Procesamiento del manganeso y del hierro en el agua, técnicas de eliminación", La finalidad del estudio fue estudiar los impactos de la presencia de Hierro y Manganeso en el agua con el objetivo de seleccionar el método más adecuado para su eliminación



en nuestro entorno. En la metodología, se exploraron distintos métodos para la remoción de estos elementos, dado que su presencia suscita intranquilidad generalizada a causa de sus efectos sobre la condición del agua, y por lo tanto, deben considerarse en cualquier proceso de establecimiento de preferencias. En ciertos escenarios, el análisis señalará que no hay un riesgo evidente de exposición relevante a nivel regional o nacional, ni en sistemas de suministro de agua específicos. Consiguiendo en sus resultados los siguientes métodos y/o procesos más eficaces: procesamiento con cloro, coagulación con sulfato de aluminio, cal y silicato de sodio seguido de filtración en arena; aireación, procesamiento con cal y filtración en arena; aireación, pre procesamiento con carbón activado, sedimentación y filtración en arena; y finalmente, neutralización, aireación y filtración en tierra de diatomeas.

Blanes & Giménez (2006) en su investigación titulada "Análisis de los niveles de hierro y arsénico en aguas acuíferas nativas de la Región Centro-Oeste de la provincia del Chaco, Argentina", la finalidad fue establecer las cantidades de arsénico y de hierro en aguas acuíferas naturales esgrimidas para ingesta humana y animal en la región centro-oeste de la provincia del Chaco, Argentina. En la metodología, se evaluó el contenido de hierro y arsénico en 56 muestras de aguas acuíferas de dicha región. Para el estudio se emplearon técnicas colorimétricas y de detección UV-Vis. Los resultados muestran que la concentración de hierro es de 0.44 mg.L-1, con un rango comprendido entre 0.02 y 1.62 mg.L-1. El 37.5% de las muestras sobrepasa los 0.30 mg.L-1 de hierro total favorecidos por la OMS y el CAA. Se encontró una concentración promedio de arsénico de 0.05 mg.L-1, con un extenso rango de diferenciación que alcanzó un valor máximo de 0.25 mg.L-1. La correlación positiva moderada entre los



metales sugiere que la concentración de arsénico en los pozos puede estar influenciada por procesos de adsorción-desorción en los oxi-hidróxidos y los óxidos de hierro, que son garantes de la movilización o conservación del arsénico.

2.1.2 A nivel nacional

Valencia (2006) en su estudio denominado "Gestión y manejo del drenaje ácido en una mina de oro (ubicada en Cajamarca)", la meta fue mejorar la gestión y el control del drenaje ácido en una mina de oro, tanto desde una perspectiva técnica como económica, con el propósito de garantizar su adecuada disposición en el medio ambiente y cumplir con los estándares establecidos por la autoridad ambiental. En el enfoque metodológico empleado, los procesos de neutralización propuesto se llevó a cabo por medio de dos mecanismos: la inhibición de bacterias y la neutralización mediante el uso de una suspensión de cal. Consiguiéndose en su resultado como un procesamiento más eficiente el método de neutralización, en donde en la prueba de jarras se tuvo una agitación de $\frac{1}{2}$ min, prontitud de sacudida se dio a 300RPM, volumen de muestra de agua se tomo 1 litro y se trabajó con una temple de $11 - 13^{\circ}\text{C}$. para la dosificación se trabajo con lechada de cal (25%) equivale a 9.6 mL/L. Con estas dosificaciones de un DAM inicial de pH 2.5 se redujo a 6.50 el cual cumple los LMP que nos da un valor de 6 – 9, en cambio para el hierro se tuvo un DAM inicial de 985.4 ppm y esta redujo a 0.218 ppm el cual este valor obtenido se encuentra por debajo de los LMP que nos da un valor de 2ppm. Concluyéndose así que el método de la interrupción con lechada de cal es eficaz para reducir drenaje ácidos de mina.



Núñez et al. (2013) en el estudio de investigación titulada "Valoración de la condición del agua En cuanto a la metodología empleada, se trató de un enfoque no experimental, ya que el estudio se centró en la expectación de fenómenos existentes y su comportamiento en su entorno nativa, para posteriormente ser desarrollados. Durante la ejecución del estudio, se empleó la expectación como método primordial, ya que consistió en examinar situaciones y eventos preexistentes sin intervenir en su curso natural, con el propósito de establecer relaciones entre las variables y recolectar datos. Se llevó a cabo una expectación sistemática esgrimiendo técnicas de registro, como protocolos de acotaciones, tal como herramientas técnicas adicionales, como cámaras de video y grabadoras. Consiguiendo los siguientes resultados en el mes de julio de los niveles de Hierro (Fe) en estaciones: RY-4 una concentración de 12.70 mg/L, RY-4A una concentración de 11.933 mg/L, y en la RY – 4B se halló una concentración de 11.27 mg/L, consiguiendo un promedio de 11.967 mg/L. en cambio en el mes de agosto se encontró los siguientes niveles de Hierro (Fe) en las estaciones: RY-4 una concentración de 10.478 mg/L, RY-4A una concentración de 14.055 mg/L, y en la RY – 4B se halló una concentración de 13.511 mg/L, consiguiendo promedios de 12.617 mg/L y finalmente en el mes de setiembre se encontró las siguientes concentraciones de Hierro (Fe): En la estación RY-4 se halló una concentración de 11.144 mg/L, en la estación RY-4A se halló una concentración de 12.378 mg/L, y en la estación RY – 4B se halló una concentración de 14.33 mg/L, obteniendo un promedio de 12.617 mg/L. Como resultado, se determinó que estas aguas no satisfacen los estándares de condición requeridos para su uso por parte de la población y los animales cercanos, tal como lo establece la normativa del D.S. N° 002-2008- MINAM.



Por otro lado, Gonzales et al. (2014) en su investigación denomina "Polución inherente provocada por el drenaje ácido de roca en los afluentes que desembocan en el Embalse Pasto Grande", la finalidad fue determinar la condición del agua que fluye hacia el embalse. En la metodología, se evaluaron ocho parámetros fisicoquímicos del agua, destacando especialmente el pH debido a su implicación en la reproducción de DAR. Se determinaron los subsiguientes valores medios en los afluentes: pH de 5.55, oxígeno disuelto de 4.40 ppm, potencial redox de 336.59 mV, resistividad de 0.0044 $\mu\text{/cm}$, conductividad eléctrica de 575.39 $\mu\text{S/cm}$, sólidos totales disueltos de 769 mg/L, salinidad de 0.84 PSU, turbidez de 17.06 FNU y temple de 14.37 °C. Se observaron valores de pH ácido (2.85 - 4.45) en los afluentes Antajarani, Patara, Cacachara, así como en las quebradas Huiscacollo, Millojahuirá, Palleutani y Huilcane. Estos cuerpos de agua tienen su origen en zonas donde hay manifestaciones de actividad hidrotermal, lo que ha generado alteraciones en las rocas y la presencia de sulfuros diseminados. Estas características permitieron inferir y confirmar la existencia de polución natural en la zona de estudio debido al Drenaje Ácido de Roca (DAR).

provenientes de la mina Carhuacayán utilizando el congelador derivado del cactus *Opuntia floccosa*. En la fase experimental, se obtuvo el coagulante a partir del cactus *Opuntia floccosa*, sometiéndose a diversas operaciones seccionales como secado, molienda y tamizados. Después de eso, se procedió a la extracción de los pigmentos esgrimiendo etanol como disolvente. El material, ahora libre de pigmentos, se sometió a un proceso de maceración con agua destilada, seguido de la filtración del gel de la fibra existente en el material. Una vez conseguido el gel, se llevó a cabo la liofilización, resultando en un producto



en polvo con particularidades de color marfil, soluble en agua y con una consistencia gomosa. El producto resultante se sometió a unos estudios proximales y a espectrofotometría infrarroja para su caracterización correspondiente, donde se determinaron sus niveles de fibra, humedad, proteínas, cenizas, grasas, carbohidratos y sus grupos eficaces. Se empleó el coagulante obtenido de la *Opuntia floccosa* para el procesamiento de los muestreos de las agua ácidas provenientes de la mina Carhuacayán, obtenidas en la bocamina nivel 1300. La concentración óptima de coagulante se determinó por medio de la prueba de jarras, la cual implicó el uso de un volumen de muestra de 1 L de agua en cada recipiente de precipitaciones. El diseño experimental utilizado en el estudio consiste en un arreglo factoriales con un Diseño Completamente al Azar (DCA) de 2 x 7, con dos duplicaciones. Los niveles de período de coagulación fueron de 2 min y 5 min, mientras que los niveles de concentración de coagulante variaron entre 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm, 50 ppm, 60 ppm y 70 ppm. En total, se llevaron a cabo 14 experimentos con sus respectivas repeticiones. Durante estos procesos, la coagulación se llevó a cabo a una velocidad de 100 rpm, seguida de la floculación a 50 rpm durante 15 min, y finalmente, el sedimento se realizó durante 60 min. Los datos obtenidos de la prueba de jarras fueron registrados en tablas y representados gráficamente. Estos datos se analizaron para determinar la eficacia del coagulante en la eliminación del hierro, y las concentraciones finales de hierro fueron comparadas con las Normas de condición Ambiental para Agua - Categoría 3, como lo determinado en el D.S. N° 015 - MINAM. Basándose en los resultados obtenidos, se determinó que, bajo las condiciones empleadas a lo largo de la prueba, se logró una eliminación significativa del hierro, alcanzando un porcentaje del



91,729%. A partir de los datos experimentales, se verificó que la concentración de coagulante de 20 ppm, con un período de coagulación de 5 minutos, proporcionó el mayor índice de eliminación.

2.1.3 A nivel local

Zea (2022) en su tesis titulada "Neutralización química y oxidación bacteriana (utilizando *Thiobacillus ferrooxidans*) para el procesamiento del drenaje ácido de minas en la empresa minera Ayapata S.A.C. - Puno", se planteó como objetivo procesar el drenaje ácido de mina esgrimiendo el enmohecimiento bacteriano seguido de neutralización química en la Compañía Minera Ayapata S.A.C. El proceso metodológico se dividió en 3 fases: la primera etapa implicó el aislamiento de microbios *T. ferrooxidans* del drenaje ácido de mina, seguido de la oxidación bacteriana por medio de dos procesamientos y un grupo de control relativo, y por último la neutralización química, que abarcó 9 experimentos por procesamiento. Según los resultados obtenidos, se determinó una concentración final de 12,000,000 células/L de *T. ferrooxidans*. En relación al enmohecimiento bacteriano, los procesamientos 1 y 2 mostraron una concentración final de Fe⁺³ de 5.33 mg/L y 4.8 mg/L proporcionalmente, en tanto que el grupo de control relativo reveló una concentración de 2.15 mg/L de Fe⁺³. Además, en el proceso de neutralización, se constató que el procesamiento 1, al añadir 1.2 mL de hidróxido de calcio al 5%, alcanzó un pH de 8.17, consiguiendo neutralizar el medio ácido. En resumen, el enmohecimiento bacteriano con *T. ferrooxidans* posibilita la conversión del ion Fe⁺² a Fe⁺³, que luego se arroja con la neutralización. Esta secuencia acelera el enmohecimiento del hierro y mejora la eficacia de la neutralización, evitando que los metales como As, Fe, Cu y Pb



presentes en el DAM excedan los límites máximos permitidos en los efluentes metalúrgicos y mineros.

Patiño (2022) en su estudio denominada "Estrategia de procesamiento dinámico a través de la neutralización con solución de óxido de calcio, diseñada para eliminar las concentraciones de hierro y aluminio del drenaje ácido de mina en la Unidad Minera Arasi, Ocuwiri - Puno, en el año 2019", En esta investigación se examinó un método de neutralización que emplea una solución de óxido de calcio para eliminar metales como el hierro (Fe) y el aluminio (Al), los cuales se encuentran en concentraciones elevadas en el drenaje ácido de mina derivado de las operaciones de la compañía minera Aruntani, localizada en el distrito de Ocuwiri, provincia de Lampa, Puno. Inicialmente, se ejecutó un análisis de tendencias en la eliminación de metales sólidos al ajustar el pH a valores predefinidos (4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12), con el propósito de identificar intervalos de pH donde la eliminación se sitúa por abajo de los LMP. Posteriormente, utilizando este intervalo y una gama de cantidades de floculante entre 5 y 10 mg/L, se diseñó un experimento de superficie de respuesta para determinar los contextos óptimos que minimizan la concentración de aluminio total y hierro disuelto. Los resultados del análisis de tendencias indicaron que tanto el aluminio total como el hierro disuelto se sitúan por abajo de los LMP en un intervalo de pH de 6 a 9. Posteriormente, los estudios de superficie de respuesta revelaron que un pH de 7.7 y unas cantidades de floculante aniónico de 6.77 mg/L son óptimos para minimizar la concentración de aluminio total y hierro disuelto en el drenaje ácido de mina. Esta conclusión se basa en el estudio de regresión, que mostró coeficientes de fijación superiores al 95%. Por lo tanto, se deduce que el



sistema de procesamiento activo, a través de la neutralización con óxido de calcio, elimina metales sólidos dentro de los límites máximos permitidos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Agua

El elemento acuoso abarca el 71 % de la extensión de la cáscara terrestre, distribuyéndose primordialmente en océanos, en el que se acumula el 96,5 % del total hídrico. Los glaciares y las masas polares contienen el 1,74 %, mientras que los reservorios acuíferos, el permafrost y los glaciares continentales abarcan el 1,72 %. El 0,04 % restante se mercantiliza de forma descendente entre cuerpos lacustres, la relente del suelo, el aire, embalses, cursos fluviales y la vida orgánica (Tacuri Robles, 2019).

Este componente líquido se caracteriza por ser incoloro y transparente, careciendo de sabor. Su estructura está compuesta por dos elementos químicos entrelazados, a saber, el hidrógeno y el oxígeno, formando un ángulo de 105° . Su fórmula química es agua, y su densidad máxima alcanza los 1 g/cm^3 a una temple de 4°C . Las variaciones en los temples de vaporización y solidificación consienten que exista en diferentes estados físicos: sólido (hielo, nieve y granizo), líquido y gaseoso (vapor de agua). El temple mínima de solidificación es de 0°C , en tanto que la máxima en estado de vaporización es de 100°C (Dalens Campos, 2018).

Conjuntamente, el líquido elemento, en su estado nativo, precisa de un proceso de procesamiento para garantizar su idoneidad para el consumo humano, eliminando partículas y organismos potencialmente perjudiciales para la salud. Posteriormente, debe ser distribuido mediante una red de tuberías hasta



los hogares, asegurando así su disponibilidad y seguridad para el consumo diario (Torres & Antonio, 2017).

2.2.2 Tipos de fuentes de abastecimiento de agua

Como la OPS y CEPIS (2004) existe diversos tipos de fuentes de abastecimiento tal como se muestra a continuación:

- **Fuentes Superficiales:** Las aguas de superficie engloban las entidades de agua como afluentes, lagos, embalses y arroyos. La de estas fuentes hídricas puede ser afectada por la introducción de poluciones provenientes de vertidos de aguas residuales urbanas, desechos de la minería o la industria, aplicación de productos químicos agrícolas, presencia de ganado, acumulación de residuos sólidos, entre otros factores.
- Si se usan aguas de superficie para suministro, es esencial determinar tanto las propiedades físico-químicas y bacteriológicas de la fuente como el procesamiento necesario si estas no desempeñan con las normas de condición para su ingesta (Perez Diaz, 2021).
- **Fuentes Subterráneas:** La extracción de aguas acuíferas puede efectuarse mediante veneros, galerías filtrantes y pozos, tanto cóncavos como tubulares. Las fuentes acuíferas resguardadas suelen estar exentas de microorganismos dañinos y exhiben una condición adecuada para los estándares de consumo humano. No obstante, antes de su uso es esencial determinar las propiedades del agua, lo que implica efectuar los análisis físico-químicos y bacteriológicos necesarios. (Perez Diaz, 2021).

2.2.3 Aguas superficiales

El agua de superficie es aquella acumulada o que fluye sobre la superficie terrestre. Por lo tanto, el agua que discurre a través de los ríos constituye las aguas de superficies; estas provienen de lluvias, el derretimiento de nevados o el surgimiento de aguas acuíferas, lo que contribuye al caudal de los afluentes (Chow, Maidment, & Mays, 2000).

Las agua que constituyen ríos, lagos, mares y demás cuerpos acuáticos naturales se denominan aguas superficiales. A pesar de que pueden parecer claras, generalmente están contaminadas, lo que las hace inseguras para el consumo humano sin un procesamiento previo. Asimismo, al fluir sobre la superficie terrestre, estas aguas acumulan numerosas bacterias y, al atravesar áreas pobladas, reciben vertidos de desechos y aguas residuales, contaminándose así aún más (DIGESA, 2011).

2.2.4 Tipos de aguas superficiales

Zarza (2024) indica los tipos siguientes de aguas de superficies:

- **Aguas superficiales continentales:** todas las aguas estancadas o fluyentes sobre la superficie terrestre.
- **Aguas loticas o corrientes:** Fluyen constantemente hacia un único sentido, tal como los afluentes, riachuelos, manantiales y arroyos.
- **Aguas lénticas:** Aguas interiores tranquilas o inmóviles, como lagos, charcas, lagunas, humedales y pantanos.
- **Aguas de transición:** cuerpos de agua de superficie cercanos a las desembocaduras de afluentes que se vuelven parcialmente salobres

debido a su cercanía con el mar, aunque son considerablemente influenciados por corrientes de agua dulce.

- **Aguas costeras:** Ubicadas tierra adentro a partir de una línea donde cada uno de sus puntos está a una milla náutica mar dentro a partir del punto más cercano de la línea de base que se usa para determinar el ancho de las aguas territoriales, y que se desarrollan, si corresponde, hasta el límite externo de las aguas de transiciones.

2.2.5 Tipos de contaminantes del agua

El agente contaminante del agua puede ser causada por fuentes naturales o por actividades humanas.

a) Contaminación natural

La polución natural del agua se refiere a la presencia de contaminantes en las fuentes de agua que son de origen natural y no están directamente relacionados con actividades humanas. Estos contaminantes pueden estar existentes en el agua como resultado de procesos geológicos, biológicos o hidroquímicos naturales (Morales Travezaño, 2022).

b) Contaminación antropogénica

La polución antropogénica del agua se hace referencia a la existencia de poluciones en el agua que son el resultado directo de diligencias humanas. Los contaminantes antropogénicos del agua incluyen productos químicos industriales, pesticidas y herbicidas agrícolas, productos farmacéuticos, desechos domésticos y urbanos, desechos mineros, vertidos de aguas residuales industriales y urbanas, y polución por petróleo y derivados. Estos

contaminantes pueden integrar al agua por medio de diversas vías, como vertidos directos, escorrentía superficial, infiltración en el suelo, lixiviación de vertederos y deposición atmosférica (Morales Travezaño, 2022).

2.2.6 Recursos hídricos y medio ambiente en la subcuenca

El agua, un recurso escaso, está gravemente comprometida y sufre graves desafíos principalmente a causa del acrecentamiento de la población, el desarrollo urbano y la presión sobre la utilización de recursos y sus consecuencias (FAO, 2009).

En lo que respecta a riesgos para la conservación, los inconvenientes más habituales incluyen:

- La expansión de la agricultura y las producciones agrícolas intensivas.
- La deterioración constante de los páramos.
- La tala de árboles.
- El incremento de la erosión debido al pastoreo.
- El mal manejo del agua y el deterioro de los bosques autóctonos.

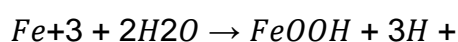
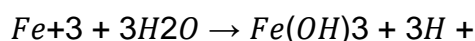
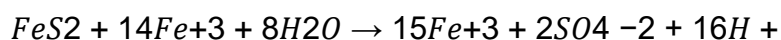
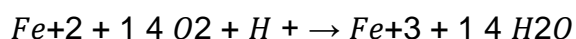
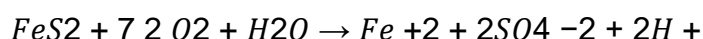
La escasa pesquisa disponible sobre los acuíferos en la cuenca y la necesidad de establecer criterios para un caudal ecológico han despertado el provecho de diversos establecimientos para comenzar investigaciones en estos asuntos. Se observa contaminación en diferentes segmentos de la red hídrica, especialmente cerca de las zonas urbanas. En cuanto a los datos recabados sobre el agua, aproximadamente el 25% de la red hidrometeorológica del SENAMHI suministra información útil para los análisis. Actualmente, el número de estaciones es escasa para cubrir la necesidad de datos exigida para la cuenca. Hay datos fragmentados y dispersos, producidos por varias entidades



con mínima coordinación, cuyos registros responden a necesidades específicas, a menudo en formatos no compatibles y en diversos lenguajes técnicos, lo que obstaculiza su divulgación y entendimiento por todos los involucrados. Además, se carece de información restablecida sobre temas como regadío, prácticas de usanza, caudales, carga animal, usanza del suelo, precipitaciones, concesiones, infraestructuras hidráulicas y embalses en la cuenca (Meza Veliz, 2016).

2.2.7 Drenaje ácido de roca (DAR)

El drenaje ácido originado de minerales sulfurosos es un fenómeno que se desarrolla naturalmente; la solución, debido a su alto contenido de hierro oxidado, adquiere frecuentemente un tono rojizo. El DAR puede originarse por el enmohecimiento de diversas rocas, siendo las más comunes aquellas con alto contenido de sulfuro. Estas rocas se oxidan al exponerse a la atmósfera debido a procesos nativos o antropogénicos, resultando en la producción de acidez, sulfatos y la disolución de metales como manganeso, hierro y aluminio; este fenómeno puede causar polución en los recursos de aguas superficiales, acuíferas y en los suelos afectados por el drenaje (Fow Esteves, 2021).



El fenómeno del DAR se origina de manera natural y multifacética, asociado con la existencia de rocas que albergan minerales sulfurosos. Este

fenómeno engloba la generación de soluciones ácidas que contienen diversos metales sólidos, como resultado de procesos de meteorización y reacciones bioquímicas inducidas por la existencia de agua y oxígeno. A discrepancia del DAM, que igualmente genera soluciones ácidas por la existencia de minerales sulfurados en las rocas, este último fenómeno se circunscribe exclusivamente a la actividad minera. (Galan Huertos & Romero Baena, 2008).

2.2.8 Factores para la generación del drenaje ácido de roca (DAR)

Montano et al. (2022): menciona los siguientes factores:

a. Mineral sulfurado:

La pirita se destaca como mineral de sulfuro más prevalente, extendido en diversas formaciones rocosas, ya sean sedimentarias, metamórficas o ígneas. Su importancia radica en su incidencia significativa en la reproducción de drenaje ácido, atribuible a su abundancia, tamaño granular y colocación (Montano , Tapia, Quispe, & Fuentealba, 2022).

Comúnmente, los sulfuros de hierro, incluyendo la pirita (FeS_2), marcasita (FeS_2), pirrotita (Fe_{1-X}S), arsenopirita (FeAsS), bornita (Cu_5FeS_4) y el sulfosal enargita (Cu_3AsS_4), producen ácido al entrar en contacto con oxígeno y agua. Los compuestos sulfurados como la galena (PbS), esfalerita (ZnS) y calcopirita (CuFeS_2) tienen la tendencia de generar acidez cuando el agente oxidante es el ión férrico (Fe^{3+}). La posible producción de ácido en un yacimiento mineral o en los desechos de una mina, por lo general, está determinada por la cuantía de sulfuro de hierro existente. (Montano , Tapia, Quispe, & Fuentealba, 2022).

**b. Oxidantes:**

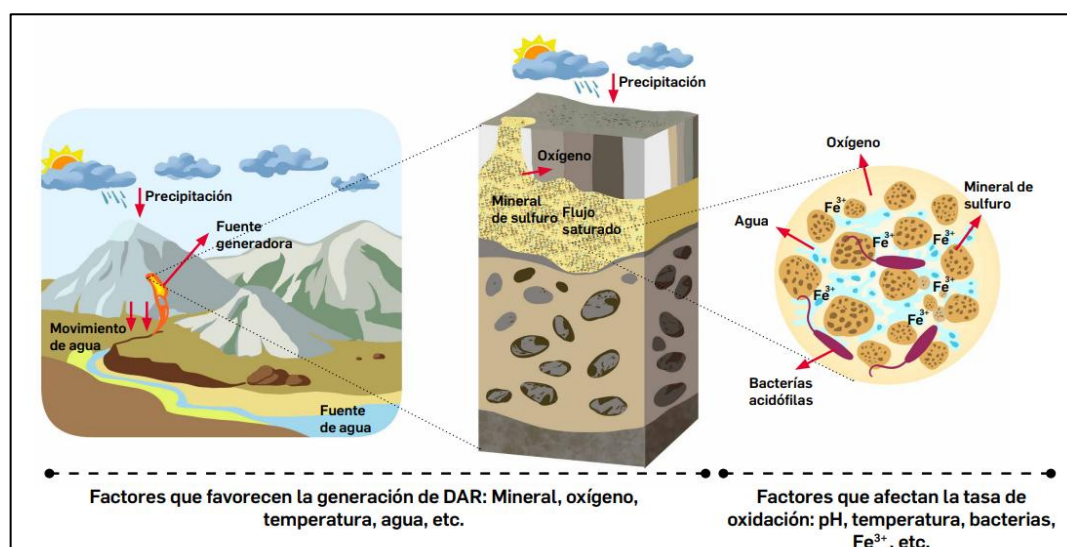
La génesis del drenaje ácido de roca comienza cuando los minerales sulfurosos entran en contacto con el oxígeno y el agua. Este contacto con la atmósfera (meteorización) induce la oxidación del sulfuro, dando lugar a la libertad de iones de hidrógeno y la consiguiente generación de acidez, lo que facilita la liberación inicial del ion ferroso (Fe^{2+}) seguido por el ion férrico (Huang, 2014).

c. Bacterias acidófilas:

La existencia de determinados microbios acidófilas puede incrementar la prontitud de ciertas reacciones asociadas con el enmohecimiento de minerales sulfurosos. Los microbios pertenecientes al género *Acidithiobacillus* son especialmente relevantes. Otras especies del género *Acidithiobacillus* también tienen la capacidad de catalizar el enmohecimiento de la pirita, al igual que ciertas cepas de los géneros *Sulfolobus* y *Leptospirillum*. Estos microorganismos aceleran el proceso de oxidación de minerales sulfurosos en contextos de pH ácido (entre 1,5 y 3,5) (Stern, 2010).

Figura 1

Dinámica de factores en la generación del Drenaje ácido roca (DAR).



Nota. Dinámica de factores en la generación del drenaje ácido roca, citado por INAGEM (2018).

Además, hay otros elementos que inciden de manera indirecta en la producción del drenaje ácido de roca, como:

- **La temperatura:** Este es un elemento que afecta las velocidades de reacción, las cuales aumentan alrededor del doble por cada incremento de 10°C en el temple. En general, se observa que a temples más altas, las reacciones químicas que promueven la generación del drenaje ácido de roca son más rápidas (Huang, 2014).
- **Las fuentes de agua:** Afectan el grado de saturación de agua en el suelo, lo cual promueve la oxidación del material mineral. El exceso de agua puede ocasionar su desplazamiento. A medida que la conductividad hidráulica del material original sea mayor, aumentará la



capacidad de transferencia de los productos de la enmohecimiento de sulfuros con el paso del tiempo (Huang, 2014).

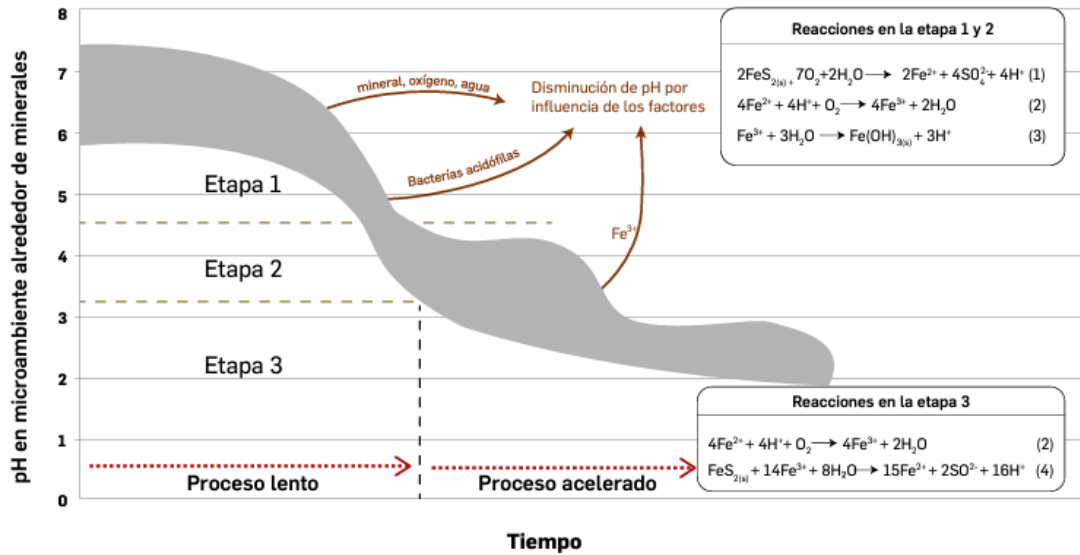
- **El PH:** En niveles bajos (inferiores a 5, lo que indica soluciones ácidas), los metales solidos se hallan en forma disuelta en el agua. Estos contextos ácidos favorecen la diligencia de bacterias acidófilas, las cuales pueden acelerar las diferentes reacciones vinculadas con el enmohecimiento de los sulfuros. Además, cuando el drenaje ácido de roca se mezcla con un arroyo y el pH aumenta, los metales dejan de estar disueltos en el agua y se arrojan como coloides. Esto da lugar a la formación de recubrimientos anaranjados de hidróxido férrico que son frecuentemente visibles en las superficies rocosas de los efluentes. (Huang, 2014).

2.2.9 Etapas de la generación del drenaje ácido de roca

El proceso de generación del dreanje ácido de roca se divide en 3 fases, las cuales se explican de manera más detallada en la figura 2:

Figura 2

Etapas en la generación del Drenaje ácido roca (DAR).



Nota. Fases en la generación del DAR, adaptado de Broughton y Robertson (1992).

- **Etapa 1:** Involucra la enmohecimiento químico o bioquímica comparativamente gradual de la pirita y demás minerales sulfurosos en un entorno de pH casi neutro. Este primer paso podría ser facilitado por bacterias acidófilas, como el *A. ferrooxidans*, a través de la interacción directa con los minerales sulfurosos. Estas reacciones influyen en el pH, ya que el ácido liberado empieza a acopiar alrededor de los minerales (Montano, Tapia, Quispe, & Fuentealba, 2022).
- **Etapa 2:** Si el pH desciende por abajo de 4.5, el hierro en forma ferrosa (Fe²⁺) se oxida a férrica (Fe³⁺) y se deposita como hidróxido férrico, lo que conlleva a la liberación adicional de iones hidrógeno. Esta secuencia de reacciones genera más acidez, disminuyendo aún más el pH hasta alcanzar niveles inferiores a 3.5 (Broughton & Robertson, 1992).



- **Etapa 3:** Las bacterias acidófilas relacionadas incrementan rápidamente la velocidad del proceso al oxidar mayor cantidad de hierro ferroso (Fe^{2+}) a hierro férrico (Fe^{3+}). Esto conduce a un aumento en la velocidad global de generación de ácido y genera un ciclo acelerado que produce grandes cantidades de ácidos. Durante esta etapa, otros metales pesados presentes en la roca son liberados hacia la solución de drenaje ácido, lo que representa un problema (Broughton & Robertson, 1992).

-

2.2.10 Hierro

El hierro, un material maleable con el símbolo químico Fe, número atómico 26 y peso atómico 55.847, se destaca como el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre, conformando aproximadamente el 5% de su composición. Este metal se caracteriza por ser maleable, tenaz, de color gris plateado y magnético. Sus cuatro isótopos estables, que se encuentran en la naturaleza, tienen masas de 54, 56, 57 y 58. El hierro se halla en una variedad de minerales y también se halla en las aguas acuíferas, además de formar parte de la hemoglobina roja en la sangre (Guzman Machaca, 2014).

2.2.11 Tipos de hierro

Según, Valencia (2011) existe tres formas primordiales de hierro, las cuales son:

- **Ferroso:** Este tipo de hierro es comúnmente conocido como "hierro en agua clara", ya que no es perceptible a simple vista cuando el agua se sirve. Se halla en aguas que carecen de oxígeno, como los pozos

profundos y el agua subterránea. El Dióxido de Carbono se combina con el hierro presente en el suelo, lo que conduce a la producción de bicarbonato ferroso, que es soluble en agua. Esta sustancia, al disolverse en el agua, libera iones ferrosos (Fe^{++}) (Valencia Espinoza C. , 2011).

- **Férrico:** El Hierro Férrico, conocido también como "agua roja de hierro", es esencialmente hierro ferroso que ha estado expuesto al oxígeno, combinándose con él para formar iones férricos (Fe^{+++}). Estas partículas oxidadas suelen ser perceptibles en el agua servida (Guzman Machaca, 2014).
- **Hierro bacterial:** Más precisamente definido como bioincrustación de hierro, el fenómeno de la bacteria del hierro es extenso y complicado. Afecta a pozos y sistemas de agua en todo el universo, soberanamente del tipo de ambiente acuífero. En ciertas áreas, esto resulta en graves problemas, mientras que en otras se considera una molestia menor (Valencia Espinoza C. , 2011).

2.2.12 Problemas causados por la presencia del hierro en el agua

Desde una perspectiva fisiológica, el hierro es un oligoelemento esencial que desempeña una función crucial en la vida. Es un elemento indispensable para nuestra nutrición, ya que numerosas proteínas lo requieren, como la hemoglobina, los citocromos y diversas enzimas de óxido-reducción. En aguas acuíferas anaeróbicas, las concentraciones de hierro ferroso pueden alcanzar varios miligramos por L sin que el agua muestre cambios en el color o la turbidez al ser extraída directamente de un pozo. No obstante, al interactuar con la



atmósfera, el hierro ferroso se convierte en hierro férrico por oxidación, lo que provoca que el agua adquiera un color marrón rojizo no deseado (Valencia Espinoza C. , 2011).

El hierro asimismo estimula el desarrollo de bacterias ferruginosas, las cuales consiguen energía mediante el enmohecimiento del hierro ferroso a hierro férrico. Estas bacterias, durante su actividad, producen una capa viscosa en las tuberías (Guaman Yunga & Mendez Atancuri, 2017). En el suministro de agua dulce, la presencia de hierro surge debido al desgaste de las tuberías de distribución de agua. Estos procesos involucran la acción de bacterias férricas, las cuales contribuyen a la manifestación de ciertas características en el agua, tales como:

- Gusto a metal.
- Tonalidad cobriza.
- Opacidad.
- Marcas en prendas y en accesorios de baño.

La absorción de cantidades significativas de hierro puede desencadenar hemocromatosis, una condición marcada por lesiones reversibles de diversos tejidos en distintos grados de gravedad. Por otro lado, la carencia de hierro puede ocasionar enfermedades como la anemia, lo que subraya la importancia vital del hierro en cantidades adecuadas para la salubridad (Guzman Machaca, 2014).



2.3. Marco Conceptual

2.3.1 Monitoreo

Se refiere a la evaluación constante o regular de la concentración de agentes contaminantes, ya sean químicos, biológicos, físicos o su mezcla, en una fuente de agua (Chaca Ayuque & Ñañez Ccasani, 2021).

2.3.2 Muestra

Consiste en tomar una o varias muestras de una cantidad determinada de agua, obtenidas de cuerpos receptores, descargas industriales, efluentes, redes de suministro público, entre otros lugares, con el propósito de examinar sus propiedades químicas, físicas, físico-químicas o biológicas (Barreto, 2010).

2.3.3 Microcuenca

Una microcuenca es una unidad de drenaje hidrográfico que abarca un área relativamente pequeña de terreno y está delimitada por las cimas de las colinas o montañas circundantes. Es una parte de una cuenca hidrográfica más grande y puede considerarse como un subconjunto de esta. Las microcuencas son importantes porque son unidades de gestión útiles para estudiar y comprender los procesos hidrológicos y ambientales a una escala localizada (Ordoñez Galvez, 2011).

2.3.4 Puntos críticos

El término "puntos críticos" se refiere a ubicaciones, momentos o aspectos que representan áreas de especial importancia, vulnerabilidad, riesgo o necesidad de intervención.



2.3.5 Estándares de Calidad Ambiental (ECA)

Las normas son juicios determinados en relación con la cuantía o magnitud de sustancias, parámetros o elementos existentes en la atmósfera, el suelo y el agua, considerados como entidades receptoras en términos de condición (MINAM, 2010).

CAPÍTULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación

Según las finalidades y el alcance del estudio, este estudio se categoriza como:

Aplicada: Al buscar cotejar la teoría con la práctica, este tipo de investigación se utiliza cuando se busca desarrollar un nuevo producto que mejore las condiciones de vida. Se aplica la investigación a problemas específicos, en circunstancias y particularidades particulares (Tamayo, 2003).

Teniendo en cuenta que se poseía la necesidad de estudiar al hierro producto del drenaje ácido roca en aguas superficiales, hasta ese momento que se desconocía, y si estos superaban la normativa de los ECA para agua y que podrían amenazar la seguridad de las personas que asisten y emplean como fuente de consumo humano y otros de la microcuenca Aricoma.

Por otro lado, Bioestadístico (2015) señala que existen cuatro categorías de investigación, que es exhaustiva al ser clasificada en alguna de ellas y excluyente ya que solo puede pertenecer a un solo grupo, cumpliendo así con un criterio determinado:

- **Estudio observacional:** En el sentido de que se recogió y evaluó la cantidad de Hierro derivada del drenaje ácido de roca en las aguas



superficiales de la microcuenca Aricoma, durante la temporada de lluvia y con niveles altos de flujo en el río.

- **Estudio transversal:** Debido a que la evaluación del nivel de Hierro se llevó a cabo en una única ocasión, en un día del mes de marzo, un mes que, como se mencionó anteriormente, se caracteriza por tener altos niveles de flujo debido a ser el período de avenidas en la microcuenca Aricoma.
- **Estudio prospectivo:** Teniendo en cuenta que todas las fases, a partir de la organización hasta la realización y el análisis de los resultados, fueron llevadas a cabo por el investigador, lo que incluye la caracterización de los 15 puntos de muestreo, la recolección de muestras y su envío al laboratorio para su análisis.

3.2. Diseño de investigación

El estudio forma parte del diseño no experimental transeccional - Descriptivo. El estudio no experimental es aquella que se desarrolla sin alterar deliberadamente variables. En otras palabras, se trata de una investigación en la que no se manipulan deliberadamente las variables independientes. En el estudio no experimental, simplemente observamos los fenómenos tal como se presentan en su entorno natural, para posteriormente analizarlos. El estudio no experimental o ex-post facto se refiere a cualquier estudio en la que resulta imposible manipular variables o asignar aleatoriamente a los sujetos o condiciones. En realidad, no hay condiciones o estímulos a los que se expongan los participantes del estudio. (Hernández & Fernández, 2010).

3.3. Técnicas e instrumentos de la investigación

La recopilación de datos en este estudio se ejecutó mediante:

a. Identificación del área de estudio:

- Exploración del terreno en el área de investigación.
- Detallamiento de los procedimientos.
- Determinación de la distribución hídrica.
- Documentación del lugar de los puntos de observación.

b. Monitoreo de agua de consumo humano:

- Recolección de muestras en terreno.

c. Análisis del agua superficial

- Se completaron los registros de campo y de laboratorio en las fichas correspondientes.
- Los estudios se ejecutaron en el laboratorio de Calidad Ambiental de la UANCV.

De esta manera, el procedimiento metodológico se esgrimió los instrumentos siguientes:

- Formatos de Recopilación de datos (cadena de custodia).
- Fichas de laboratorio.

3.4.1. Materiales y equipos

Los recursos, instrumentos y compuestos empleados en este análisis fueron los siguientes:



a. Materiales:

En este estudio se esgrimieron los siguientes materiales:

- Matraz aforado.
- Pipetas y buretas
- Vasos de precipitados
- Frascos Erlenmeyer
- Agitador magnético
- Barra magnética.
- Frascos de plástico.
- Jarra de plástico.
- Espátulas.
- Cooler.
- Rotulador.
- Papel toalla.
- Mandil.
- Guantes descartables.

b. Equipos e instrumentos:

- Equipo de cómputo.
- Equipo multiparámetro portátil.
- Espectrofotómetro.
- Cámara fotográfica.
- GPS.



c. Reactivos e Insumos:

- Agua destilada.
- Reactivo de orto-fenantrolina.
- Ácido clorhídrico (HCl).
- Muestra de agua.

3.4. Lugar de estudio

Para el actual estudio, el lugar de estudio se consideró a la zona de muestro del agua de superficie de la microcuenca de Aricoma, el cual se halla situada en la ubicación geográfica siguiente:

Departamento : Puno

Provincia : Sandia

Distrito : Limbani

En donde, la geografía del distrito de Limbani presenta una diversidad hidrográfica que lo transforma en un sitio atractivo para la inversión en proyectos relacionados con la pesca y la energía hidroeléctrica. La hidrografía juega un papel fundamental en el progreso humano y en la disposición geográfica del área, dado que los recursos hídricos son vitales para la vida y para una variedad de actividades económicas en el distrito. Entre los afluentes más destacados se hallan el Inambari y el río Limbani, cuya cuenca hidrográfica tiene su origen en el nevado de Aricoma.

La tabla a continuación presenta las coordenadas de los puntos de recopilación de muestras de agua superficial en la microcuenca Aricoma Limbani.

Tabla 2

Coordenadas de los puntos de muestreo de la investigación.

Código	Coordenadas	Fecha	Hora
DAR – 1	E: 416212 N: 8420860	23/03/2024	11:00
DAR – 2	E: 416206 N: 8420670	23/03/2024	11:19
DAR – 3	E: 416136 N: 8420564	23/03/2024	11:36
DAR – 4	E: 416600 N: 8420606	23/03/2024	11:55
DAR – 5	E: 416639 N: 8420419	23/03/2024	12:06
DAR – 6	E: 416690 N:8420214	23/03/2024	12:18
DAR – 7	E: 416549 N: 8419847	23/03/2024	12:36
DAR – 8	E: 416556 N: 8419205	23/03/2024	13:00
DAR – 9	E: 416566 N: 8419524	23/03/2024	13:16
DAR – 10	E: 417049 N: 8420050	23/03/2024	13:35
DAR – 11	E: 417416 N: 8420139	23/03/2024	14:05
DAR – 12	E: 417154 N: 8420762	23/03/2024	14:20
DAR – 13	E: 417385 N: 8420839	23/03/2024	14:27
DAR – 14	E: 417510 N: 8421132	23/03/2024	14:36
DAR – 15	E: 417619 N: 8421178	23/03/2024	14:41

De igual manera las coordenadas de la tabla 2, se ve gráficamente en la figura siguiente:

Figura 3

Localización de los puntos de muestreo de las aguas superficiales de la microcuenca Aricoma Limbani.



Nota. Tomado del Google Earth.

3.5. Población y muestra

a. Población

Según Hernández y Fernández (2010) establece que la población es la agregación de todos los casos que comparten ciertas características específicas.

Por lo tanto, al establecer las unidades de investigación, su conjunto o agrupación constituye la población, la cual debe ser definida en términos temporales y espaciales. La población objeto de estudio consiste en las aguas superficiales de la microcuenca Aricoma en el distrito de Limbani, provincia de Sandia, cuyas coordenadas se detallan en la tabla 2 y se ilustran en la figura 3.

b. Muestra

Según Hernández y Fernández (2010) esto señala que la muestra es básicamente una subsección de la población, es decir, consiste en elementos del conjunto que comparten sus características definidas.

De acuerdo a la definición mencionada, para este estudio de investigación, se ha seleccionado adecuadamente una muestra de 15 muestras de agua de superficie ubicadas cerca de la desembocadura de la microcuenca Aricoma en el distrito de Limbani, durante el mes de marzo de 2024.

- **Criterio de inclusión:** Extracción de muestras en un día en el que se observe el flujo del agua en el lecho.
- **Criterios de exclusión:** Se descartaron las muestras con una cantidad excesiva de residuos sólidos suspendidos.

3.6. Procedimiento Metodológico

3.7.1. Procedimiento metodológico para identificar los puntos críticos de generación del drenaje ácido de roca en aguas superficiales de la microcuenca Aricoma Limbani.

Para ejecutar el presente objetivo se realizó a través de un proceso sistemático que involucre la recopilación de datos relevantes y el análisis de factores que puedan influir en la condición del agua y la salud del ecosistema acuático. Posteriormente, se muestran algunos pasos que nos ayudó en este proceso:

- **Recopilación de información:** Se reunió los datos disponibles sobre la microcuenca Aricoma, incluyendo mapas topográficos, información



geológica, uso del suelo, cobertura vegetal, actividades humanas y datos históricos de condición del agua, si están disponibles.

- **Identificación de fuentes potenciales de contaminación:** Se identificó las fuentes viables de polución en la microcuenca Aricoma.
- **Caracterización del paisaje:** Se realizó un análisis detallado del paisaje para identificar características geomorfológicas, como pendientes, cauces de ríos, humedales y áreas de recarga de acuíferos, que puedan influir en la distribución y el transporte de contaminantes en la microcuenca Aricoma.
- **Priorización de puntos críticos:** Basándose en los resultados del estudio de datos y en la valoración de riesgos, se priorizó los puntos críticos identificados en función de la dimensión de la polución, el potencial de impacto en el ecosistema acuático y la salud humana, y la viabilidad de intervención.

3.7.2. Procedimiento metodológico para determinar la concentración de hierro en aguas en los puntos críticos.

Después de identificar los puntos críticos, se procedió a preparar el equipo necesario para las recopilaciones de muestras, lo que implicó la verificación mediante una lista de control (Checklist). En este proceso, se previó con antelación los recursos de laboratorio, se organizó el transporte alquilado, se diseñó un plan de trabajo, se elaboró una lista de verificación, se prepararon los formularios de campo (hojas de campo), se adquirieron equipos portátiles, se confeccionó un mapa con los puntos de muestreo y se aseguró la disponibilidad



de baterías de GPS, con el propósito de garantizar todos los componentes necesarios para ejecutar la recolección de muestras.

a. Toma de muestra

La toma de muestras se realizó conforme a los "procedimientos establecidos para la recopilación de muestras y la cadena de custodias para su transporte al laboratorio, asegurando de este modo su conservación y evitando cambios en su composición según lo prescrito por la ANA" (MINAM, 2010).

En donde se ejecutó lo siguiente:

- Utilizando la vestimenta apropiada como las botas o zapato de seguridad, chaleco, guantes, casco y barbijo, se inició con la toma de la temple in situ.
- Se ejecutó el lavado del recipiente a emplear en la recolección de muestras al menos dos veces antes del muestreo.
- Después, cuando los frascos se enjuagaron, se procedió con el muestreo del agua superficial sin remover los sedimentos y contraria al sentido del flujo.
- A lo largo del llenado en el recipiente para los muestreos compuestos, no se llenó todo el frasco se dejó 1 % de espacio vacío para el preservante correspondiente.
- Posterior e ellos, se procedió con el etiquetado a cada uno de los frascos, en donde cada muestreo fue rotulado con la siguiente pesquisa: identificación de la muestra, que incluye el dígito de muestra, fecha y hora



de recolección, nombre de la provincia y distrito, ubicación exacta de la toma de muestra, y el nombre del recopilador.

- Posteriormente, las muestras fueron depositadas en una nevera portátil tras ser refrigeradas previamente, lo cual contribuyó a conservar la temple del agua y garantizar que la condición original de las muestras no se viera afectada.
- Por último, las muestras fueron llevadas al laboratorio de calidad Ambiental de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la UANCV, con el fin de llevar a cabo los análisis correspondientes.

b. Análisis de la concentración del Hierro

Para la fijación de la presencia de hierro, se esgrimió el método de la espectrofotometría. A continuación, se presenta los pasos típicos para llevar a cabo este estudio en el laboratorio:

- **Preparación de muestras:** Los muestreos de agua de superficie recolectadas en la microcuenca fueron filtradas para eliminar partículas sólidas y otros materiales que puedan interferir con el análisis. Luego, las muestras filtradas se acidifican para estabilizar el hierro en forma soluble.
- **Calibración del espectrofotómetro:** Antes de realizar el análisis de las muestras, se calibro el espectrofotómetro utilizando soluciones estándar de hierro de concentraciones conocidas. Esto permite establecer una curva de calibración que relaciona la absorbancia medida por el espectrofotómetro con la concentración de hierro en el muestreo.



- **Preparación de reactivos:** Se preparó los reactivos necesarios para el análisis, como la solución reactiva de orto-fenantrolina. Esta solución se utiliza para formar un complejo coloreado con el hierro presente en la muestra, lo que permite su detección y cuantificación por espectrofotometría.
- **Análisis de muestras:** Se colocó las muestras preparadas en cubetas de cuarzo o vidrio adecuadas para el espectrofotómetro y se midió la absorbancia de cada muestreo a una distancia de onda específica, generalmente en el rango de 510-520 nm, donde el complejo hierro-orto-fenantrolina tiene máxima absorbancia.

c. Trabajo en gabinete

Tras obtener los resultados del laboratorio, se procedió a realizar el análisis de los resultados: Utilizando la curva de calibración previamente establecida para convertir las lecturas de absorbancia de las muestras en concentraciones de hierro en ppm (partes por millón) o mg/L (miligramos por litro). Posterior a ello

3.7.3. Procedimiento metodológico para plantear un método de tratamiento para las aguas acidas producto del drenaje ácido de roca de la microcuenca.

Para cumplir con este objetivo, se utilizó un equipo multiparámetro portátil para realizar análisis de los potenciales de hidrogeno en el agua in situ de manera rápida y eficiente.



Una vez obtenida los resultados de potenciales de hidrogeno en el agua de superficie de la microcuenca Aricoma, del distrito de Limbani, se optó plantear un método de procesamiento para las aguas acidas producto del drenaje acido de roca de la microcuenca. En donde, para ello se tuvo en cuenta lo siguiente:

- **Recolección de datos y caracterización del problema:** Se recopiló información sobre las características del drenaje ácido de peñasco en la microcuenca, incluyendo las fuentes de polución, la composición química del agua, los impactos ambientales y los requisitos legales y regulatorios.
- **Revisión de literatura y mejores prácticas:** Se efectuó una exploración exhaustiva de literatura científica y técnica relacionada con el procesamiento de agua ácidas y drenaje ácido de roca.
- **Evaluación de opciones de tratamiento:** Se evaluó diversas opciones de procesamiento que puedan ser aplicables a la situación específica de la microcuenca, teniendo en cuenta factores como la eficacia de remoción de contaminantes, los costos operativos y de capital, la viabilidad técnica y la disponibilidad de recursos.
- **Selección del método de tratamiento:** Basándonos en la evaluación de opciones, se seleccionó el método de procesamiento más adecuado para la microcuenca Aricoma.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Resultados

4.1.1 Resultados de la identificación de los puntos críticos de generación del drenaje ácido de roca en aguas superficiales de la microcuenca Aricoma Limbani.

El DAR es un fenómeno ambiental que ocurre cuando los minerales sulfurosos presentes en rocas como la pirita (asimismo acreditada como "el oro de los tontos") reaccionan con el aire y el agua, generando un ambiente ácido. Este proceso es común en áreas donde se realiza la minería, especialmente en la minería de metales como el oro, el cobre, el zinc y el plomo.

La personalización de los puntos críticos de fecundación del drenaje ácido de roca en aguas de superficies de la microcuenca Aricoma del distrito de Limbani se realizó por conveniencia y/o accesibilidad. De acuerdo a ello, se obtuvieron los siguientes puntos de muestra con sus respectivas coordenadas.

Tabla 3

Coordenadas de los puntos críticos de generación del drenaje ácido de roca en aguas superficiales de la microcuenca Aricoma, Limbani.

Puntos de muestreo	Código	Coordenadas	Fecha
Punto 1	DAR – 1	E: 416212 N: 8420860	23/03/2024
Punto 1	DAR – 2	E: 416206 N: 8420670	23/03/2024



Punto 3	DAR – 3	E: 416136 N: 8420564	23/03/2024
Punto 4	DAR – 4	E: 416600 N: 8420606	23/03/2024
Punto 5	DAR – 5	E: 416639 N: 8420419	23/03/2024
Punto 6	DAR – 6	E: 416690 N:8420214	23/03/2024
Punto 7	DAR – 7	E: 416549 N: 8419847	23/03/2024
Punto 8	DAR – 8	E: 416556 N: 8419205	23/03/2024
Punto 9	DAR – 9	E: 416566 N: 8419524	23/03/2024
Punto 10	DAR – 10	E: 417049 N: 8420050	23/03/2024
Punto 11	DAR – 11	E: 417416 N: 8420139	23/03/2024
Punto 12	DAR – 12	E: 417154 N: 8420762	23/03/2024
Punto 13	DAR – 13	E: 417385 N: 8420839	23/03/2024
Punto 14	DAR – 14	E: 417510 N: 8421132	23/03/2024
Punto 15	DAR – 15	E: 417619 N: 8421178	23/03/2024

En la tabla 3, se pueden ver los ejes de los puntos críticos de generación del drenaje ácido de roca en aguas superficiales de la microcuenca Aricoma, del distrito de Limbani. En donde podemos observar 15 puntos críticos, las cuales se tomaron por conveniencia y accesibilidad del lugar de estudio. Este enfoque se utiliza a menudo cuando no es posible o práctico llevar a cabo un muestreo aleatorio o cuando se necesita obtener muestras rápidamente y con recursos limitados.

4.1.2 Resultados de la concentración de hierro en aguas en los puntos críticos.

La tabla siguiente muestra los resultados de los estudios de hierro en el agua de superficies de la microcuenca Aricoma, proporcionados por el laboratorio de calidad ambiental de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la UANCV.

Tabla 4

Concentraciones del hierro producto del drenaje ácido de roca en aguas superficiales de la microcuenca Aricoma.

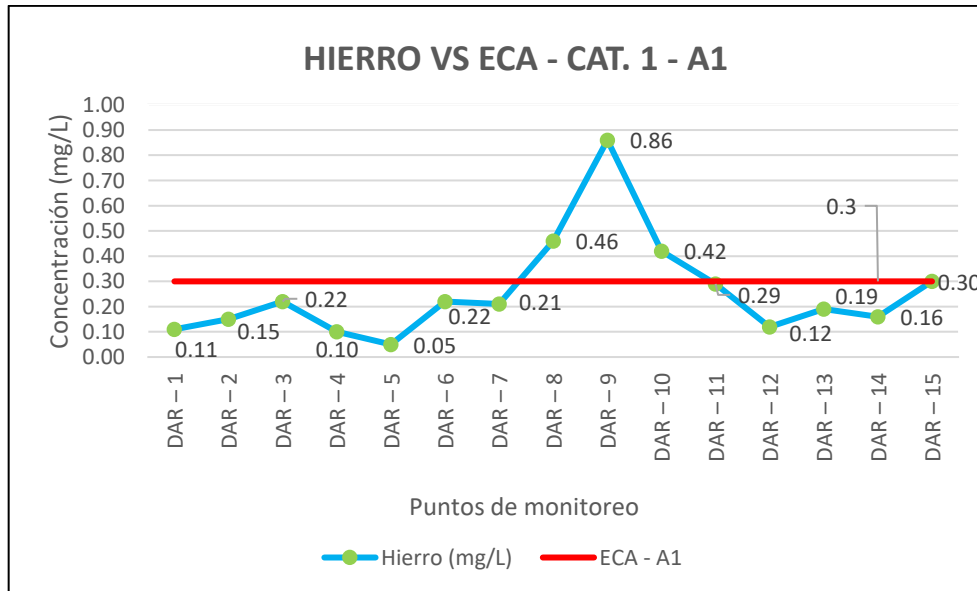
Código	Temperatura	Hierro (mg/L)	ECA - A1	ECA - A2
DAR – 1	8.7	0.11	0.3	1.0
DAR – 2	9.9	0.15	0.3	1.0
DAR – 3	9.6	0.22	0.3	1.0
DAR – 4	9.1	0.10	0.3	1.0
DAR – 5	9.4	0.05	0.3	1.0
DAR – 6	9.3	0.22	0.3	1.0
DAR – 7	9.7	0.21	0.3	1.0
DAR – 8	8.7	0.46	0.3	1.0
DAR – 9	7.8	0.86	0.3	1.0
DAR – 10	7.7	0.42	0.3	1.0
DAR – 11	8.5	0.29	0.3	1.0
DAR – 12	8.8	0.12	0.3	1.0
DAR – 13	8.7	0.19	0.3	1.0
DAR – 14	8.6	0.16	0.3	1.0
DAR – 15	9.3	0.30	0.3	1.0

En la tabla 4 se presentan las concentraciones de hierro en 15 puntos de muestreo, resultado del drenaje ácido de roca en aguas de superficies de la microcuenca Aricoma. En dicha tabla, se puede apreciar que en los puntos de muestreo DAR-8, DAR-9 y DAR-10 se registraron concentraciones de hierro de 0.46 mg/L, 0.86 mg/L y 0.42 mg/L respectivamente. Estos 3 puntos de muestra sobrepasan los límites establecidos por el D. S. N° 004-2017-MINAM, correspondientes a los ECA para Agua, Categoría 1: Poblacional y Recreacional, Subcategoría A: Aguas de superficies consignadas a la producción de agua dulce (A1). Además, se observa que ninguno de los 15 puntos de muestra supera

el límite determinado para la subcategoría A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con procesamiento convencional, que es de 1.0 mg/L.

Figura 4

Comparación del contenido del hierro con el ECA para agua (CAT.1 – A1).

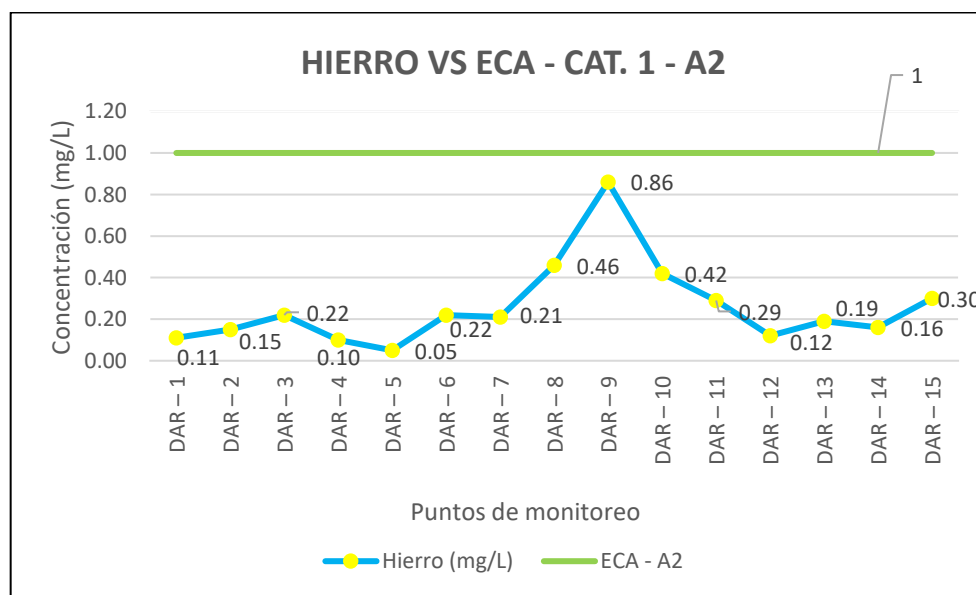


En la figura 4, se compara el contenido de hierro con las Normas de condición Ambiental (ECA) para agua (Categoría 1 – A1). Se puede observar que los puntos de muestreo DAR-1, DAR-2, DAR-3, DAR-4, DAR-5, DAR-6, DAR-7, DAR-11, DAR-12, DAR-13, DAR-14 y DAR-15 cumplen con los criterios establecidos por el D. S. N° 004-2017-MINAM para las Aguas de superficie consignadas a la producción de agua dulce (A1), pues no superan el valor de 0.3 mg/L. Sin embargo, los puntos del DAR-8 en donde se obtuvo una concentración de 0.46mg/L, el DAR-9 obtuvo una concentración de 0.86mg/L y el DAR-10 consiguió una concentración de 0.42mg/L, estos tres puntos de muestreo superan la normativa en mención. La concentración del hierro en estos tres puntos se debe a la presencia de agua y oxígeno, el hierro presente en minerales como la pirita (sulfuro de hierro) se oxida. Este proceso es acelerado por el drenaje ácido de roca, que es rico en ácido sulfúrico a causa del enmohecimiento

bacteriano de los minerales sulfurados presentes en la roca. Y el exceso de hierro en el agua puede ser tóxico para la existencia acuática, afectando negativamente a los organismos acuáticos y a los ecosistemas en general.

Figura 5

Comparación del contenido del hierro con el ECA para agua (CAT.1 – A2).



En la figura 5, se puede ver la comparación del adjunto del hierro con el ECA para agua (Categoría 1 – A2), podemos observar que de los 15 puntos de muestreo analizados: DAR-1, DAR-2, DAR-3, DAR-4, DAR-5, DAR-6, DAR-7, DAR-8, DAR-9, DAR-10, DAR-11, DAR-12, DAR-13, DAR-14 y DAR-15 no superan el valor de 1.0 mg/L de la normativa del D. S. N° 004-2017-MINAM correspondiente a los ECA para Agua, Categoría 1: Poblacional y Recreacional, Subcategoría A: Aguas de superficie consignadas a la producción de agua dulce y A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con procesamiento convencional. Los valores encontrados son inferiores a 1mg/L debido a la disolución limitada ya que, aunque el drenaje ácido de roca puede aumentar la solubilidad del hierro presente en minerales como la pirita, la capacidad de disolución de estos

minerales no es ilimitada. Una vez que se ha disuelto una cantidad significativa de hierro, la concentración en el agua puede estabilizarse o alcanzar un equilibrio o también podría deber a las interacciones químicas y a los procesos de adsorción y precipitación.

4.1.3 Resultados para plantear un método de tratamiento para las aguas acidas producto del drenaje ácido de roca de la microcuenca.

Para cumplir con este objetivo primero se analizó los potenciales de hidrogeno en los 15 puntos de muestra, para saber si estas aguas son acidas o alcalinas, en donde el laboratorio de Calidad Ambiental de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la UANCV, emitió los siguientes resultados:

Tabla 5

Concentraciones del potencial de hidrogeno en los 15 puntos de muestreo de las aguas superficiales de la microcuenca Aricoma.

Código	Temperatura	pH	Estado del pH	ECA - Categoría 4 - E2 Ríos
DAR – 1	8.7	5.28	acido	6.5 a 9.0
DAR – 2	9.9	5.92	acido	6.5 a 9.0
DAR – 3	9.6	3.73	acido	6.5 a 9.0
DAR – 4	9.1	4.93	acido	6.5 a 9.0
DAR – 5	9.4	5.27	acido	6.5 a 9.0
DAR – 6	9.3	6.13	acido	6.5 a 9.0
DAR – 7	9.7	5.32	acido	6.5 a 9.0
DAR – 8	8.7	6.01	acido	6.5 a 9.0
DAR – 9	7.8	6.08	acido	6.5 a 9.0
DAR – 10	7.7	6.21	acido	6.5 a 9.0
DAR – 11	8.5	6.20	acido	6.5 a 9.0
DAR – 12	8.8	5.71	acido	6.5 a 9.0
DAR – 13	8.7	5.58	acido	6.5 a 9.0

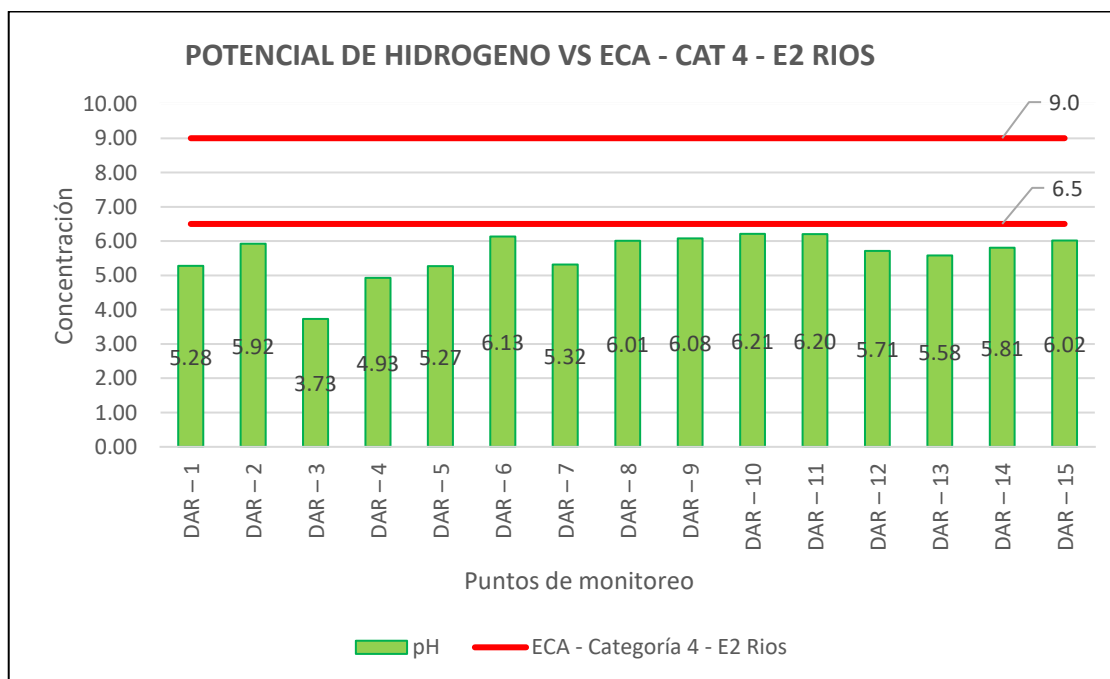


DAR – 14	8.6	5.81	acido	6.5 a 9.0
DAR – 15	9.3	6.02	acido	6.5 a 9.0

En la tabla 5, se puede ver las concentraciones de los potenciales de hidrogeno (pH) en los 15 puntos de muestra de las aguas superficiales de la microcuenca Aricoma. En donde, conforme a los resultados derivados podemos observar que estas aguas muestreadas en los 15 puntos de monitoreo son aguas acidas, lo cual es el resultado que se veía venir ya que, el drenaje ácido de roca (DAR) es un fenómeno climático que ocurre cuando minerales sulfurosos, como la pirita (sulfuro de hierro), se muestran al oxígeno y al agua durante el proceso y debido al enmohecimiento de minerales sulfurosos, en donde la pirita y otros minerales sulfurosos presentes en las rocas acuíferas reanudan con el oxígeno atmosférico y el agua para formar ácido sulfúrico, sulfatos y otros ácidos. Estas reacciones liberan iones de hidrógeno (H+) en el agua, disminuyendo su pH y volviéndola ácida.

Figura 6

Comparación del contenido del potencial de hidrogeno con el ECA para agua (CAT.4 – E2).



En la figura 6, se puede ver la comparación del contenido del potencial de hidrogeno con el ECA para agua (CAT.4 – E2), en donde podemos observar que de los 15 puntos de monitoreados ninguno se encuentra en el rango establecido de 6.5 a 9.0 valor que indica el estándar del D. S. N° 004-2017-MINAM correspondiente a los ECA para agua, Categoría 4: Preservación del ambiente acuático, sub categoría E2: Ríos (Preservación del ambiente acuático).

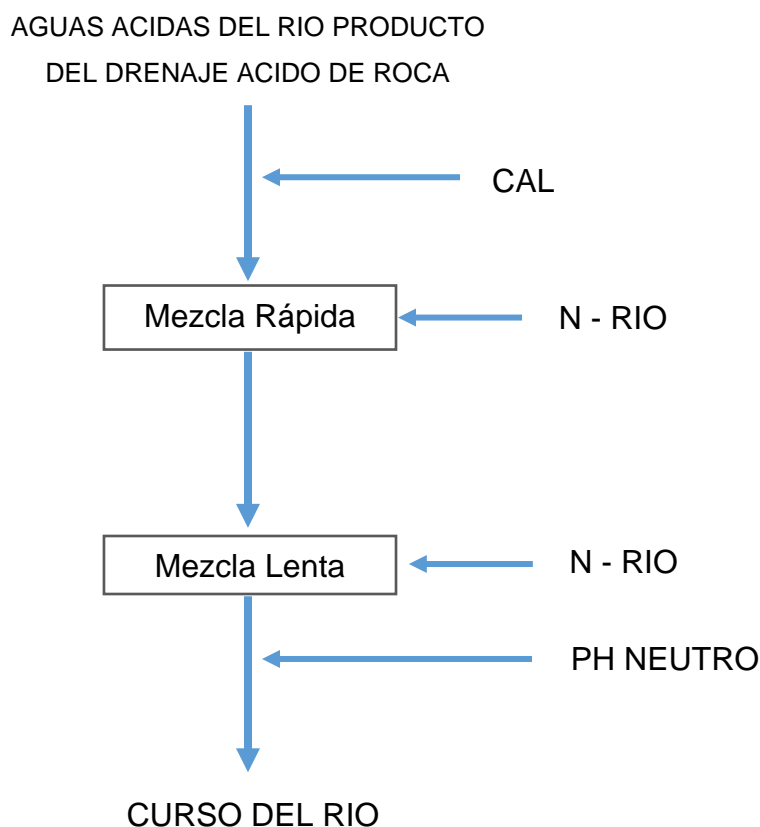
De acuerdo, a las concentraciones encontradas en cada punto de monitoreo indican que estas aguas son acidas, por lo cual se plantea el siguiente procesamiento:

NEUTRALIZACIÓN:

Objetivo: La finalidad principal de este proceso de neutralización es la de proporcionar, por medio del incremento del valor del pH, las condiciones necesarias para que precipiten los iones metálicos que pueden aun permanecer disueltos en aguas acidas del rio producto del drenaje acido de Roca.

En donde, empleando sustancias neutralizantes como: hidróxido de calcio. Este reactivo lleva al PH a valores admisibles y benefician la precipitación.

➤ TRATAMIENTO: NEUTRALIZACIÓN CON LECHADA DE CAL:





De acuerdo a la figura tal, vemos que, para aplicar este procesamiento de neutralización con lechada de cal, nos favorece de manera positiva el curso del río, ya que hay que con el curso de estas aguas (proceso) en la microcuenca Aricoma se realizara instintivamente la mezcla rápida y lenta consiguiendo así neutralización de un potencial de hidrogeno acido a un potencial de hidrogeno **NEUTRO**.

En donde, se podrían instalar estaciones de neutralización a lo largo del río, donde se inyectarán agentes alcalinos como cal viva (hidróxido de calcio) directamente en el agua y estas deben proveer en forma perpetua pues el hidróxido de calcio se transforma en sulfato de calcio, que es transportado junto con los sedimentos. Estos agentes reaccionarán con el ácido sulfúrico presente en el agua, aumentando su pH y neutralizando su acidez.

4.2. Discusiones

Con respecto a la personalización de los puntos críticos de reproducción del drenaje acido de roca en aguas superficiales de la microcuenca Aricoma en nuestro estudio de investigación se realizó por conveniencia y/o accesibilidad del lugar de estudio, En cambio Valencia (2022) en su investigación denomina "Química del manganeso y hierro en el agua, métodos de eliminación" para la identificación de puntos críticos de igual manera lo realizo por conveniencia y/o accesibilidad del lugar de estudio. La personalización de los puntos por conveniencia para la muestra de agua puede ser una estrategia útil en ciertos contextos, pero también presenta limitaciones que deben ser consideradas. Los casos en los que se toma la identificación de puntos por conveniencia pueden ser en situaciones donde la accesibilidad y la seguridad son preocupaciones



principales, como áreas remotas o peligrosas, seleccionar puntos de muestreo por conveniencia puede ser apropiado. Esto garantiza que el equipo de muestreo pueda acceder al sitio de manera segura y sin mayores dificultades y cuando los recursos financieros, de tiempo o de personal son limitados, la identificación de puntos de muestreo por conveniencia puede ser una opción práctica y económica. Esto permite minimizar los costos y el tiempo dedicado a la selección de puntos de muestreo.

La concentración del hierro en aguas superficiales en los 15 puntos críticos, en nuestra investigación en los puntos: DAR-1, DAR-2, DAR-3, DAR-4, DAR-5, DAR-6, DAR-7, DAR-11, DAR-12, DAR-13, DAR-14 y DAR-15 no superan el valor de 0.3 mg/L de la normativa del D. S. N° 004-2017-MINAM correspondiente a los ECA para Agua, Categoría 1: Poblacional y Recreacional, Subcategoría A: Aguas de superficies consignadas a la elaboración de agua dulce y A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con asepsia. Sin embargo, en los puntos del DAR-8 se obtuvo una concentración de 0.46mg/L, el DAR-9 consiguió una concentración de 0.86mg/L y el DAR-10 consiguió una concentración de 0.42mg/L, estos tres puntos de muestreo superan la normativa en mención. Por otro lado, Núñez et al. (2013) en el estudio de investigación denominada "Valoración de la condición del agua asociado al DAM, en el afluente Yauli en periodo de estiaje distrito de Yauli – Junín, 2013" obtuvo las siguientes concentraciones de hierro 12.70 mg/L, 11.933 mg/L y 11.27 mg/L, consiguiendo un promedio de 11.967 mg/L. Sin embargo, Gonzales et al. (2014) en su investigación denomina "Polución nativa por medio del drenaje ácido de roca en los afluentes al Embalse Pasto Grande" encontró las siguientes concentraciones del hierro en el agua pH de 5.55 y Fe+3 de 2.15 mg/L. Por lo



que podemos observar la concentración de hierro si se encuentra por encima de la normativa en mención debido a varios procesos interrelacionados: como la oxidación del hierro es un proceso clave en el DAR. Cuando los minerales sulfurosos, como la pirita (FeS_2), presentes en las rocas se muestran al aire y al agua a lo largo de diligencias como la minería o las construcciones, el hierro se oxida, liberando iones de hierro (Fe^{2+} y Fe^{3+}) en el agua. El agua ácida generada por el DAR puede lixiviar el hierro de las rocas circundantes. Esta agua ácida tiene una alta capacidad para disolver los minerales de hierro presentes en las rocas, aumentando la concentración de hierro en el agua. Sin embargo, asimismo podemos encontrar bajar concentraciones de hierro, así como en algunos puntos de nuestra investigación debido a los procesos de precipitaciones y adsorciones, en donde el hierro disuelto en el agua puede precipitar como sólidos o ser adsorbido por partículas suspendidas en el agua. Esto puede reducir la concentración de hierro en el agua y hacer que los valores medidos sean inferiores a 1 ppm y la dependencia de la ubicación y el tiempo, aquí es donde los valores de hierro en el agua superficial pueden variar dependiendo de la ubicación específica y las condiciones temporales. En algunas ubicaciones o momentos, los niveles de hierro pueden ser mayores o menores debido a una variedad de factores, incluidas las condiciones climáticas y las actividades humanas.

Para el planteamiento de un método de procesamiento para las aguas ácidas producto del drenaje ácido de roca de la microcuenca Aricoma en nuestro estudio en los 15 puntos de control se encontró potencial de hidrógeno mínimo de 3.73 y un potencial de hidrógeno máximo de 6.21 considerándose aguas ácidas, por lo cual en nuestra investigación se optó por el procesamiento de



neutralizaciones con lechada de cal. Lo mismo realizó Valencia (2006) en su tesis denominada "Procesamiento y control del drenaje ácido en una mina aurífera (zona - Cajamarca)", optó por tratar las aguas ácidas con lechada de cal con una dosificación de cal (25%) que equivale a 9.6 mL/L. Con estas dosificaciones de un DAM inicial de pH 2.5 se redujo a 6.50 el cual cumple los LMP que nos da un valor de 6 – 9, en cambio para el hierro se tuvo un DAM inicial de 985.4 ppm y esta se redujo a 0.218 ppm el cual este valor obtenido se encuentra por debajo de los LMP que nos da un valor de 2ppm. Concluyéndose así que el método de la interrupción con lechada de cal es eficaz para reducir drenaje ácidos de mina. Por otro lado, Valencia (2022) en su investigación denominada "Manganeso en el agua y química del hierro, métodos de remoción" indica que las neutralizaciones con lechada de cal es una opción efectiva y comúnmente utilizada para el procesamiento de aguas ácidas. Debido a que la lechada de cal, que consiste en una suspensión de hidróxido de calcio en agua, es alcalina. Al agregarla al agua ácida, el hidróxido de calcio reacciona con los iones de hidrógeno (H^+) presentes en el ácido, acrecentando el pH del agua. Esto ayuda a neutralizar la acidez y a estabilizar el medio ambiente acuático. Además, de ser un procesamiento económico y eficaz para tratar aguas ácidas en comparación con otras tecnologías de procesamiento más complejas. Además, la cal es un reactivo químico ampliamente disponible y fácil de manejar.



CONCLUSIONES

- Basado en los resultados de la personalización los puntos críticos de reproducción del drenaje ácido de roca en aguas superficiales de la microcuenca Aricoma, se concluye que se optó por realizar la identificación de puntos críticos para el muestreo de las aguas por conveniencia y/o accesibilidad del sitio de estudio, identificando 15 puntos críticos de control.
- Según la caracterización de la concentración de hierro en aguas superficiales en los puntos críticos, se llega a la conclusión que en los puntos de monitoreo: DAR-1, DAR-2, DAR-3, DAR-4, DAR-5, DAR-6, DAR-7, DAR-11, DAR-12, DAR-13, DAR-14 y DAR-15 no superan el valor de 0.3 mg/L de la normativa del D. S. N° 004-2017-MINAM correspondiente a los ECA para Agua, Categoría 1: Poblacional y Recreacional, Subcategoría A: Aguas de superficie consignadas a la producción de agua dulce y A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con esterilización. Sin embargo, en los puntos del DAR-8 se obtuvo una concentración de 0.46mg/L, el DAR-9 obtuvo una concentración de 0.86mg/L y el DAR-10 consiguió una concentración de 0.42mg/L, estos tres puntos de muestreo superan la normativa en mención.
- Finalmente, para el planteamiento del método de procesamiento para aguas ácidas producto del drenaje ácido de roca de la microcuenca, en nuestra investigación en los 15 puntos de monitoreo se encontró un pH mínimo de 3.73 y máximo de 6.21 considerándose aguas ácidas. Concluyéndose que el método de procesamiento para neutralizar la



acidez en el agua de superficie de la microcuenca Aricoma es la neutralización con lechada de cal, ya que ayuda a neutralizar la acidez y a estabilizar el medio ambiente acuático, además de ser un procesamiento económico.



RECOMENDACIONES

Conforme a los resultados encontrados de la evaluación de niveles de concentración de hierro producto del drenaje ácido de roca en aguas superficiales de la microcuenca Aricoma, se recomienda a los futuros investigadores lo siguiente:

- Realizar estudios complementarios sobre los efectos del hierro en el agua de superficie de la microcuenca Aricoma y los métodos de mitigación utilizados en otras regiones.
- Realizar estudios complementarios de evaluaciones de todos los metales presentes en agua de superficie y sedimentaciones de la microcuenca Aricoma, para así poseer una valoración completa de la condición de este recurso hídrico.
- Realizar una valoración periódica como estacionalidad, tanto en época seca como húmeda, para un resultado más óptimo considerando un período trimestral de monitoreo de las medidas químicas, físicos metales sólidos existentes en el agua de superficie de la microcuenca Aricoma.
- Por último, se recomienda realizar un procesamiento piloto empleado el método de la interrupción con lechada de cal para estabilizar las aguas ácidas y ver si es un procesamiento óptimo para esta situación incierta.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Broughton, L. M., & Robertson, A. M. (1992). *Acid rock drainage from mines – where we are now, IMM minerals*. Metals and Environment Conference.
- Caparachin Quiñonez , K., & Salas Escobar , I. (2017). *Remocion de hierro de las aguas acidas de la mina carhuacayan mediante el coagulante del cactaceo Opuntia floccosa A nivel de laboratorio*. Huancayo. Obtenido de <https://n9.cl/ylwyy>
- Cervantes Macedo, A. (2014). *Caracterizacion del drenaje acido y de las rocas asociadas a una mina para evaluar su posible aplicacion en un sistema de tratamiento pasivo*. Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Mexico.
- Dalens Campos , J. (2018). *Evaluación de la calidad del agua de la cuenca LLallimayo de la provincia de Melgar, región de Puno*. Puno. Obtenido de <https://n9.cl/5fnuu>
- DIGESA. (2011). *El agua*. Peru.
- Escobar, J. (2022). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. Santiago de Chile.
- FAO. (2009). *Situación forestal en la Región – 2000. Comisión Forestal para América Latina y el Caribe*. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.
- Fow Esteves , A. (2021). *Evaluacion de la capacidad fitorremediadora de tres especies vegetales altoandinas asistidas con biochar en suelos contaminados por drenaje acido de roca en la microcuenca quillcayhuanca, Ancash*. Peru.
- Huang, Z. P.-D.-G.-L. (2014). *Heavy metals in vegetables and the health risk to population in Zhejiang, China*. China.
- INAIGEM. (2018). *Inventario Nacional de Glaciares Las Cordilleras Glaciares del Peru 2018*. Huaraz. Obtenido de <https://n9.cl/2>



MINAM. (2010). *MINISTERIO NACIONAL DE MEDIO AMBIENTE*.

Montano , Y., Tapia, P., Quispe, C., & Fuentealba, B. (2022). *El drenaje ácido de roca y sus potenciales impactos ambientales*. Obtenido de <https://n9.cl/yh8l7>

Morales Travezaño, J. A. (2022). *Evaluación del monitoreo de la calidad de agua superficial de la laguna Angascancha para el consumo humano – Colquijirca Pasco 2019*. Cerro de Pasco -Perú.

OPS/CEPIS. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida. Manual I: Tomo I (304 págs.) y II (278 págs.)*, editado en Lima - Perú. Lima.

Ordoñez Galvez, J. J. (2011). *Cuenca hidrografica*. Lima - Perú.

Patiño Tipacti, J. (2022). *“SISTEMA DE TRATAMIENTO ACTIVO MEDIANTE NEUTRALIZACIÓN CON ÓXIDO DE CALCIO EN SOLUCIÓN, PARA LA REMOCIÓN DE CONCENTRACIONES DE HIERRO Y ALUMINIO DEL DRENAJE ÁCIDODE MINA DE LA UNIDAD MINERA ARASI, OCUVIRI-PUNO, 2019”*.



ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico



Fotografía 1. Situación actual y diagnóstico de la microcuenca Aricoma Limbani.



Fotografía 2. Toma de coordenadas UTM utilizando el GPS en los puntos de muestreo del agua superficial de la microcuenca Aricoma Limbani.



Fotografía 3. Evaluación del potencial de hidrogeno utilizando el equipo multiparámetro portátil.



Fotografía 4. Toma de muestras para determinar la concentración del hierro en el agua superficial de la microcuenca Aricoma Limbani.



Fotografía 5. Traslado de las muestras en un cooler al Laboratorio de Calidad Ambiental de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la UANCV, para realizar sus respectivos análisis.



Fotografía 6. Llenado de la cadena custodia – matriz de agua, de los puntos de monitoreo de las aguas superficiales de la microcuenca Aricoma Limbani.

Anexo 2: Resultados de Análisis realizados



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° LCA017 - 2024

I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. **Solicitante** : Victor Raul Huaracha Ccarcosto
1.2. **Proyecto** : NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE HIERRO PRODUCTO DEL DRENAJE ACIDO DE ROCA EN AGUAS SUPERFICIALES DE LA MICROCUENCA ARICOMA LIMBANI 2024

II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. **Producto** : Aguas
2.2. **Numero de muestras** : 15
2.3. **Muestreado por** : Victor Raul Huaracha Ccarcosto
2.4. **Fecha de ensayo** : 25 - 27/03/2024
2.5. **Departamento** : Puno
2.6. **Provincia** : Sandía
2.7. **Distrito** : Limbani
2.8. **Código, ubicación, fecha y hora de muestreo**

Código	Coordenadas	Fecha	Hora
DAR - 1	E: 416212 N: 8420860	23/03/2024	11:00
DAR - 2	E: 416206 N: 8420670	23/03/2024	11:19
DAR - 3	E: 416136 N: 8420564	23/03/2024	11:36
DAR - 4	E: 416600 N: 8420606	23/03/2024	11:55
DAR - 5	E: 416639 N: 8420419	23/03/2024	12:06
DAR - 6	E: 416690 N: 8420214	23/03/2024	12:18
DAR - 7	E: 416549 N: 8419847	23/03/2024	12:36
DAR - 8	E: 416556 N: 8419205	23/03/2024	13:00
DAR - 9	E: 416566 N: 8419524	23/03/2024	13:16
DAR - 10	E: 417049 N: 8420050	23/03/2024	13:35
DAR - 11	E: 417416 N: 8420139	23/03/2024	14:05
DAR - 12	E: 417154 N: 8420762	23/03/2024	14:20
DAR - 13	E: 417385 N: 8420839	23/03/2024	14:27
DAR - 14	E: 417510 N: 8421132	23/03/2024	14:36
DAR - 15	E: 417619 N: 8421178	23/03/2024	14:41



N.B.: 00285390



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

III. RESULTADOS

Código	Temperatura °C	pH	Conductividad Eléctrica μS/cm	Salinidad ppm	Hierro ppm
DAR - 1	8.7	4.28	25.8	0.31	4.05
DAR - 2	9.9	3.92	29	0.12	8.26
DAR - 3	9.6	2.84	143	0.84	9.45
DAR - 4	9.1	3.93	27	0.14	5.24
DAR - 5	9.4	5.27	14	0.04	1.91
DAR - 6	9.3	5.13	10	0.03	3.12
DAR - 7	9.7	4.62	14	0.57	6.18
DAR - 8	8.7	3.41	17	0.71	8.96
DAR - 9	7.8	4.08	23	0.23	7.45
DAR - 10	7.7	4.21	19	0.46	6.42
DAR - 11	8.5	5.69	63	0.03	0.81
DAR - 12	8.8	4.71	26	0.06	3.12
DAR - 13	8.7	4.58	24	0.04	5.76
DAR - 14	8.6	4.81	19	0.01	1.78
DAR - 15	9.3	5.02	18	0.04	4.53

IV. OBSERVACIÓN

Los resultados se aplicaron a la muestra tal como se recibió.

V. 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


UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
Mgtr. Ing. Milton Quispe Huanca
CIP: 42790
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL FICP

Juliaca, 02 de abril del 2024

N.B.: 00285390

Anexo 3: Normativa

Estándares de Condición Ambiental para Agua (DS N° 004 – 2017 – MINAM), Categoría 1: Poblacional y Recreacional, Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, A1 Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección”.

ANEXO

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

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

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂) (d)	mg/L	3	3	**
Amoníaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Rios		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FISICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(µS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,052
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

VALIDACION DE INSTRUMENTO

OPINIÓN DE EXPERTO

I. DATOS DEL EXPERTO

NOMBRE DEL VALIDADOR:	JOSE LUIS CAHUA ALVAREZ
ESPECIALIDAD DEL VALIDADOR:	ING. SANITARIO Y AMBIENTAL
AUTOR DEL INSTRUMENTO:	VICTOR RAUL HUARACHA CCARCOSTO

II. PUNTOS DE VALIDACION

DIMENSIONES	INDICADORES	DEFICIENTE	REGULAR	BUENA	MUY BUENA	EXCELENTE
		0 – 20%	21 – 40%	41 – 60%	61 – 80%	81–100%
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado					99%
2. OBJETIVIDAD	Esta expresado en base a la realidad local					99%
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia					98%
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					98%
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en calidad y calidad					98%
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para la mejora de las unidades de estudio					98%
7. CONSISTENCIA	Basado en aspectos teóricos - científicos					98%
8. COHERENCIA	Entre los índices indicadores y las dimensiones					98%
9. METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del diagnostico					98%

III. OPINION DE APPLICABILIDAD:

- El instrumento cumple puntualmente con los requisitos para su aplicación.....
- El instrumento no cumple puntual mente con los requisitos para su aplicación.....

IV. PROMEDIO DE VALORACION:

98.22%



Jose Luis Cahua Alvarez
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL
Reg. CIP. 240644



VALIDACION DE INSTRUMENTO

OPINIÓN DE EXPERTO

I. DATOS DEL EXPERTO

NOMBRE DEL VALIDADOR:	GABRIELA MAMANI QUISPE
ESPECIALIDAD DEL VALIDADOR:	ING. SANITARIO Y AMBIENTAL
AUTOR DEL INSTRUMENTO:	VICTOR RAUL HUARACHA CCARCOSTO

II. PUNTOS DE VALIDACION

DIMENSIONES	INDICADORES	DEFICIENTE	REGULAR	BUENA	MUY BUENA	EXCELENTE
		0 – 20%	21 – 40%	41 – 60%	61 – 80%	81–100%
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado					99%
2. OBJETIVIDAD	Esta expresado en base a la realidad local					99%
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia					98%
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					98%
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en calidad y calidad					98%
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para la mejora de las unidades de estudio					98%
7. CONSISTENCIA	Basado en aspectos teóricos - científicos					98%
8. COHERENCIA	Entre los índices indicadores y las dimensiones					98%
9. METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del diagnostico					98%

III. OPINION DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple puntualmente con los requisitos para su aplicación.....
- El instrumento no cumple puntual mente con los requisitos para su aplicación.....

IV. PROMEDIO DE VALORACION:

98.22%



Gabriela Mamani Quispe
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL
Reg. CIP. 329191



VALIDACION DE INSTRUMENTO

OPINIÓN DE EXPERTO

I. DATOS DEL EXPERTO

NOMBRE DEL VALIDADOR:	LUZMILA HERRERA LAURA
ESPECIALIDAD DEL VALIDADOR:	ING. SANITARIO Y AMBIENTAL
AUTOR DEL INSTRUMENTO:	VICTOR RAUL HUARACHA CCARCOSTO

II. PUNTOS DE VALIDACION

DIMENSIONES	INDICADORES	DEFICIENTE	REGULAR	BUENA	MUY BUENA	EXCELENTE
		0 – 20%	21 – 40%	41 – 60%	61 – 80%	81–100%
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje apropiado					99%
2. OBJETIVIDAD	Esta expresado en base a la realidad local					99%
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia					98%
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					98%
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en calidad y calidad					98%
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para la mejora de las unidades de estudio					98%
7. CONSISTENCIA	Basado en aspectos teóricos - científicos					98%
8. COHERENCIA	Entre los índices indicadores y las dimensiones					98%
9. METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del diagnostico					98%

III. OPINION DE APLICATIBILIDAD:

- El instrumento cumple puntualmente con los requisitos para su aplicación.....
- El instrumento no cumple puntual mente con los requisitos para su aplicación.....

IV. PROMEDIO DE VALORACION:

98.22%




 Luzmila Herrera Laura
 ING. SANITARIA Y AMBIENTAL
 CIP. 335071



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital

Fecha de entrega: 13/11/2024

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: VICTOR RAUL HUARACHA CCARCOSTO

Dirección: CL. SANTA ROSA

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 71943128

Teléfono: 953402328 email: victorraulhuaracha12@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

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

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL

Asesor: Mgtr. ARNALDO YANA TORRES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE HIERRO PRODUCTO DEL DRENAJE ACIDO DE ROCA EN AGUAS SUPERFICIALES DE LA MICROCUENCA ARICOMA LIMBANI 2024

Palabras claves, (3 a 5 términos): Acido, drenaje, microcuena.

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

1

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, entre 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: SANEAMIENTO AMBIENTAL – P22



Firma de Autor



huella digital

13 de Noviembre del 2024

Fecha