



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE



TESIS

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA SUBCUENCA PARTE
ALTA DEL RÍO LLALLIMAYO, PROVINCIA DE MELGAR, PUNO, PERÚ**

PRESENTADA POR:

GERMAN RAFAEL ESPINOZA RIVAS

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO, PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE

TESIS



EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA SUBCUENCA PARTE
ALTA DEL RÍO LLALLIMAYO, PROVINCIA DE MELGAR, PUNO, PERÚ

PRESENTADA POR:

GERMÁN RAFAEL ESPINOZA RIVAS

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE


.....
Dr. NICANOR MIGUEL BRAVO CHOQUE

PRIMER MIEMBRO

.....
Dr. JORGE LUIS APAZA CRUZ

SEGUNDO MIEMBRO


.....
Dr. FERNANDO BENIGNO SALAS URVIOLA

ASESOR DE TESIS


.....
Dr. WALTER ALEJANDRO ZAMALLOA CUBA

Puno, 28 de febrero de 2022

ÁREA: Ciencias de la Ingeniería

TEMA: Evaluación de la Calidad del Agua en la Subcuenca Parte Alta del Río Llallimayo,
Provincia de Melgar, Puno, Perú.

LÍNEA: Recursos Naturales y Medio Ambiente



DEDICATORIA

- A Dios, el Gran Arquitecto del Universo, por ser mi guía espiritual en este largo camino.
- Con amor pleno a mi amada esposa Silvia, mi mano derecha durante todo este tiempo y lo seguirá siendo en la eternidad.
- A mis queridos hijos: Gerson Rafael, Héلمان Ezra y Silvia Saríah que colman de felicidad mi hogar, son mi objetivo en esta vida y el motor a seguir adelante.
- A la memoria de mi padre Rafael, mi madre Eusebia, mis hermanos y hermanas.
- A mi familia política a quienes quiero mucho.



AGRADECIMIENTOS

- A la UNA Puno, mi Alma Mater.
- A los docentes de la Escuela de Posgrado de la UNA, quienes me formaron académicamente.
- Al Dr. Walter Zamalloa Cuba, asesor de la tesis, por su apoyo y motivación constante.
- Con sumo aprecio a mis docentes: Dr. Erasmo Carnero Carnero y Dr. Ariel Aquino Pacheco, guardo en mi memoria vuestras enseñanzas y ejemplos de vida.
- Al Jurado calificador, por su asistencia y apoyo incondicional.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	x
RESUMEN:	xi
ABSTRACT:	xii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico	3
1.1.1 Actividad minera en el ámbito internacional	3
1.1.2 Actividad minera en el ámbito nacional	6
1.1.3 Actividad minera en el ámbito local	8
1.1.4 El agua	11
1.1.5 Calidad del agua	12
1.1.6 Contaminación en cuerpos de agua	12
1.1.7 Residuos mineros e impactos ambientales	13
1.1.8 Contaminación de ríos	13
1.1.9 Normatividad de Aguas	14
1.1.10 Parámetros físico-químicos	15
1.1.11 Parámetros inorgánicos-Metales pesados	17
1.1.12 Parámetros Microbiológicos	22
1.1.13 Contaminación por sustancias inorgánicas-metales pesados	23
1.1.14 Técnicas para la determinación de metales pesados	25
1.2 Antecedentes	26
1.2.1 Arsénico	26
1.2.2 Cadmio	27
1.2.3 Mercurio	28



1.2.4	Plomo	29
1.2.5	Estándares Nacionales para Calidad Ambiental del Agua	31

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1	Identificación del problema	34
2.2	Enunciados del problema	35
2.2.1	Problema general	35
2.2.2	Problemas específicos	35
2.3	Justificación	36
2.4	Objetivos	36
2.4.1	Objetivo general	36
2.4.2	Objetivos específicos	36
2.5	Hipótesis	37
2.5.1	Hipótesis general	37
2.5.2	Hipótesis específicas	37

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	Lugar de estudio	38
3.1.1	Subcuenca Llallimayo	39
3.1.2	Contaminación de la subcuenca Llallimayo	39
3.2	Población	40
3.3	Muestra	40
3.4	Método de investigación	41
3.4.1	Materiales	41
3.5	Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	43
3.5.1	Puntos de muestreo de aguas en el área de estudio	43
3.5.2	Muestreo de aguas para parámetros físico-químicos	44
3.5.3	Muestreo de aguas para parámetros inorgánicos	45
3.5.4	Muestreo de aguas para parámetros microbiológicos	46
3.5.5	Procedimiento analítico	46
3.5.6	Digestión de muestras y lecturas en el espectrofotómetro de absorción atómica	47
3.5.7	Diseño estadístico	47
3.5.8	Análisis de Varianza	48



3.5.9 Prueba Estadística de Hipótesis	48
3.5.10 Reactivos	49
3.5.11 Técnicas de Muestreo	49

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Hidrografía de la subcuenca del río Llallimayo	51
4.2 Características físico-químicas del agua en la subcuenca parte alta del río Llallimayo	52
4.2.1 pH	54
4.2.2 Temperatura	55
4.2.3 Conductividad Eléctrica	56
4.3 Contenido de parámetros inorgánicos-metales pesados en la subcuenca parte alta del río Llallimayo	57
4.3.1 Aluminio (Al)	58
4.3.2 Arsénico (As)	59
4.3.3 Cadmio (Cd)	60
4.3.4 Cobre (Cu)	61
4.3.5 Manganeseo (Mn)	62
4.3.6 Mercurio (Hg)	62
4.3.7 Plomo (Pb)	63
4.4 Parámetros microbiológicos en la subcuenca parte alta del río Llallimayo	63
4.4.1 Coliformes termotolerantes	64
4.5 Discusión	65
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	68
BIBLIOGRAFÍA	69
ANEXOS	83

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para Agua – D.S. N° 004-2017-MINAM – Categoría 3 Riego de vegetales y bebida de animales.	32
2. Estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para Agua – D.S. N° 004-2017-MINAM – Categoría 4 Conservación del ambiente acuático.	33
3. Ubicación de los puntos de muestreo.	44
4. Variables hidroquímicas y metodologías de parámetros físico-químicos	45
5. Variables hidroquímicas y metodologías de parámetros inorgánicos	46
6. Variables hidroquímicas y metodologías de parámetros inorgánicos	46
7. Ubicación de los puntos de monitoreo del agua.	53
8. Parámetros físico-químicos para la Categoría 3: Riesgo de vegetales y bebida de animales y Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático.	53
9. Resultados de análisis de las características físico-químicas de los rios Pataqueña y Chacapalca.	53
10. Resultados de análisis pH de los rios Pataqueña y Chacapalca.	54
11. Resultados de análisis Temperatura de los rios Pataqueña y Chacapalca.	55
12. Resultados de análisis Conductividad Eléctrica de los rios Pataqueña y Chacapalca.	56
13. Parámetros inorgánicos-metales pesados para la Categoría 3: Riesgo de vegetales y bebida de animales y Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático.	57
14. Resultados de análisis de las características inorgánicas-metales pesados de los rios Pataqueña y Chacapalca.	58
15. Resultados de análisis para el Aluminio en los rios Pataqueña y Chacapalca.	59
16. Resultados de análisis Arsénico de los rios Pataqueña y Chacapalca.	60
17. Resultados de análisis para el Cadmio en los rios Pataqueña y Chacapalca.	60
18. Resultados de análisis para el Cobre en los rios Pataqueña y Chacapalca.	61
19. Resultados de análisis para el Manganeso en los rios Pataqueña y Chacapalca.	62
20. Resultados de análisis para el Mercurio en los rios Pataqueña y Chacapalca.	63
21. Resultados de análisis para el Plomo en los rios Pataqueña y Chacapalca.	63



22. Parámetros microbiológicos para la Categoría 3: Riesgo de vegetales y bebida de animales y Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático.	64
23. Resultados de análisis de las características microbiológicas de los rios Pataqueña y Chacapalca.	64



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Mapa de la Región Puno y la Provincia de Melgar	39
2. Confluencia de los ríos Pataqueña y Azufrini que dan origen al río Chacapalca	40
3. Mapa de ubicación de puntos de muestreo	44
4. Vista panorámica del área de estudio en sentido suroeste, piso ecológico puna.	98
5. Al fondo se observa el puente tipo arco por donde fluye el río Azufrini.	98
6. Río Pataqueña, aguas arriba del puente peatonal y confluencia con el río Azufrini.	99
7. Punto de muestreo P-1, 200 m aguas arriba del puente peatonal, se observa baja turbidez.	99
8. Río Chacapalca, aguas abajo del puente peatonal y confluencia con el río Azufrini	100
9. Punto de muestreo P-2, 250 m aguas abajo del puente peatonal, se observa elevada turbidez	100
10. Medidor multiparamétrico de valores pH, CE, TDS, T°.	101
11. Medidor multiparamétrico HORIBA de 4 valores, debidamente calibrado.	101
12. Monitoreo y obtención de muestras de aguas en el punto P-1 aguas arriba del puente peatonal.	102
13. Monitoreo y obtención de muestras de aguas en el punto P-2 aguas abajo del puente peatonal.	102
14. Señalización que precisa las actividades de la Unidad Minera Arasi SAC.	103
15. Confluencia de ríos Azufrini (izquierda) y Pataqueña (derecha) dan origen al río Chacapalca	103
16. Muestras de agua codificadas en envases listos para su remisión al laboratorio.	104
17. Paquete con las muestras de agua debidamente selladas y herméticas remitidas al laboratorio.	104



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Decreto Supremo-004-2017-MINAM_001	83
2. Análisis de laboratorio 1	93
3. Cadena de Custodia	97
4. Panel Fotográfico	98



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- EPA = Agencia de Protección Ambiental (Environment Protection Agency)
- N. D. = No detectable
- OMS = Organización Mundial de Salud
- UI = Unidad Internacional
- UE = Unión Europea.
- Abs = Absorbancia
- EAA = Espectrofotometría de absorción atómica
- n = Tamaño de muestra
- D.S. = Desviación Estándar
- V.E. = Valores extremos
- mL = Mililitros
- ECA = Estándares Nacionales de Calidad Ambiental
- D.S. = Decreto Supremo
- pH = Potencial de Hidrógeno
- T° = Temperatura
- CE = Conductividad Eléctrica
- Al = Aluminio
- As = Arsénico
- Cd = Cadmio
- Cu = Cobre
- Fe = Fierro
- Mn = Manganeseo
- Hg = Mercurio
- Pb = Plomo
- MINAM = Ministerio del Ambiente
- APHA = Asociación Americana de Salud Pública
- PNUMA = Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
- WHO = Organización Mundial de la Salud
- OMS = Organización Mundial de la Salud
- CAMEP = Clínica de Atención Medica Preventiva
- OEFA = Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
- ANA = Autoridad Nacional del Agua

RESUMEN

Niveles altos de concentración de metales pesados en aguas que son utilizadas para consumo de la población, el riego y la actividad pecuaria representan un serio problema para la salud humana, la agricultura, biodiversidad y medio ambiente en general. La contaminación de medios acuáticos por metales pesados es una de las mayores preocupaciones en las localidades rurales y ciudades urbanas de los países en vías de desarrollo, este problema es latente en la subcuenca del río Llallimayo, superficie hidrográfica que alberga a una población estimada de 18,300 habitantes expuestas a los efectos de una cantidad alta de metales tóxicos los cuales se traducirían en gravedad para la salud humana hasta el riesgo de mortandad si, los niveles de metales pesados exceden los límites de tolerancia en el cuerpo receptor; por lo que la presencia de metales pesados en el río Chacapalca es un riesgo latente para la salud humana. En la sub cuenca del río Llallimayo aguas arriba se encuentra la mina Aruntani actualmente en operación, plan de cierre de mina y aún descarga sus efluentes mineros al río Chacapalca, lo que ha generado que los niveles de metales pesados excedan las normas de calidad del agua confiriéndole características de toxicidad a las aguas superficiales de la subcuenca Llallimayo ocasionado por la intensa actividad de la Mina Aruntani. El estudio se llevó a cabo durante los meses de octubre 2020 a mayo del año 2021, épocas de avenida y estiaje, se evaluaron parámetros “in situ” en dos puntos estratégicos y tomaron muestras aguas arriba y abajo del río Chacapalca, analizándose en laboratorio por el método EPA de espectroscopia de absorción atómica los parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos, como el potencial hidrógeno (pH), la temperatura (°C), la conductividad eléctrica (CE), metales pesados totales: Aluminio (Al), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), manganeso (Mn), mercurio (Hg), plomo (Pb) y coliformes termotolerantes. Las correlaciones entre los puntos de muestreo variaron en las diferentes zonas del estudio, muy significativas para los parámetros inorgánicos; concluyendo que, la descarga del efluente minero contamina gravemente y llevan a sobrepasar los límites permisibles para Al, As, Cu, Fe, Mn y Zn en agua para uso y consumo humano.

Palabras clave: Calidad del agua, contaminación, cuenca hidrográfica, efluente minero y metales pesados.

ABSTRACT

High levels of concentration of heavy metals in waters that are used for consumption by the population, irrigation and livestock activities represent a serious problem for human health, agriculture, biodiversity and the environment in general. The contamination of aquatic environments by heavy metals is one of the major concerns in rural localities and urban cities of developing countries, this problem is latent in the sub-basin of the Llallimayo river, a hydrographic area that houses an estimated population of 18,300 inhabitants exposed to the effects of a high amount of toxic metals which would translate into seriousness for human health up to the risk of death if the levels of heavy metals exceed the tolerance limits in the recipient body; therefore, the presence of heavy metals in the Chacapalca river is a latent risk for human health. In the sub-basin of the Llallimayo river upstream, the Aruntani mine is currently in operation, a mine closure plan and still discharges its mining effluents to the Chacapalca river, which has generated that the levels of heavy metals exceed the water quality standards conferring toxicity characteristics to the surface waters of the Llallimayo sub-basin caused by the intense activity of the Aruntani Mine. The study was carried out during the months of October 2020 to May 2021, times of high and low runoff periods of the year, parameters were evaluated "in situ" in two strategic points and samples were taken upstream and downstream of the Chacapalca river, being analyzed in the laboratory by the EPA method of atomic absorption spectroscopy the physicochemical, inorganic and microbiological parameters, such as hydrogen potential (pH), temperature ($^{\circ}$ C), electrical conductivity (EC), total heavy metals: Aluminum (Al), arsenic (As), cadmium (Cd), total chromium (Cr), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn), mercury (Hg), lead (Pb), zinc (Zn), total coliforms and thermotolerant coliforms. The correlations between the sampling points varied in the different study areas, very significant for the inorganic parameters; concluding that the discharge of the mining effluent seriously pollutes and leads to exceeding the permissible limits for Al, As, Cu, Fe, Mn and Zn in water for human use and consumption.

Keywords: Heavy metals, mining effluent, pollution, surface water and watershed.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad nuestro planeta enfrenta múltiples problemas ambientales provenientes de diversas fuentes, actividades económicas, industriales, antrópicas y causas naturales, los que en conjunto se traducen en impactos negativos a los ecosistemas y mayormente a los diferentes organismos que conllevan a la modificación de las características físicas, químicas y biológicas del medio ambiente. Esta causa es un denominador común y frecuente en nuestro país, que se refleja del crecimiento poblacional traducido en un incremento de las manchas urbanas generando la disminución y pérdida de cualidades de los ecosistemas, así como la degradación de suelos agrícolas (Alahabadi & Malvandi, 2018; Ali *et al.*, 2016; Islam *et al.*, 2018; Kang *et al.*, 2019). La alteración de los suelos, recursos hídricos y del aire por metales pesados y metaloides, proyectan una tendencia de la problemática más severa que compromete la seguridad alimentaria y la salud pública a nivel local y mundial (Alahabadi & Malvandi, 2018; Chen *et al.*, 2018; Duodu *et al.*, 2016). Cabe señalar que las diversas actividades antropogénicas e industriales vienen generando un aumento en la emisión de sustancias contaminantes, causando la acumulación de polución en los suelos, agua y plantas, que están íntimamente relacionados con las especies animales; lo cual facilita la entrada de dichas sustancias tóxicas a las redes tróficas. Dentro de los contaminantes ambientales se encuentran los metales pesados, algunos de estos metales son benéficos, debido al papel que desempeñan en las funciones bioquímicas y fisiológicas en los seres vivos y otros pueden ser muy tóxicos o inclusive letales en concentraciones muy bajas (Bonanno *et al.*, 2017; Cobb *et al.*, 2000; Negroni, 2009; Rascio y Navari, 2011; Tchounwou *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2015).

Un asunto contemporáneo y álgido que desvela la realidad de nuestra región y el ámbito de nuestro país, es que la mayoría de los proyectos mineros en Perú, contaminan las aguas debido a los relaves de los procesos de flotación en la extracción metalúrgica de minerales, indudablemente ello incrementa el grado de contaminación en ríos, lagos, lagunas y en el mar, que son los receptores hídricos de las evacuaciones residuales provocadas por el hombre. La contaminación del recurso hídrico, evidenciado en el cambio de su composición físico-química, inorgánica y microbiológica por metales pesados a altas concentraciones como: Pb, Fe, Cu, Zn, As, Cr, Cd, Mg y algunos reactivos químicos concurrentes de los referidos procesos metalúrgicos, provenientes de las plantas de tratamientos de minerales no son susceptibles ni a una bio- ni a una quimio-

remediación en el corto plazo (Bracho *et al.*, 2016; Chiang, 1989; Laino *et al.*, 2015; Márquez *et al.*, 2000; Moronta & Riverón, 2016; Rodríguez *et al.*, 2015), conllevando a un nivel alarmante de toxicidad para el hombre, flora y fauna de los ecosistemas.

La presencia de metales pesados, como Pb, Cd, Hg, Cr entre otros, se acumulan y permanecen en el ambiente al igual que en los organismos vivos (provocando toxicidad, bioacumulación, alteraciones bioquímicas o mutagénesis, en plantas y animales), por largos períodos de tiempo (Chopra *et al.*, 2011; Kwaansa *et al.*, 2019; Mesa *et al.*, 2015; Pandey *et al.*, 2014; Quintero *et al.*, 2010; Sarah *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2018). Cabe señalar que el origen de las altas concentraciones de Cu, Pb, Zn, Cr, Ni y Sn son las diversas actividades domésticas e industriales de las urbes adyacentes a las cuecas ribereñas, así como la escorrentía urbana y agropecuaria, las aguas residuales industriales y hospitalarias que se descargan en los ríos sin tratamiento previo (Kilunga *et al.*, 2017; Vivas *et al.*, 2015). También se han reportado estadísticas sobre el contenido contaminante en metales pesados como la elevada concentración de Hg, Cu, Pb, Zn y Mn, y la contaminación moderada de Co y Fe en partes bajas y medias en el recorrido del cauce del río (Chen *et al.*, 2018), pero lo resaltante es la contaminación severa en las partes altas o cabeceras de cuencas de los ríos con los efectos adversos sobre la biota acuática, de acuerdo con las directrices internacionales (Mora *et al.*, 2016).

Es por ello que el presente estudio determina no solo la necesidad de evaluar la calidad del aguas y ecosistemas altoandinos, sino amerita la importancia de analizar los parámetros físico-químicos, inorgánicos y microbiológicos de las diversas fuentes de agua, en particular la de consumo humano. El objetivo de esta investigación es evaluar la calidad del agua y presencia de metales pesados en la subcuenca parte alta del río Llallimayo; para ello, se realizó el análisis y tomas de aguas in situ sobre los ríos Pataqueña y Chacapalca en dos puntos de muestreo tomas, RP-1 (aguas arriba) y RC-1 (aguas abajo), después de la confluencia con el río Azufrini.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico

1.1.1 Actividad minera en el ámbito internacional

Herrera *et al.* (2013), en Costa Rica realizó determinaciones de cadmio, plata, selenio, estaño, níquel, cromo, cobre, boro, zinc mercurio, bario, plomo, manganeso, arsénico y aluminio realizados en aguas y sedimentos superficiales del sector medio del río Pirro (Costa Rica), indicaron que las concentraciones de los elementos analizados fueron muy elevadas en todos los sectores de muestreo seleccionados. Inclusive, la distribución de los elementos no fue homogénea ni presentó un patrón geográfico marcadamente definido, probablemente debido a la existencia de vertidos de aguas residuales sin previo tratamiento, a la infiltración de aguas negras y al desarrollo de actividades agrícolas, metalúrgicas y metalmecánicas a lo largo de la microcuenca.

Ornela (2008), en su trabajo determinó la dinámica biogeoquímica de nutrientes y metales pesados (*Cd, Pb, Cu, Zn, Cr, Mn, Fe y Ni*) “en ambientes intermareales de la laguna costera Mar Chiquita: potenciales efectos ecotoxicológicos sobre especies claves del ecosistema” (p. 229). Además los niveles que se presentan en cada metal disuelto en agua de columna (AC) fueron: *Cd* nd (no detectable)- 4,3µg/L; *Cu* nd-1000,23µg/L; *Pb* nd-850µg/L; *Zn* nd-1224,38µg/L; *Fe* nd-227,15µg/L; *Cr* nd-35,25µg/L y *Ni* nd-79,84µg/L; mientras que en agua intersticial (AI) fueron: *Cd* nd-1,14µg/L; *Cu* nd-690,28µg/L; *Pb* nd-430µg/L, *Zn* nd-1395µg/L, *Fe* nd-236,07µg/L, *Cr* nd-38,01µg/L y *Ni* nd-95,65µg/L. En tanto, los rangos de los metales en sedimento superficial fueron: *Cd* 0,86-3,01µg/g; *Cu* nd-21,98µg/g; *Pb* nd-30,49µg/g;

Zn 5,10-47,0 $\mu\text{g/g}$; *Fe* nd-47900 $\mu\text{g/g}$; *Cr* 0,34-8,45 $\mu\text{g/g}$; *Mn* 58,76-1116,06 $\mu\text{g/g}$ y *Ni* 5,34-34,89 $\mu\text{g/g}$. Se obtuvo como resultado que “las actividades antrópicas desarrolladas en la cuenca de drenaje, especialmente las actividades agrícola-ganaderas, tienen una gran influencia sobre la condición ambiental de esta laguna”.

Bravo *et al.* (2012), en su investigación tuvieron el objetivo de determinar el efecto de las actividades antropogénicas de las comunidades aledañas de los metales pesados. La metodología de recolección de muestreo se contó con cinco puntos de muestreo y tres adicionales con el fin de valorar la condición de los sedimentos utilizando la norma establecida por el Ministerio del Ambiente de Ontario, Canadá”. Concluyendo a través de los resultados que las comunidades aledañas ejercen impactos negativos respecto a la calidad de los sedimentos, el efecto de contaminación generado por tales actividades se clasificó como efecto menor.

Tirado (2013), indico que los valores recuperados fueron pH: de 8,2 a 8,5; conductividad eléctrica: de 234 $\mu\text{s/cm}$ a 298 $\mu\text{s/cm}$; STD: de 122 mg/L a 14mg/L; temperatura: de 17,5°C a 19,9°C; turbiedad: 9,38 NTU a 295,6NTU; DQO: de 0 mg/L a 126mg/L; DBO: de 0 a 12,25mg/L; *CN*⁻: de 0,002 mg/L a 0,005mg/L; *NO2*⁻ de 0,04 mg/L a 0,5mg/L; *F*: de 0,29mg/L a 0,83mg/L; *P*: de 0,2 mg/L a 0,6mg/L; *PO4*⁻³: de 0,64mg/L a 1,77mg/L; coliformes fecales: de 40 a 6500NMP/100mL. En cuanto a las conclusiones de la investigación se determinó que inicialmente durante la época lluviosa, la mayoría de los factores sí cumplen con los valores permitidos, con excepción de 3 factores que sobrepasan dichos límites como son amonio, detergentes y coliformes fecales. En la época seca del mes de julio y agosto en donde las lluvias son escasas los valores incrementaron considerablemente, aun así, no sobrepasaron los límites.

Zamora *et al.* (2007), afirman en un trabajo de Evaluación Ambiental del Lago Poopó (Bolivia), y a los ríos tributarios realizado por un equipo institucional entre la Universidad Técnica de Oruro, Mining Consulting & Engineering SRL, la fundación para el Desarrollo de la Ecología y Worley Parsons Komex, diagnosticaron que, en la temporada seca la concentración de metales disueltos en todos los puntos de muestreo es mucho más elevado en la época húmeda. En todos los casos, las concentraciones de As, Pb, Cd y Zn se encuentran por encima de los límites permisibles de aguas aptas para riego y vida acuática.

Aguado (2012), plantea una especiación de los metales pesados (*Fe*, *Cu*, *Co*, *Cr*, *Ni*, *Cd*, *Zn*, *Al*, *Mn* y *Pb*), en sedimentos superficiales del sector Central del Golfo de Cariaco. Las concentraciones promedios de metales totales fueron: *Fe* (13040,94mg/Kg), *Cu* (14,08mg/Kg), *Co* (2,04mg/Kg), *Cr* (24,11mg/Kg), *Ni* (21,74mg/Kg), *Cd* (3,44mg/Kg), *Zn* (72,87mg/Kg), *Al* (5504,68mg/Kg), *Mn* (32,90 mg/Kg) y *Pb* (10,18mg/Kg). Concluyendo en que la especiación de los metales mostró que las mayores proporciones se encuentran asociadas a las fracciones potencialmente biodisponibles (materia orgánica y sulfuros metálicos), seguida de la fracción residual y la asociada a óxidos de Fe y Mn.

Pérez (1997). Señala en su estudio sobre los elementos metálicos precisa que físicamente el plomo por sus características naturales es uno de los metales llamados acumulativos debido a su efecto de acumulación en el organismo humano, y se constituye en uno de los metales más tóxicos y temidos a nivel urbano y a nivel ocupacional.

Mancilla *et al.* (2011), evaluaron en el estado de Puebla y Veracruz, México “los niveles de concentración de metales pesados en agua utilizada para riego, los cuales representaron un problema importante para la agricultura y la salud humana, así como para la biodiversidad, con relación a la calidad del agua” (p, 39). Se determinó el promedio de las concentraciones para *Pb* 0,008mg/L; *Cd* 0,01mg/L y *Hg* 0,005mg/L, dichos valores en aguas destinadas a irrigación agraria no representan riesgos ni “para el uso urbano, no así para el criterio de consumo humano, pues 50% de las muestras tomadas presentaron concentraciones por encima de los límites permisibles para *Cd*, 20% para *Hg* y 2% para *Pb*” (Mancilla *et al.*, 2012, p. 39).

Pozo (2017), en su artículo concluye, que las concentraciones de cadmio fueron mayores en el lugar P4 (0,129 mg/l). En el sedimento, el valor de cadmio en el lugar P2 presentó mayor acumulación (0,0033 mg/g), para plomo, los sitios con mayor nivel fueron P5 y P6 (0,18 – 0,21 mg/l respectivamente). Los resultados comparados con la legislación ecuatoriana evidencian concentraciones altas de cadmio, que podría perturbar la salud de organismos que viven a nivel de la columna de agua, tales como peces, al equivalente que las actividades de recreación de los bañistas locales, de los cantones Sucre y San Vicente Manabí.

Marrugo *et al.* (2018), realizó estudios en el río Sinú, fuente de recursos hídricos más significativo para el Departamento de Córdoba, para conocer aspectos relacionados con la distribución espacial y biodisponibilidad de metales pesados en la zona de estudio. Presentó sus resultados en un dendograma de agrupación de metales, que evalúa un enlace simple y distancia de coeficiente de correlación en donde los tres grupos de asociación se presenta diferencias a un nivel del 75%. Uno de los grupos se puede asociar *Al, Hg, Fe, Ni, Cu, Cr, Zn, Pb y MO*; el otro grupo se relaciona con los niveles de *Co y Mn*; y por último el tercer grupo se relaciona al pH y *Cd*.

Reyes (2010), tuvo el objetivo de proponer un modelo conceptual del funcionamiento del hidrosistema determinado a partir de los niveles de *As* en el sistema sólido superficial y la fase líquida subterránea de los acuíferos de Tabalaopa-Aldama-Laguna de Hormigas. Se pudo encontrar que el nivel de concentración está sobre los 0,025mg/L de los nueve pozos y los otros nueve entre 0,021 y 0,025mg/L, dicho análisis se hizo de los pozos de agua del sur del Valle y de la Zonas central. Finalmente, se concluye revelando el enorme riesgo toxicológico por ingesta de agua con altas concentraciones de *As* de los pozos de la región, sí que no se tiene en cuenta las medidas necesarias.

1.1.2 Actividad minera en el ámbito nacional

Red Muqui (2014), es una asociación ambientalista que sostiene en sus diversos estudios referidos a la actividad minera, que la remoción de suelos, según el tamaño y la profundidad del tajo y el área donde se realice, puede afectar las aguas subterráneas y los acuíferos, alterando el funcionamiento de la red de la que forma parte y que permite que el agua fluya y no escasee en temporadas secas.

Salas (2009), en su estudio sobre la determinación de metales pesados en las aguas del río Ananea debido a la actividad minera, tuvo como objetivo determinar los niveles de Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, plomo y Zinc, donde se programaron tres campañas de muestreo, realizados en los meses de marzo, junio y agosto (período de estiaje). Las concentraciones de los metales pesados se determinaron por espectrometría de absorción atómica, por la técnica del ICP (Inductively Coupled Plasma) EPA: 200.8. Revisión 5,4. 1994. Los resultados mostraron que las concentraciones de Arsénico, Cobre, Cromo, Plomo y Zinc, se encuentran por encima de los límites máximos permisibles y para metales como

Cadmio y Mercurio resultaron valores por debajo de los límites máximos permisibles. Las descargas de agua de la actividad minera aurífera hacia los ríos llegan a sobrepasar los límites permisibles, siendo una fuerte amenaza para la calidad del agua y para la biodiversidad asociada.

Oyarzún *et al.* (2011), manifiestan en su artículo de investigación que las aguas superficiales están muy relacionadas con las subterráneas. Esto hace que tal pérdida del recurso pueda afectar notablemente a las aguas subterráneas, de manera que se produzca una alteración en las condiciones hidrogeológicas originales, tales como un descenso del nivel freático y la alteración de flujos locales. Estas modificaciones se sumarían a las ya provocadas por la actividad extractiva de manera directa en las aguas subterráneas.

López *et al.* (2003), refieren en su estudio que es un elemento químico metálico aquella sustancia que tenga una densidad por lo menos cinco veces mayor que la del agua y sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas. Muchas definiciones han propuesto basarse en la densidad, otras en el número atómico o peso atómico, y algunas en sus propiedades químicas o de toxicidad. El término metal pesado es considerado como una "mala denominación" en un informe técnico de la UIQPA (IUPAC) debido a su definición contradictoria y su falta de "bases de coherencia científica".

Paredes (2013), realiza sus estudios en donde concluye que se encontraron como valores máximos de plomo dentro del rango de 0.515mg/l a 0.35 mg/l en Samne y Shirán de la cuenca media del río Moche – La Libertad, superando los límites permisibles en la categoría IV de los ECAs. Y también se encontró que el valor máximo para cadmio fue de 0.009 mg/l en Samne y Shirán superando ligeramente los parámetros de calidad para la categoría IV de los ECAs para aguas.

Planas (2010), determinó “la concentración total de metal en sedimento (mg/kg), en muestras de sedimento de tamaño de grano <63µm de la subcuenca Llapa”, y el río Yanahuanga provincia de San Miguel - Cajamarca, cuyas concentraciones fueron: As (6,5mg/Kg a 234,3mg/Kg); Cd (0,2mg/Kg a 1,4mg/Kg) y Pb (13,6mg/Kg a 46,1mg/Kg). Concluyendo que, al comparar las concentraciones de los diversos puntos de muestreo, que se puede observar en la concentración de As, Cu, Cd, Hg,

Pb y *Zn* agrandan el agua debajo de la confluencia de los ríos provenientes de la mina.

Bermudez (2010), precisa que se entiende por contaminación del medio hídrico o contaminación del agua a la acción o al efecto de introducir materiales o inducir condiciones sobre el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación a sus usos posteriores o sus servicios ambientales.

Rivera & Rondan (2009), afirman que los ríos circundantes y que evacuan sus aguas a la cuenca hidrográfica del Lago Titicaca, en el sector boliviano, el nivel de contaminación con metales se elevó hasta en 2000 % entre 2003 y 2007. El *Pb* subió en ese porcentaje y el *As* en 1000 % más, principalmente en la bahía Cohana, que también sufre por elementos orgánicos. En los últimos 4 años se registraron incrementos de 10 veces en el caso de *As* y de 20 veces en el *Pb*, provenientes de la actividad minera y metalúrgica que se desarrolla en la zona.

Paredes (2013), en su artículo concluye, que se encontraron como valores máximos de plomo dentro del rango de 0.515 mg/L-0.35 mg/L en Samne y Shirán (rio Moche) superando los límites permisibles en la categoría IV de los estándares de calidad. Asimismo, se encontró que el valor máximo para Cadmio (*Cd*) fue de 0.009 mg/L en Samne y Shirán, estimando levemente fuera del límite permisible por la categoría IV de los estándares de calidad ambiental para Aguas (ECAs).

Juárez (2006), indica en su investigación referida a la contaminación del río Rímac por metales pesados y su impacto en la agricultura del Cono Este de Lima Metropolitana, que los metales de más alto riesgo para el ecosistema son el Plomo, Arsénico y Cadmio. Los mismos que son muy fáciles de ser bioacumulados sobre todo en las hortalizas cultivadas en el mencionado sector.

1.1.3 Actividad minera en el ámbito local

Carnegie Amazon Mercury Project - Proyecto CAMEP (2014), reveló que de 65 personas evaluadas en la comunidad de Maizal (población indígena en contacto inicial), todos dieron positivo a la contaminación por mercurio y solo tres niños estuvieron por debajo de la tolerancia biológica que indica la Organización Mundial de la Salud (OMS). El informe señala que todos los adultos tenían altos contenidos

de mercurio, pese a que la actividad minera ilegal está lejos del Manu, a un día de camino en un bote rápido sobre el río Madre de Dios. El documento “Conservación y uso sostenible de ecosistemas para la provisión de servicios ecosistémicos” del Ministerio del Ambiente, informa sobre el problema de la contaminación por mercurio en el Lago Titicaca y La Rinconada, en el distrito de Ananea, en Puno. “Estudios científicos sobre mercurio en peces, aguas superficiales y sedimentos en la cuenca del río Ramis y el Lago Titicaca, desarrollados entre el 2001 y 2003, evidencian concentraciones altas de mercurio en varias especies (pejerrey y carachi) que habitan en el lago”, señala el informe.

Ttito (2008), demuestra en su estudio que el análisis de las pruebas de absorción de metales pesados de las aguas afluentes, del río Ramis de la cuenca del Lago Titicaca, se concluye que es factible utilizar el caparazón de moluscos como una tecnología limpia para la descontaminación de aguas provenientes de fuentes mineras.

Salas (2009), en su investigación sobre los niveles de contaminación por metales pesados en la zona de Ananea de la cuenca del río Ramis; se han obtenido valores de: As, Cu, Cr, Pb y Zn los mismos que se encuentran en los meses de estiaje por encima de los límites máximo permisibles, mientras que el Cd y Hg se mantienen tanto en las épocas de lluvia y estiaje por debajo de los límites máximo permisibles, de acuerdo a la RD-01-2010-MINEM.

Ferro (2009), al referirse a la contaminación hídrica causada por actividad minera informal ubicada en los alrededores del distrito de Ananea – Puno, concluye que el impacto negativo sobre las aguas del Río Ramis se hace evidente por la colmatación de las tomas y canales de riego que inciden en la calidad disminuida de los productos agropecuarios; haciendo notar además la inexistencia de la gestión integral de los recursos hídricos por la ausencia de espacios de concertación.

Apaza (2015), sostiene que la concentración inicial de los metales Pb (0.2889 mg/l), Zn (2.38 mg/l) presentes en las aguas del río Torococha, superan la ley general de aguas en su categoría 3, donde para Pb es (0.05) y el Zn es (2.00 mg/l).

Lobato (2013), afirma que debido al aumento de la práctica de la minería informal en el área los sectores de Ananea, Cerro Lunar y La Rinconada, se han ido disminuyendo cada vez las zonas de terreno agrícola, así como por un incontrolable

manejo de residuos sólidos, contaminación del agua, contaminación del aire, contaminación de suelos, eliminación de la flora y fauna acuática en el entorno del río Ramis, por tanto, afectando negativamente a la biodiversidad. Las comunidades y pobladores del entorno de la cuenca carecen de agua potable y sistemas de redes de desagüe y alcantarillado, a su vez en dichos centros poblacionales existen botaderos informales y a cielo abierto de residuos sólidos, estos residuos son quemados y en su mayoría al estar en contacto con el ambiente éstos se descomponen generando así la contaminación microbiológica, creando y aumentando los focos infecciosos que afectan y dañan la salud del poblador ribereño. La cuenca baja del río Ramis a través de los años se ha ido deteriorando, debido a las diferentes actividades y daños causados por la minería artesanal e informal, siendo por ello que el poblador ribereño cada vez avance o acelere hacia la transformación del agro a lo urbano y urbano-marginal, sumado a la ausencia de planificación urbana, se ha venido degenerando y deteriorando los ecosistemas naturales de su entorno.

Jordán *et al.* (2006), en un estudio de niveles de metales pesados en agua, sedimento y organismos durante el crucero de caracterización bio-ecológica de la zona litoral del Lago Titicaca en áreas seleccionadas, se obtuvo la concentración media de Pb total en el Lago Titicaca superó lo que actualmente estipula el Ministerio del Ambiente (1 µg/l). El valor más elevado de As total se registró en la EP3-8.

Guzman & Henostroza (2009), en su investigación afirman que la concentración media de As total en aguas de los ríos adyacentes y concurrentes al Lago Titicaca, superan lo que actualmente estipula el MINAM (10 µg/l), en cambio los valores de Cd total en agua fueron bajos.

Chata (2015), en su estudio señala, que las concentraciones de mercurio en el río Coata fueron inferiores a 0.0002 mg/l, la concentración promedio de arsénico fue 0.048 mg/l, en el plomo la concentración promedio fue de 0.014 mg/l y en el cadmio los resultados fueron inferiores a 0.0005 mg/l, donde se demuestra que ninguno de los metales pesados analizadas en muestras de agua supera los estándares nacionales de calidad ambiental para bebida de animales y riego de vegetales de consumo crudo.

Casilla (2014), en su investigación que abarcó alrededor de 35 km de tramo en el río Suchez a partir de su desembocadura, con un rango altitudinal entre los 3 904 y 3 844 m.s.n.m. caracterizaron los cuerpos de agua en función a su contenido de sólidos

suspendidos, conductividad eléctrica, iones mayores (sulfatos, sodio, potasio, calcio y magnesio) y pH. En las aguas del río Suchez encontraron que los sólidos suspendidos son bajos (< a 5 mg/l), con tendencia a incrementar a medida que hay menos pendiente, en la desembocadura; sin embargo, los sólidos totales alcanzan los valores más elevados en relación a otras zonas del sector 240 mg/l. El anión más importante son los sulfatos (32.0-24.0 mg/l) y el calcio es el catión predominante (24.0-16.0 mg/l), otros iones cuantificados fueron sodio (6.4-6.9 mg/l) y magnesio (5.1-3.4 mg/l).

1.1.4 El agua

El agua contiene una gran variedad de sustancias y compuestos disueltos o en suspensión; lo que nos permite clasificar el agua en cuatro grupos: agua atmosférica, agua dulce superficial, agua subterránea y agua marina (Domènech & Peral, 2006).

Los elementos que ejercen roles relevantes de manera en que las aguas naturales puedan adquirir químicamente su composición, son la acción de los gases en la disolución, el pH en el agua, la solubilidad, los minerales, el efecto de ion en común, el efecto salino, la tendencia al establecimiento del equilibrio químico, el ORP del medio, intercambio y absorción iónica del suelo, y su capacidad de absorción (Fagundo & Gonzales, 2005).

El agua es un disolvente universal, por lo tanto, es tendente a formar reacciones con otros elementos, entre ellos son los metales pesados. El agua contaminada es aquella que se presenta cuando una sustancia o condición altera su estado o composición. El agua es un elemento que existe en abundancia sobre la tierra. Se presenta en tres estados y son: solido (hielo líquido, ríos, arroyos y mares), y gaseoso (nubes, niebla). Desde el punto de vista químico, el agua en estado puro es un compuesto binario de oxígeno e hidrógeno. El agua, ya sea en cualquiera de los estados, es primordial para (animales, generación eléctrica, riego, recreación, industria, consumo humano, turismo, etc.), por eso es primordial para asegurar la sustentabilidad de los ecosistemas de la tierra (Aguilar & Iza, 2009).

1.1.5 Calidad del agua

A nivel mundial, las perturbaciones debidas a los contaminantes acuáticos se han convertido en un problema grave (Hofmann & Todgham, 2010). Patógenos, metales pesados y toxinas son los aspectos más importantes a considerar (Madera, 2006).

La buena calidad de agua se considera cuando está exenta de sustancias y microorganismos que sean peligrosos para los consumidores y estén libres de sustancias que transmitan sensaciones desagradables para el consumo, como el olor, color, sabor o turbiedad. La significación de la calidad del agua radica en que el agua es uno de los principales medios que transmite muchas enfermedades que afectan a los seres humanos. La calidad del agua es relativa y solo tiene importancia universal. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede ser no apta para la natación y un agua útil para el consumo humano y puede consistir inapropiado para la industria (Lenntech, 2004).

La calidad del agua se define en función de un conjunto de características variables fisicoquímica del agua o microbiológicas, así como de sus valores de aceptación o de rechazo. A medida que la población mundial continúa desplazándose hacia las ciudades, los sistemas hidrológicos urbanos se están convirtiendo en impulsores cada vez más importantes de la calidad general del agua (Sarah *et al.*, 2019).

1.1.6 Contaminación en cuerpos de agua

Estos metales y compuestos tienen conocidos efectos dañinos para la salud del hombre, tales como lesiones a la piel, músculos y huesos, daños en el sistema nervioso central, cardiovascular, respiratorio y digestivo, trastornos del comportamiento, cáncer, entre otros (CooperAcción, 2016). Los contaminantes como metales pesados son especialmente preocupantes en los ecosistemas acuáticos debido a su toxicidad y capacidad de bioacumulación. Estos deterioran la calidad de vida del agua, causan daños tanto a la flora como a la fauna y son considerados como la principal causa de contaminación acuática (Abdelmegui *et al.*, 2002). La gestión de plaguicidas para proteger la calidad del agua sigue siendo un importante desafío mundial. Históricamente, a pesar de los marcos regulatorios destinados a prevenir, minimizar y gestionar el movimiento de plaguicidas fuera del sitio, múltiples generaciones de ingredientes activos de plaguicidas han creado un ciclo

aparentemente interminable de contaminación del agua por plaguicidas tanto en cuencas agrícolas como urbanas.

Los desarrollos industriales intensivos en las últimas décadas han aumentado la concentración de metales pesados en los ecosistemas acuáticos, afectando a los peces y especies que viven en ellos (Sb, 2014).

Los contaminantes de los cuerpos de agua que perjudican derechamente a los peces son: pH, presión de oxígeno, temperatura, alcalinidad y dureza del agua; contaminantes absorbentes o reflectantes, como restos carbonosos, barro, desechos de papel y metales pesados. Las intoxicaciones más frecuentes se encuentran en el plomo, mercurio, cobre zinc, cromo, hierro, cadmio y magnesio, los cuales se introducen en los sistemas acuáticos mediante residuos de las industrias y desagües. El interés de investigar los niveles de contaminación de metales pesados y metaloides en los ambientes acuáticos radica en que no son desagradables, son bioacumulables (Wright, 2005).

1.1.7 Residuos mineros e impactos ambientales

Las propiedades de los metales disueltos en agua dependen en gran medida de la naturaleza de la especie disuelta del metal, es por ello que la especiación de los metales juega un papel crucial en la química ambiental de las aguas naturales y residuales (Manahan, 2006).

Los recursos hídricos se encuentran en peligro, los más importantes y estratégicos están sometidos a un alto grado de vulnerabilidad, por negligencia, falta de conciencia y desconocimiento de la población acerca de la obligación de protegerlos y la carencia de autoridades, profesionales y técnicos, a los que les corresponde cuidarlos y utilizarlos (Reynolds, 2002).

1.1.8 Contaminación de ríos

Un agua está contaminada cuando se ve alterada en su composición o estado directa o indirectamente, como consecuencia de la actividad humana, de tal modo queda menos apta para todos los usos a que va destinada para los que sería apta en su calidad natural (C.E.E. de las naciones unidas 1961, citado por (Orozco, 2003).

La seguridad del agua es una de las principales preocupaciones para el bienestar social, y se han producido cambios drásticos en la disponibilidad de agua dulce como resultado de los usos humanos y la gestión del paisaje.

El río que transporta agua es el resultado de lo que acontece en una cuenca (la vegetación, el clima y las actividades humanas) y, asimismo es el resultado de su viaje a través de la vegetación, suelo y áreas urbanas. Además, transportan sales, sedimentos y organismos, y las complejas reacciones químicas y biológicas que se producen en los cauces fluviales y en parte son responsables de las características químicas del agua retenida en los grandes reservorios, como lagos y océanos (Elosegi & Sabater, 2003).

1.1.9 Normatividad de Aguas

La protección de los recursos de agua es regulada en el Perú por la Ley de Recursos Hídricos, la presente Ley regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta. Se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable. La presente Ley tiene por finalidad regular el uso y gestión integrada del agua, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, así como en los bienes asociados a esta (Ley N° 29338-2009, Ley de Recursos Hídricos).

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el agua están amparados por el presente Decreto Supremo que establece los niveles de concentración de los elementos, sustancias, parámetros físicos y químicos y biológicos, presentes en el agua en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos que no represente riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Asimismo, esta norma compila las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo (D.S. N° 004-2017-MINAM).

1.1.10 Parámetros físico-químicos

1.1.10.1 Temperatura

Es un indicador de la calidad del agua, que influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del recurso hídrico como el pH, déficit de oxígeno, conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas. Tiene una gran importancia, de forma que un aumento de esta modifica la solubilidad de las sustancias, aumentando la de los sólidos disueltos y disminuyendo la de los gases. La actividad biológica aproximadamente se duplica cada diez grados (ley del Q10). Un aumento anormal (por causas no climáticas) de la temperatura del agua, suele tener su origen en el vertido de aguas utilizadas en procesos industriales de intercambio de calor (Casilla, 2014).

Por otro lado, la temperatura es un factor abiótico que regula procesos vitales para los organismos vivos, así también afecta como las propiedades químicas y físicas de otros factores abióticos en un ecosistema. Antes de discutir la naturaleza de dichas interacciones, es necesario una distinción entre los conceptos de temperatura y calor. La distinción entre estos dos conceptos es a menudo confusa, llevándonos a intercambiarlos erróneamente. El término calor implica energía transferida desde un cuerpo o sistema hacia un ambiente inmediato o viceversa (Fuentes & Massol, 2002).

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, por ejemplo, el aumento de la temperatura del agua puede provocar cambios en las especies piscícolas.

El flujo de energía procede siempre de un área de mayor concentración a un área de menor concentración, en conformidad con la segunda ley de termodinámica. Del otro lado, la temperatura es un parámetro que nos revela que existe un contraste o gradiente de energía que provoca el transferimiento de calor. Es probable que los humedales y cuerpos de agua experimenten niveles freáticos más altos y temperaturas más cálidas si se ven afectados por la mortalidad de cenizas a gran escala y otros factores de cambio global.

1.1.10.2 Conductividad

La conductividad eléctrica (CE) es la capacidad del agua de conducir electricidad. Está relacionada con la presencia de sales en solución, que mediante su disociación es capaz de transportar la energía eléctrica si se somete a un campo eléctrico. Según Dorronsoro (2001) la conductividad eléctrica expresa la concentración total de sales solubles contenidas en las aguas. La conductividad eléctrica se puede expresar en diferentes unidades (Siemens/cm, mhos/cm) y sus equivalencias son las siguientes: $1000 \mu\text{S/cm} = 1 \text{ milimhos/cm}$ (Padilla, 2017).

La conductividad expresa salinidad, presencia considerable de sales en las aguas y que afecta la vida acuática; muchas de estas sales disueltas son compuestas que producen partículas eléctricamente cargadas (iones). Este indicador resultó admisible en todas las muestras analizadas, por lo que no existen evidencias de niveles de salinización de las aguas (Gómez *et al.*, 2010).

1.1.10.3 pH

Es la medida de iones hidrógeno en el agua, con escala en el rango de 0 a 14, siendo neutro el $\text{pH} = 7$. Es una escala logarítmica, es decir cada unidad de pH representa una potencia de 10 en acidez. Mediciones por encima de 7 son básicas (alcalinas), y por debajo de 7 son ácidas. Los puntos críticos para mortandad de peces están en el rango aproximado de $\text{pH} = 4$ ó $\text{pH} = 11$ (Casilla, 2014).

El valor del pH en el agua es utilizado para saber su tendencia incrustante o corrosiva, y en las plantas de tratamiento de agua. El pH del agua puede obstaculizar en los resultados al momento de implementar métodos de desinfección y es un indicativo importante al momento de decidir qué método utilizar (Gómez *et al.*, 2010).

1.1.10.4 Turbiedad

La turbidez es una medida del grado en el que el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión; mide la claridad del agua. Es la medida de cuántos sólidos (arena, arcilla y otros materiales) hay en suspensión en el agua mientras más sucia parecerá que está, más alta será la turbidez. Las partículas suspendidas también ayudan a la adhesión de metales pesados y muchos

otros compuestos orgánicos tóxicos y pesticidas. Hay varios parámetros que influyen en la turbidez del agua. Algunos de estos son: partículas de suelo (tierra) suspendidas en el agua de la erosión, sedimentos depositados en el fondo, descargas directas a cuerpos de agua (desagües), escorrentía urbana (Gonzales, 2011).

La turbidez es una cualidad óptica del agua causada por sólidos en suspensión que dan la apariencia de "turbidez" (Stevenson & Bravo, 2019).

1.1.11 Parámetros inorgánicos-Metales pesados

Refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una densidad por lo menos cinco veces mayor que la del agua y sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas. Muchas definiciones han propuesto basarse en la densidad, otras en el número atómico o peso atómico, y algunas en sus propiedades químicas o de toxicidad. El término metal pesado es considerado como una "mala denominación" en un informe técnico de la UIQPA (IUPAC) debido a su definición contradictoria y su falta de "bases de coherencia científica" (López *et al.*, 2003). Existe un término alternativo metal tóxico, para el cual tampoco existe consenso de su exacta definición. Sin embargo, hay una serie de elementos que, en alguna de sus formas pueden representar un serio problema medioambiental y es común referirse a ellos con el término genérico de "metales pesados" (Oyarzún *et al.*, 2011).

Los metales se definen en semejanza con sus propiedades físicas en fase sólida como: alta reflectividad, alta conductividad eléctrica y conductividad térmica con propiedades mecánicas como; ductilidad y fuerza. Otra descripción sobre toxicidad, se basa en sus propiedades cuando están en solución: "metal es un elemento que en bajo contextos biológicos puede reaccionar perdiendo uno o más electrones para constituir un catión". (Cornelis & Nordberg, 2007).

Los metales pesados presentes en agua son varias y habitualmente contaminan masas de agua por la actividad humana, causando problemas al ambiente y la población. Las aguas procedentes de las industrias como; la minería de recubrimientos metálicos, fundidoras, entre otras, contaminan el agua con diversos metales. Por ejemplo, las sales de metales como el zinc, mercurio, plata y cadmio, son estrechamente tóxicas para la flora, fauna terrestres y acuáticas (Apaza, 2015).

1.1.11.1 Aluminio (Al)

No obstante, la solubilidad del aluminio en agua estrechamente es baja, la acidificación del suelo, por consecuencia de las lluvias ácidas, incrementa la salida del aluminio presente en los sedimentos a los cuerpos de agua. Asimismo, se ha decidido que cuando este elemento alcanza a las aguas superficiales y subterráneas se observa una depreciación de peces y anfibios, entre otros efectos, a que los iones de aluminio pueden rebelarse con los fosfatos, impidiendo su disponibilidad para los organismos acuáticos. (Fernández *et al.*, 2012).

El aluminio es el elemento metálico exuberante en la tierra y en la luna, pero no se encuentra de manera independiente en el ambiente. Se encuentra distribuido en las plantas y en la totalidad de las rocas, referente en las rocas ígneas, que contienen aluminio en forma de silicato. Cuando estos minerales se disuelven, según las facultades químicas, es viable impulsar el aluminio en forma de arcillas minerales, hidróxidos de aluminio o ambos. En esas circunstancias se forman las bauxitas que sirven de materia prima esencial en la producción de aluminio (Peris, 2005).

1.1.11.2 Arsénico (As)

El arsénico es la causa más común de intoxicación aguda por metales pesados en los adultos. Aunque el arsénico no es un metal, sino un metaloide, básicamente significa que tiene propiedades de metal y no metal. Evaluaron la contaminación de las aguas de la cuenca alta, media y baja del río Moche (Trujillo, Perú), y en cuatro sectores de sus márgenes para suelos y cultivos, los metales pesados más representativos en el agua se presentaron en el Cuenca Alta durante el año de 1980: hierro (557,500 ppm), plomo (100,375 ppm), cadmio (4,550 ppm), cobre (6,900 ppm), zinc (262,900 ppm) y arsénico (9,000 ppm); mientras que en los suelos las mayores concentraciones se encontraron en la margen derecha de la Cuenca Baja para el año 1980: hierro (83,400 mg/kg); plomo (0,820 mg/kg); cadmio (0,012 mg/kg); cobre (1,240 mg/kg); zinc (0,380 mg/kg) y arsénico (0,016 mg/kg); en relación con la acumulación de metales en los cultivos, el hierro (0,6525 mg/kg) fue el de mayor predominio, siendo la yuca (*Manihot esculentus*) el cultivo donde se presentó (Huaranga *et al.*, 2012).

El arsénico afecta a la sangre, los riñones y el centro nervioso, el digestivo y los sistemas de la piel, con consecuencias como: dolor abdominal, acrocianosis y necrosis, anemia, anorexia, apatía, ceguera progresiva, cólicos, demencia, dermatitis, diarrea, mareos, somnolencia, edema, eccema, inhibidor de la enzima, fatiga, fiebre, pérdida de líquido, olor a ajo en el aliento o en las heces, el sistema gastrointestinal, el bocio, la pérdida del cabello, dolor de cabeza, la hemólisis, aumento de la pigmentación hiperqueratosis de palmas y plantas, el herpes, la hiperpigmentación, ictericia, daño o insuficiencia renal, la disfunción del hígado, los pulmones, cáncer de pulmón y deterioro mental, la coordinación motora, náuseas, trastornos nerviosos, palidez, parestesias, parálisis, enfermedades respiratorias, salivación excesiva perforación del tabique, sensorio neuropatía, trastornos de la piel, espasmos, estupor, estomatitis, constricción de la garganta, vértigo y vómitos (López *et al.*, 2003).

1.1.11.3 Cadmio (Cd)

El cadmio mayoritariamente proviene de la refinación del zinc. Es un producto residual o un subproducto del zinc. El cadmio está presente principalmente en la corteza terrestre, puesto que se absorbe con mucha fuerza por la materia orgánica que forma el suelo. Este hecho en sí, conforma el mayor peligro, porque estos depósitos de cadmio absorbidos por la materia orgánica del suelo, pasa a las plantas y muchas son parte de la dieta humana o animal en forma de metales pesados peligrosos. Los alimentos más susceptibles de estar contaminados por cadmio son los champiñones, los mariscos, los peces de agua dulce, las algas secas, el agua potable, etc. Los fumadores (activos y pasivos) están muy expuestos al cadmio. También, personas que viven cerca de vertederos de basuras o fábricas que liberan cadmio a la atmósfera. Trabajadores de refineries de metal también pueden estar expuestos al cadmio y a otros metales pesados. El cadmio puede causar lesiones renales importantes, es un metal pesado que lo transporta la sangre y se acumula en los riñones obstaculizando la filtración de tóxicos. El cadmio afecta al sistema nervioso central (SNC), el sistema inmunitario y la integridad del ADN de las células. Una alta concentración de cadmio provoca síntomas como diarreas, vómitos, dolores de estómago y debilidad en los huesos (López *et al.*, 2003).

1.1.11.4 Cromo (Cr)

Es un contaminante común de las aguas superficiales y las aguas subterráneas a causa de su aparición en la naturaleza, así como su utilización en la industria de la galvanoplastia como agentes de limpieza, en la fabricación de catalizadores, en los materiales refractarios y en lodos de perforación que producen gran cantidad de sales de Cr (Babula *et al.*, 2008).

Después de ser respirado el Cromo (VI) puede causar irritación de la nariz y sangrado de la nariz. Otros problemas de salud que son causado por el Cromo (VI) son: Erupciones cutáneas, malestar de estómago y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, alteración del material genético y cáncer de pulmón. En forma de cromo (III) es un nutriente esencial y es relativamente no-tóxico para el hombre; sin embargo, el Cromo (VI) es un peligro para la salud de los humanos, mayoritariamente para la gente que trabaja en la industria del acero y textil. En entornos naturales e incremento de las actividades humanas, la actividad del agua se ve deteriorada, traduciéndose en entornos ambientales con problemas críticos del agua.

1.1.11.5 Hierro (Fe)

Es un metal extraordinariamente común, se encuentra en grandes cantidades en suelos y rocas, normalmente de carácter insoluble. Sin embargo, debido a un número de complejas reacciones que suceden de carácter natural en el suelo, se pueden constituir formas solubles de hierro que pueden contaminar cualquier agua que lo atraviese. El hierro en exuberancia es un fenómeno común de las aguas subterráneas, fundamentalmente en aguas subterráneas blandas. Es el cuarto elemento más exuberante en la corteza terrestre (5%). Es un metal maleable, tenaz, de color gris plateado y magnético (Peris, 2005).

1.1.11.6 Manganeso (Mn)

El manganeso es exuberante en la corteza terrestre. Entre sus combinaciones naturales se encuentran silicatos, óxidos y carbonatos: pirolusita o manganesa, rodocrosita o dialoguito son las más importantes; otras menos importantes son hausmannita, psilomelana (manganomelana), manganita, rodonita, braunita [3Mn₂O₃.MnSiO₃], hübnerita (MnWO₄). Las descargas de manganeso de

efluentes industriales han aumentado la contaminación por manganeso en las fuentes de agua. Sus concentraciones de más de 0,2 mg / L en las fuentes de agua podrían tener impactos negativos en la salud humana y el ecosistema acuático (Rudi *et. al.*, 2005).

Es un elemento natural que se encuentra en diferentes tipos de rocas. El manganeso no tiene olor ni sabor particular. El manganeso puro es un metal color plateado; y no ocurre en el ambiente en forma puro. Sin embargo, ocurre mezclado con otras sustancias como oxígeno, azufre y cloro. Estas formas (llamadas compuestos) son sólidos que no se evaporan, forman pequeñas partículas de polvo del material sólido y pueden estar suspendidas en el aire. Algunos compuestos de manganeso se disuelven en el agua y en bajos niveles ocurren normalmente en arroyos, lagos y en el océano. El manganeso (Mn) es un micronutriente esencial con muchas funciones en el metabolismo de las plantas. El manganeso actúa como activador y cofactor de cientos de metaloenzimas en las plantas (Schmidt & Husted, 2019).

1.1.11.7 Mercurio (Hg)

En el sistema TDPS, se registraron concentraciones superiores a las normales, para consumo humano de mercurio y arsénico. En el pejerrey capturados en la bahía de Puno se encontraron concentraciones de 0.4 ppm de mercurio (Chávez & Delgadillo, 2011).

Uno de los mejores ejemplos de crecimiento de efectos tóxicos de los metales es el mercurio dependiendo de la forma química en que se encuentre. Las principales formas en las que se presenta una trascendental toxicidad son en estado elemental y como compuestos organomercuriales, de los que cabe destacar el metilmercurio. Más susceptibles al mercurio son los niños que los adultos, se pueden producir daños en el sistema digestivo, nervioso y en el riñón. En mujeres embarazadas puede recorrer de la madre al feto, donde se pueden acumular y causar daño cerebral, retardo mental, ceguera, incapacidad para conversar, entre otros. Asimismo, se puede ceder al niño a través de la leche materna (Reyes *et al.*, 2016).

1.1.11.8 Plomo (Pb)

El plomo es un elemento tóxico que se acumula en el organismo animal, según el nivel y duración de la exposición, y puede afectar múltiples sistemas orgánicos. Los signos clínicos de intoxicación en mascotas en su mayoría están relacionados con el sistema gastrointestinal y nervioso central, envenenamiento crónico, signos gastrointestinales con bajas concentraciones de plomo. Los signos clínicos más comunes durante la infección aguda son vómitos, diarrea, letargo, faltos de apetito, dolor abdominal, regurgitación, debilidad, convulsiones o ceguera. Además de la mencionada anteriormente, los estudios en animales han demostrado que el plomo produce tumores. Algunos alimentos destinados a los gatos que contengan ingredientes derivados de productos de mar que permiten la bioacumulación de metales pesados (Vildes et al., 1996).

El plomo es un tóxico bien conocido asociado con numerosas enfermedades crónicas. La reducción de las emisiones industriales, la pintura con plomo, el plomo en los alimentos y la prohibición del uso de gasolina con plomo en las carreteras redujeron efectivamente la exposición de los niños.

1.1.12 Parámetros Microbiológicos

Los Coliformes Totales pertenecen a la familia Enterobacteriaceae, se caracterizan por la capacidad de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas a una temperatura de incubación de $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$. Los Coliformes Totales son un grupo de microorganismos que comprenden varios géneros de la familia Enterobacteriaceae. Este grupo de microorganismos se encuentra ampliamente difundido en la naturaleza, agua y suelo, además, son habitantes normales del tracto intestinal del hombre y animales de sangre caliente. El grupo de bacterias coliformes totales comprende todos los bacilos gram-negativos aerobios o anaerobios facultativos, oxidasa negativa, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de gas en un lapso máximo de 48 h a $35^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$. Este grupo está conformado por cuatro géneros principalmente: Enterobacter, Escherichia, Citrobacter y Klebsiella, también en algunos casos se puede considerar a Serratia (García, 2006).

Los coliformes fecales (llamados también termotolerantes) pueden crecer a temperaturas mayores ($44.5 \pm 0.2^\circ\text{C}$) en presencia de sales biliares. Comprenden

principalmente *Escherichia coli* y algunas cepas de *Enterobacter* y *Klebsiella*. Los Coliformes son principalmente de origen fecal y más resistentes que las bacterias patógenas intestinales; son indicadores de contaminación fecal. Son los coliformes totales más próximamente relacionados con la contaminación fecal. Estas bacterias cumplen todas las características definidas para los coliformes totales, pero, además:

- Crece con lactosa y la fermenta a $44,5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ produciendo ácido y gas en las primeras 48 horas de incubación.
- Son “coliformes termotolerantes”. La contaminación fecal de los cuerpos de agua debido a los desechos humanos y animales mal gestionados es un problema generalizado que puede ser particularmente costoso de abordar, especialmente si las estrategias de mitigación son ineficaces para reducir suficientemente el nivel de contaminación.

1.1.13 Contaminación por sustancias inorgánicas-metales pesados

Los metales pesados se encuentran en forma natural en la corteza terrestre. Estos se pueden convertir en contaminantes si su distribución en el ambiente se altera mediante actividades humanas.

a) Origen de los metales pesados en los sistemas acuáticos

En los sistemas acuáticos continentales (ríos, lagos, embalses, etc.) la contaminación se produce, bien por la presencia de compuestos o elementos que normalmente no estarían sin la acción del hombre, o por un aumento o descenso de la concentración normal de las sustancias ya existentes debido a la acción humana (Mokarram *et al.*, 2020).

b) Origen natural

La contaminación por metales pesados ha surgido debido a la actividad antropogénica, que es la principal causa de contaminación, principalmente debido a la minería del metal, la fundición, las fundiciones y otras industrias que se basan en metales, la lixiviación de metales de diferentes fuentes como vertederos, vertederos de desechos, excrementos, estiércol de ganado y pollo, escurrientías, automóviles y obras viales. El uso de metales pesados en el campo agrícola ha sido la fuente secundaria de contaminación por metales pesados, como el uso de pesticidas, insecticidas, fertilizantes y más. Las causas naturales también pueden aumentar la contaminación por metales pesados, como la actividad volcánica, la

corrosión de los metales, la evaporación de metales del suelo y el agua y la resuspensión de sedimentos, la erosión del suelo, la meteorización geológica (aguas, sedimentos y biota).

c) Origen antropogénico

Se entiende por contaminación de origen antropogénico a la intervención humana en el ciclo biogeoquímico de los metales pesados. Actualmente es difícil encontrar una actividad industrial o un producto manufacturado en los que no intervenga algún metal pesado. las principales fuentes antropogénicas incluyen emisiones industriales, minería, fundición y actividades agrícolas como la aplicación de pesticidas y fertilizantes fosfatados. La combustión de combustibles fósiles también contribuye a la liberación de metales pesados como el cadmio (Cd) al medio ambiente (Ali *et al.*, 2019).

d) Origen agropecuario

Los orígenes agrícolas de los metales pesados en las aguas continentales son los causados por la lixiviación de los terrenos de cultivo en los que se ha producido una acumulación previa de dichos elementos debido al uso o abuso de pesticidas, fertilizantes y desechos orgánicos susceptibles de ser utilizados como abono. La contaminación por sustancias tóxicas es una preocupación ambiental crítica que ha planteado graves amenazas para la salud humana y la producción agrícola. Los metales pesados y los pesticidas encabezan la lista de tóxicos ambientales que ponen en peligro la naturaleza. Esta revisión se centra en el efecto tóxico de los metales pesados (cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu) y zinc (Zn)) y plaguicidas (insecticidas, herbicidas y fungicidas) que influyen negativamente en el ecosistema agrícola (plantas y suelo) y salud humana (Alengebawy *et al.*, 2021).

e) Origen industrial

Una de las principales fuentes de metales pesados en los sistemas acuáticos son las aguas residuales procedentes de las industrias que utilizan los cauces fluviales como vertederos. A menudo estos vertidos no son gestionados, no se someten a procesos de depuración o su tratamiento es inadecuado (Rosas, 2001). Los contaminantes pueden encontrarse en forma disuelta o en suspensión, y ser orgánicos e inorgánicos por su naturaleza química (López, 2006).

f) Origen doméstico y urbano

Las aguas residuales de las ciudades son las portadoras de los metales pesados de origen doméstico. Los vertidos domésticos transportan una amplia gama de metales contenidos en las excreciones humanas, en los restos de los alimentos, en las aguas de lavado, etc. La actividad urbana es también una fuente de contaminación fundamentalmente por la generación de residuos sólidos urbanos, las emisiones de los vehículos a la atmosfera o a la producción de lodos en las depuradoras de aguas residuales. Las emanaciones gaseosas de los automóviles, no sólo afectan a las ciudades, sino que también lo hacen a las zonas limítrofes de autopistas y carreteras. Los metales así originados incluyen al Cd, Cu, Ni, Pb y Zn siendo el Pb el más abundante proveniente de la combustión de la gasolina y el Zn debido al desgaste de los neumáticos. Estos metales contenidos en las partículas de los humos de combustión y las originadas por el desgaste de neumáticos, pueden llegar a alcanzar los sistemas acuáticos de dos maneras: directamente (precipitación de partículas, por la lluvia) e indirectamente por la lixiviación de los terrenos (calles, carreteras y zonas adyacentes donde previamente se produjo la deposición) debido a la escorrentía superficial de las aguas de tormenta y de los riesgos de las ciudades (Rosas, 2001).

1.1.14 Técnicas para la determinación de metales pesados

El empleo de la espectrofotometría de absorción atómica (EAA) es el método analítico de elección para el análisis de trazas de metales pesados y metaloides en diversas matrices (fluidos biológicos, alimentos, filtros de captación ambiental, etc.). Esta técnica, la absorción atómica, es una técnica capaz de detectar y determinar cuantitativamente la mayoría de los elementos de la tabla periódica. Sus campos de aplicación son, por tanto, muy diversos. Este método se puede aplicar para la determinación de ciertos metales tales como: antimonio, cadmio, calcio, cesio, cromo, cobalto, oro, plomo, níquel, entre otros. Se emplea en el análisis de aguas, análisis de suelos, bioquímica, toxicología, medicina, industria farmacéutica, industria alimenticia, industria petroquímica, etc. Este método consiste en la medición de las especies atómicas por su absorción a una longitud de onda particular (Rodríguez & Avila, 1997).

1.2 Antecedentes

1.2.1 Arsénico

El Arsénico es un metaloide de olor aliáceo se obtiene como subproducto en la producción de metales como cobre y plomo. Tiene la capacidad de formar componentes orgánicos e inorgánicos en el medio ambiente y el cuerpo humano, el arsénico inorgánico tiene mayor toxicidad (MINSA, 2011).

El arsénico se utiliza industrialmente como agente de aleación, para el procesamiento de vidrio, pigmentos textiles, papel, adhesivos metálicos, protectores de la madera y municiones, el arsénico se emplea asimismo en los procesos de curtido de pieles y en grado más limitado en la fabricación de plaguicidas, aditivos para piensos y productos farmacéuticos (Baird & Cann, 2014).

a) Toxicidad

El arsénico se absorbe por vía digestiva, respiratoria e incluso por la piel, la vía oral es la principal ruta de exposición del arsénico, por ingesta de agua o alimentos en el organismo humano, los compuestos absorbidos se almacenan principalmente en el hígado, bazo, pulmón, piel y tejido nervioso, se fijan a los grupos Sulfhidrilo de las proteínas tisulares e inhibe diversos mecanismos enzimáticos, en particular la fosforilación oxidativa, los compuestos arsenicales son muy tóxicos, el arsénico se incorpora a las uñas, cabello y piel. Aunque el arsénico inorgánico en el agua potable en niveles altos (100 a 1000 $\mu\text{g} / \text{L}$ [ppb]) aumenta el riesgo de cáncer (piel, vejiga, pulmón y posiblemente próstata), la evidencia en niveles más bajos es limitada.

b) Intoxicación aguda

Los síntomas y signos inmediatos de intoxicación aguda por arsénico incluyen vómitos, dolor abdominal y diarrea. El arsénico es una sustancia química que se encuentra de forma natural en el medio ambiente. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) declaró al arsénico como carcinógeno humano de clase 1 (Schaefer et al., 2021)

c) Intoxicación crónica

Los primeros síntomas de la exposición prolongada a altos niveles de arsénico inorgánico (través del consumo de agua y alimentos contaminados) se observan generalmente en la piel e incluyen cambios de pigmentación, lesiones cutáneas, callosidades en las palmas de las manos y las plantas de los pies (hiperqueratosis). Los niveles altos de arsénico (As) en los alimentos y el agua potable, o en algunas condiciones laborales, pueden precipitar la toxicidad crónica y, en algunos casos, el cáncer (Nurchi *et al.*, 2020).

1.2.2 Cadmio

El cadmio es un metal pesado de color plateado se genera como sub producto de zinc, plomo y cobre (MINSa, 2013).

Es utilizado en la industria para proteger contra la corrosión el fierro y el acero (galvanizado con cadmio), para aleaciones especiales. El sulfito de cadmio (amarillo) y el selenito de cadmio (rojo) se utilizan como componentes de pinturas para colorear cerámica y plásticos. Los plásticos y cerámicas de color intenso rojo y amarillo contienen cadmio. En la agricultura forma parte de fertilizantes fosforados y de pesticidas, uno de los principales usos del cadmio es como electrodo en las pilas nicad (níquel-cadmio) utilizadas en calculadoras y dispositivos similares contiene 5 gramos de cadmio, el cadmio y sus compuestos son vertidos a las aguas a través de los relaves mineros y desagües de las industrias. El cadmio absorbido con los alimentos, produce descalcificación de los huesos e insuficiencia renal, es uno de los mayores agentes tóxicos asociado a contaminación ambiental e industrial (Baird & Cann, 2014).

a) Toxicidad

El cadmio puede ingresar al organismo por las siguientes vías: inhalatoria, oral y dérmica. Por vía inhalatoria, la vía oral es la vía de mayor toxicidad, se da por ingesta de agua y alimentos contaminados; es un metal de transición tóxico no esencial que representa un riesgo para la salud tanto de los seres humanos como de los animales. Se produce de forma natural en el medio ambiente como un contaminante derivado de fuentes agrícolas e industriales (Genchi *et al.*, 2020).

b) Intoxicación aguda

Diarrea, náuseas, vómitos en ocasiones sanguinolentos, en las primeras horas después del consumo, sabor metálico, mialgias, cefaleas y salivación, insuficiencia renal aguda y alteraciones de la función hepática, acidosis metabólica. El cadmio es motivo de preocupación, ya que casi todas las personas de la población general están expuestas al metal a través del suministro de alimentos y la capacidad del elemento de acumularse en el cuerpo durante toda la vida (Schaefer et al., 2021).

c) Intoxicación crónica

Es considerado un carcinogénico, sin embargo, los mecanismos no están del todo claros, se asocia a cáncer de riñón y testículos, está vinculado con pérdida de peso, coloración amarilla de los dientes (cuello) e incremento de caries dental, anemia microcítica hipocrómica que no responde al tratamiento (Nava & Mendez, 2011).

1.2.3 Mercurio

El mercurio o azogue es un metal líquido blanco plateado, volátil a temperatura ambiente debido a su alta presión de vapor, convirtiéndolo en un contaminante óptimo por su capacidad para generar reacciones químicas en las que pueden participar microorganismos que lo utilizan en sus procesos energéticos, incorporándolas al medio ambiente en una transición de compuestos inorgánicos a orgánicos todas las formas de Hg se transforman en metil mercurio Hg²⁺ en el agua por reacción con O₂ el metil mercurio es hidrosoluble y liposoluble (Osores *et al.*, 2010).

El mercurio es usado ampliamente en amalgamas de mercurio, el promedio, cada dentista produce alrededor de un kilogramo de residuos de mercurio cada año los cuales dejan fluir por el desagüe al alcantarillado municipal, utilizado en la explotación de depósitos de oro donde se pierde cerca de un gramo de mercurio en el medio ambiente por cada gramo de oro producido también contienen los termómetros, en vacunas como preservantes, cosméticos, fungicidas, insecticidas, productos de limpieza, industria del papel, preservantes de semillas, pilas, baterías, computadoras y componentes electrónicos diversos, lámparas fluorescentes (Baird & Cann, 2014).

En los programas de desintoxicación se emplean alimentos con sustancias con afinidad al mercurio (alimentos ricos en azufre) sin embargo, en casos de intoxicación severa se tiene que recurrir a la hemodiálisis (Álvarez *et al.*, 2011).

a) Toxicidad

El mercurio puede ingresar al organismo por las siguientes vías: inhalatoria, oral y dérmica. La vía oral es la principal vía de exposición ya que se absorben del 90 al 95% en el tracto gastrointestinal. La biota marina ha sido confrontada con el calentamiento de los océanos y la contaminación por mercurio (Hg) durante muchas generaciones debido a las actividades humanas; sin embargo, los mecanismos moleculares para explicar sus efectos combinados no se comprenden bien (Bai & Wang, 2020).

b) Intoxicación aguda

La exposición de corto plazo a altos niveles de vapores de mercurio elemental puede causar efectos tales como, náuseas, vómito, diarrea, aumento de la presión sanguínea, reacciones alérgicas en la piel e irritación de los ojos. El mercurio, un metal pesado, se distribuye de forma ubicua en el medio ambiente, lo que resulta en una exposición permanente de bajo nivel en las poblaciones humanas. El mercurio se puede encontrar en tres formas químicas principales (elemental, inorgánica y orgánica) que pueden afectar el sistema inmunológico de diferentes maneras (Vas & Monestier, 2008).

c) Intoxicación crónica

Afecta el desarrollo neurológico del feto y provocando abortos, retraso mental o deficiencia neurótica con apariencia normal, deficiencia cardíaca, los niños presentan problemas de aprendizaje o de comportamiento “síndrome del bebé tranquilo” siendo susceptibles a menores niveles de mercurio en comparación a los adultos e incluyen alteraciones como ataques de pánico, ansiedad, trastornos de la memoria, insomnio, anorexia, fatiga, disfunción cognitiva y motora, aumenta la susceptibilidad humana a las enfermedades infecciosas (Posin *et al.*, 2021).

1.2.4 Plomo

Entre las principales fuentes de contaminación ambiental destacan la explotación minera, la metalurgia, las actividades de reciclaje, el uso persistente de pinturas y

gasolinas con plomo en fabricación de baterías de plomo, sin embargo, este metal también se utiliza en muchos otros productos, como material de soldadura, vidrieras, vajillas de cristal, municiones, esmaltes, artículos de joyería y juguetes, así como en algunos productos cosméticos. También puede contener plomo el agua potable canalizada a través de tuberías de plomo o con soldadura a base de este metal (Badui, 2006).

La toxicidad del plomo (Pb) ha sido un tema de interés para los científicos ambientales debido a su efecto tóxico en plantas, animales y humanos. Un aumento en varias actividades industriales relacionadas con el Pb y el uso de productos que contienen Pb, como agroquímicos, aceite y pintura, minería, etc., puede conducir a la contaminación por Pb en el medio ambiente y, por lo tanto, puede ingresar a la cadena alimentaria. Un tema de interés para los científicos ambientales debido a su efecto tóxico en plantas, animales y humanos. (Sb, 2014).

a) Toxicidad

El plomo se absorbe por vía digestiva, respiratoria e incluso por la piel. Sólo un porcentaje del total del Pb ingerido por vía gastrointestinal es absorbido entre el 10 y 15% en adultos, el 50% en niños, la absorción de plomo aumenta cuando el aporte de minerales y proteínas en la dieta es inadecuado, así aquellos con deficiencia de hierro, calcio o zinc están en mayor riesgo de toxicidad. El calcio de la dieta inhibe completamente el transporte activo del plomo intestinal (MINSAs, 2013).

La neuropatía por plomo se produce por toxicidad de las neuronas motrices de la asta anterior de la medula espinal o degeneración de las terminaciones axónicas y el recubrimiento de la mielina. El plomo es un neurotóxico periférico y central, interfiere la liberación de la acetilcolina, la síntesis consecuente de acetilcolina, la adenil-ciclasa del SNC e inhibe a la enzima del glóbulo rojo delta aminolevulinico dehidratasa (Nava & Mendez, 2011).

La vida media del plomo en la sangre es aproximadamente 30 días, se distribuye en todos los tejidos teniendo afinidad por el sistema nervioso central, en especial por el que se encuentra en desarrollo, se acumula principalmente en los huesos donde puede permanecer hasta 20 años donde puede ser removido como sucede en la lactancia, originando niveles de plomo en la leche materna (Baird & Cann, 2014).

b) Intoxicación aguda

La toxicidad por plomo (plumbismo) secundaria a los misiles de plomo retenidos en los espacios de la articulación sinovial es una complicación poco común después de las lesiones por arma de fuego. La gestión de los misiles de plomo en el espacio intradiscal con respecto a la posible toxicidad del plomo es menos segura. Una exposición intensa a altas concentraciones durante un tiempo corto, produce una intoxicación aguda vómitos, dolor abdominal, anorexia y estreñimiento anemia hemolítica (Towner et al., 2008).

c) Intoxicación crónica

La exposición por plomo habitualmente es crónica (exposiciones de meses a años) las manifestaciones clínicas de la exposición crónica por plomo son polimorfas y abarcan prácticamente todos los órganos y sistemas, en particular el sistema nervioso central y periférico, hemapoyético y renal. Los efectos nocivos de la contaminación por plomo (Pb) son bien conocidos. La acumulación de Pb en el suelo debido a fuentes naturales y antropogénicas causa problemas sustanciales a la biota del suelo y al medio, lo que preocupa enormemente a la comunidad científica (Pramanik *et al.*, 2021).

1.2.5 Estándares Nacionales para Calidad Ambiental del Agua

En el Perú existen normas ambientales de disposición obligatoria en todo proyecto de inversión pública y/o privada que implique actividades, construcciones u obras que puedan causar impactos ambientales negativos. Estas normas ambientales son disposiciones legales que establecen, por acuerdo entre los distintos sectores de la sociedad, cuáles serán los niveles de sustancias contaminantes que serán considerados aceptables y seguros para la salud del ser humano y del medio ambiente. Los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) como instrumentos de la legislación ambiental peruana tienen una contradicción: considera al ecosistema como un sistema complejo adaptativo (CAS), pero las metas para su gestión y las herramientas que usan son de sistemas simples (Sánchez & Quinteros, 2017).

Esta norma compila las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental

(ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos Decretos Supremos.

Para el presente estudio se ha considerado la normativa descrita líneas arriba, de acuerdo al siguiente cuadro:

Tabla 1

Estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para Agua – D.S. N° 004-2017-MINAM – Categoría 3 Riego de vegetales y bebida de animales.

Agua para riego de vegetales y bebida de animales			
Parámetros	Unidad de Medida	D1 Riego de vegetales	D2 Bebida de animales
Físicos-Químicos			
pH	Unidad de pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3
Conductividad	μS/cm	2500	5000
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥ 4	≥ 5
Inorgánicos			
Aluminio	mg/L	5	5
Arsénico	mg/L	0,1	0,2
Cadmio	mg/L	0,01	0,05
Cobre	mg/L	0,2	0,5
Manganeso	mg/L	0,2	0,2
Mercurio	mg/L	0,001	0,01
Plomo	mg/L	0,05	0,05
Microbiológicos			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	1000	1000

Fuente: Diario Oficial “El Peruano”

Tabla 2

Estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para Agua – D.S. N° 004-2017-MINAM – Categoría 4 Conservación del ambiente acuático.

Conservación del ambiente acuático			
Parámetros	Unidad de Medida	E1 Lagunas y Lagos	E2 Rios Costa y Sierra
Físicos-Químicos			
pH	Unidad de pH	6,5 – 9,0	6,5 – 9,0
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3
Conductividad	μS/cm	1000	1000
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥ 5	≥ 5
Inorgánicos			
Arsénico	mg/L	0,15	0,15
Cadmio	mg/L	0,00025	0,00025
Cobre	mg/L	0,1	0,1
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025
Microbiológicos			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	1000	2000

Fuente: Diario Oficial “El Peruano”

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema

La contaminación de cuerpos de aguas como recurso hídrico y fuente de las actividades económicas productivas se han convertido en un tema álgido y de actualidad en el campo ambiental como en la salud pública. Los daños y consecuencias que generan son graves en muchos de los casos, que las autoridades involucradas a nivel global y consecuentemente nacional y regional tratan de minimizar las consecuencias y efectos a estos elementos tóxicos. A nivel global, el caso de envenenamiento de la población infantil de la ciudad de Torreón, Coahuila, ubicado al Norte de México, es un caso estudiado y denunciado desde hace veinte años por diversos grupos ambientalistas. Este caso de contaminación fue provocado por el Plomo (Pb), el Cadmio (Cd) y el Arsénico (As), tres elementos altamente dañinos para los humanos. La contaminación del agua causada por actividades antropogénicas es uno de los principales problemas ambientales del mundo. Las sustancias tóxicas persistentes se pueden dividir en dos categorías, principalmente contaminantes orgánicos persistentes y metales pesados (Feng *et al.*, 1998).

En el Perú, diversos estudios e investigación, denuncias de casos de contaminación por la presencia de metales pesados son diversos y constantes; de los principales agentes contaminantes que se han identificados tenemos el cadmio, cianuro, plomo, magnesio, mercurio, hierro, aluminio, cobre, arsénico, manganeso; agregando a estos metales pesados el ácido sulfúrico y el dióxido de azufre, sustancias y elementos presentes en los ecosistemas hídricos, suelos y aire. A ello se suma la presencia cada vez mayor de asentamientos y poblaciones ubicadas en el área circundante y de influencia de las

actividades productivas entre ellos principalmente la minería y otras actividades antrópicas, generó la preocupación del Ministerio de Salud por las formas de proteger la salud de las poblaciones en riesgo y enfrentar los problemas existentes, los cuales junto al mercurio, están considerados dentro de los mayores agentes tóxicos asociados a contaminaciones ambientales e industriales. La repentina disminución de las actividades humanas ha tenido un impacto directo en la calidad del agua del río.

De acuerdo a registros y medios de comunicación de carácter regional y local se tiene conocimiento de disturbios y conflictos sociales en la provincia de Melgar, distritos de Ayaviri, Llalli, Cupi, Umachiri, que Según el INDECI y el COEN (2021) menciona que los pobladores de la parte media y baja de la cuenca del río Llallimayo, quienes a pesar de estar distanciados de la naciente en la parte alta de la cuenca, observan que las aguas del río Llallimayo tienen niveles altos de contaminación, que la presencia de flora y fauna es casi inexistente, que las aguas con que riegan sus pastizales y beben sus animales se enferman o mueren. Cabe señalar que las revueltas sociales y disconformidad aun es latente y se manifiestan actualmente.

2.2 Enunciados del problema

2.2.1 Problema general

¿Cuál es la causa principal de contaminación en la subcuenca parte alta del río Llallimayo?

2.2.2 Problemas específicos

- ¿Qué niveles de concentración de parámetros físico-químicos, inorgánicos y microbiológicos están presentes en subcuenca parte alta del río Llallimayo?
- ¿Cómo influyen los parámetros de contaminación sobre la calidad del agua en la subcuenca parte alta del río Llallimayo?
- ¿Qué parámetros de calidad del agua en la subcuenca parte alta del río Llallimayo están por encima de los ECA según el Categoría 3, Subcategorías D1 y D2, aguas de uso para riego de vegetales y bebida de animales y, Categoría 4, Subcategoría E2, ¿conservación del ambiente acuático establecido por el D.S. N° 004-2017-MINAM.

2.3 Justificación

Diversas actividades antrópicas se desarrollan en la subcuenca del río Llallimayo, entre las principales podemos mencionar la actividad pecuaria, agrícola, minería, elaboración de productos lácteos y otros que dinamizan la actividad económica de la provincia de Melgar. De las actividades mencionadas todas causan impacto sobre el medio y entorno ambiental, pero es principalmente la actividad minera que desde hace 15 años aproximadamente a la fecha se encuentra asentada en la parte alta de la subcuenca del río Llallimayo, actividad que al realizar la extracción y explotación consecuente la que genera contaminación por descarga directa de aguas de mina y aguas residuales sin tratamiento alguno al río Azufrini, que a la vez es parte de una red hidrográfica de la subcuenca del río Llallimayo. El efecto de ello, es la contaminación y alteración del agua, modificando los parámetros de calidad para los valores físico-químicos, inorgánicos y microbiológicos y, consecuentemente afecta toda actividad pecuaria, agrícola y económica de los usuarios de la parte baja de la subcuenca del río Llallimayo. Por estas causales descritas es que el presente proyecto de investigación justifica su desarrollo y elaboración, dado que son las diversas actividades antrópicas que generan contaminación a el elemento ambiental agua, que por su uso e impacto en ella se hace prioritario conservarlo e identificar todas las acciones y actividades que deterioran la calidad del agua y consecuentemente la flora, fauna, suelos y actividades domésticas de los habitantes circundantes a la subcuenca del río Llallimayo.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo general

Evaluar la calidad del agua en la subcuenca parte alta del río Llallimayo de acuerdo a los análisis de los parámetros físico-químicos, inorgánicos y microbiológicos e identificación de los factores contaminantes correlacionados con los Estándares de Calidad del Agua del D.S. N° 004-2017-MINAM.

2.4.2 Objetivos específicos

- Evaluar los análisis de parámetros físico-químicos, inorgánicos y microbiológicos que permitirán definir la calidad del agua en la subcuenca parte alta del río Llallimayo.

- Identificar los parámetros de contaminación que influyen sobre la calidad del agua en la subcuenca parte alta del río Llallimayo.
- Evaluar los parámetros de calidad del agua en la subcuenca parte alta del río Llallimayo según los ECA para la Categoría 3, Subcategorías D1 y D2, aguas de uso para riego de vegetales y bebida de animales y, Categoría 4, Subcategoría E2, conservación del ambiente acuático aprobado por el D.S. N° 004-2017-MINAM.

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis general

Actualmente la población asentada en el ámbito geográfico e hidrográfico de la subcuenca del río Llallimayo ve afectada sus actividades socioeconómicas por la contaminación de las aguas que se abastecen, por lo que se propone evaluar la calidad del agua a través de los análisis físico-químicos, inorgánicos y microbiológicos para determinar el origen de contaminación de la subcuenca parte alta del río Llallimayo

2.5.2 Hipótesis específicas

- La presencia de elementos físico-químicos, inorgánicos y microbiológicos determinarán la calidad del agua en la subcuenca parte alta del río Llallimayo.
- La calidad del agua en la subcuenca parte alta del río Llallimayo permitirá evaluar y verificar el grado de los ECA para la conservación del ambiente acuático.
- Los parámetros de calidad del agua en la subcuenca parte alta del río Llallimayo están por encima de los ECA según el Categoría 3, Subcategorías D1 y D2, aguas de uso para riego de vegetales y bebida de animales y, Categoría 4, Subcategoría E2, conservación del ambiente acuático establecido por el D.S. N° 004-2017-MINAM.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio

El proyecto de investigación se ubica en la Provincia de Melgar, Distrito de Llalli, dentro de la unidad geográfica de Sierra y en la sub unidad geográfica del Altiplano. En la provincia de Melgar comprende los distritos de Ayaviri, Cupi, Llallí, Macari y Umachiri; con una población ganadera (vacuno, ovino, camélido y Porcino) de 1 326 553 animales, que beben mensualmente un volumen hídrico de 0,126 MMC de agua y que anualmente su demanda hídrica es de 1,506 MMC, cifra que representa el 31,06% del volumen total demandado. El Distrito de Llalli se encuentra ubicado dentro de la unidad geográfica de Sierra y dentro de ella en la sub unidad geográfica del Altiplano. La sub unidad geográfica Altiplano, región Suni o Jalca, se encuentra en una altitud que va desde 3 500 a 4 100 m.s.n.m.; presenta una topografía relativamente plana o medianamente accidentada; la temperatura promedio anual oscila desde 0,06° C. Hasta 19° C, con una precipitación promedio anual de 845 mm. La población estimada es de 4 719 habitantes (INEI, 2017).

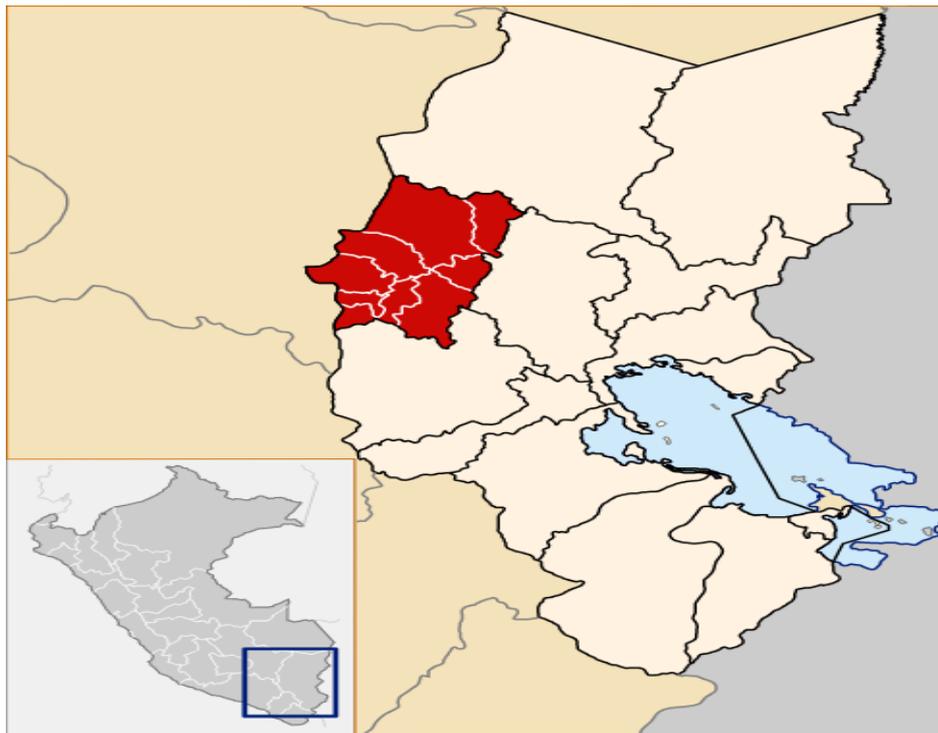


Figura 1. Mapa de la Región Puno y la Provincia de Melgar
Leyenda: Color rojo provincia de Melgar y color azul el Lago Titicaca

3.1.1 Subcuenca Llallimayo

La subcuenca del río Llallimayo tiene un área de 1 971 km², con un perímetro de 284 km, su parte más elevada está en la cota 5 327 msnm en el nevado de Lamparasi y su parte más baja se ubica en la cota 3 894 msnm donde el río Llallimayo confluye con el río Santa Rosa; limita con las cuencas de Apurímac, Coata, subcuencas de Santa Rosa y Ayaviri. Se ubica entre las coordenadas Este de 271 887 a 314 201 y Norte de 8 300 863 a 8 385 821. La longitud total del río principal es de 88 km resultando una pendiente mínima de 0,16% en las partes bajas a 3,9% en las partes altas, presenta la dirección Este y tiene forma triangular con su base mayor en la línea que unen las lagunas de Ananta y Chullpia y, como vértice su salida al río Ayaviri en el sector denominado Chuquibambilla.

3.1.2 Contaminación de la subcuenca Llallimayo

A la fecha persiste el conflicto social entre la Empresa Minera ARUNTANI S.A.C., y la población de los distritos de Llallí, Ocuvi, Umachiri, Macari y Cupi, por la afectación de aguas del río Llallimayo, que se encuentra ubicado hidrológicamente en la Intercuenca Ramis, vertiente del Titicaca. De acuerdo al informe 077-2017 de la OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental), la evacuación de

aguas contaminadas se origina en el botadero denominado “Yesica”, se detectó que allí existe afloramiento de agua subterránea ácida con altas concentraciones de cobre, aluminio, cobalto, hierro y magnesio. La misma que afectaría probablemente el cauce natural del río Llallimayo, que perjudica la agricultura intensiva y ganadería; Los representantes del “Comité de lucha de Recursos Hídricos y Medio Ambiente del distrito de Llallí”, se encuentran en una mesa de diálogo con participación de los actores involucrados en Recursos Hídricos, por afectación de río Llallimayo por las actividades que realiza la empresa, en la actividad de extracción del material aurífero y otros polimetálicos.



Figura 2. Confluencia de los ríos Pataqueña y Azufrini que dan origen al río Chacapalca

Leyenda: Río Pataqueña - derecho (Aguas transparentes), río Azufrini – izquierda (Aguas turbias)

3.2 Población

Agua superficial de la subcuenca parte alta del río Llallimayo provincia de Melgar, departamento de Puno.

3.3 Muestra

No probabilística, para contaminantes metálicos (*As*, *Cd*, *Cu*, *Hg* y *Pb*), 1 litro de agua por estación de monitoreo. El análisis instrumental está basado en la metodología internacional validada por EPA 200.8, Rev 5.4:1994. Determination of Trace Elements

in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry (Validado).2016. Estándar en el que se basa los procedimientos y resultados del Laboratorio de Ensayo SGS, acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación INACAL - DA, con Registro N° LE – 002; donde se realizaron los análisis de agua de esta investigación.

3.4 Método de investigación

Los materiales y equipos utilizados para la obtención de la información de campo y procesamiento de datos en el presente trabajo fueron los siguientes:

3.4.1 Materiales

Se usó el protocolo estandarizado: “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales 2016 – ANA” (ANA, 2016, p, 1), consideramos los siguientes:

a. De campo

- Ficha de identificación del punto de muestro.
- Ficha de registro de datos de campo.
- Ficha de etiqueta para muestra de agua.
- Ficha de cadena de custodia.
- Equipo de Sistema de Posicionamiento Global (GPS)
- Envases para las muestras y envases adicionales en caso ruptura o duplicados.
- Guantes.
- Pizeta.
- Etiquetas y plumones indelebles.
- Coolers.
- Lapiceros.
- Equipo de protección personal básico: guantes, lentes, mascarillas.

- Accesorios, tales como: toalla, papel absorbente, bolsas de plástico, baterías, linterna, etc.

b. De gabinete:

- 01 Carta 1/100,000 como mínimo (recomendable 1/25,000)
- Material de escritorio y mobiliario.
- Bibliografía e internet.

c. Equipos

Calidad de Aguas

- 01 medidor multiparamétrico; pH, CE, TDS, T°.

Georreferenciales

- 01 GPS con la mayor precisión posible; marca ETREX.
- 01 altímetro.

Audiovisuales

- 01 cámara fotográfica (digital).
- Impresora de inyección a tinta y plotter.
- 01 scanner A-4 Scanner

Computo

- Equipo de cómputo (c/u CPU, pantalla y teclado) implementado con Sistemas de Información Geográfica (SIG).

d. Servicios

- **Revelado Fotográfico.**
- Fotocopiado y anillados.
- 01 unidad de Transporte, alquiler camioneta todo terreno.

e. Insumos

- Combustible
- Lubricantes

3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

La investigación es de tipo cualitativa, en el cual primero se analizaron los parámetros físico-químicos, luego se realizó la caracterización de los parámetros inorgánicos, para finalmente evaluar los parámetros microbiológicos del agua de los ríos Pataqueña y Chacapalca respectivamente. El método empleado para los análisis de agua e identificación de los parámetros inorgánicos fue a través del laboratorio SGS, utilizando el método instrumental de espectrometría de absorción atómica.

Los principales parámetros físico-químicos como el pH y conductividad son indicadores que las aguas del río Pataqueña aguas arriba se encuentran ligeramente afectadas por la actividad agropecuaria de la zona. Los parámetros inorgánicos: Al, As, Cd, Cu, Mn, Hg y Pb en la columna de agua determinan la calidad del agua del río Chacapalca aguas abajo; asimismo los parámetros microbiológicos precisan que existe presencia de coliformes termotolerantes a lo largo del cauce principal aguas arriba del río Pataqueña.

Tipo de investigación. Es descriptiva y explicativa o causal.

3.5.1 Puntos de muestreo de aguas en el área de estudio

La tabla 3 líneas abajo, presenta la ubicación de los puntos de muestreo para los análisis de los componentes fisicoquímicos a lo largo de los ríos Pataqueña y Chacapalca de la subcuenca parte alta del río Llallimayo.

Tabla 3
Ubicación de los puntos de muestreo.

Puntos de Muestreo	Descripción	Coordenadas UTM	
		Norte	Este
P-1	Este punto se encuentra ubicado en el río Pataqueña, 200 metros aguas arriba, antes de la confluencia con el río Azufrini, a 70 m noroeste del Cerro Chatalalla, a una altitud de 4446 m.s.n.m	8 311 529	300 634
P-2	Este punto se encuentra ubicado en el río Chacapalca, 150 metros aguas abajo de la confluencia con el río Azufrini cerca del área de deslizamiento de la ladera oeste del Cerro Joillone, a 50 m al norte del Cerro Villacollo, a una altitud 4452 m.s.n.m.	8 311 694	300 449

Fuente: Metodología utilizada – Laboratorio SGS



Figura 3. Mapa de ubicación de puntos de muestreo

Fuente: Google Earth Pro 2021

3.5.2 Muestreo de aguas para parámetros físico-químicos

Los métodos utilizados para la caracterización de los parámetros fisicoquímicos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4
Variables hidroquímicas y metodologías de parámetros físico-químicos

Parámetros	Unidad de Medida	Métodos Utilizados	Límite de Detección
pH	Unidad de pH	Electroquímico: WTW pH 330, Hanna pHmetro.	---
Temperatura	°C	Sonda electrométrica: WTW, Hanna, mercurio.	---
Conductividad	μS/cm	Célula conductimétrica: WTW LF 340, Hanna Conductímetro Portátil HI 8733, YSI-33.	---
Oxígeno Disuelto	mg/L	Electroquímico WTW Oxi 320/340 Winkler, 1988.	> 0.1 mg/L

Fuente: Metodología utilizada – Laboratorio SGS

3.5.3 Muestreo de aguas para parámetros inorgánicos

La caracterización de los parámetros inorgánicos-metales pesados se efectuó en 2 puntos de muestreo, se recolectó 2 muestras de agua para cada punto de muestreo y se analizaron siete parámetros por muestra de agua (Al, As, Cd, Cu, Mn, Hg y Pb). Los análisis se realizaron en el laboratorio SGS de la ciudad de Lima a través de los métodos estándar.

Se ubicaron dos (02) puntos para realizar esta investigación los cuales se detallan en la tabla 3. Los muestreos se realizaron de manera aleatoria, con dos repeticiones. Estas muestras se tomaron al azar, disponiéndolas en envases de plástico previamente lavados y esterilizados in situ dos veces y rotulados adecuadamente cada envase. Para el transporte de las muestras al laboratorio SGS se empacaron en bolsas de polietileno pesado protegidas con hielo triturado en un conservador especial para muestras (plastroform) manteniéndose aproximadamente el interior a una temperatura de 4° C. El arribo de las muestras al laboratorio se conservó a la misma temperatura en un refrigerador hasta ser procesadas las muestras. Los análisis de agua se realizaron en el laboratorio acreditado SGS de la ciudad de Lima.

- Método de Análisis de Arsénico: Espectrofotometría de Absorción Atómica.
- Método de Análisis de Mercurio: Absorción Atómica de vapor en frío.

Tabla 5
Variables hidroquímicas y metodologías de parámetros inorgánicos

Parámetros	Unidad de Medida	Métodos Utilizados	Límite de Detección
Aluminio	mg/L		0.001
Arsénico	mg/L		0.00003
Cadmio	mg/L	EPA METHOD 3051A:2007. Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils/EPA METHOD 6020B:2014. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.	0.00001
Cobre	mg/L		0.00003
Manganeso	mg/L		0.00003
Mercurio	mg/L		0.00003
Plomo	mg/L		0.0002

Fuente: Metodología utilizada – Laboratorio SGS

3.5.4 Muestreo de aguas para parámetros microbiológicos

El método utilizado para la caracterización de los parámetros microbiológicos se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 6
Variables hidroquímicas y metodologías de parámetros inorgánicos

Parámetros	Unidad de Medida	Métodos Utilizados	Límite de Detección
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	EW-APHA 9221E-NMP-AQ	---

Fuente: Metodología utilizada – Laboratorio SGS

3.5.5 Procedimiento analítico

Los análisis se realizarán según la metodología del laboratorio SGS, para la determinación de metales pesados en aguas y sedimentos. El análisis en laboratorio se realizó con métodos estándares para cada elemento metálico como son:

- Hg = Microwave Reaction System/EPA 218.2

- As = Microwave Reaction System/EPA 206.2

El sistema de reacción acelerada microondas está diseñado para digerir, disolución e hidrolizar una amplia variedad de materiales en un entorno de laboratorio. El sistema utiliza la energía de microondas para calentar las muestras en soluciones polares o iónicas rápidamente y elevadas presiones. Su objetivo principal es para la preparación de muestras para el análisis por atómica absorción (AA), acoplado inductivamente espectroscopía de emisión de plasma (ICP), gas o cromatografía líquida.

3.5.6 Digestión de muestras y lecturas en el espectrofotómetro de absorción atómica

3.5.6.1 Lectura de muestras

De acuerdo al protocolo establecido para la preparación de las muestras y la lectura en el espectrofotómetro, se llevaron a cabo con el *Standard Method for the Examination of Water*. Cumpliéndose con los parámetros de dilución de las muestras respectivas, acidificación, filtración y digestión de la misma. Igualmente se procedió con especial cuidado el uso de los porcentajes de elementos químicos adicionados como el ácido Nítrico (NHO₃), y el lavado adecuado de los instrumentos. Para las lecturas de concentración de los parámetros inorgánicos-metales pesados, estos se realizaron con el espectrofotómetro. Todas estas acciones se ejecutaron con el propósito de no incurrir en lecturas erróneas por mal procedimiento o contaminación de muestras.

3.5.7 Diseño estadístico

Se considerará la evaluación de los parámetros inorgánicos-metales pesados Al, As, Cd, Cu, Mn, Hg y Pb en base a la concentración de los muestreos que se realizaron de manera aleatoria; con repetición. Para efectos del presente trabajo se utilizó el diseño completo al azar, donde fueron evaluados el área de estudio. Para la solución del modelo aditivo lineal se aplicó el programa de SAS 9.0.

El modelo de la clasificación de doble entrada es:

$$y_{ij} = \mu + \tau_j + e_{ij}, \quad i = 1, \dots, r, \quad j = 1, \dots, t$$

$$E(e_{ij}) = 0, E(e_{ij}^2) = \sigma^2, E(e_{ij} e_i, e_j) = 0$$

Dónde:

μ = media

τ_j = efecto del tratamiento j (efecto de los ríos tributarios).

e_{ij} = error aleatorio producido por el bloque i y el tratamiento j.

$E()$ = operador valor esperado.

Y el sistema de ecuaciones normales, toma la forma:

$$rt\hat{\mu} + t \sum_{i=1}^r \hat{\beta}_i + r \sum_{j=1}^t \hat{\tau}_j = G$$
$$t\hat{\mu} + t\hat{\beta}_i + \sum_{j=1}^t \hat{\tau}_j = B_i, i = 1, 2, \dots, r$$
$$r\hat{\mu} + \sum_{i=1}^r \hat{\beta}_i + r\hat{\tau}_j = T_j, j = 1, 2, \dots, t$$

Donde, G es el gran total, T_j es el total sobre todas las repeticiones del tratamiento j, de la variable de estudio. El símbolo $\hat{}$ significa estimador del parámetro respectivo.

3.5.8 Análisis de Varianza

Para el modelo estadístico lineal el análisis de varianza va a tener tres fuentes de variación. Tratamientos, bloques, error, que juntos constituyen la variabilidad total.

3.5.9 Prueba Estadística de Hipótesis

- Hipótesis nula: $H_0: \tau_i = 0 (i = 1, \dots, t)$
- Hipótesis alterna: $H_A: \tau_i \neq 0$

Se probó mediante el cálculo de F_c .

$$F_c = \frac{CM_{\text{tratam}}}{CM_{\text{error}}}$$

La que está distribuida como F calculada (F_c) ó llamada también F de diseño con $(t-1)$ y $(r-1) \times (t-1)$ grados de libertad.

3.5.10 Reactivos

- HNO_3
- Hidróxido de sodio
- Agua destilada

3.5.11 Técnicas de Muestreo

El muestreo se realizó en zonas de máximo caudal de agua, evitando la remoción de sedimentos. La toma de muestras se realizó en recipientes de polietileno de alta densidad, lavados previamente en el laboratorio con ácido nítrico al 1% de acuerdo al protocolo. Se cebó tres veces el recipiente con agua de río del punto de muestreo respectivo (anexo 2).

3.5.11.1 Técnicas e instrumentos durante la recolección de datos y muestreo de agua

Las muestras de agua analizadas provinieron del río Pataqueña aguas arriba y río Chacapalca aguas abajo después de la confluencia con el río Azufrini. La toma de muestras se hizo de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA). Previamente se esterilizaron y prepararon los frascos de muestreo, según la lista de parámetros a evaluar. Se colectaron las muestras de agua y se preservaron de acuerdo al tipo de parámetro, siguiendo las instrucciones generales de preservación, etiquetado, embalaje y transporte de muestras. Se rotularon los frascos, usando plumón de tinta indeleble y se cubrió la etiqueta con cinta adhesiva transparente.

Las muestras de agua preservadas y rotuladas, se colocaron en un cooler con refrigerante (ice pack), para asegurar su llegada al laboratorio SGS en condiciones óptimas de conservación. La toma de muestra se realizó en el centro de la corriente, en dirección opuesta al flujo del agua, evitando las áreas de turbulencia excesiva y considerando la profundidad y la velocidad de la corriente.

Para la obtención de valores “in situ” potencial de hidrogeno (pH), temperatura (T°), oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), se utilizó el multiparámetro (modelo Hanna HI991301). Para la determinación de metales se usó el Espectrofotómetro de absorción atómica del laboratorio SGS (Marca Perkinelmer analyst 200). Para la evaluación de la concentración de metales pesados se utilizó una tabla de doble entrada donde se registró el tipo y la muestra, de acuerdo a su concentración, teniendo en cuenta el número de muestras estudiadas.

La recolección de muestras se hizo desde el mes de diciembre de 2020 a febrero de 2021. En cada punto se tomó una muestra para el análisis de los parámetros físico-químicos, inorgánicos y microbiológicos, quedando registradas en la cadena de custodia correspondientes para cada unidad de muestreo.

Para la realización del presente trabajo, en principio se recopiló y analizó informaciones de fuentes secundarias, tales como publicaciones oficiales e investigaciones; luego se recurrirá a las entrevistas a diversos especialistas en el tema, a base de los cuales se planteó inicialmente el esquema de investigación.

En cuanto al modelo empleado, este se ha basado en unos supuestos para simplificar las variables detectadas, las cuales explican en parte y en teoría la relación y funcionabilidad de los parámetros físicos-químicos y metales pesados presentes en el agua.

La técnica de procedimiento y evaluación de datos recolectados se evaluará para todas las variables un análisis de datos cuantitativos para ciencias sociales, mediante la estadística descriptiva para distribución de frecuencias, a través de la utilización del procesador sistematizado SPSS y su aplicación de la estadística descriptiva.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Hidrografía de la subcuenca del río Llallimayo

El río Llallimayo es parte de la cuenca del río Ayaviri, el cual está conformado por las subcuencas de los ríos Llallimayo, Sora, Macarimayo y Santa Rosa que conforman el sistema del río Ayaviri; la subcuenca del río Llallimayo es la más importante, cubriendo un área de 1387.4 km². Los 4 ríos se unen en las cercanías de la localidad de Chuquibambilla.

Discurre de sur a norte, cambiando de rumbo al Este por la ciudad de Llalli hasta su confluencia con los ríos Macarimayo y Santa Rosa cerca de Chuquibambilla.

La cuenca del río Llallimayo tiene un perímetro de 284 km, su parte más elevada está en la cota 5,327 msnm, en el nevado de Lamparasi y su parte más baja se ubica en la cota 3,894 m.s.n.m., donde el río Llallimayo confluye con el río Santa Rosa. Limita con las cuencas de Apurímac, Coata, Santa Rosa y Ayaviri.

La longitud total del río principal es de 88 km resultando una pendiente mínima de 0.16% en las partes bajas a 3.9% en las partes altas, presenta la dirección Este y tiene forma triangular con su base mayor en la línea que unen las lagunas de Ananta y Chullpia y como vértice su salida al río Ayaviri en el sector denominado Chuquibambilla. El número de orden de la cuenca es 6 y su altura media es de 4,415 msnm. Presenta un suelo de textura media a fina.

Hidrológicamente recibe los aportes de la Lagunas Saguanani, Iniquilla, La Calera y Chulpia; así como de numerosos riachuelos y quebradas como los ríos Pataqueña, Chacapalca y Azufrini que conforman aguas abajo el río Ocuvi, su principal afluente.

Para el caso de nuestro estudio, el área se ubica en el ámbito jurisdiccional del distrito de Llalli.

4.2 Características físico-químicas del agua en la subcuenca parte alta del río Llallimayo

El ser humano en su conjunto y particularmente los habitantes asentados en la subcuenca del río Llallimayo obtienen el agua para su consumo en base a un proceso de tratamiento o uso de fuentes naturales; es propio que el agua contenga diversas sustancias de manera natural, tales como: sales y algunos minerales que no necesariamente pueden ser perjudiciales para la salud humana, siempre y cuando estas no excedan los límites permisibles. Cabe resaltar que el agua apta para consumo humano es aquella que no perjudica a la salud de las personas, y puede provenir de fuentes naturales o haber sido tratada específicamente para uso humano. En el D.S. N° 004-2017-MINAM se aprueban los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua, dicha normativa enmarca la calidad de agua para consumo humano, bebida de animales y riego de vegetales, en el cual se especifican los parámetros físico-químicos, inorgánicos y microbiológicos que debe cumplir el agua para ser considerada apta para su uso en diversas actividades económicas y consumo del ser humano.

Los parámetros físicos-químicos son valores obtenidos en el lugar de estudio, durante el día, hora y momento de la visita a la zona de interés (Ko *et al.*, 2020). Estos se realizan a través del equipo de campo multiparámetro de tres lecturas: Potencial de hidrogeno (pH), temperatura (°C) y conductividad eléctrica (CE- $\mu\text{S}/\text{cm}$). En el presente capítulo se detallan los valores obtenidos en campo y su relación con los ECA para las subcategorías D1, D2 y E2. Líneas abajo se presentan en cuadros y gráficos correspondientes, así como su definición e interpretación.

Puntos de muestreo:

- Punto de Muestreo N° 1: Aguas arriba río Pataqueña.
- Punto de Muestreo N° 2: Aguas abajo río Chacapalca.

Tabla 7
Ubicación de los puntos de monitoreo del agua.

Puntos de Monitoreo	Monitoreo de	Coordenadas UTM		Lugar
		Norte	Este	
P-1	Agua	8 311 529	300 634	Río Pataqueña, 200 metros aguas arriba, antes de la confluencia con el río Azufrini.
P-2	Agua	8 311 694	300 449	Río Chacapalca, 150 metros aguas abajo de la confluencia con el río Azufrini.

En la tabla 8, se precisan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, normativa legal y ambiental que rige a la fecha para los parámetros físico-químicos.

Tabla 8
Parámetros físico-químicos para la Categoría 3: Riesgo de vegetales y bebida de animales y Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático.

AGUA PARA RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDA DE ANIMALES				
Parámetros Físico-químicos	Unidad de Medida	D1 - Riego de vegetales	D2 - Bebida de animales	E-2 Ambiente acuático
Potencial de Hidrogeno	Unidad de pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4	6,5 – 9,0
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3
Conductividad Eléctrica	μS/cm	2500	5000	1000
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥ 4	≥ 5	≥ 5

Fuente: D.S. N° 004-2017-MINAM, ECA para Agua.

En la tabla 9, se muestran los resultados de las características físico – químicas obtenidas “in situ”.

Tabla 9
Resultados de análisis de las características físico-químicas de los ríos Pataqueña y Chacapalca.

Parámetro	Unidad de Medida	Punto de Muestreo	Índices de Campo		
			D1 Riego de vegetales	D2 Bebida de animales	E2 Ambiente acuático
Potencial de Hidrógeno	Unidad de pH	P1	9,7	9,7	9,7
		P2	6,3	6,3	6,3
Temperatura	°C	P1	9,8	9,8	9,8
		P2	9,5	9,5	9,5
Conductividad Eléctrica	μS/cm	P1	1582	1582	1582
		P2	2674	2674	2674

Desde el punto de vista de legislación ambiental y de acuerdo a los estándares nacionales de calidad Ambiental para agua, se interpreta y discute los resultados.

4.2.1 pH

Los valores del pH, en el agua superficial de la parte alta de la subcuenca del río Llallimayo, se detallan en la tabla 10, el valor mínimo del pH fue 6,3 en el río Pataqueña aguas arriba, antes de la confluencia con el río Azufrini y el valor máximo de 9,7 en el río Chacapalca aguas abajo, los cuales, comparados con los valores ECA para este parámetro se encuentran entre el intervalo de 6,5 – 9,0 que determinan que el comportamiento del pH fue ligeramente ácido para el punto de muestreo del río Chacapalca y alcalino en el punto de muestreo aguas arriba del río Pataqueña.

Tabla 10

Resultados de análisis pH de los ríos Pataqueña y Chacapalca.

Parámetro	Unidad de Medida	Punto de Muestreo	Índices de Campo		
			D1 Riego de vegetales	D2 Bebida de animales	E2 Ambiente acuático
Valores ECA	Unidad de pH		6,5 – 8,5	6,5 – 8,4	6,5 – 9,0
Potencial de Hidrógeno	Unidad de pH	P1	9,7	9,7	9,7
		P2	6,3	6,3	6,3

El pH del agua del río Pataqueña desciende hasta tornarse ácida a medida que aumenta su recorrido hasta la confluencia con el río Azufrini, aguas abajo ya en el río Chacapalca a medida que el agua se aleja de la zona de unión de los ríos Pataqueña y Azufrini, el pH perturba a la especiación química-ácida y a la dinámica de movimiento de contaminantes por elementos metálicos. De acuerdo a APHA (1992) señala: “Que la acidez corresponde al agregado de componentes que implican un descendimiento de pH como; ácidos minerales, dióxido de carbono, ácidos poco disociados, sales de ácidos fuertes y bases débiles”. Así mismo en el punto de muestreo P-1, el valor promedio 9.7 precisan que son de predominancia alcalinas, que sobrepasan los ECA para agua de los índices D1 y D2, este parámetro desde el punto de vista, no es representativo, ya que el valor responde a la naturaleza ecológica

y edáfica de la zona de estudio. APHA (1992) reitera que: “La alcalinidad es debido a la dilución de rocas con contenido altos de carbonatos y bicarbonatos”.

En conclusión, se resume que este parámetro desde el punto de vista de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, en el P1 es representativo, ya que este valor de acidez responde a la mineralización ácida de las aguas después de la confluencia del río Azufrini de carácter contaminante hacia el río Pataqueña de naturaleza alcalina ecológica propia del cuerpo de agua, y no a fuentes contaminantes. A diferencia del P2, el cambio de alcalino a ácido sin duda se debe a la dinámica de contaminantes debido a la presencia de sustancias metálicas provenientes del río Azufrini y que descargan directamente sin tratamiento alguno al río Pataqueña.

4.2.2 Temperatura

La interpretación del valor de la temperatura del agua debe realizarse relacionándola con la temperatura ambiente en el lugar y momento de la medida. Las variaciones de temperatura se deben a muchos factores: hora del día, estación, profundidad del agua y otros factores. Para nuestro caso, como se mide la temperatura superficial del agua a unos 10 cm de profundidad y a la misma hora del día, los cambios de temperatura que se observan son fundamentalmente estacionales.

Tabla 11

Resultados de análisis Temperatura de los ríos Pataqueña y Chacapalca.

Parámetro	Unidad de Medida	Punto de Muestreo	Índices de Campo		
			D1 Riego de vegetales	D2 Bebida de animales	E2 Ambiente acuático
Valores ECA	°C		Δ 3	Δ 3	Δ 3
Temperatura	°C	P1	9,8	9,8	9,8
		P2	9,5	9,5	9,5

La interpretación del valor de la temperatura del agua debe realizarse relacionándola con la temperatura ambiente en el lugar y momento de la medida. Las variaciones de temperatura se deben a muchos factores: hora del día, estación, profundidad del agua y otros factores. Para nuestro caso, como se mide la temperatura superficial del agua a unos 10 cm de profundidad y a la misma hora del día, los cambios de temperatura que se observan son fundamentalmente estacionales. El valor obtenido de 9,8 en el P1 y 9.5 en el P2 se encuentra dentro de lo estimado de acuerdo a los datos registrados

para temperaturas a nivel de las estaciones meteorológicas. Un valor de temperatura satisfactorio, ya que es inferior a 15 °C (temperaturas superiores a 15°C favorecen el desarrollo de microorganismos e intensifican los olores y sabores) y muy inferior a 25 °C, que marca el inicio de la contaminación térmica.

4.2.3 Conductividad Eléctrica

Los resultados obtenidos para el parámetro de conductividad oscilan entre los valores de 1582 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el punto P1 del río Pataqueña aguas arriba y un valor máximo de 2674 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el río Chacapalca aguas abajo correspondiente al punto P-2. Estos resultados se ven sustentados con lo que sostiene, (Ocasio, 2008), quien indica que encontró valores altos de conductividad en tiempo de lluvia en el río Piedras, y que está relacionada a las formaciones geológicas del lugar. Donde los ríos y arroyos son afectadas por la geología aflorante en el área de estudio. Igualmente, Teves (2016), menciona que registró niveles de concentración inferior a los 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el río Cacara, esto se debe principalmente por la geología aflorante en la zona. También sostiene que los suelos arcillosos aumentan la conductividad de los cuerpos de agua, debido a que estos se ionizan fácilmente al estar en contacto con los átomos del agua.

De acuerdo al estudio de Márquez *et al.* (2000), explica que obtuvo valores máximos de conductividad de 1878 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y una mínima de 0.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el agua del canal de Chiquimullilla. También precisa que los resultados están relacionados muy cercanamente con la precipitación, puesto que ayuda en la disolución de los minerales.

Tabla 12
Resultados de análisis Conductividad Eléctrica de los ríos Pataqueña y Chacapalca.

Parámetro	Unidad de Medida	Punto de Muestreo	Índices de Campo		
			D1 Riego de vegetales	D2 Bebida de animales	E2 Ambiente acuático
Valores ECA	$\mu\text{S}/\text{cm}$		2500	5000	1000
Conductividad Eléctrica	$\mu\text{S}/\text{cm}$	P1	1582	1582	1582
		P2	2674	2674	2674

De acuerdo a la interpretación de los resultados, los valores obtenidos “in situ” para el punto de muestreo P2 sobrepasan los ECA para agua de la subcategoría D1 riego de vegetales cuyo límite es 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y de la subcategoría E2 conservación del

ambiente acuático cuyo valor ECA precisa en 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ambos valores se encuentran en el río Chacapalca. En conclusión, estos resultados exceden los valores ECA para agua, tal cual se muestra en la tabla 12.

4.3 Contenido de parámetros inorgánicos-metales pesados en la subcuenca parte alta del río Llallimayo

La presencia de los metales se muestra de diversas formas, sean antrópicas o naturales, estos pueden llegar a los cursos de agua a través de múltiples vías. Una fracción se retiene en suelos y sedimentos, mientras que unas circulan libremente por el agua de ríos otras se depositan en lagunas y embalses. Mayormente los metales son tóxicos para la flora y fauna presente en los cuerpos de agua, cuando su concentración supera las bajísimas que son necesarias como micronutrientes. No obstante, cuando la capacidad de adaptación y respuesta de los sistemas naturales se ve en demasía excedida por el tamaño de la agresión, se observan efectos permanentes y nocivos sobre los organismos presentes en el ecosistema local. En una frecuencia de eventos mucho mayor, pero a concentraciones que no pueden calificarse de catastróficas, la llegada de tóxicos a los sistemas acuáticos puede producir efectos notables sobre la composición de la biota y la organización del ecosistema (Condori, 2018).

En la tabla 13, se precisan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, normativa legal y ambiental que rige a la fecha para los inorgánicos-metales pesados.

Tabla 13

Parámetros inorgánicos-metales pesados para la Categoría 3: Riesgo de vegetales y bebida de animales y Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático.

Agua para riego de vegetales y bebida de animales				
Parámetros Físico-químicos	Unidad de Medida	D1 - Riego de vegetales	D2 - Bebida de animales	E-2 Ambiente acuático
Aluminio	mg/L	5,0	5,0	No aplica
Arsénico	mg/L	0,1	0,2	0,15
Cadmio	mg/L	0,01	0,05	0,00025
Cobre	mg/L	0,2	0,5	0,1
Manganeso	mg/L	0,2	0,2	No aplica
Mercurio	mg/L	0,001	0,01	0,0001
Plomo	mg/L	5,0	5,0	No aplica

Fuente: D.S. N° 004-2017-MINAM, ECA para Agua.

La tabla 14 muestra los resultados obtenidos en el laboratorio SGS para las concentraciones inorgánicas-metales pesados más nocivas y representativas de impacto negativo al medio ambiente. En esta sección se analizan los diferentes elementos metálicos para aguas de la Categoría 3, subcategorías D1 y D2 que corresponden a los usos de agua para riego de vegetales y bebida de animales; además la Categoría 4, subcategoría E2, la conservación del ambiente acuático para ríos de la región sierra. El cuadro siguiente muestra el detalle siguiente:

Tabla 14

Resultados de análisis de las características inorgánicas-metales pesados de los ríos Pataqueña y Chacapalca.

Parámetros Inorgánicos	Unidad de Medida	Punto de muestreo	Índice		
			D1 Riego de vegetales	D2 Bebida de animales	E2 Ambiente acuático
Aluminio	mg/L	P1	0,038	0,038	0,038
		P2	13,167	13,167	13,167
Arsénico	mg/L	P1	0,07760	0,07760	0,07760
		P2	0,10622	0,10622	0,10622
Cadmio	mg/L	P1	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003
		P2	0,01056	0,01056	0,01056
Cobre	mg/L	P1	0,00165	0,00165	0,00165
		P2	1,56238	1,56238	1,56238
Manganeso	mg/L	P1	0,01142	0,01142	0,01142
		P2	0,48139	0,48139	0,48139
Mercurio	mg/L	P1	< 0,00009	< 0,00009	< 0,00009
		P2	< 0,00009	< 0,00009	< 0,00009
Plomo	mg/L	P1	0,0009	0,0009	0,0009
		P2	0,0019	0,0019	0,0019

Fuente: SGS - Lima

4.3.1 Aluminio (Al)

Como se observa en la tabla 15, el punto de muestreo P-2 correspondiente a las aguas superficiales del río Chacapalca sobrepasan los ECA para todo tipo de uso de aguas de la categoría 3 riego de vegetales y bebida de animales y conservación del ambiente acuático; para el cual, la única razón de presencia de este elemento nocivo es la

descarga hacia el río Azufrini proveniente de las actividades mineras Aruntani. Los resultados son preocupantes para el caso particular de nuestro estudio, como lo que sostiene Capacoila (2017) que encontró concentración de aluminio (Al) 1.043 mg/l, por encima de los ECA - I para agua en el río Coata, principalmente por la descarga incontrolada de las aguas residuales y residuos sólidos. Asimismo, la inexistencia de peces del río Chacapalca, guarda relación con lo que sostiene. De igual manera, Fernández *et al.* (2012) mencionan que: “Cuando el aluminio alcanza a las aguas superficiales y subterráneas se observa la disminución de peces y anfibios efectos a que los iones de aluminio reaccionan.

Tabla 15

Resultados de análisis para el Aluminio en los ríos Pataqueña y Chacapalca.

Parámetro	Unidad de Medida	Punto de Muestreo	Índices de Campo		
			D1 Riego de vegetales	D2 Bebida de animales	E2 Ambiente acuático
Valores ECA	mg/L		5,0	5,0	No aplica
Aluminio	mg/L	P1	0,038	0,038	0,038
		P2	13,167	13,167	13,167

Con un valor preocupante de 13.167 mg/L frente a un valor permisible de 5 mg/L que establece el ECA, ello implica un 160% de excesividad de su valor tolerable. De acuerdo a información relevante y fuentes bibliográficas, el aluminio es más tóxico a temperaturas bajas y cuando el pH tiende a ser ácido; este análisis corrobora la inexistencia de fauna en la parte alta de la subcuenca del río Llallimayo, concluyendo que el aporte principal son las actividades mineras y de procesamiento de minerales provenientes de la minera Aruntani. Por esta razón, las aguas de este cuerpo hídrico no son aptas para riego de vegetales y bebida de animales y consecuentemente la calidad del ambiente acuático está gravemente afectada.

4.3.2 Arsénico (As)

Los resultados obtenidos para el arsénico fueron de un valor máximo de 0.10622 mg/L en el río Chacapalca, punto de muestreo P-2 aguas debajo de la confluencia de los ríos Azufrini y Pataqueña durante el mes de diciembre 2020. El valor mínimo corresponde al punto P-1 obtenido de valor 0.07760 mg/L en el río Pataqueña, aguas arriba. La explicación de este valor corresponde a las actividades mineras de la mina Aruntani.

Tabla 16

Resultados de análisis Arsénico de los ríos Pataqueña y Chacapalca.

Parámetro	Unidad de Medida	Punto de Muestreo	Índices de Campo		
			D1 Riego de vegetales	D2 Bebida de animales	E2 Ambiente acuático
Valores ECA	mg/L		0,1	0,2	0,15
Arsénico	mg/L	P1	0,07760	0,07760	0,07760
		P2	0,10622	0,10622	0,10622

El valor del arsénico en las aguas superficiales del río Pataqueña, punto de muestreo P-1 no excede el ECA para aguas, a diferencia del valor máximo obtenido en el P-2 aguas abajo del río Chacapalca, que si sobrepasa el valor permisible por el ECA para aguas de uso riego de vegetales, atribuyéndose que es la presencia de la minera Aruntani quien contamina con esta concentración metálica, haciendo que el ambiente acuático a partir de la confluencia de los ríos Azufrini y Pataqueña sea considerado degradado por la presencia del arsénico en sus aguas, por ende afectando la flora y fauna del referido cuerpo de agua.

4.3.3 Cadmio (Cd)

El valor máximo del cadmio fue 0.01056 mg/L en el río Chacapalca aguas abajo, punto de muestreo P-2, haciéndolo no apto para riego de vegetales de acuerdo a la norma ECA. El valor mínimo corresponde al río Pataqueña que es menor a 0.00003 mg/L, en el punto de muestreo P-1; como se observa en la tabla 17 del presente estudio.

Tabla 17

Resultados de análisis para el Cadmio en los ríos Pataqueña y Chacapalca.

Parámetro	Unidad de Medida	Punto de Muestreo	Índices de Campo		
			D1 Riego de vegetales	D2 Bebida de animales	E2 Ambiente acuático
Valores ECA	mg/L		0,01	0,05	0,00025
Cadmio	mg/L	P1	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003
		P2	0,01056	0,01056	0,01056

La presencia del cadmio en aguas superficiales está asociada a residuos industriales y procesos de lixiviación en actividades mineras, como es el caso de nuestro estudio. El valor obtenido aguas debajo de la confluencia de los ríos Azufrini y Pataqueña, se

debe sin duda a la presencia y actividad de la minera Aruntani.

4.3.4 Cobre (Cu)

Como se observa en la tabla 18, las aguas del río Chacapalca correspondientes al punto de muestreo P-2 con un valor de 1,56238 mg/L sobrepasan los ECA para todo tipo de uso de aguas de la categoría 3 riego de vegetales y bebida de animales y, además para la categoría 4 conservación del ambiente acuático; para lo cual, la única razón de la presencia de este elemento nocivo es la descarga de residuos tóxicos hacia el río Azufrini proveniente de las actividades mineras de Aruntani. Los resultados, al igual que el Aluminio son preocupantes para el caso particular de nuestro estudio, dado que conjuntamente con el cobre son extremadamente nocivos para cualquier presencia de organismos vivos.

Tabla 18

Resultados de análisis para el Cobre en los ríos Pataqueña y Chacapalca.

Parámetro	Unidad de Medida	Punto de Muestreo	Índices de Campo		
			D1 Riego de vegetales	D2 Bebida de animales	E2 Ambiente acuático
Valores ECA	mg/L		0,2	0,5	0,1
Cobre	mg/L	P1	0,00165	0,00165	0,00165
		P2	1,56238	1,56238	1,56238

El valor de 1,56238 obtenido en el punto de muestreo P-2 aguas abajo del río Chacapalca es realmente inquietante frente a un valor permisible de 0,1 mg/L, 0,2 mg/L y 0,5 mg/L que establece el ECA para las categorías de uso de aguas de riego de vegetales, bebida de animales y conservación del ambiente acuático. De acuerdo a bibliografía disponible, el cobre es sumamente letal y tóxico a temperaturas bajas y cuando el pH tiende a ser ácido; este análisis corrobora la poca presencia de flora, fauna y otros organismos en la parte alta de la subcuenca del río Llallimayo, deduciendo que el aporte principal de este elemento son las actividades mineras y generación de desechos tóxicos de procesamiento provenientes de la minera Aruntani. Razón por la cual, las aguas de este cuerpo hídrico no son aptas para riego de vegetales y bebida de animales y consecuentemente la calidad del ambiente acuático se está viendo fuertemente afectada.

4.3.5 Manganeso (Mn)

Los resultados de manganeso son preocupantes para el caso de nuestro estudio, dado que se obtuvo un valor máximo de 0.48139 mg/L aguas abajo del río Chacapalca, punto de muestreo P-2. El valor mínimo fue de 0.01142 mg/L en el río Pataqueña aguas arriba, punto de muestreo P-1; con estos valores se determina que después de la confluencia de los ríos Azufrini y Pataqueña, las aguas con alto contenido de manganeso son nocivos para la flora, fauna y cualquier organismo presente en el cuerpo de agua del río Llallimayo.

Tabla 19

Resultados de análisis para el Manganeso en los rios Pataqueña y Chacapalca.

Parámetro	Unidad de Medida	Punto de Muestreo	Índices de Campo		
			D1 Riego de vegetales	D2 Bebida de animales	E2 Ambiente acuático
Valores ECA	mg/L		0,2	0,2	No aplica
Manganeso	mg/L	P1	0,01142	0,01142	0,01142
		P2	0,48139	0,48139	0,48139

La presencia del manganeso en el cuerpo de agua de la subcuenca parte alta del río Llallimayo nos muestra que la única fuente que puede encontrarse es a través de procesos industriales de actividad minera, lo preocupante al igual que otras sustancias de metales pesados como el plomo, cadmio y/o mercurio es que no se degradan y es bioacumulable en el organismo viviente. Con estos valores se precisa que el cuerpo de agua del río Llallimayo no es permisible para riego de vegetales, ni bebida de animales y consecuentemente deteriora la calidad del ambiente acuático de la subcuenca del río mencionado.

4.3.6 Mercurio (Hg)

Los resultados obtenidos de mercurio para ambos puntos de muestreo P-1 y P-2 se encuentran por debajo del valor 0.00009 mg/L, lo cual hace de este parámetro permisible para los usos de riego de vegetales, bebida de agua y no impacta a la calidad del ambiente acuático.

Tabla 20

Resultados de análisis para el Mercurio en los ríos Pataqueña y Chacapalca.

Parámetro	Unidad de Medida	Punto de Muestreo	Índices de Campo		
			D1 Riego de vegetales	D2 Bebida de animales	E2 Ambiente acuático
Valores ECA	mg/L		0,001	0,01	0,0001
Mercurio	mg/L	P1	< 0,00009	< 0,00009	< 0,00009
		P2	< 0,00009	< 0,00009	< 0,00009

La presencia del mercurio por debajo de los niveles ECA con ese valor no nos hace pensar que deja de ser nocivo, existe un grado de existencia que puede incrementarse en periodos de avenidas, dado que el agua por efecto de las lluvias hace que se diluya e incremente su valor en el medio acuático.

4.3.7 Plomo (Pb)

Al igual que el mercurio, los valores obtenidos de plomo fueron por debajo de los límites del ECA; para el punto de muestreo P-2 del río Chacapalca aguas abajo fue de 0.0019 mg/L, y de 0.0009 mg/L en el río Pataqueña aguas arriba P-1. Los resultados del análisis de laboratorio se muestran en la tabla 21.

Tabla 21

Resultados de análisis para el Plomo en los ríos Pataqueña y Chacapalca.

Parámetro	Unidad de Medida	Punto de Muestreo	Índices de Campo		
			D1 Riego de vegetales	D2 Bebida de animales	E2 Ambiente acuático
Valores ECA	mg/L		5,0	5,0	No aplica
Plomo	mg/L	P1	0,0009	0,0009	0,0009
		P2	0,0019	0,0019	0,0019

Los bajos niveles de plomo en los ambientes acuáticos de la zona de estudio, consideran que brindan una relativa seguridad de su inexistencia, pero ello no da lugar a pensar que pueden dejar de aumentar su presencia en épocas de lluvias, sobre todo en la parte baja del río Chacapalca, cuyo valor es 0,0019 mg/L.

4.4 Parámetros microbiológicos en la subcuenca parte alta del río Llallimayo

En este grupo está incluida la Escherichia Coli, considerada como un organismo de contaminación fecal, se ha demostrado que esta bacteria siempre está presente en un

número elevado en las heces de humanos y animales de sangre caliente y comprende casi 95% de los coliformes en las heces. Por esta razón, la contaminación de origen fecal puede ser evaluada mediante la determinación de coliformes termotolerantes o mediante la presencia de *E. coli*. Estos microorganismos son causantes de enfermedades de origen hídrico, que generan altos porcentajes de morbi-mortalidad en la población. El control de la calidad de agua requiere una serie de análisis dirigidos a determinar la presencia de microorganismos patógenos, según los resultados de laboratorio, en el punto de monitoreo se encontraron concentraciones de coliformes termotolerantes en valores diversos para los dos puntos de muestreo.

En la tabla 22, se precisan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, normativa legal y ambiental que rige a la fecha para los parámetros microbiológicos.

Tabla 22

Parámetros microbiológicos para la Categoría 3: Riesgo de vegetales y bebida de animales y Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático.

Agua para riego de vegetales y bebida de animales				
Parámetros Físico-químicos	Unidad de Medida	D1 - Riego de vegetales	D2 - Bebida de animales	E-2 Ambiente acuático
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1000	1000	2000

Fuente: D.S. N° 004-2017-MINAM, ECA para Agua.

En la tabla 23, se muestran los resultados de las características microbiológicas obtenidas en el laboratorio.

Tabla 23

Resultados de análisis de las características microbiológicas de los ríos Pataqueña y Chacapalca.

Parámetro	Unidad de Medida	Punto de Muestreo	Índices de Campo		
			D1 Riego de vegetales	D2 Bebida de animales	E2 Ambiente acuático
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	P1	3300	3300	3300
		P2	< 1,8	< 1,8	< 1,8

4.4.1 Coliformes termotolerantes

Los valores obtenidos para este parámetro son de particular interés, dado que muestran la acción de las aguas en sus diferentes formas, como alcalinas y acidas de

un ambiente acuático. En el punto de muestreo P-1, aguas arriba del río Pataqueña y antes de la confluencia con el río Azufrini provenientes del área donde se encuentran las actividades industriales de la mina Aruntani, el valor obtenido en ese punto es de 3300 NMP/100 ml por encima de los límites ECA; cuando la norma ambiental ECA determina que lo tolerable es 1000 NMP/100 ml para riego de vegetales y 2000 NMP/100 ml para bebidas de animales y calidad del ambiente acuático, lo cual con estos valores lo hacen inutilizables en cuanto a calidad. En el punto P-2, aguas abajo del río Chacapalca el valor prácticamente desaparece de 3000 a $< 1,8$ NMP/100 ml, tal como se muestran en la tabla 23.

De acuerdo a los valores obtenidos en el laboratorio para el parámetro de coliformes termotolerantes, los microorganismos fecales y patógenos desaparecen y son exterminados en un ambiente acuático de carácter ácido, por la presencia de rangos elevados en aluminio, arsénico, cobre cadmio y manganeso, presentes en elevadas cantidades, convirtiéndolo de aguas alcalinas aguas arriba del río Pataqueña a un cuerpo de elevada acidez en la parte baja de la confluencia con el río Azufrini, aguas abajo del río Chacapalca.

4.5 Discusión

Los ecosistemas y cuencas andinas están considerados como los más amenazados a nivel mundial, en este sentido y con el objeto de evaluar la calidad del agua en la subcuenca parte alta del río Llallimayo, se realizaron las mediciones “in situ” de los parámetros físico-químicos como el pH, temperatura y conductividad eléctrica; asimismo las valoraciones de las concentraciones de Al, As, Cd, Cu, Mn, Hg y Pb, además de los parámetros microbiológicos en los dos puntos de muestreo aguas arriba del río Pataqueña y aguas abajo del río Chacapalca, después de la confluencia con el río Azufrini. También se realizó la comparación de todos los parámetros con “los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y las disposiciones complementarias para su aplicación” (Decreto Supremo N° 004-017-MINAM).

Para los parámetros físico-químicos, los resultados obtenidos de campo nos indican que los valores altos del pH (9,7) y la CE (2674) sobrepasan los valores ECA para aguas, lo cual explica que este valor de acidez responde a la mineralización ácida de las aguas después de la confluencia del río Azufrini de carácter contaminante hacia el río Pataqueña; asimismo, la CE se le atribuye a la presencia de metales pesados provenientes

del río Azufrini. Cabe precisar que el muestro de aguas se realizó en época de estiaje (mes de julio) y ello concluye que los resultados no están relacionados a las precipitaciones, ya que las aguas de lluvia incrementan la disolución de minerales.

Los resultados de los parámetros inorgánicos muestran que los elementos analizados Al (13167), As (0.1062), Cd (0.01056), Cu (1.56238), Mn (0,48139), Hg (< 0,00009) y Pb (0,0019), los cinco primeros mencionados superaron los ECA permisibles para agua, calificándoseles como no permisibles para riego de vegetales, bebida de animales y calidad del ambiente acuático. Cabe señalar que la interpretación de estos valores fue evaluada con mucha cautela y los resultados nos inducen a asumir que la presencia de estos elementos tóxicos en las aguas de la subcuenca Llallimayo son provenientes de las actividades antrópicas e industriales de la mina Aruntani.

La evaluación de los parámetros microbiológicos, complementa la hipótesis de nuestro estudio, aguas arriba del río Pataqueña alcalinas por naturaleza, se concentran microorganismos fecales y patógenos (3300 NMP/100 ml por encima de los límites ECA), pero desaparecen completamente y son exterminados en un ambiente acuático de carácter ácido, por la presencia de rangos elevados en sustancias tóxicas como el aluminio, arsénico, cobre cadmio y manganeso, presentes en elevadas cantidades, convirtiéndolo de aguas alcalinas a un cuerpo de elevada acidez en la parte baja de la confluencia con el río Azufrini, aguas abajo del río Chacapalca; sin duda, corrobora la descarga de desechos industriales provenientes de la actividad minera en la zona.

CONCLUSIONES

- Los ríos que conforman la subcuenca parte alta del río Llallimayo son el río Pataqueña aguas arriba y el río Chacapalca aguas abajo que se origina de la confluencia con el río Azufrini; estos cuerpos de agua presentan los siguientes parámetros físico-químicos: pH = 9,7 y 6,3; Temperatura = 9,5 y 9,8 °C; CE = 1582 μ S/cm y 2674 μ S/cm.
- Las concentraciones de los parámetros inorgánicos-metales pesados son: Aluminio = 0,38 mg/L y 13,167 mg/L; Arsénico = 0,07760 mg/L y 0,10622 mg/L; Cadmio = < 0,00003 mg/L y 0,01056 mg/L; Cobre = 0,00165 mg/L y 1,56238 mg/L; Manganeso = 0,01142 mg/L y 0,48139 mg/L; Mercurio = < 0,00009 mg/L y Plomo 0,0009 mg/L y 0,0019 mg/L
- Los parámetros microbiológicos-coliformes termotolerantes presentan los siguientes valores: 3300 NMP/100 ml y 1,8 NMP/100 ml.
- Se identificaron que las concentraciones pH = 9,9 y 6,3; CE = 2674 μ S/cm; Aluminio = 13,167 mg/L; Arsénico = 0,10622 mg/L; Cadmio = 0,01056 mg/L; Cobre = 1,56238 mg/L; Manganeso = 0,48139 mg/L y Coliformes termotolerantes = 3300 NMP/100 ml, son los parámetros identificados que sobrepasan los valores de Estándares de Calidad Ambiental establecido por el D.S. N° 004-2017-MINAM.
- De acuerdo a la correlación e interpretación de los resultados de laboratorio y ECA para agua, establecido por el D.S. N° 004-2017-MINAM, se identifica que los parámetros que sobrepasan los valores de Estándares de Calidad Ambiental para el agua son: Al, As, Cd, Cu y Mn; la nocividad de estas sustancias metálicas elimina toda presencia de flora, fauna y microorganismos presentes en la subcuenca parte alta del río Llallimayo, infiriendo que las aguas no sean aptas para el riego de vegetales, bebida de animales y calidad del ambiente acuático; los cuales son correspondientes de acuerdo al ECA para la Categoría 3, Subcategorías D1, D2 y Categoría 4, Subcategoría E2 respectivamente.
- La causa principal de contaminación de la subcuenca parte alta del río Llallimayo es la descarga de desechos industriales provenientes de la actividad minera en la zona, siendo el río Azufrini el cauce receptor de estas sustancias tóxicas y que al confluir con el río Pataqueña altera el equilibrio del ecosistema hídrico de la zona.



RECOMENDACIONES

- Implementar un plan de vigilancia y monitoreo de metales pesados en la subcuenca parte media y baja del río Llallimayo.
- Llevar a cabo investigaciones sobre la presencia de metales pesados en ambas márgenes de la subcuenca del río Llallimayo.
- Formular proyectos de forestación y reforestación en ambas márgenes de la subcuenca Llallimayo y riberas del cauce hídrico.
- Desarrollar un diagnóstico ambiental integral de la zona, que incluya el inventario de los componentes principales del ecosistema de la subcuenca del río Llallimayo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdelmegui, N., Kheirallah, A. M., Shabana, A.-, Adham, K., & Abdel-Mone, A. (2002). Histochemical and Biochemical Changes in Liver of *Tilapia zillii* G. as a Consequence of Water Pollution. *Journal of Biological Sciences*, 2(4), 224–229. <https://doi.org/10.3923/jbs.2002.224.229>
- Aguado, B. (2012). *Especiación de metales pesados en sedimentos superficiales del sector central del golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. Universidad de Oriente Núcleo de Sucre, Venezuela. (Tesis de pregrado)*. Universidad Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Aguilar, G., & Iza, A. (2009). *Derecho Ambiental en Centroamérica Grethel Aguilar Rojas y Alejandro Iza* (Tomo II). Gland: Diseño Editorial S.A. Retrieved from <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/eplp-066-2.pdf>
- Alahabadi, A., & Malvandi, H. (2018). Contamination and ecological risk assessment of heavy metals and metalloids in surface sediments of the Tajan River, Iran. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 741–749. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.030>
- Alengebawy, A., Abdelkhalek, S. T., Qureshi, S. R., & Wang, M.-Q. (2021). Heavy Metals and Pesticides Toxicity in Agricultural Soil and Plants: Ecological Risks and Human Health Implications. *Toxics*, 9(3), 42. <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>
- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 2019, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
- Ali, M. M., Ali, M. L., Islam, M. S., & Rahman, M. Z. (2016). Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 5, 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2016.01.002>
- Álvarez, J., Sotero, V., Brack, A., & Ipenza, C. (2011). *Minería aurífera y contaminación con mercurio (CENSOPAS)*. Lima: Súper Gráfica E.I.R.L.
- Apaza, D. W. (2015). *Remocion de metales Plomo (Pb) y Zinc (Zn) de las aguas del rio*



- T'oro Q'ocha por precipitación alcalina en la ciudad de Juliaca. (Tesis de pregrado)* (Universidad Nacional del Altiplano de Puno). Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Puno, Perú. Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/1774>
- APHA. (1992). *APHA Method 9221: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 552.
- Babula, P., Adam, V., Opatrilova, R., Zehnalek, J., Havel, L., & Kizek, R. (2008). Uncommon heavy metals, metalloids and their plant toxicity: A review. *Environmental Chemistry Letters*, (6), 189–213.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos* (4th ed.). México D.F.: Pearson Educación de México, S A .
- Bai, Z., & Wang, M. (2020). Warmer temperature increases mercury toxicity in a marine copepod. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 201, 110861. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110861>
- Baird, C., & Cann, M. (2014). *Química Ambiental* (5th ed.). Buenos Aires: Reverté.
- Bermudez, M. (2010). *Contaminación y turismo sostenible*. Barcelona: CETD SA. Retrieved from <https://galeon.com/mauriciobermudez/contaminacion.pdf>
- Bonanno, G., Borg, J. A., & Di Martino, V. (2017). Levels of heavy metals in wetland and marine vascular plants and their biomonitoring potential: A comparative assessment. *Science of The Total Environment*, 576, 796–806. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.171>
- Bracho, G. J., Cuador, J. Q., & Rodríguez, R. M. (2016). Calidad del agua y sedimento en el lago de Maracaibo, estado Zulia. *Revista Minería y Geología*, 32(1), 1–14. Retrieved from <http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/1117/676>
- Bravo, F., Piedra, G., & Piedra, L. (2012). Evaluación físico-química de los sedimentos en el estero Tamarindo y sus tributarios, Guanacaste, Costa Rica. *Uniciencia*, 26(2), 41–50. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/4759/475947764005.pdf>
- Capacoila, J. (2017). *Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas*

- superficiales del rio Coata (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Puno, Perú.
- Casilla S. (2014). Evaluación de la calidad del agua en los diferentes puntos de descarga de la cuenca del río Suhez. Tesis Universidad Nacional del Altiplano, Puno. (*Tesis de pregrado*) (Universidad Nacional del Altiplano de Puno). Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Puno, Perú. Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4546>
- Chata, A. (2015). *Presencia de Metales Pesados (Hg, As, Pb y Cd) En Agua y Leche En la Cuenca del Rio Coata 2015. (Tesis de pregrado)* (Universidad Nacional del Altiplano de Puno). Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Puno, Perú. Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/1930>
- Chávez, D., & Delgadillo, M. (2011). Geo Titicaca - Perspectivas del Medio Ambiente en el Sistema Hídrico Titicaca - Desaguadero - Poopó - Salar de Coipasa (TDPS) - Geo Titicaca. *Pnuma, 0*(Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)), 187. Retrieved from <http://www.pnuma.org>
- Chen, Y., Jiang, Y., Huang, H., Mou, L., Ru, J., Zhao, J., & Xiao, S. (2018). Long-term and high-concentration heavy-metal contamination strongly influences the microbiome and functional genes in Yellow River sediments. *Science of The Total Environment*, 637–638, 1400–1412. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.109>
- Chiang, A. (1989). Niveles de los metales pesados en organismos, agua y sedimentos marinos recolectados en la V Región de Chile. In *Memorias del Simposio Internacional sobre los recursos vivos*. Santiago.
- Chopra, A. K., Sharma, M. K., & Chamoli, S. (2011). Bioaccumulation of organochlorine pesticides in aquatic system—an overview. *Environmental Monitoring and Assessment*, 173(1–4), 905–916. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1433-4>
- Cobb, G. P., Sands, K., Waters, M., Wixson, B. G., & Dorward-King, E. (2000). Accumulation of heavy metals by vegetables grown in mine wastes. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 19(3), 600–607. <https://doi.org/10.1002/etc.5620190311>
- Condori, S. F. (2018). *Evaluación físico-química de metales tóxicos en el Río Progreso – Puno. (Tesis de maestría)* (Universidad Nacional del Altiplano de Puno).



- Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Puno, Perú. Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9520>
- CooperAcción. (2016). *Metales pesados tóxicos y salud pública: El caso Espinar*. Retrieved from <http://cooperaccion.org.pe/wpcontent/uploads/2017/11/ESPINAR-Informe-sobre-salud-4-1.pdf>
- Cornelis, R., & Nordberg, M. (2007). General Chemistry, Sampling, Analytical Methods, and Speciation. In *Handbook on the Toxicology of Metals*. Elsevier.
- Domènech, X., & Peral, J. (2006). *Química ambiental de sistemas terrestres*. Barcelona: Reverté. Retrieved from https://www.reverte.com/libro/quimica-ambiental-de-sistemas-terrestres_89141/
- Duodu, G. O., Goonetilleke, A., & Ayoko, G. A. (2016). Comparison of pollution indices for the assessment of heavy metal in Brisbane River sediment. *Environmental Pollution*, 219, 1077–1091. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.008>
- Elosegi, A., & Sabater, S. (2003). *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Barcelona: Fundación BBVA - Rubes. Retrieved from https://www.fbbva.es/wp-content/uploads/2017/05/dat/DE_2009_conceptos_ecologia_fluvial.pdf
- Fagundo, J., & Gonzales, P. (2005). Hidrogequímica. *Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional (CENAMENT). Ministerio de Salud Pública. La Habana, Cuba*. Retrieved from <http://www.fagundojr.com/documentos/Hidrogeoquimica.pdf>
- Feng, Q., Suzuki, Y., & Hisashige, A. (1998). Hair Mercury Levels of Residents in China, Indonesia, and Japan. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 53(1), 36–43. <https://doi.org/10.1080/00039899809605687>
- Fernández, M. L., Razo, A. C., García, S., Gómez, L. M., Piñón, M. J., Ibarra, R. G., & Galar, M. (2012). Aluminum-induced oxidative stress and neurotoxicity in grass carp (Cyprinidae—*Ctenopharingodon idella*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 76, 87–92. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.09.012>
- Ferro, F. P. (2009). *Contaminación de la Cuenca del Rio Ramis, Puno – Peru*.
- Fuentes, F., & Massol, A. (2002). *Manual de Laboratorios ecología de microorganismos*.



- Arecibo: Universidad de Puerto Rico. Retrieved from <https://docplayer.es/21030130-Manual-de-laboratorios-ecologia-de-microorganismos.html>
- García, M. (2006). *El agua y su comportamiento como vehiculo de enfermedad*. Barcelona: MAD-Eduforma. Retrieved from https://books.google.com.pe/books?id=BPNo5dp8DJ8C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Genchi, G., Carocci, A., Lauria, G., Sinicropi, M. S., & Catalano, A. (2020). Nickel: Human Health and Environmental Toxicology. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 679. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030679>
- Gómez, C., González, R., & Viruel, R. (2010). *Conductividad de las disoluciones electrolíticas*. Retrieved from http://ocw.uv.es/ciencias/1-1/teo_conductividad_nuevo.pdf
- Gonzales, C. (2011). *Monitoreo de la calidad del agua- La turbidez*. Retrieved from <https://academic.uprm.edu/gonzalezc/id20.htm>
- Guzman, M., & Henostroza, A. (2009). Niveles de metales pesados en agua, sedimentos y organismos durante el crucero de caracterización bio-ecológica de la zona litoral del Lago Titicaca en áreas seleccionadas. Cr 0907. *PROYECTO: "Programa de Apoyo a La Pesca Artesanal, La Acuicultura y El Manejo"*, 74–80. Retrieved from http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/1/jer/PROPESCA_OTRO/difusion-publicaciones/materiales-elaborados-imarpe/1.3.2009a_IMARPE_Crucero_de_caracterizacion_bio-ecologica_completo.pdf
- Herrera, J., Rodríguez, J., Coto, J. M., Salgado, V., & Borbón, H. (2013). Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. *Revista Tecnología En Marcha*, 26(1), 27. <https://doi.org/10.18845/tm.v26i1.1119>
- Hofmann, G. E., & Todgham, A. E. (2010). Living in the Now: Physiological Mechanisms to Tolerate a Rapidly Changing Environment. *Annual Review of Physiology*, 72(1), 127–145. <https://doi.org/10.1146/annurev-physiol-021909-135900>

- Huaranga, F., Méndez, E., Quilcat, V., & Huaranga, F. (2012). Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche, 1980 – 2010, La Libertad – Perú. *Scientia Agropecuaria*, (3), Sci. Agropecu. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4027759>
- INEI. (2017). *Compendio Estadístico Puno 2017*. 464.
- Islam, M. S., Hossain, M. B., Matin, A., & Islam Sarker, M. S. (2018). Assessment of heavy metal pollution, distribution and source apportionment in the sediment from Feni River estuary, Bangladesh. *Chemosphere*, 202, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.077>
- Jordán, M., Almendro, M., Navarro, J., Pina, S., Camilo, S., & Gómez, I. (2006). *Ensayo de movilidad de Cadmio, Cobre y Niquel en un suelo de la provincia de Alicante. Tratado con lodo de Depura*. Alicante: Universidad de Miguel Hernández. Alicante. MACLA. Retrieved from http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla6/Macla6_273.pdf
- Juárez, H. S. (2006). *Contaminación del Río Rímac por metales pesados y efecto en la agricultura en el cono este de Lima, Metropolitana : reporte final de investigación para Agropolis. (Tesis de maestría)* (Universidad Nacional Agraria la Molina). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10625/29631>
- Kang, M., Tian, Y., Peng, S., & Wang, M. (2019). Effect of dissolved oxygen and nutrient levels on heavy metal contents and fractions in river surface sediments. *Science of The Total Environment*, 648, 861–870. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.201>
- Kilunga, P. I., Sivalingam, P., Laffite, A., Grandjean, D., Mulaji, C. K., de Alencastro, L. F., ... Poté, J. (2017). Accumulation of toxic metals and organic micro-pollutants in sediments from tropical urban rivers, Kinshasa, Democratic Republic of the Congo. *Chemosphere*, 179, 37–48. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.081>
- Ko, N. T., Suter, P., Conallin, J., Rutten, M., & Bogaard, T. (2020). Aquatic Macroinvertebrate Community Changes Downstream of the Hydropower Generating Dams in Myanmar-Potential Negative Impacts From Increased Power

- Generation. *Frontiers in Water*, 2. <https://doi.org/10.3389/frwa.2020.573543>
- Kwaansa, E., Nkrumah, D., Nti, S., & Opoku, F. (2019). Adsorption of heavy metals (Cu, Mn, Fe and Ni) from surface water using *Oreochromis niloticus* scales. *Pollution*, 5(1), 115–122. <https://doi.org/10.22059/POLL.2018.259347.454>
- Laino, R. M., Bello, R., González, M., Ramírez, N., Jiménez, F., & Musálem, K. (2015). Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 6(4), 61–74.
- Lenntech. (2004). *Heavy metals*. Retrieved from <https://www.lenntech.com/processes/heavy/heavy-metals/heavy-metals.htm>
- Lobato, A. L. (2013). *Evaluación ambiental y programas de remediación de la cuenca alta del río Ramis. (Tesis de grado)* (Universidad Nacional de Ingeniería). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Retrieved from <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1079>
- López, M. C. (2006). *Análisis de deformación tectónica en los pie de montes de las cordilleras Central y Occidental, Valle del Cauca, Colombia - Contribuciones Paleosísmicas. (Tesis de Maestría)*. Universidad Eafit, Medellín, Colombia.
- López, M., Prieto, F., Miranda, M., Castillo, C., Hernández, J., & Benedito, J. L. (2003). Cadmium and lead accumulation in cattle in NW Spain. *Veterinary and Human Toxicology*, 45(3), 128–130. Retrieved from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12776787/>
- Madera, C. (2006). *Las aguas residuales y su uso en la piscicultura : normas de Calidad y tecnologías de tratamiento*.
- Manahan, S. (2006). *Introducción a la química ambiental*. Barcelona: Reverté. Retrieved from https://www.reverte.com/libro/introduccion-a-la-quimica-ambiental_82109/
- Mancilla, Ó. R., Ortega, H. M., Ramírez, C., Uscanga, E., Ramos, R., & Reyes, A. L. (2011). Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 28(1), 39–48.
- Márquez, A., Senior, W., & Martínez, G. (2000). Concentraciones y comportamiento de

- metales pesados en una zona estuarina de Venezuela. *Interciencia*, 25(6), 284–291.
<https://doi.org/10.31219/osf.io/922vc>
- Marrugo, J., Pinedo, J., Paternina, R., Quiroz, L., & Pacheco, S. (2018). Distribución espacial y evaluación de la contaminación ambiental por mercurio en la región de la Mojana, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 23(S), 7062–7075.
<https://doi.org/10.21897/rmvz.1481>
- Mesa, M. A., Díaz, O., Sánchez, J.-M., Baqué, D., & Tavella, M.-J. (2015). Bioacumulación de metales pesados en arroz cultivado bajo condiciones de contaminación en la subcuenca Mampostón Heavy metal bioaccumulation in rice culture under contamination conditions in Mamposton watershed. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(december), 25–30.
- MINSA. (2011). *Guía de Práctica clínica para el diagnóstico de arsénico*. Lima: Ministerio de Salud del Perú.
- MINSA. (2013). *Guía de practica para el diagnóstico y tratamiento de la intoxicación por cadmio*. Lima: Ministerio de Salud del Perú.
- Mokarram, M., Saber, A., & Sheykhi, V. (2020). Effects of heavy metal contamination on river water quality due to release of industrial effluents. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123380. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123380>
- Mora, A., Jumbo, D., González, M., & Bermeo, S. A. (2016). Niveles de metales pesados en sedimentos de la cuenca del río puyango, Ecuador. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 32(4), 385–397.
<https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.04.02>
- Moronta, J. L., & Riverón, A. B. (2016). Evaluación de la calidad físico-química de las aguas y sedimentos en la costa oriental del lago de Maracaibo Assessment of water and sediment physico- chemical composition in the west coast of Maracaibo lake. *Mineria y Ecología*, 32(2), 102–111.
- Nava, C., & Mendez, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias*, 16(3), 140–147. Retrieved from <https://www.medigraphic.com/pdfs/arcneu/ane-2011/ane113f.pdf>



- Negrón, M. (2009). *Microbiología Estomatológica. Fundamentos y guía práctica* (2nd ed.). México D.F.: Editorial Medica Panamericana.
- Nurchi, V. M., Buha Djordjevic, A., Crisponi, G., Alexander, J., Bjørklund, G., & Aaseth, J. (2020). Arsenic Toxicity: Molecular Targets and Therapeutic Agents. *Biomolecules*, 10(2), 235. <https://doi.org/10.3390/biom10020235>
- Ocasio, F. (2008). *Evaluación de la calidad del agua y posibles fuentes de contaminación en un segmento del río Piedras. (Tesis de maestría)*. Universidad Metropolitana, San Juan, Puerto Rico.
- Ornela, M. (2008). *Dinámica biogeoquímica de nutrientes y metales pesados en ambientes intermareales de la laguna costera Mar Chiquita: potenciales efectos ecotoxicológicos sobre especies potenciales efectos ecotoxicológicos sobre especies claves del ecosistema. (Tesis de m* (Universidad Nacional del Sur). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. Retrieved from http://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/123456789/2009/1/Tesis_doctoral_Ornela.pdf
- Orozco, C. (2003). *Contaminación ambiental. Una visión desde la química*. Barcelona: Paraninfo S.A.
- Osores, F., Grández, J. A., & Fernández, J. L. (2010). Mercurio y salud en Madre de Dios, Perú. *Acta Médica Peruana*, 27(4), 310–314.
- Oyarzún, R., Higuera, P., & Lillo, J. (2011). Minería Ambiental. Una introducción a los Impactos y su Remediación. *GEMM - Aula2punto.net*, 1–337.
- Padilla, L. S. (2017). *Variabilidad Espacial de la Salinidad en Suelos del Distrito de Riego 014, Mexicali Baja California. (Tesis de grado)* (Universidad Autónoma del Estado de México). Universidad Autónoma del Estado de México, México D.F., México. Retrieved from <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/67920>
- Pandey, M., Pandey, A. K., Mishra, A., & Tripathi, B. D. (2014). Assessment of metal bioaccumulation in *Clarias batrachus* and exposure evaluation in human. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 4(4), 176–184.

- Paredes, E. N. (2013). *Concentración de Plomo y Cadmio en la cuenca media del Río Moche-La Libertad, 2013. (Tesis de grado)* (Universidad Nacional de Trujillo). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú. Retrieved from <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3909?show=full>
- Peris, M. (2005). *Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón*. Valencia: Universitat de València. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10550/15104>
- Planas, M. (2010). *Estudio sobre metales pesados en la cuenca del Jequetepeque, Perú. (Tesis de grado)* (Universitat Politècnica de Catalunya). Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya, España. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2099.1/10583>
- Posin, S. L., Kong, E. L., & Sharma, S. (2021). Mercury Toxicity. *StatPearls*. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK499935/>
- Pozo, F. (2017). Presencia de metales pesados Cadmio y Plomo en el estuario del río Chone Manabí, Ecuador. *CIENCIA UNEMI*, 10(24), 123–130. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol10iss24.2017pp123-130p>
- Pramanik, A., Gao, Y., Patibandla, S., Mitra, D., McCandless, M. G., Fassero, L. A., ... Chandra Ray, P. (2021). The rapid diagnosis and effective inhibition of coronavirus using spike antibody attached gold nanoparticles. *Nanoscale Advances*, 3(6), 1588–1596. <https://doi.org/10.1039/D0NA01007C>
- Proyecto CAMEP. (2014). *Machiguengas luchan por sobrevivir dentro del Parque Nacional del Manu | Perú*. Retrieved from <https://es.mongabay.com/2018/02/peru-mercurio-madre-de-dios-huancavelica-puno-cusco/>
- Quintero, L., Agudelo, E., Quintana, Y., Cardona, S., & Osorio, A. (2010). Determinación de indicadores para la calidad de agua, sedimentos y suelos, marinos y costeros en puertos colombianos. *Gestión y Ambiente*, 13(3), 51–64. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Determinaci+n+de+indicadores+para+la+calidad+de+agua+,+sedimentos+y+suelos+,+marinos+y+costeros+en+puertos+colombianos+Definition+of+indicators+for+marine+and+coastal+water+,+sediments+and+soil>
- Rascio, N., & Navari, I. F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: How an why

- do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Sci.*, 180, 169–181.
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.08.16>
- Red Muqui. (2014). *Propuesta de políticas públicas para una nueva minería en el Perú* (N. Carrasco, Ed.). Lima: SINCO EDITORES. Retrieved from https://muqui.org/wp-content/uploads/2019/11/Propuesta_Politicas_mineria.pdf
- Reyes, V. M. (2010). Dinámica del arsénico en el Valle de Tabalaopa-Aldama-El Cuervo, en Chihuahua, México. *Revista Latinoamericana De Recursos Naturales*, 6(1), 21–31. Retrieved from <http://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/180>
- Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M., & González, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66–77. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>
- Reynolds, K. (2002). *Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica: Identificación del Problema*. Retrieved from <http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/%0ADeLaLaveSepOct02.pdf>
- Rivera, J., & Rondan, L. (2009). *La eutrofización y su relación con DBO en la zona de Copacabana (Lago Titicaca)*. Retrieved from <http://jesusrivera101.blogspot.com/2009/03/eutrofizacion-en-el-peru.html>
- Rodríguez, A. S., & Avila, P. (1997). Stock of immobilized metals in “José Antonio Alzate” dam mud sediment samples in the State of México, México. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 221(1–2), 231–234.
<https://doi.org/10.1007/BF02035275>
- Rodríguez, D., Pérez, O., & Córdova, V. (2015). Educación Ambiental Vs. Baja Percepción Acerca De La Contaminación Por Metales Pesados En Comunidades Costeras. *Ciencia En Su PC*, (1), 13–28.
- Rosas, H. (2001). *Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. (Tesis Doctoral)*. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España.
- Salas, F. (2009). Determinación de metales pesados en las aguas del río Ananea debido a

- la actividad minera aurífera, Puno-Perú. *Revista De Investigaciones De La Escuela De Posgrado De La UNA PUNO*, 5(4), 47–53. <https://doi.org/10.26788/riepg.v5i4.14>
- Sánchez, E., & Quinteros, Z. (2017). Pertinencia del concepto de estándar de calidad ambiental (ECA) en la gestión de sistemas ambientales con varios estados alternativos. Estudio de caso de una experiencia Peruana. *Ecología Aplicada*, 16(2), 151. <https://doi.org/10.21704/rea.v16i2.1019>
- Sarah, R., Tabassum, B., Idrees, N., Hashem, A., & Abd_Allah, E. F. (2019). Bioaccumulation of heavy metals in *Channa punctatus* (Bloch) in river Ramganga (U.P.), India. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(5), 979–984. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.02.009>
- Sb, N. (2014). Copper Toxicity: haematological and histopathological changes and prophylactic role of vitamin C in the fish, *Anabas testudineus* (Bloch, 1792). *The Journal of Zoology Studies*, 1, 4–13.
- Schaefer, J. L., Baierle, I. C., Sellitto, M. A., Siluk, J. C. M., Furtado, J. C., & Nara, E. O. B. (2021). Competitiveness Scale as a Basis for Brazilian Small and Medium-Sized Enterprises. *Engineering Management Journal*, 33(4), 255–271. <https://doi.org/10.1080/10429247.2020.1800385>
- Schmidt, & Husted. (2019). The Biochemical Properties of Manganese in Plants. *Plants*, 8(10), 381. <https://doi.org/10.3390/plants8100381>
- Stevenson, M., & Bravo, C. (2019). Advanced turbidity prediction for operational water supply planning. *Decision Support Systems*, 119, 72–84. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.02.009>
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). *Heavy Metal Toxicity and the Environment*. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6
- Teves, B. M. (2016). *Estudio fisicoquímico de la calidad del agua del río Cakra, Región Lima. (Tesis de maestría)*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Tirado, A. C. (2013). *Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la calidad de agua que accede a la planta de tratamiento Casigana (EP EMAPA-Ambato) y*

- estrategias para evitar su contaminación. (Tesis de pregrado)* (Universidad Técnica de Ambato). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. Retrieved from <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/6644?mode=full>
- Towner, J. S., Sealy, T. K., Khristova, M. L., Albariño, C. G., Conlan, S., Reeder, S. A., ... Nichol, S. T. (2008). Newly Discovered Ebola Virus Associated with Hemorrhagic Fever Outbreak in Uganda. *PLoS Pathogens*, 4(11), e1000212. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1000212>
- Ttito, S. (2008). *Bioadsorción de plomo y cadmio por quitina de la caparazón de moluscos en aguas de actividad minera afluentes al río Ramis de la cuenca del Lago Titicaca. (Tesis de maestría)* (Universidad Nacional del Altiplano de Puno). Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Puno, Perú. Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/574>
- Vas, J., & Monestier, M. (2008). Immunology of Mercury. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1143(1), 240–267. <https://doi.org/10.1196/annals.1443.022>
- Vildes, M. ., de Souza, K. K., Savi, G. D., Bieber, M., Garcia, L. P., Vitorino, V., ... da Costa, D. (1996). *Contaminacion por metales pesados. plomo.* 1–5.
- Vivas, A. H., Arboleda, M. A., Sánchez, R., Benitez- Campo, N., Bravo, E., Soto, A., ... Larmat, F. E. (2015). Evaluación de la mutagenicidad causada por metales pesados presentes en agua del río Cauca en la ciudad de Cali, Colombia. *Revista Colombiana de Química*, 43(2), 18–24. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v43n2.53119>
- Wang, X., Chen, J., Yan, X., Wang, X., Zhang, J., Huang, J., & Zhao, J. (2015). Heavy metal chemical extraction from industrial and municipal mixed sludge by ultrasound-assisted citric acid. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 27, 368–372. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2015.01.016>
- Wright, G. (2005). Bacterial resistance to antibiotics: Enzymatic degradation and modification. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 57(10), 1451–1470. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2005.04.002>
- Zamora, G., Zambrana, J., Thompson, M., & Molina, C. (2007). *Evaluación ambiental del lago Poopó y sus ríos tributarios 2005- 2007*. Oruro: Universidad Técnica de Oruro; Minco Srl., Mining Consulting & Engineering; Worley Parsons Komex,



Laboratorio de Limnología UMSA.

Zhang, H., Wan, Z., Ding, M., Wang, P., Xu, X., & Jiang, Y. (2018). Inherent bacterial community response to multiple heavy metals in sediment from river-lake systems in the Poyang Lake, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 165, 314–324.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.09.010>

ANEXOS

Anexo 1. Decreto Supremo-004-2017-MINAM_001

10	NORMAS LEGALES	Miércoles 7 de junio de 2017 /  El Peruano
Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias		
DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM		
EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA		
CONSIDERANDO:		
<p>Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;</p>		
<p>Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28011, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;</p>		
<p>Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;</p>		
<p>Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los cuales serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;</p>		
<p>Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;</p>		
<p>Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;</p>		
<p>Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2006-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;</p>		
<p>Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;</p>		
<p>Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;</p>		
<p>Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;</p>		
<p>Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,</p>		
<p>publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;</p>		
<p>De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29156, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;</p>		
DECRETA:		
Artículo 1.- Objeto de la norma		
<p>La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2006-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.</p>		
Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua		
<p>Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.</p>		
Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua		
<p>Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:</p>		
3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional		
a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		
<p>Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:</p>		
- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección		
<p>Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.</p>		
- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional		
<p>Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.</p>		
- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado		
<p>Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.</p>		
b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación		
<p>Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:</p>		

- B1. Contacto primario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de actividades como la natación, el esquí acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, la navegación en tabla a vela, la moto acuática, la pesca submarina o similares.

- B2. Contacto secundario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

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

a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de moluscos (Ej.: ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabritas, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (Ej.: erizos y estrella de mar) y tunicados.

b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto. Esta subcategoría comprende a los peces y las algas comestibles.

c) Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas aledañas a las infraestructuras marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.

d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

a) Subcategoría D1: Riego de vegetales

Entiéndase para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

- Agua para riego no restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

- Agua para riego restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

b) Subcategoría D2: Bebida de animales

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno,

equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

b) Subcategoría E2: Ríos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

- Ríos de la costa y sierra

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

- Ríos de la selva

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos

- Estuarios

Entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.

- Marinos

Entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Precísese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotermales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reuso.

Artículo 4.- Asignación de categorías a los cuerpos naturales de agua

4.1 La Autoridad Nacional del Agua es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas en el presente Decreto Supremo atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

4.2 En caso se identifique dos o más posibles categorías para una zona determinada de un cuerpo natural de agua, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría aplicable, priorizando el uso poblacional.

Artículo 5.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua como referente obligatorio

5.1 Los parámetros de los ECA para Agua que se aplican como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, se determinan considerando las siguientes variables, según corresponda:

a) Los parámetros asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o la actividad productiva, extractiva o de servicios.

b) Las condiciones naturales que caracterizan el estado de la calidad ambiental de las aguas superficiales que no han sido alteradas por causas antrópicas.

c) Los niveles de fondo de los cuerpos naturales de agua; que proporcionan información acerca de las concentraciones de sustancias o agentes físicos,

químicos o biológicos presentes en el agua y que puedan ser de origen natural o antrópico.

d) El efecto de otras descargas en la zona, tomando en consideración los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos que se presenten aguas arriba y aguas abajo de la descarga del efluente, y que influyan en el estado actual de la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua donde se realiza la actividad.

e) Otras características particulares de la actividad o el entorno que pueden influir en la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua.

5.2 La aplicación de los ECA para Agua como referente obligatorio está referida a los parámetros que se identificaron considerando las variables del numeral anterior, según corresponda, sin incluir necesariamente todos los parámetros establecidos para la categoría o subcategoría correspondiente.

Artículo 6.- Consideraciones de excepción para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

En aquellos cuerpos naturales de agua que por sus condiciones naturales o, por la influencia de fenómenos naturales, presenten parámetros en concentraciones superiores a la categoría de ECA para Agua asignada, se exceptúa la aplicación de los mismos para efectos del monitoreo de la calidad ambiental, en tanto se mantenga uno o más de los siguientes supuestos:

a) Características geológicas de los suelos y subsuelos que influyen en la calidad ambiental de determinados cuerpos naturales de aguas superficiales. Para estos casos, se demostrará esta condición natural con estudios técnicos científicos que sustenten la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, aprobados por la Autoridad Nacional del Agua.

b) Ocurrencia de fenómenos naturales extremos, que determina condiciones por exceso (inundaciones) o por carencia (sequías) de sustancias o elementos que componen el cuerpo natural de agua, las cuales deben ser reportadas con el respectivo sustento técnico.

c) Desbalance de nutrientes debido a causas naturales, que a su vez genera eutrofización o el crecimiento excesivo de organismos acuáticos, en algunos casos potencialmente tóxicos (mareas rojas). Para tal efecto, se debe demostrar el origen natural del desbalance de nutrientes, mediante estudios técnicos científicos aprobados por la autoridad competente.

d) Otras condiciones debidamente comprobadas mediante estudios o informes técnicos científicos actualizados y aprobados por la autoridad competente.

Artículo 7.- Verificación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua fuera de la zona de mezcla

7.1 En cuerpos naturales de agua donde se vierten aguas tratadas, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, entendida esta zona como aquella que contiene el volumen de agua en el cuerpo receptor donde se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y dispersión, sin considerar otros factores como el decalcimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química.

7.2 Durante la evaluación de los Instrumentos de gestión ambiental, las autoridades competentes consideran y/o verifican el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, en aquellos parámetros asociados prioritariamente a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad.

7.3 La metodología y aspectos técnicos para la determinación de las zonas de mezcla serán establecidos por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y la autoridad competente.

Artículo 8.- Sistematización de la Información

8.1 Las autoridades competentes de los tres niveles de gobierno, que realicen acciones de vigilancia, monitoreo, control, supervisión y/o fiscalización ambiental remitirán

al Ministerio del Ambiente la información generada en el desarrollo de estas actividades con relación a la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, a fin de que sirva como insumo para la elaboración del Informe Nacional del Estado del Ambiente y para el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

8.2 La autoridad competente debe remitir al Ministerio del Ambiente la relación de aquellos cuerpos naturales de agua exceptuados de la aplicación del ECA para Agua, referidos en los literales a) y c) del artículo 6 del presente Decreto Supremo, adjuntando el sustento técnico correspondiente.

8.3 El Ministerio del Ambiente establece los procedimientos, plazos y los formatos para la remisión de la información.

Artículo 9.- Refrendo

El presente Decreto Supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, el Ministro de Agricultura y Riego, el Ministro de Energía y Minas, la Ministra de Salud, el Ministro de la Producción y el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

Primera.- Aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en los Instrumentos de gestión ambiental aprobados

La aplicación de los ECA para Agua en los Instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de Instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Agua se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial.

Segunda.- Del Monitoreo de la Calidad Ambiental del Agua

Las acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua debe realizarse de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Autoridad Nacional del Agua.

Tercera.- Métodos de ensayo o técnicas analíticas

El Ministerio del Ambiente, en un plazo no mayor a seis (6) meses contado desde la vigencia de la presente norma, establece los métodos de ensayo o técnicas analíticas aplicables a la medición de los ECA para Agua aprobados por la presente norma, en coordinación con el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y las autoridades competentes.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS

Primera.- Instrumento de gestión ambiental y/o plan Integral en trámite ante la Autoridad Competente

Los titulares que antes de la fecha de entrada en vigencia de la norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del Instrumento de gestión ambiental y/o plan Integral ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Agua vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el Instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los titulares deberán considerar lo establecido en la Primera Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Agua aprobados mediante el presente Decreto Supremo.

Segunda.- De la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas

Para la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas, la Autoridad Nacional del Agua, tomará en cuenta los ECA para Agua considerados en la aprobación del Instrumento de gestión ambiental correspondiente.

Tercera.- De la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en cuerpos naturales de agua no categorizados

En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua, se debe aplicar la categoría del

recurso hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha Autoridad.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA
DEROGATORIA**

Única.- Derogación de normas referidas a Estándares de Calidad Ambiental para Agua
Derógase el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS
Ministra del Ambiente

GONZALO TAMAYO FLORES
Ministro de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ-CALDERÓN
Ministro de la Producción

PATRICIA J. GARCÍA FUNEGRA
Ministra de Salud

EDMER TRUJILLO MORI
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

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	(µS/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 antropico	Ausencia de material flotante de origen antropico	Ausencia de material flotante de origen antropico
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	**	**

14 **NORMAS LEGALES** Miércoles 7 de junio de 2017 / **El Peruano**

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
Níquel	mg/L	0.07	**	**
Plomo	mg/L	0.01	0.05	0.05
Selenio	mg/L	0.04	0.04	0.05
Uranio	mg/L	0.02	0.02	0.02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C ₉ - C ₂₀)	mg/L	0.01	0.2	1.0
Trihalometanos	(e)	1.0	1.0	1.0
Bromoformo	mg/L	0.1	**	**
Cloroformo	mg/L	0.3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0.1	**	**
Bromoclorometano	mg/L	0.06	**	**
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0.2	0.2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0.03	**	**
1,2-Dicloroetano	mg/L	0.03	0.03	**
1,2-Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0.0006	0.0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0.04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0.004	0.004	**
Tricloroetano	mg/L	0.07	0.07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0.01	0.01	**
Etilbenceno	mg/L	0.3	0.3	**
Tolueno	mg/L	0.7	0.7	**
Xilenos	mg/L	0.5	0.5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0.0007	0.0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0.009	0.009	**
Organofosforados				
Malatión	mg/L	0.19	0.0001	**
Organoclorados				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0.00003	0.00003	**
Clordano	mg/L	0.0002	0.0002	**
Dicloro Difetil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0.001	0.001	**
Endrin	mg/L	0.0006	0.0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0.00003	0.00003	**
Lindano	mg/L	0.002	0.002	**
Catamato				
Aldicarb	mg/L	0.01	0.01	**
II. CIANOTOXINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0.001	0.001	**
III. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0.0005	0.0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
Escherichia coli	NMP/100 ml	0	**	**
Vibrio cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoos, copepodos, rotíferos, nematodos, en todos sus estados evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<3x10 ⁶	<3x10 ⁶

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).
(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃⁻-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃⁻).

(d) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitrilos-N (NO_2^- -N), multiplicar el resultado por el factor 3.28 para expresarlo en unidades de Nitritos (NO_2^-).

(e) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodiclorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{Cloroformo}}}{E_{C\text{Cloroformo}}} + \frac{C_{\text{Dibromoclorometano}}}{E_{C\text{Dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromodiclorometano}}}{E_{C\text{Bromodiclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromoformo}}}{E_{C\text{Bromoformo}}} \leq 1$$

Dónde:

C= concentración en mg/L y

ECA= Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodiclorometano).

(f) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentos o pluricelulares. $\Delta 3$: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 1:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
FÍSICOS- QUÍMICOS			
Acetles y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,05	**
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos (NO_3^- -N)	mg/L	10	**
Nitritos (NO_2^- -N)	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,005	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**
Giardia duodenalis	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos Intestinales	NMP/100 ml	200	**
Salmonella spp	Presencia/100 ml	0	0
Vibrio cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

Nota 2:

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.
- NMP/100 ml: Número más probable en 100 ml.
- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

16 **NORMAS LEGALES** Miércoles 7 de junio de 2017 / **El Peruano**

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

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
FÍSICOS- QUÍMICOS					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,002	0,002	**	0,0025
Nitratos (NO ₃ -) (c)	mg/L	10	10	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	60	60	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
INORGÁNICOS					
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0015	0,00077
Níquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Talio	mg/L	**	**	**	0,0006
Zinc	mg/L	0,001	0,001	0,12	1,0
ORGÁNICO					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
Bifenilos Policlorados					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
ORGANOLÉPTICO					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
MICROBIOLÓGICO					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	≤ 14 (área aprobada) (d)	≤ 30	1 000	200
	NMP/100 ml	≤ 88 (área restringida) (d)			

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃⁻-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃⁻).

(d) **Área Aprobada:** Áreas de donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal, de organismos patógenos o cualquier sustancia deletérea o venenosa y potencialmente peligrosa.

Área Restringida: Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano, luego de ser depurados.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 3:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃).

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃)

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,3	7,0	7,5	8,0	8,3	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,06	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,256	0,094	0,043	0,021

Nota:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceles y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	510		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		3 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 - 8,5		6,5 - 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
ORGÁNICO				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35		35
Organoclorados				
Aldrin	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difeníl Tricloroetano (DDE)	µg/L	0,001		30
Dieldrin	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrin	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
Carbanato				
Aldicarb	µg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminfos	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 4:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FISICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,005	**	**	**	**
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	5,6	5,6
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 - 8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0055	0,0055
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	0,0052	0,0052
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0051	0,0051
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,061	0,061
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexafluorobutadieno	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						
Aldrín	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Dieldrín	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDT y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrín	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,000019	0,000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrín	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,000023	0,000023
Heptacloro	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,000038	0,000038
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Carbamato						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

- (a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).
 (b) Después de la filtración simple.
 (c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO_3^- -N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO_3^-).
 Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 5:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.
- (1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH_3) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.

- (2) Aplicar la Tabla N° 2 sobre Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3).

Tabla N° 2: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3)

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
Salinidad 10 g/kg								
7,0	41,00	29,00	20,00	14,00	9,40	6,60	4,40	3,10
7,2	26,00	18,00	12,00	8,70	5,90	4,10	2,80	2,00
7,4	17,00	12,00	7,00	5,30	3,70	2,60	1,80	1,20
7,6	10,00	7,20	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,84
7,8	6,60	4,70	3,10	2,20	1,50	1,10	0,75	0,53
8,0	4,10	2,90	2,00	1,40	0,97	0,69	0,47	0,34
8,2	2,70	1,90	1,30	0,87	0,62	0,44	0,31	0,23
8,4	1,70	1,20	0,81	0,56	0,41	0,29	0,21	0,16
8,6	1,10	0,75	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11
8,8	0,69	0,50	0,34	0,25	0,18	0,14	0,11	0,08
9,0	0,44	0,31	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 20 g/kg								
7,0	44,00	30,00	21,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10
7,2	27,00	19,00	13,00	9,00	6,20	4,40	3,00	2,10
7,4	18,00	12,00	8,10	5,60	4,10	2,70	1,90	1,30
7,6	11,00	7,50	5,30	3,40	2,50	1,70	1,20	0,84
7,8	6,90	4,70	3,40	2,30	1,60	1,10	0,78	0,53
8,0	4,40	3,00	2,10	1,50	1,00	0,72	0,50	0,34
8,2	2,80	1,90	1,30	0,94	0,66	0,47	0,31	0,24
8,4	1,80	1,20	0,84	0,59	0,44	0,30	0,22	0,16
8,6	1,10	0,75	0,56	0,41	0,28	0,20	0,15	0,12
8,8	0,72	0,50	0,37	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08
9,0	0,47	0,34	0,24	0,18	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 30 g/kg								
7,0	47,00	31,00	22,00	15,00	11,00	7,20	5,00	3,40
7,2	29,00	20,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10	2,20
7,4	19,00	13,00	8,70	5,90	4,10	2,90	2,00	1,40
7,6	12,00	8,10	5,60	3,70	2,50	1,80	1,30	0,90
7,8	7,50	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,81	0,56

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
8,0	4,70	3,10	2,20	1,60	1,10	0,75	0,53	0,37
8,2	3,00	2,10	1,40	1,00	0,69	0,50	0,34	0,25
8,4	1,90	1,30	0,90	0,62	0,44	0,31	0,23	0,17
8,6	1,20	0,84	0,59	0,41	0,30	0,22	0,16	0,12
8,8	0,75	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11	0,09
9,0	0,50	0,34	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08	0,07

Notas:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 7,0 a 9,0, Temperatura de 0 a 35°C, y Salinidades de 10, 20 y 30 g/kg. Para comparar la Salinidad de las muestras de agua superficial, se deben tomar la salinidad próxima inferior (30, 20 o 10) al valor obtenido en la muestra, ya que la condición más extrema se da a menor salinidad. Asimismo, para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N (NH_3 -N), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH_3).

NOTA GENERAL:

- Para el parámetro de Temperatura el símbolo Δ significa variación y se determinará considerando la media histórica de la información disponible en los últimos 05 años como máximo y de 01 año como mínimo, considerando la estacionalidad.
- Los valores de los parámetros están referidos a la concentración máxima, salvo que se precise otra condición.
- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

1529835-2

Anexo 2. Análisis de laboratorio 1



**REPORTE DE RESULTADOS
ANÁLISIS AMBIENTAL**

DATOS GENERALES

ORDEN: MA1814458
 CLIENTE: ESPINOZA RIVAS GERIMÁN RAFAEL
 PROCEDENCIA: PARTE ALTA SUBCUENCA RIO LLALLIMAYO
 CANTIDAD DE MUESTRAS: 2
 FECHA DE RECEPCIÓN SGS: 12/06/2021
 COMENTARIOS:
 FECHA DE EMISIÓN: 20/07/2021

DATOS DE LA MUESTRA

FECHA DE MUESTREO: 11/07/2021
 HORA DE MUESTREO: 12:50
 CATEGORÍA: AGUA NATURAL
 SUB CATEGORÍA: AGUA SUPERFICIAL
 IDENTIFICACION DE MUESTRA: P-1 RIO PATAQUEÑA
 RESULTADO: 2.0
 RESULTADO: 179.4
 RESULTADO: <3
 RESULTADO: <2.6
 RESULTADO: <0.0008
 RESULTADO: 49.1
 RESULTADO: 179.8
 RESULTADO: 58
 RESULTADO: <2.6
 RESULTADO: <0.0008
 RESULTADO: 81.121
 RESULTADO: 255.285
 RESULTADO: 3300
 RESULTADO: 240
 RESULTADO: <1.8
 RESULTADO: <1.8

PARÁMETRO

Análisis Sensoriales

REFERENCIA	UNIDAD	LD	LC	RESULTADO	RESULTADO
EW_APHA21308	NTU	0.1	0.2	2.0	49.1
EW_APHA2340C_AQ	mg CaCO3/L	0.5	1.1	179.4	179.8
EW_APHA2540D_AQ	mg/L	1	3	<3	58
EW_APHA5210B_AQ	mg/L	1.0	2.6	<2.6	<2.6
EW_ASTMD7511	mg/L	0.0003	0.0008	<0.0008	<0.0008

ANÁLISIS DE

Cloruro

EW_EPA300_0_AQ	mg/L	0.029	0.093	126.176	81.121
EW_EPA300_0_AQ	mg/L	0.010	0.031	163.732	255.285

Análisis Microbiológicos

Numeración Coliformes totales
 Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes

EW_APHA9221B_AQ	NMP/100 mL	--	--	3300	<1.8
EW_APHA9221E_NMP_AQ	NMP/100 mL	--	--	240	<1.8

Metales Totales

Plata Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.000003	0.000010	<0.000010	<0.000010
Aluminio Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.001	0.003	0.038	13.167
Arsénico Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.00003	0.00010	0.10622	0.07760
Boro Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.002	0.006	1.195	0.848
Bario Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.0001	0.0003	0.0686	0.0519
Berilio Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	0.00175
Bismuto Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	<0.00003
Calcio Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.003	0.009	67.816	46.946
Cadmio Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	0.01056
Cerio Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.00008	0.00024	<0.00024	0.00841
Cobalto Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	0.05856
Cromo Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	0.0046
Cesio Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.0001	0.0003	0.0760	0.0509
Cobre Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.00165	1.56238
Hierro Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.0004	0.0013	0.1287	16.6294
Galio Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.00004	0.00012	<0.00012	0.00055
Germanio Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Hafnio Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.00005	0.00015	<0.00015	<0.00015
Mercurio Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009	<0.00009
Potasio Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.04	0.13	9.07	7.46
Lantano Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	0.0033
Litio Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.0001	0.0003	0.5115	0.3628
Lutecio Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	0.00007
Magnesio Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.001	0.003	12.009	10.376
Manganeso Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.00003	0.00010	0.01142	0.48139
Molibdeno Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Sodio Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.006	0.019	108.567	83.289
Niobio Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	<0.0015
Niquel Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.0002	0.0006	0.0006	0.0693
Fósforo Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.015	0.047	<0.047	<0.047
Plomo Total	EW_EPA200_S_AQ	mg/L	0.0002	0.0006	0.0009	0.0019

Rubidio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0003	0.0009	0.0691	0.0519
Antimonio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00004	0.00013	0.00162	<0.00013
Selenio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0004	0.0013	<0.0013	<0.0013
Silicio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.04	0.13	13.11	18.06
Silice Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.09	0.27	28.05	38.63
Estaño Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010	<0.00010
Estroncio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0002	0.0006	1.6450	1.0738
Tantalio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021	<0.0021
Teluro Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.001	0.003	<0.0003	<0.0003
Thorio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00006	0.00019	<0.00019	<0.00019
Titanio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0002	0.0006	0.0042	0.0076
Talio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	0.00205
Uranio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.000003	0.000010	0.000603	0.003507
Vanadio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	<0.0003
Wolframio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Yterbio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	0.00056
Zinc Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0008	0.0026	0.0113	0.2569
Zirconio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00015	0.00045	<0.00045	<0.00045

Nota: SGS no es responsable de los datos una vez emitidos al cliente. El presente reporte de resultados de análisis no debe ser utilizado como un Informe de ensayo ante autoridades. El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas





**REPORTE DE RESULTADOS
ANÁLISIS AMBIENTAL**

DATOS GENERALES

ORDEN:	MA1814458
CLIENTE:	ESPINOSA RIVAS GERMÁN RAFAEL
PROCEDENCIA:	PARTE ALTA SUBCUENCA RÍO LLALLIMAYO
CANTIDAD DE MUESTRAS:	2
FECHA DE RECEPCIÓN SGS:	12/06/2021
COMENTARIOS:	
FECHA DE EMISIÓN:	20/07/2021

DATOS DE LA MUESTRA

FECHA DE MUESTREO:	11/07/2021	11/07/2021
HORA DE MUESTREO:	12:50	13:30
CATEGORÍA:	AGUA NATURAL	AGUA NATURAL
SUB CATEGORÍA:	AGUA SUPERFICIAL	AGUA SUPERFICIAL

IDENTIFICACION DE MUESTRA: P-1 RIO PATAQUEÑA P-2 RIO CHACAPALCA

PARÁMETRO	REFERENCIA	UNIDAD	LD	LC	RESULTADO	RESULTADO
Análisis Sensoriales						
Turbidez	EW_APH42130B	NTU	0.1	0.2	2.0	49.1
Dureza Total	EW_APH42340C_AQ	mg CaCO3/L	0.5	1.1	179.4	179.8
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APH42540D_AQ	mg/L	1	3	<3	58
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APH45210B_AQ	mg/L	1.0	2.6	<2.6	<2.6
Cianuro total	EW_ASTMD7511	mg/L	0.0003	0.0008	<0.0008	<0.0008
ANÁLISIS DE						
Cloruro						
Cloruro	EW_EPA300_0_AQ	mg/L	0.019	0.093	126.176	81.121
Sulfato						
Sulfato	EW_EPA300_0_AQ	mg/L	0.010	0.051	163.732	255.285
Análisis Microbiológicos						
Numeración Coliformes totales	EW_APH49221B_AQ	NMP/100 mL	--	--	3300	<1.8
Numeración de Coliformes fecales o termot	EW_APH49221E_NMP_AQ	NMP/100 mL	--	--	240	<1.8
Metales Totales						
Plata Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010	<0.00010
Aluminio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.001	0.003	0.038	13.167
Arsénico Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00003	0.00010	0.10622	0.07760
Boro Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.002	0.006	1.195	0.848
Bario Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0001	0.0003	0.0686	0.0519
Berilio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	0.00175
Bismuto Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	<0.00003
Calcio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.003	0.009	67.816	46.946
Cadmio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	0.01056
Cerio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00008	0.00024	<0.00024	0.00841
Cobalto Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	0.05856
Cromo Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	0.0046
Criso Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0001	0.0003	0.0760	0.0509
Cobre Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00003	0.00009	0.00165	1.56238
Hierro Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0004	0.0013	0.1287	16.6294
Galio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00004	0.00012	<0.00012	0.00055
Germanio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Hafnio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00005	0.00015	<0.00015	<0.00015
Mercurio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009	<0.00009
Potasio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.04	0.13	9.07	7.46
Lantano Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	0.0033
Litio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0001	0.0003	0.5115	0.3628
Lutecio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	0.00007
Magnesio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.001	0.003	12.009	10.376
Manganeso Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00003	0.00010	0.01142	0.48139
Molibdeno Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006
Sodio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.006	0.019	108.567	83.289
Niobio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	<0.0015
Niquel Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0002	0.0006	0.0006	0.0693
Fósforo Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.015	0.047	<0.047	<0.047
Plomo Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0002	0.0006	0.0009	0.0019
Rubidio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0003	0.0009	0.0691	0.0519
Antimonio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00004	0.00013	0.00162	<0.00013
Selenio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0004	0.0013	<0.0013	<0.0013
Silicio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.04	0.13	13.11	18.06
Silico Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.09	0.27	28.05	38.63
Estaño Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010	<0.00010
Estroncio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0002	0.0006	1.6450	1.0738
Tantalio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021	<0.0021
Teluro Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.001	0.003	<0.003	<0.003
torio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00006	0.00019	<0.00019	<0.00019
Titanio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0002	0.0006	0.0042	0.0076
Talio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	0.00105
Uranio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.000003	0.000010	0.000603	0.003507
Vanadio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	<0.0003
Wolframio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006
Yterbio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	0.00056
Zinc Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.0008	0.0026	0.0113	0.1569
Zirconio Total	EW_EPA200_8_AQ	mg/L	0.00015	0.00045	<0.00045	<0.00045

Nota: SGS no es responsable de los datos una vez emitidos al cliente. El presente reporte de resultados de análisis no debe ser utilizado como un Informe de ensayo ante autoridades. El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas



Anexo 4. Panel Fotográfico



Figura 4. Vista panorámica del área de estudio en sentido suroeste, piso ecológico puna.



Figura 5. Al fondo se observa el puente tipo arco por donde fluye el río Azufrini.



Figura 6. Rio Pataqueña, aguas arriba del puente peatonal y confluencia con el río Azufrini.



Figura 7. Punto de muestreo P-1, 200 m aguas arriba del puente peatonal, se observa baja turbidez.



Figura 8. Rio Chacapalca, aguas abajo del puente peatonal y confluencia con el río Azufrini



Figura 9. Punto de muestreo P-2, 250 m aguas abajo del puente peatonal, se observa elevada turbidez



Figura 10. Medidor multiparamétrico de valores pH, CE, TDS, T°.

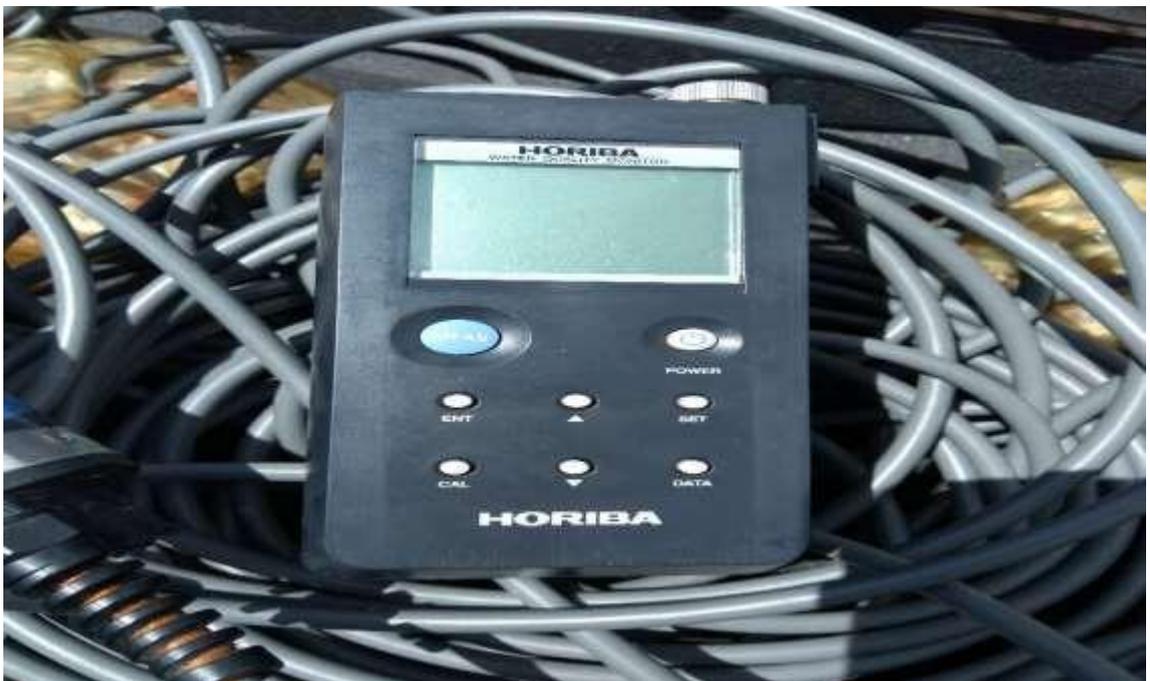


Figura 11. Medidor multiparamétrico HORIBA de 4 valores, debidamente calibrado.



Figura 12. Monitoreo y obtención de muestras de aguas en el punto P-1 aguas arriba del puente peatonal.



Figura 13. Monitoreo y obtención de muestras de aguas en el punto P-2 aguas abajo del puente peatonal.



Figura 14. Señalización que precisa las actividades de la Unidad Minera Arasi SAC.



Figura 15. Confluencia de ríos Azufrini (izquierda) y Pataqueña (derecha) dan origen al río Chacapalca



Figura 16. Muestras de agua codificadas en envases listos para su remisión al laboratorio.

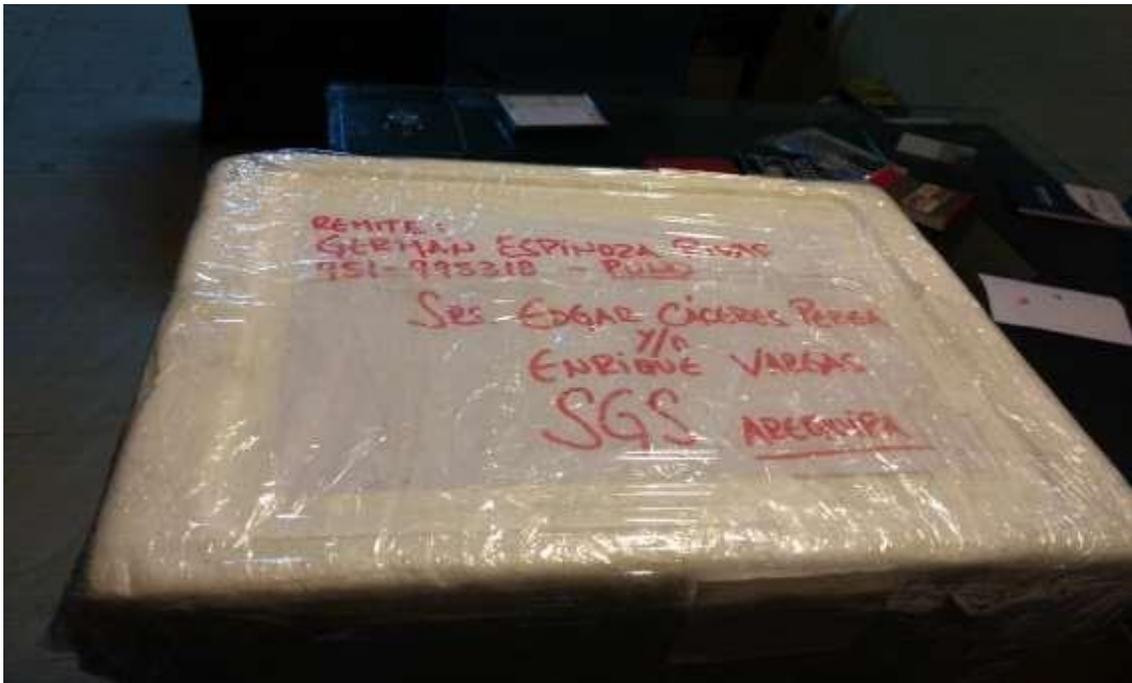


Figura 17. Paquete con las muestras de agua debidamente selladas y hermética remitidas al laboratorio.