



**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO**

ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POR EFLUENTES MINEROS EN LA  
CUENCA ALTA DEL RÍO SAN JUAN, CERRO DE PASCO, 2020

**Línea de investigación:**

**Biodiversidad, ecología y conservación**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

**Autor:**

Bautista Baygorrea, Michael

**Asesor:**

Vásquez Aranda, Omar

**Jurado:**

Guillen León, Rogelia

Rojas León, Gladys

Vega Ventosilla, Violeta

**Lima - Perú**

**2021**

**Referencia:**

Bautista, M. (2021). *Alteración de la calidad del agua por efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan, Cerro de Pasco, 2020* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/5355>



**Reconocimiento - No comercial - Sin obra derivada (CC BY-NC-ND)**

El autor sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede generar obras derivadas ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

Vicerrectorado de  
**INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO**

**ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POR EFLUENTES MINEROS EN LA  
CUENCA ALTA DEL RÍO SAN JUAN, CERRO DE PASCO, 2020**

**LINEA DE INVESTIGACION**

Biodiversidad, Ecología y Conservación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**AUTOR**

Bautista Baygorrea, Michael

**ASESOR**

Vásquez Aranda, Omar

**JURADO**

Guillen León, Rogelia

Rojas León, Gladys

Vega Ventosilla, Violeta

**Lima – Perú**

**2021**

## **Dedicatoria**

A Dios, por su amor, por haberme brindado salud en estos tiempos difíciles y lograr uno de mis objetivos.

A mi madre Lucila Baygorrea Huaytalla por todo el apoyo, sacrificio, amor y dedicación que me brindo en vida para mi formación como persona y profesional.

A mi padre Silenciano Tineo Méndez por su apoyo incondicional, dedicación y enseñanzas para mi formación como persona y profesional.

A mi novia Rosa M. Espinal por su paciencia, apoyo incondicional y comprensión. A mi hijo Thiago Sebastián por ser mi motivación a ser mejor persona y profesional.

A mis hermanos, Sandy, Carlos, Emerson, todos mis familiares y amigos por su apoyo.

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por ser mi fortaleza en los momentos difíciles y bendecir mi camino.

A mis padres Silenciano Tineo Méndez y Lucila Baygorrea Huaytalla, por su apoyo constante e incondicional y su confianza en mí para ser un profesional competente.

A mis hermanos y familia en general por su apoyo constante, confianza en mí y buenos deseos.

A Rosa M. Espinal Villarruel por ser una excelente novia, con paciencia, consejos y motivación a seguir adelante en cada meta que me proponga.

A los profesores quienes me brindaron los conocimientos necesarios para mi formación profesional.

Agradecer a mi asesor el Ingeniero Omar Vásquez Aranda, por brindarme su tiempo y conocimientos para la presente tesis.

A mis amigos quienes formaron parte de mi vida profesional, con quienes compartí conocimientos y consejos.

## Índice

Resumen.....	XII
Abstract.....	XIII
I. Introducción.....	1
1.1. Descripción y formulación del problema.....	2
1.1.1. Descripción.....	2
1.1.2. Formulación del problema.....	4
1.2. Antecedentes .....	5
1.2.1. Antecedentes nacionales.....	5
1.2.2. Antecedentes internacionales .....	9
1.3. Objetivos .....	13
1.3.1. Objetivo general .....	13
1.3.2. Objetivos específicos.....	13
1.4. Justificación .....	13
1.5. Hipótesis .....	14
1.5.1. Hipótesis general .....	14
1.5.2. Hipótesis específicas .....	14
II. Marco teórico.....	16
2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación .....	16
2.1.1. Calidad de agua .....	16
2.1.2. Físico-química de las aguas naturales .....	17
2.1.3. Minería y aguas .....	21
2.1.4. Drenaje Ácido de Mina (DAM) .....	22

2.2.	Definición de términos.....	24
2.2.1.	Metal pesado.....	24
2.2.2.	Drenajes Ácidos de Roca (DAR). ....	25
2.2.3.	Potencial de Hidrógenos (pH). ....	25
2.2.4.	Conductividad Eléctrica (CE). ....	26
2.2.5.	Oxígeno Disuelto (OD). ....	26
2.2.6.	Sólidos Totales Disueltos (STD). ....	26
2.2.7.	Demanda Química de Oxígeno (DQO). ....	27
2.2.8.	Estándares de calidad o control ambiental. ....	27
2.2.9.	Categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales. ....	27
2.3.	Caracterización ambiental de la zona de estudio .....	28
2.3.1.	Aspectos físicos.....	28
2.3.2.	Aspectos biológicos.....	36
III.	Método.....	49
3.1.	Tipo de investigación.....	49
3.2.	Ámbito temporal y espacial .....	49
3.2.1.	Temporal .....	49
3.2.2.	Espacial .....	49
3.3.	Variables .....	50
3.4.	Población y muestra .....	52
3.4.1.	Población.....	52
3.4.2.	Muestra.....	52
3.5.	Instrumentos.....	52

3.5.1. Técnicas.....	52
3.5.2. Instrumentos. ....	52
3.5.3. Fuentes.....	52
3.6. Procedimientos.....	53
3.6.1. Etapas preliminar.....	53
3.6.2. Etapas de campo.....	55
3.6.3. Etapas de laboratorio.....	56
3.6.4. Etapas final.....	57
3.7. Análisis de datos.....	58
3.8. Consideraciones éticas.....	58
IV. Resultados.....	59
4.1. Niveles de los parámetros fisicoquímicos en épocas de avenidas.....	62
4.1.1. Potencia de hidrógeno (pH).....	62
4.1.2. Conductividad Eléctrica (CE).....	62
4.1.3. Temperatura (°C).....	63
4.1.4. Sólidos Disueltos Totales (STD).....	64
4.1.5. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	64
4.1.6. Oxígeno Disuelto (OD).....	65
4.2. Resultados de concentración de metales pesados en época de avenidas.....	66
4.2.1. Hierro.....	66
4.2.2. Manganeseo.....	66
4.2.3. Cobre.....	67

4.2.4. Plomo.....	68
4.2.5. Zinc.....	68
4.3. Resultados de los niveles de los parámetros fisicoquímicos en época de estiaje	69
4.3.1. Potencia de hidrógeno (pH).....	69
4.3.2. Conductividad eléctrica (CE).....	70
4.3.3. Temperatura (°C).....	71
4.3.4. Sólidos Disueltos Totales (STD).....	71
4.3.5. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	72
4.3.6. Oxígeno Disuelto (OD).....	73
4.4. Resultados de concentración de metales pesados en época de estiaje.....	73
4.4.1. Hierro.....	73
4.4.2. Manganeso.....	74
4.4.3. Cobre.....	75
4.4.4. Plomo.....	75
4.4.5. Zinc.....	76
4.5. Análisis estadístico.....	77
4.5.1. Estadística descriptiva comparativa.....	77
4.5.2. Contrastación de hipótesis de la investigación.....	89
V. Discusión de resultados.....	90
VI. Conclusiones.....	93
VII. Recomendaciones.....	96
VIII. Referencias.....	97

IX. Anexos .....	101
Anexo A Muestreo de campo.....	102
Anexo B Mapas.....	105

**Índice de tablas**

Tabla 1 Número de horas de sol máximo (h/día).....	32
Tabla 2 Unidades litoestratigráficas local.....	34
Tabla 3 Resultados de monitoreo de pH en estaciones.....	77
Tabla 4 Resultados de monitoreo de CE en estaciones.....	78
Tabla 5 Resultado de monitoreo de temperatura de agua en estaciones.....	79
Tabla 6 Resultado de monitoreo de STD en agua de agua en estaciones.....	80
Tabla 7 Resultado de monitoreo de DQO en estaciones.....	81
Tabla 8 Resultado de monitoreo de OD en agua en estaciones.....	82
Tabla 9 Resultado de concentraciones de Fe en agua en estaciones.....	83
Tabla 10 Resultado de concentraciones de Mn en agua en estaciones.....	84
Tabla 11 Resultado de concentraciones de Cu en agua en estaciones.....	85
Tabla 12 Resultado de concentraciones de Pb en agua en estaciones.....	86
Tabla 13 Resultado de concentraciones de Zn en agua en estaciones.....	87
Tabla 14 Contrastación de la hipótesis.....	89

## Índice de figuras

Figura 1 Relación entre temperatura, solubilidad de sales y gases .....	19
Figura 2 Tipo de partículas arrastradas por el agua, según su granulometría .....	20
Figura 3 Precipitación máxima en 24 horas - Retorno en 10 años .....	29
Figura 4 Temperatura máxima, media y mínima en la estación Huaraucaca .....	30
Figura 5 Rosa de Viento promedio - Estación Huaraucaca .....	31
Figura 6 Humedad Relativa mensual - Estación Huaraucaca .....	32
Figura 7 Evaporación mensual en las estaciones Upamayo y Huaraucaca .....	33
Figura 8 Operacionalización de variables de investigación.....	51
Figura 9 Ubicación de las estaciones de muestreo.....	54
Figura 10 Resultados fisicoquímicos – cuenca alta río San Juan – Cerro de Pasco .....	60
Figura 11 Resultados de la concentración de metales – cuenca alta río San Juan – Cerro de Pasco .....	61
Figura 12 Potencial de hidrógeno en época de avenidas .....	62
Figura 13 Conductividad en época de avenidas (uS/cm).....	63
Figura 14 Temperatura en época de avenidas (°C).....	63
Figura 15 Sólidos Disueltos Totales en época de avenidas (mg/l) .....	64
Figura 16 Demanda Química de Oxígeno en época de avenidas (mg/l).....	65
Figura 17 Oxígeno Disuelto en época de avenida (mg/l) .....	65
Figura 18 Hierro en época de avenida (mg/l) .....	66
Figura 19 Manganeso en época de avenida (mg/l) .....	67
Figura 20 Cobre en época de avenida (mg/l).....	67
Figura 21 Plomo en época de avenida (mg/l) .....	68
Figura 22 Zinc en época de avenida (mg/l) .....	69
Figura 23 Potencial de hidrógeno en época de estiaje .....	70

Figura 24 Conductividad eléctrica en época de estiaje (uS/cm) .....	70
Figura 25 Temperatura en época de estiaje (°C).....	71
Figura 26 Sólidos disueltos totales en época de estiaje (mg/l) .....	72
Figura 27 Demanda química de oxígeno en época de estiaje (mg/l) .....	72
Figura 28 Oxígeno disuelto en época de estiaje (mg/l).....	73
Figura 29 Hierro en época de estiaje (mg/l).....	74
Figura 30 Manganeso en época de estiaje (mg/l).....	74
Figura 31 Cobre en época de estiaje (mg/l) .....	75
Figura 32 Plomo en época de estiaje (mg/l).....	76
Figura 33 Zinc en época de estiaje (mg/l).....	76
Figura 34 Resultados de la variación de pH en las estaciones de monitoreo propuestas .....	77
Figura 35 Resultados de la variación de CE en las estaciones de monitoreo propuestas .....	78
Figura 36 Resultados de la variación de la temperatura del agua en las estaciones de monitoreo propuestas.....	79
Figura 37 Resultados de la variación de STD en agua en las estaciones de monitoreo propuestas .....	80
Figura 38 Resultados de la variación de DQO en agua en las estaciones de monitoreo propuestas .....	81
Figura 39 Resultados de la variación de OD en agua en las estaciones de monitoreo propuestas .....	82
Figura 40 Resultados de la variación de concentraciones de Fe en agua en las estaciones de monitoreo propuestas.....	83
Figura 41 Resultados de la variación de concentraciones de Mn en agua en las estaciones de monitoreo propuestas.....	84

Figura 42 Resultados de la variación de concentraciones de Cu en agua en las estaciones de monitoreo propuestas.....	85
Figura 43 Resultados de la variación de concentraciones de Pb en agua en las estaciones de monitoreo propuestas.....	86
Figura 44 Resultados de la variación de concentraciones de Zn en agua en las estaciones de monitoreo propuestas.....	87
Figura 45 Muestreo en E-1 .....	102
Figura 46 Muestreo en E-2 .....	102
Figura 47 Muestreo en E-3 .....	103
Figura 48 Muestreo en E-4 .....	103
Figura 49 Muestreo en E-5 .....	104

## Resumen

La presente tesis, fue realizada en la cuenca San Juan, en los distritos de Simón Bolívar, Tinyahuarco y Huaraucaca, ubicadas en la provincia de Pasco, departamento de Pasco, con la finalidad de conocer cuál será el grado de alteración en la calidad del agua por el vertimiento de efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan en Cerro de Pasco durante el año 2020. El objetivo principal, fue el de evaluar el grado de alteración en la calidad del agua por el vertimiento de efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan para el mismo año. El diseño fue no experimental-longitudinal del estudio, ha sido desarrollada en base a 5 estaciones de monitoreo de agua, referente a las épocas de avenidas y estiajes en el año 2020, enero y abril, Los resultados, mostraron que la calidad del agua de la zona de estudio, presenta alteraciones relacionadas a efluentes mineros que son vertidos sin un adecuado tratamiento, lo que han generado un impacto en la calidad del agua. Para ambas temporadas, respecto de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), categoría 3, la estación E-2 no superó el parámetro de oxígeno disuelto, en las estaciones E-2 y E-4 presentaron excedencia de metales pesados y DQO. La estación E-4 presenta un pH de moderadamente ácido (pH=5.8) en la temporada de avenida, a ácido (pH=4) en la temporada de estiaje. Se recomienda la implementación de lodos de alta densidad para el tratamiento de efluentes mineros ácidos, con iones de sulfatos y metales traza.

***Palabras claves:*** efluentes mineros, calidad del agua, grado de alteración.

### **Abstract**

This thesis was carried out in the San Juan basin, in the districts of Simón Bolívar, Tinyahuarco and Huaraucaca, located in the province of Pasco, department of Pasco, in order to know what the degree of alteration in water quality will be due to the discharge of mining effluents in the upper basin of the San Juan river in Cerro de Pasco during 2020. The main objective was to evaluate the degree of alteration in water quality due to the discharge of mining effluents in the upper basin from the San Juan River for the same year. The design was non-experimental-longitudinal of the study, it has been developed based on 5 water monitoring stations, referring to the seasons of floods and droughts in the year 2020, January and April, The results showed that the water quality of The study area presents alterations related to mining effluents that are discharged without adequate treatment, which have generated an impact on the quality of the water. For both seasons, respecting the Environmental Quality Standard (ECA, in Spanish), category 3, station E-2 not exceeded the dissolved oxygen parameter, in stations E-2 and E-4 they presented excess of heavy metals and COD. Station E-4 presents a pH from moderately acidic (pH = 5.8) in the flood season, to acidic (pH = 4) in the dry season. The implementation of high-density sludge is recommended for the treatment of acid mining effluents, with sulfate ions and trace metals.

***Key words:*** mining effluents, water quality, degree of alteration.

## I. Introducción

La presente tesis desarrolla una investigación sobre “Alteración de la calidad del agua por efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan, Cerro de Pasco, 2020” dado que existe, al presente, una preocupación en la zona de estudio teniendo diferentes problemas ambientales que afectan a las comunidades de su entorno, como lo es la contaminación de cuerpos de agua por efluentes mineros.

La minería desempeña un rol principal en la economía de los países del mundo, dentro de ellos se encuentra el Perú, donde compone un gran componente de progreso. Siendo el primer proveedor de divisas por exportaciones; sin embargo, es además un generador de efluentes mineros, los cuales, si no son adecuadamente tratados, generan impactos ambientales irreversibles y que podrían permanecer aun después del cierre de una mina. En general los efluentes mineros, relaves y desmontes de mina pueden contener sulfuros que, al estar expuestos al oxígeno del ambiente, son oxidados originando los drenajes ácidos de mina.

El contenido temático está dividido en los siguientes capítulos:

Capítulo I: Introducción, que incluye la descripción del problema, formulación del problema general y problemas específicos, la búsqueda de los antecedente nacionales e internacionales, presentación del objetivo general y objetivos específicos, así como la justificación, importancia e hipótesis del presente estudio.

Capítulo II: Marco teórico, que está enfocado con sus bases teóricas, marco conceptual, caracterización ambiental de la zona de estudio y luego el marco legal que indica las normas consideradas para fundamentar el presente estudio.

Capítulo III: Método, que enfocan toda la metodología de la investigación: tipo de Investigación, diseño, ámbito temporal y espacial, variables, población y muestra, técnicas e instrumentos, procedimientos, análisis de datos y consideraciones éticas.

Capítulo IV: Resultados, son la demostración de la posibilidad de aplicar el estudio y comprobar que lo propuesto es útil.

Capítulo V: Discusión de resultados, en ellos, se comprueba los resultados con la literatura anterior (antecedentes).

Capítulo VI: Conclusiones, se presentan, a fin de establecer la factibilidad de la investigación.

Capítulo VIII: Recomendaciones, se presentan, las sugerencias y recomendaciones que se produjeron en la presente elaboración de la investigación.

Capítulo IX: Referencias, las empleadas en la presente investigación.

Capítulo X. Anexos, se adjunta información a la investigación.

## **1.1. Descripción y formulación del problema**

### ***1.1.1. Descripción***

Desde tiempos remotos y hasta la actualidad, la actividad minera está asociada al desarrollo económico principal de los diferentes pueblos, comunidades o países donde se lleva a cabo; siendo así un sustento económico mundial, no hay países en los que se desarrolle esta actividad y que no sean beneficiados con la minería ya sea a gran o media escala, porque la actividad minera no sólo forma parte del desarrollo económico sino también del desarrollo tecnológico en todas sus sectores, ya sea salud, agrícola, etc.; a pesar de todo la explotación de yacimientos mineros trae un lado negativo en las zonas donde son operadas y muchas veces éstas se extienden, teniendo como consecuencia la alteración violenta del medio ambiente y de la salud humana.

Aun así, cabe resaltar que la actividad minera no sólo trae desarrollo económico sino también produce alteración en los ecosistemas, conflictos sociales, contaminación de la atmósfera, de sistemas acuáticos superficiales y de los suelos a gran escala, violación de los derechos humanos y entre otros conflictos que persisten en el tiempo.

Las actividades mineras generan un impacto ambiental inevitable, por más que se empleen diferentes tecnologías para minimizar los impactos al ambiente. En las actividades mineras se desarrollan diferentes formas de operación, presentando la mayoría una planta de procesamiento de mineral, contando muchas veces con fundiciones aledañas.

En el Perú se desarrollan dos métodos de explotación: minería subterránea y tajo abierto. Estos métodos en su etapa de operación comprenden a su vez la generación de desechos mineros de pilas de lixiviación, escorias, relaves de lavado, relaves tipo jig, relaves cianurados, etc.

Según Cruzado y Bravo (2010), en el Perú hay una diversidad de explotación de los minerales siendo estos metales, minerales industriales, materiales de construcción, las gemas y los combustibles; y en base a estos y a sus métodos de extracción y ubicación se generan los relaves, los cuales comprenden sustancias químicas que se utilizaron en la ejecución minera, y son altamente contaminantes de las fuentes hídricas, por contener ácidos, metales ionizados, el cianuro de sodio y reactivos químicos como ácidos, álcalis, espumas, floculantes y coagulantes, aceites y petróleos, y sólidos en suspensión generados a partir del agua de mina.

El gran impacto que genera los relaves mineros en el Perú ha llegado a alterar los flujos de aguas superficiales y subterráneos, la calidad de suelos y modificando sustancialmente el paisaje. Tal es el caso del río San Juan ubicado en Cerro de Pasco, al igual que muchos otros ríos del Perú, viene siendo impactado desde hace más de cuatro décadas por diversas industrias mineras como Aurex, Cerro SAC (ex Centromin Perú y Volcan SA) y El Brocal, quienes vertían sus relaves y efluentes industriales en ambientes acuáticos superficiales como es el caso de las Lagunas Yanamate y Quiulacocha convertidas hoy en día en un depósito de aguas ácidas y relavera, donde sus drenajes generados podían alcanzar al mismo río.

Más adelante, con la aparición de normas ambientales más estrictas en la década de los 90, se empieza a prohibir cualquier tipo de vertimiento sin tratamiento previo. Pero pese a todos

los esfuerzos que se realizan para contrarrestar los impactos ambientales, aún es difícil demostrar que dichas medidas adoptadas garantizan la inocuidad de dichos vertimientos.

El río San Juan es uno de los sistemas hidrológicos que alimenta el río Mantaro y en determinadas épocas al lago Junín, quien forma parte de una gran reserva natural y que lamentablemente ha venido siendo impactada desde hace muchos años con diversas descargas contaminantes de origen industrial y doméstico, los aportes recibidos por el río San Juan corresponden principalmente a componentes de origen industrial minero de empresas instaladas en su cuenca hidrográfica como Aurex, Cerro SAC y El Brocal.

La Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) arrojó recientemente que las altas concentraciones de Pb, Zn y Cu persisten en las aguas y que ello viene originando la extinción de especies como el zambullidor de Junín.

### ***1.1.2. Formulación del problema***

#### **Problema general**

¿Cuál será el grado de alteración en la calidad del agua por el vertimiento de efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan, Cerro de Pasco, 2020?

#### **Problemas específicos**

- ¿Cuáles será el grado de alteración en los niveles de los parámetros fisicoquímicos en época de avenidas por el vertimiento de efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan, Cerro de Pasco?
- ¿Cuál será el grado de alteración en la concentración de metales pesados en época de avenidas por el vertimiento de efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan, Cerro de Pasco?
- ¿Cuál será el grado de alteración en los niveles de los parámetros fisicoquímicos en época de estiaje por el vertimiento de efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan, Cerro de Pasco?

- ¿Cuál será el grado de alteración en la concentración de metales pesados en época de estiaje por el vertimiento de efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan, Cerro de Pasco?

## **1.2. Antecedentes**

### **1.2.1. Antecedentes nacionales**

Orellana (2016), en la investigación que realizó sobre “Calidad del agua superficial de la microcuenca Ticlacayán, provincia cerro de Pasco – Pasco”, en ella, sostuvo lo siguiente:

Como objetivo, evaluar la calidad del agua de la microcuenca. Esta investigación se aplicó en método no probabilístico, descriptivo no experimental de corte longitudinal para conocer la calidad de agua de la microcuenca Ticlacayán mediante descripción y análisis de los parámetros según la normativa peruana de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de Agua (D.S. N° 002 – 2008 - MINAM) y para el Índice de Calidad de Aguas se empleó la escala de clasificación de acuerdo a la Fundación Nacional de Sanidad de los Estados Unidos (NSF - WQI). Para la recolección de datos el investigador tomó puntos de monitoreo según la metodología del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de Cuerpos Naturales de Agua Superficial, de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el río Ticlacayán. En esta investigación, teniendo como conocimiento de dos focos contaminantes se tomaron 05 puntos de monitoreo en la época transición lluviosa-seca y época seca; la selección de parámetros a muestres se consideran por lo descrito en el D.S. N°002 – 2008 – MINAM. Concluyéndose que los valores del parámetro coliformes fecales y oxígeno disuelto, en su gran mayoría, se encuentran por encima de los estándares, a diferencia del resto de los parámetros físicos y químicos que si se encuentran por debajo de los ECA.

Villarreal (2016), en su investigación sobre “Calidad de agua del río San Juan, en el departamento de Pasco”, en ella, sostuvo lo siguiente:

Como uno de sus objetivos específicos, evaluar los resultados de los monitoreos de las concentraciones de los elementos metálicos, fisicoquímicos y microbiológicos, durante el periodo 2001-2011 y 2014 tanto en época de avenida y estiaje, con los niveles establecidos en el ECA de agua, dado por el D.S. 002-2008-MINAM. Categoría 3. El método utilizado en esta investigación fue, cuantitativa – aplicada; para la recolección de datos los puntos de muestreo se establecieron de acuerdo a puntos de vigilancia establecida en ese momento por DIGESA en el periodo del año 2001 – 2011, asimismo, se ha considerado 6 estaciones de monitoreo de calidad de agua en época de estiaje y avenida en el año 2014, los resultados fueron comparados con el ECA, categoría 3 riego de vegetales y bebida de animales. Se concluye que las concentraciones de los coliformes termotolerantes en época de avenida en los años 2001, 2003, 2004 y 2006, superaron el estándar en las estaciones M-03 y M-04, pero en el año 2014 no superaron el estándar, con respecto a los coliformes totales superaron el estándar en todos los años mencionados. En época de estiaje tanto coliformes termotolerantes como totales superaron el estándar en los años 2001, 2004, 2006 y 2014, en dos estaciones M-02 y M-04. En cuanto a los parámetros fisicoquímicos; el pH tanto en época de avenida como de estiaje durante su periodo 2001 – 2011 y 2014 no se encontraron dentro del rango estándar. Con respecto al parámetro aceites y grasas en los años 2001 (M-01, M-02, M-03 y M-04) y 2014 (M-02). El oxígeno disuelto sólo superó el estándar en la estación M-06 en el año 2014.

Pari (2017), quien realizó un estudio sobre “Efectos de los relaves mineros en la calidad del agua del río Ananea – Puno”, en ella, sostuvo lo siguiente:

Como objetivo general fue, evaluar el grado de contaminación por metales pesados en las aguas superficiales del río Ananea y sus efectos en la vida aledaña. Dentro de su metodología para desarrollar su investigación, se ubicaron 05 puntos de muestreo en el

río Ananea (micro cuenca del río Alto Azángaro) para dos épocas, una en avenidas y otra en estiaje ubicadas estratégicamente según la población, accesibilidad del terreno y a las actividades que se realizan en la zona de estudio. Para determinar la concentración de metales pesados se empleó la técnica del protocolo de toma de muestras (Procedimiento de muestreo de agua superficial), elaborada por el Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Biológicas y Biotecnológicas de la Universidad Católica de Santa María – Arequipa. En cuanto a la conclusión que llegó la investigación, fue, que las concentraciones de metales pesados en todos los puntos de muestreo realizados sobrepasan los valores del ECA para aguas de consumo humano, riego de plantas y bebida de ganados, los mismos que no son recomendables para su consumo en general.

Caichaya (2019), en su estudio sobre “Variación de la calidad fisicoquímica del agua consumido en los procesos mineros metalúrgicos auríferos, distrito de Ananea, 2018”, en ella, sostuvo lo siguiente:

Como objetivo fue, determinar la variación de la calidad fisicoquímica del agua consumido en los procesos mineros metalúrgicos auríferos, distrito de Ananea, 2018. Dicha investigación menciona que cuentan con dos concesiones: AFC-9 y Clemencia A, el tipo de minería que se desarrolla en la zona es a cielo abierto. Estas concesiones mineras tienen un tipo de yacimiento aluvial y el método de recuperación del oro es mediante procesos gravimétricos artesanales. Para el estudio de las aguas consumidas en estos procesos mineros se realizó la recolección de las muestras en botellas de vidrio con tapa rosca de 1 litro de capacidad, previamente lavadas y enjuagadas con agua patrón, dentro del procedimiento de muestreo se tomaron 3 muestras contracorriente las cuales fueron conservadas a 4 °C en una caja conservadora con bolsas de hielo seco, para ser llevadas a los Laboratorios Analíticos del sur de la ciudad de Arequipa, donde

fueron procesadas. Finalmente se concluye que el proyecto minero Clemencia A tiene consumo de agua más elevada y como también se detectó el contenido de sólidos suspendidos totales superó los valores permitidos con un promedio de 12553.03 y 23514.50.

Vásquez (2018), en su estudio sobre “Evaluación de la Calidad del agua y vertimiento de efluentes industriales en la subcuenca del río San Juan, 2006- 2016, Cerro de Pasco”, en ella, sostuvo lo siguiente:

Planteó como objetivo general, evaluar la calidad del agua por el vertimiento de efluentes industriales y domésticos durante los últimos once años en la subcuenca alta y media del río San Juan, a fin de conocer su grado de alteración. El método empleado en esta investigación es descriptiva-correlacional, de diseño no-experimental-longitudinal, para lo cual se ha evaluado la variación y el comportamiento durante once años consecutivos de los parámetros físicos, químicos, metales pesados y microbiológicos en la calidad del agua que proviene de vertimientos de efluentes industriales en la subcuenca del río San Juan ubicado en la provincia de Cerro de Pasco, tal es así que para desarrollar la recolección de datos el investigador estableció 6 estaciones de monitoreo, la cual ha sido información de referencia de la DIGESA, periodo 2006 - 2011 y otros monitoreos realizados por el investigador del presente estudio periodo 2012 - 2016. Finalmente, se concluye que existe una reducción a de las concentraciones de metales pesados (As, Pb, Zn, Mn, Cu, Fe y Cd) a lo largo del tiempo de estudio y que Las concentraciones de los indicadores orgánicos (Demanda Bioquímica de Oxígeno [DBO], Demanda Química de Oxígeno [DQO], Oxígeno Disuelto, Coliformes Termotolerantes, Aceites y Grasas) sobrepasan los ECA.

### **1.2.2. Antecedentes internacionales**

Contreras y García (2015), en su investigación sobre “Análisis de la calidad físico-química del agua en la quebrada El Santuario por la explotación de hierro en el municipio de Ubalá – Cundinamarca”, en ella, sostuvieron lo siguiente:

El estudio tiene como objetivo general, analizar la calidad físico-química del agua de la quebrada El Santuario en correlación con el impacto de la explotación del mineral de Fe, en Ubalá (Cundinamarca). Así, el proceso metodológico de esta investigación constó de 3 fases: la primera fase fue de comparación de los parámetros físico-químicos de la calidad del agua de la quebrada El Santuario con los límites permisibles legales; la segunda fase fue identificar los impactos generados por la actividad minera sobre el recurso hídrico, y la tercera fase fue la formulación de medidas para remediar la situación ambiental detectada. Las estrategias empleadas fueron: Diagnóstico, Procesamiento de la información obtenida en el diagnóstico e Interpretación de resultados. Cada estrategia planteó un objetivo específico y una o más actividades para alcanzar los objetivos. Tal es así que, diagnóstico permitió caracterizar la calidad del agua empleando Referencia documental (diagnósticos previos, normatividad vigente, conceptualización y marco teórico) y un trabajo de campo, que constó de visitas y entrevistas de carácter técnico, y se implementó la a red de muestreo y la toma de muestras. El procesamiento de la información estuvo orientada a la evaluación de la calidad del agua a la luz de la legislación ambiental vigente, y a las posibles afectaciones producidas por la actividad minera en el ecosistema y en los habitantes de la zona. Finalmente, para la formulación de medidas de control se desarrolló el análisis de los impactos y planteamiento de medidas de remediación. Se concluye que el drenaje ácido de la mina está afectando a la quebrada El Santuario, producto de las elevadas concentraciones de metales pesados como Fe y Ni, lo cual produce limitaciones para el

uso del recurso hídrico como la preservación de flora y fauna y el uso agrícola por la presencia de metales pesados de acuerdo al Decreto 1594/84.

Hernández et al. (2015) realizaron un estudio sobre el “Tratamiento de bajo coste para aguas contaminadas por actividades de minería”, en ella, sostuvieron lo siguiente:

El objetivo fue, proponer y justificar una serie de tecnologías de bajo coste y fácil aplicación para el tratamiento de aguas contaminadas por actividades de minería en zonas con bajo Índice de Desarrollo Humano (IDH). Se centró la investigación en Perú, donde que una de las principales fuentes de riqueza es la minería y como consecuencia de ésta actividad se produce la contaminación del agua que conlleva un considerable riesgo para la salud de la población. La zona objeto de estudio se localiza en el departamento de la Libertad, en las cuencas de los ríos Perejil, Chuyuhual y Caballo Moro. La actividad minera presente en la zona desarrolla tanto la gran minería como la pequeña minería o minería artesanal. Ambas difieren en los impactos ambientales que producen, por ello, se estudiarán de forma separada. En Perú debido a la gran cantidad de recursos minerales, la actividad minera representa una fuente muy importante y creciente de recursos económicos, como consecuencia de dicha actividad se produce contaminación ambiental en el agua, representando un gran riesgo para la salud de la población. El estudio demostró que en la actualidad existen diferentes alternativas tecnológicas que podrían ser aplicadas para evitar dicha contaminación. Para facilitar su utilización en zonas con menor IDH, se elegirán tecnologías de bajo coste y de fácil aplicación. Se concluye que, para una eficaz eliminación del mercurio, debido a su gran toxicidad, se propone aplicar tras la coagulación-floculación una adsorción con un adsorbente natural como son las cenizas de madera de eucalipto. Sería necesario un seguimiento de la calidad del agua durante el funcionamiento de la instalación para

poder verificar que la concentración de los contaminantes no supere los valores límites marcados por la legislación.

Monsalve (2018) desarrolló una investigación sobre “Análisis de la calidad de agua de mar y su relación con la infraestructura asociada a la actividad minera en la región de Antofagasta, entre los años 1990-2015”, en ella, sostuvo lo siguiente:

El objetivo principal fue, relacionar la calidad de agua de mar con la infraestructura asociada a la actividad minera en las bahías de Algodonales, Mejillones, Antofagasta y Taltal, región de Antofagasta, entre los años 1990-2015. El estudio reflejó la diferencia en la calidad del agua de mar entre aquellas bahías que desarrollan actividades económicas tradicionales, como es el caso de bahía de Taltal, en comparación con la bahía de Mejillones que está sujeta a grandes tensiones debido a la intensa descarga de residuos líquidos al mar, proveniente de infraestructuras que nutren de materia prima a la minería en energía (centrales termoeléctricas) y agua (plantas desaladoras). En algunos aspectos de los monitoreos de los SEIA y SINFA, fueron insuficientes, y es allí la importancia de la teledetección para construir y mantener un monitoreo y toma de muestra semestral o anual de las características de la columna de agua. Se pudo concluir de la investigación, que existe una relación entre la calidad superficial de las aguas y aquellas bahías que presentan infraestructura de termoeléctricas y/o desaladoras.

Cartagena (2019) desarrolló un proyecto de investigación titulado “Biorremediación en aguas residuales contaminadas con cianuro y mercurio generadas en el proceso de la minería aurífera en Colombia, a partir de una revisión bibliográfica entre los años 2008 -2018”, en ella, sostiene:

Con el fin de identificar los procesos de biorremediación en aguas residuales contaminados con cianuro y mercurio generadas en el proceso de la minería aurífera, en Colombia. Se obtuvo como resultado que las investigaciones que permitieron

identificar los procesos biorremediadores utilizados para el tratamiento de estas aguas, producto de la explotación minera aurífera, mostraron que algunas bacterias, (seudomonas, cianobacterias) y algunas especies de plantas, [lenteja de agua (*lemna minor*), Jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) y Elodea (Elodea canadienses)], tienen alta eficiencia para remover el mercurio, y degradar el cianuro, existentes en los efluentes mineros originados en las diferentes etapas a las que se somete el mineral para la obtención del metal. Concluyéndose que el estudio muestra a limitantes en lo concerniente a los parámetros de medición establecidos a las cargas contaminantes de cianuro y/o mercurio antes del tratamiento del caudal de agua y después del mismo lo que dificulta cuantificar el beneficio económico, ambiental y social de la aplicación de los métodos biorremediadores.

García (2020) desarrolló una investigación titulada “Evaluación de calidad de agua para riego en zona Centro - Norte de Chile y desarrollo de un proceso preliminar costo efectivo, para disminuir algunos excesos que incumplen la NCh 1333.”, en ella, sostiene:

Con el objetivo de evaluar la calidad del agua de estas cuencas y desarrollar preliminarmente un proceso de bajo costo para reducir contaminantes en agua de riego a fin de cumplir con la Norma Chilena 1333. Se analizaron datos fisicoquímicos del recurso hídrico contemplando un periodo de 11 años (2008- 2018), estos se evaluaron con respecto a los 27 parámetros de calidad de agua para riego estipulados en la normativa chilena NCh1333. Los resultados muestran que existe adsorción de los metales pesados en menor medida que sodio debido a que la divalencia de estos metales pesado influye en su adsorción. Concluyéndose que el boro, el cadmio, el mercurio y el molibdeno superan con creces los umbrales máximos en la mayoría de las estaciones de monitoreo. La salinidad medida como conductividad, sulfato, manganeso y la

relación de absorción de sodio también excede la norma, aunque ligeramente. El pH cumple con el estándar en todas las cuencas.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. *Objetivo general***

Evaluar el grado de alteración en la calidad del agua por el vertimiento de efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan, Cerro de Pasco, 2020.

#### **1.3.2. *Objetivos específicos***

- Determinar los niveles de los parámetros fisicoquímicos en época de avenidas por el vertimiento de efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan, Cerro de Pasco, 2020.
- Determinar la concentración de metales pesados en época de avenidas por el vertimiento de efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan, Cerro de Pasco, 2020.
- Determinar los niveles de los parámetros fisicoquímicos en época de estiaje por el vertimiento de efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan, Cerro de Pasco, 2020.
- Determinar la concentración de metales pesados en época de estiaje por el vertimiento de efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan, Cerro de Pasco, 2020.

### **1.4. Justificación**

#### **1.4.1. *Justificación teórica***

Con la presente investigación buscamos dar a conocer cuál es el grado de alteración de las variables fisicoquímicas (pH, temperatura, conductividad eléctrica, DBO, TDS y Oxígeno Disuelto) y de la concentración de metales Pb, Zn, Cu, Mn y Fe en la cuenca del río San Juan

en función a los ECA – establecidos en el DS 004- 2017 ECA Agua Categoría 3, utilizando métodos estandarizados para la recolección y obtención de datos y resultados.

#### **1.4.2. *Justificación metodológica***

La presente investigación busca lograr la validez y la confiabilidad de la investigación, basada en la variable planteada; mediante determinadas pruebas realizadas tanto para la recolección de datos como para el procesamiento de la muestra.

#### **1.4.3. *Justificación social***

Se justifica la investigación, porque es importante saber cuáles son las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y metales medidos en las estaciones de monitoreo en la cuenca del río San Juan, para poder saber a qué están expuestos los pobladores de esta zona; ya que sabemos que la sobre exposición a Pb y diferentes metales genera daños irreversibles a la salud humana e impactos en la flora y fauna presente en dicha zona.

### **1.5. Hipótesis**

#### **1.5.1. *Hipótesis general***

La Calidad del agua presenta un grado de alteración que supera los ECA por el vertimiento de efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan, Cerro de Pasco, 2020.

#### **1.5.2. *Hipótesis específicas***

- Los niveles de los parámetros fisicoquímicos en época de avenidas presentan un grado de variación que supera los ECA por el vertimiento de efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan, Cerro de Pasco.
- Las concentraciones de metales pesados en época de avenidas presentan un grado de alteración que supera los ECA por el vertimiento de efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan, Cerro de Pasco.

- Los niveles de los parámetros fisicoquímicos en época de estiaje presentan un grado de alteración que supera los ECA por el vertimiento de efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan, Cerro de Pasco.
- Las concentraciones de metales pesados en época de estiaje presentan un grado de alteración que supera los ECA por el vertimiento de efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan, Cerro de Pasco, 2020.

## II. Marco teórico

### 2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

#### 2.1.1. *Calidad de agua*

El agua presenta globalmente un problema en cuanto a su calidad, la cual está deteriorándose con el tiempo debido a las diferentes industrias y actividades que desarrolla el ser humano, y sin ningún cuidado ha venido afectando negativamente este recurso hídrico (Higueras y Oyarzun, 2008).

La problemática proviene principalmente del contenido biológico, que produce enfermedades infecciosas, más o menos graves. A pesar de ello dependiendo de la concentración (corto, mediano, o largo plazo) los contenidos en sales y en partículas sólidas de composición determinada, también pueden acarrear problemas considerables.

Por otro lado, el término calidad de agua alude al conjunto de parámetros o condiciones naturales que necesita conservar el agua sin alterar su composición física, química y microbiológica, dependiendo del uso que le haya asignado, señalan que el agua puede ser utilizada para diferentes antrópicas como: agua potable, recreación, riego y bebida de animales, entre otros (Casilla, 2014).

La calidad del agua depende de una agrupación de variables y factores que caracterizan a la variedad de cuerpos de agua en términos cuantitativos (Casilla, 2014).

Para su descripción se puede emplear dos formas, por medio de la medición de las variables físicas, químicas y biológicas o empleando el índice de calidad del agua con información medibles. Ambas formas son aceptadas y los resultados de las mediciones deben ser interpretadas para definir la calidad de los cuerpos de agua dependiendo al uso que se le vaya a dar.

### **2.1.2. Físico-química de las aguas naturales**

El agua es un componente vital que se encuentra en casi todos los procesos biológicos y es soporte de la vida de muchos organismos vivos (Higuera y Oyarzun, 2008).

De esta forma tenemos por ejemplo el agua de los mares que aloja a la flora marina, que al mismo tiempo es la principal fuente de oxígeno del planeta. Asimismo, el agua también contiene oxígeno molecular ( $O_2$ ), que es vital para la respiración de la fauna marina como los vertebrados (peces) e invertebrados (moluscos). La pérdida de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua como ríos, lagos como consecuencia de la eutrofización implica la muerte de los organismos que viven y se benefician de esos ecosistemas.

Las aguas naturales de una región específica pueden ser superficiales y subterráneas. De igual manera, las aguas superficiales pueden estar formando o siendo parte de ríos, lagos, lagunas, embalses, mares y se encuentran en contacto permanente con la atmósfera, mientras que las aguas subterráneas tienen un comportamiento y una problemática diferente (Higuera y Oyarzun, 2008).

Son acumulaciones en el subsuelo de aguas de diferentes procedencias, que pueden tener dinámicas diferentes, así tenemos acuíferos confinados, que pueden comprender aguas muy antiguas con acuíferos de decenas o centenares de miles de años, acuíferos kársticos con una dinámica muy rápida, así como también acuíferos asociados a cursos fluviales, ligados a la dinámica del río correspondiente.

En función a las aguas naturales “se pueden considerar dos factores de calidad, que se denominan calidad química del agua y calidad biológica del agua. Estos factores dependen de las condiciones naturales de una región y por los factores antropogénicos, es decir, varían según el tipo de actividad humana existente en la zona” (Higuera y Oyarzun, 2008).

Los parámetros más importantes a considerar son los siguientes:

**Potencial de Hidrogeno (pH).** “Es la medida de la acidez del agua, expresada por una escala entre 1-14, de manera que el valor 1 indica condiciones de máxima acidez, y 14, de alcalinidad extrema ( $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ ) (Higueras y Oyarzun (2008).

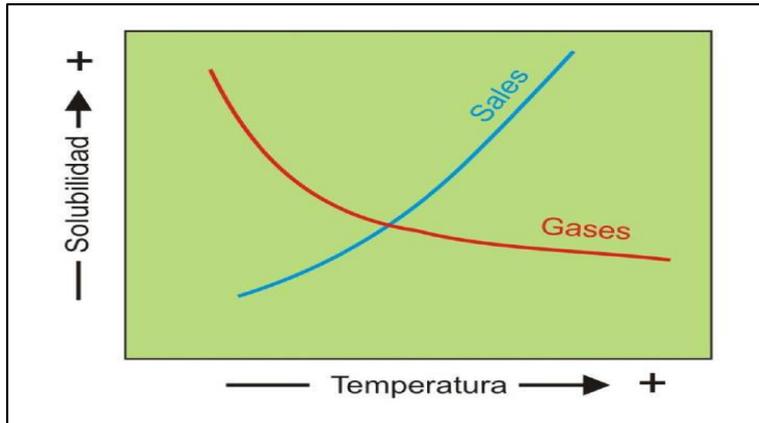
El valor de 7 indica la neutralidad, y es el más buscado generalmente, por la mayoría de actividades. Los valores con mayor distancia indican alta reactividad, y son siempre indeseables ya que suelen ser sinónimo de presencia de diferentes problemas, como un alto contenido en sales (y a menudo en metales pesados), debido precisamente a dicha reactividad”. (párr. 6)

**Temperatura.** Sobre este parámetro, la temperatura “establece otro tipo de contaminación de las aguas, denominado contaminación térmica (Higueras y Oyarzun, 2008).

Generalmente, depende del nivel térmico del aire en el entorno (o de las rocas-almacén [reservorios], en las aguas subterráneas), sin embargo, en algunas oportunidades presenta condicionantes propios, ya sean naturales (aguas termales), o antrópicos (industrias que implican el calentamiento de aguas: centrales térmicas). Del mismo modo que en el caso anterior, a menudo provoca también otros problemas. En la Figura 1, se observa la relación indirecta que se establece entre temperatura y solubilidad de iones, a mayor temperatura mayor solubilidad de iones, y menor en gases, factores ambos que degradan la calidad de las aguas, ya que aumentan su dureza y disminuye la capacidad de disolución de oxígeno”. (párr. 7)

**Figura 1**

*Relación entre temperatura, solubilidad de sales y gases*



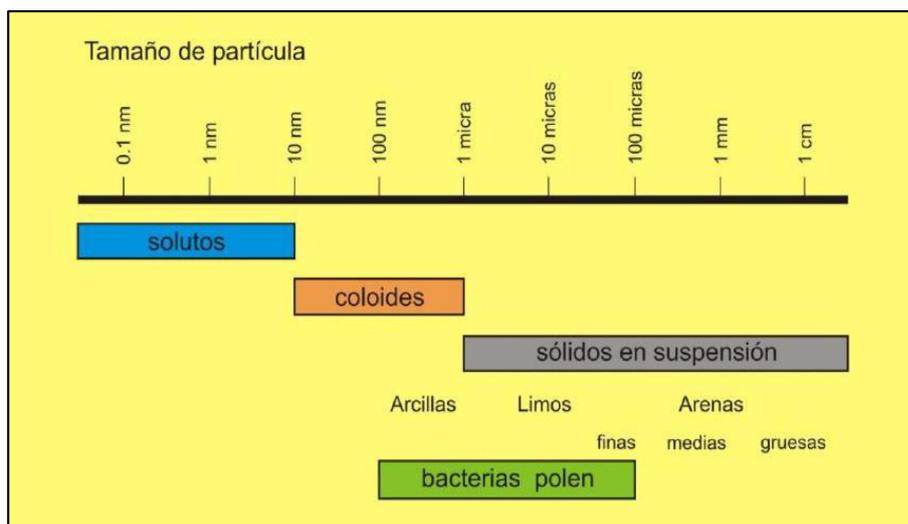
*Nota.* Se aprecia la solubilidad de las sales y gases, en función de la temperatura. De “Curso de minería y medio ambiente”, por Higuera, P. y Oyarzun M., R. (2008). <https://www.uclm.es/users/higuera/mam/>

**Sólidos en suspensión.** Las aguas poseen partículas en suspensión, que son arrastradas por el agua y producen la turbidez más evidente. Son de dos tipos: suspensiones (geles en el estado de sol), y partículas en sentido estricto (partículas sólidas arrastradas) (Higuera y Oyarzun, 2008).

Las partículas en suspensión generan un problema ya que se adhieren a una gran cantidad de contaminantes como los metales pesados (Pb o mercurio), microorganismos (bacterias), etc. respecto a la calidad del agua conforman un factor negativo sobre todo de imagen en su aspecto. De esta forma, las arcillas, por sus propiedades estructurales (armazón en capas, desequilibrio de cargas) desempeñan un papel fundamental. Otra cuestión importante se refiere a su granulometría. Ver Figura 2.

**Figura 2**

*Tipo de partículas arrastradas por el agua, según su granulometría*



**Nota.** Se aprecia el tamaño de las partículas (solutos, coloides, sólidos en suspensión y bacterias polen), es y gases, en función de la temperatura. De “Curso de minería y medio ambiente”, por Higuera, P. y Oyarzun M., R. (2008). <https://www.uclm.es/users/higuera/mam/>

**Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).** Este parámetro indica la demanda del oxígeno producido por la biodegradación de la materia orgánica contenida en el agua (Higuera y Oyarzun, 2008).

Es una medida inexacta, pero de mucha consideración, puesto que indica de manera indirecta la cantidad de materia orgánica biodegradable que contiene el agua. Se puede determinar de diferentes formas, expresándose en cada caso como parámetros distintos: por ejemplo, el  $DBO_5$ , la cual representa el consumo de oxígeno estimulado por la biooxidación de la muestra de agua a 20 °C durante 5 días.

**Demanda Química de Oxígeno (DQO).** Este parámetro indica la cantidad de oxígeno en (mg/l) consumido en medio sulfúrico y con dicromato potásico, que es necesaria para la oxidación de la materia mineral y orgánica, biodegradable o no, presente en las aguas residuales. Es una medida más exacta de la cantidad de materia orgánica presente en el agua (Higuera y Oyarzun, 2008).

### 2.1.3. *Minería y aguas*

La actividad minera, como cualquier actividad industrial, implica la presencia de problemas en la calidad del agua en diferentes aspectos:

- Contaminación del agua oportuno de la propia naturaleza de los minerales explotados, por ejemplo, los metales (Cu, Zn, Cd, Hg, etc.) y aniones asociados (sulfatos, carbonatos, etc).
- Contaminación del agua producido por el uso de técnicas de lixiviación en pila (heap leaching) de metales, donde el agente lixivante puede ser el ácido sulfúrico (para el Cu) o el cianuro de sodio (para el oro).
- Contaminación del agua por su utilización en procesos post-mineros (p.ej., lavado por flotación).
- Contaminación de las aguas producto de factores indirectos: dispersión de partículas por el viento u otros mecanismos a aguas de áreas más o menos alejadas de la explotación.

De cualquier forma, las consecuencias de la minería sobre las aguas se traducen en: Movilización de partículas sólidas, ya sean procedentes del arrastre por las aguas superficiales, de material particulado de escombreras, carguío, o traídas hasta la superficie por el agua de lluvia, a partir del material particulado en suspensión. Incorporación de sales al agua, ya sean por procesos “naturales” (disolución de minerales que la minería pone a disposición de las aguas superficiales), o por mecanismos industriales (vertido de aguas de plantas de flotación u otro tipo). Incorporación de metales pesados a las aguas.

Generalmente, la minería metálica pone a disposición de los agentes externos unos elementos metálicos que se movilizan hacia las aguas ya sea por la formación de compuestos solubles, o por mecanismos de “sorción” de la fracción sólida arrastrada por el agua.

La variación del pH de las aguas, particularmente significativa suele ser de la acidificación, como resultado de la oxidación e hidrólisis de sulfuros con formación de sulfatos y sulfatos ácidos: el drenaje ácido de mina, del que vamos a hablar con mayor detalle.

La minería también ocasiona problemas hidrogeológicos en las aguas subterráneas. La presencia de agua en la mina, sobre todo a ciertas profundidades, representa un problema que únicamente puede resolverse produciendo de forma controlada un descenso del nivel de los acuíferos de la zona, para que queden por debajo del nivel de laboreo (Higueras 2008).

Ello puede implicar la desecación de pozos próximos, a distancias variables en función de la litología de las rocas que constituyan cada acuífero: si se trata de rocas poco permeables y transmisivas, el problema afectará únicamente al entorno inmediato de las labores, pero si se trata de rocas muy porosas y permeables, el problema puede alcanzar distancias considerables. También podrá afectar a parámetros físico-químicos, ya que constantemente por el fondo de la explotación a cielo abierto se podrían infiltrar aguas afectadas por la problemática específica de cada mina: turbidez (siempre), cambios composicionales, de acidez, de condiciones redox, etc.

#### **2.1.4. Drenaje Ácido de Mina (DAM)**

El drenaje ácido de mina es la acidificación del agua superficial y subterránea en una mina al estar en contacto con minerales metalíferos en las labores mineras, botaderos, relaves y otros de acuerdo a la mineralogía de la roca expuesta y de la disponibilidad de oxígeno y agua (Lottermoser, 2007).

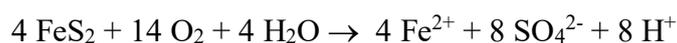
El DAM en términos generales es agua con niveles de pH bajo (en general  $\text{pH} < 4$ ), con altos contenidos de  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  disueltos, presenta elevada conductividad eléctrica, grandes cantidades en metales en solución que son potencialmente tóxicos como As, Cd, Pb, Zn, Cu, Hg, Sb, Se, etc.

Los drenajes pueden ser ácidos o alcalinos, que pueden degradar el hábitat acuático y cambiar la calidad de las aguas debido a su toxicidad y corrosión que por lo general tienen unos valores de pH entre 2 a 9, contienen cationes y aniones en disolución (de < 1 a 100 000 mg/l), predominando elevadas concentraciones de metales y metaloides (Corzo, 2015).

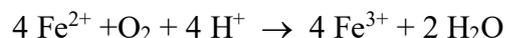
Es importante que la relación de oxidación de los sulfuros no requiere de condiciones especiales para llevarse a cabo, es decir a condiciones ambiente, se inicia la reacción, en algunos casos se dice que ocurre de forma natural, y que la presencia de factores físicos, químicos y biológicos y de su relación dependerá el tiempo que tarde en presentarse el DAM (Cervantes, 2014).

El drenaje de aguas ácidas se produce tanto en minas activas como abandonadas, en túneles subterráneos, pozos, tajos abiertos, material de desmonte y relaveras. Este drenaje es poco importante cuando la mina esta activa porque el nivel freático es bajo debido al bombeo; sin embargo, es severo en minas abandonadas donde el sistema de bombeo deja de funcionar con el que se incrementa el nivel freático y con este la cantidad de aguas ácidas (Corzo, 2015).

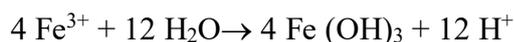
Este fenómeno se desarrolla por la oxidación e hidrólisis de los sulfuros, y en especial de la pirita, mediante una serie de reacciones que se describen a continuación:



A su vez, los iones ferrosos ( $\text{Fe}^{2+}$ ) se oxidarán de la siguiente manera:



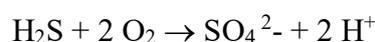
Los iones férricos se hidrolizan para formar hidróxido férrico:



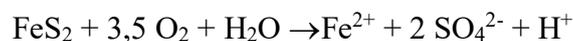
Este hidróxido es el productor de una serie de minerales típicos del ambiente oxidativo de minerales sulfuradas, y conceden a las escombreras y arroyos un típico color amarillento rojizo. El mineral más común de este grupo llamado genéricamente “limonitas” es la goethita,  $\text{FeO}(\text{OH})$ .

La bacteria *Thiobacillus ferrooxidans* es la causante de los impactos relacionada con el drenaje ácido procedente de explotaciones mineras y mineralizaciones en general.

Es una bacteria acidófila (propia de ambiente ácido), con una fisiología basada en la fijación de carbono a partir del CO<sub>2</sub> atmosférico, siendo, por lo tanto, estrictamente autótrofa, y específicamente quimioautótrofa. La *Thiobacillus ferrooxidans* obtiene su energía oxidando Fe o S:



De esta manera, la bacteria cataliza reacciones del tipo:



Estas reacciones se pueden dar con el resto de sulfuros metálicos, pero con variaciones menores que implican otros productos más o menos solubles en cada caso. Como resultado se obtienen aguas de pH muy bajo (2-3), cargadas en sales, sobre todo en sulfatos, en las que normalmente son más solubles los metales pesados, como Pb, Zn, Cu, As, Cd, etc. Una consideración importante a tener en cuenta es el mercurio, que en medio ácido sulfúrico es insoluble, debido a que el sulfato de mercurio es insoluble en agua, precipitando en forma de schuetteita.

## 2.2. Definición de términos

Para llevar a cabo la evaluación de la calidad de las aguas superficiales en general se consideran una variedad de parámetros fisicoquímicos y metales que a continuación se detallan:

### 2.2.1. *Metal pesado.*

Se considera metal pesado a aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 g/cm<sup>3</sup> cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo

los metales alcalinos y alcalino-térreos) y por sus efectos tóxicos, se incluyen a subgrupos químicamente parecidos, elementos más ligeros como el aluminio, el berilio y metaloides como el arsénico, selenio y antimonio (Madueño, 2017).

En el suelo, los metales pesados como iones libres, pueden quedar retenidos en el mismo, pero también pueden ser movilizados en la solución del suelo mediante diferentes mecanismos biológicos y químicos, pero en los últimos años se ha presentado una acumulación antropogénica por las actividades industriales, agrícolas y la disposición de residuos de todo tipo; estos se redistribuyen y reparten lentamente entre los componentes de la fase sólida del suelo. Dicha redistribución se caracteriza por una rápida retención inicial y posteriores reacciones lentas, dependiendo de las especies del metal, propiedades del suelo, nivel de introducción y tiempo.

### **2.2.2. Drenajes Ácidos de Roca (DAR).**

DAR, se refiere a todo drenaje contaminado como resultado de los procesos de oxidación y lixiviación de los minerales sulfurosos. Con el tiempo las características del drenaje pueden cambiar, de ligeramente alcalino hasta casi neutro y finalmente ácido (López, 2011).

El término, se refiere al agua de drenaje que contiene niveles de cualquier elemento o contaminante que no se encuentre dentro de los límites reglamentarios para el agua que drena de un asiento minero, o que podría ocasionar un impacto ambiental adverso.

### **2.2.3. Potencial de Hidrógenos (pH).**

El pH o potencial de hidrogeniones es un parámetro que sirve para medir o expresar la acidez o la alcalinidad de un líquido. Se define como el exponente positivo de la concentración de los iones del hidrógeno (hidrogeniones) (Arce, y Quispe, 2016).

El pH, se utiliza para expresar la concentración de iones hidrogeniones de una solución.

Las concentraciones altas de hidrogeniones corresponden a pH bajos y las

concentraciones bajas a pH altos. El pH suele tomar valores entre 0 y 14, un pH de 7 es neutro y no es ni ácido ni básico. Un pH entre 0 y 7 indica que la sustancia es ácida. Un pH entre 7 y 14 se denomina básico. Cuanto más alejado este el valor de 7, más ácida o básica será la sustancia.

#### **2.2.4. Conductividad Eléctrica (CE).**

La conductividad eléctrica, se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica. El agua pura, prácticamente no conduce la corriente, sin embargo, el agua con sales disueltas conduce la corriente eléctrica (Cava y Ramos, 2016).

Los iones cargados positiva y negativamente son los que conducen la corriente, y la cantidad conducida dependerá del número de iones presentes y de su movilidad.

#### **2.2.5. Oxígeno Disuelto (OD).**

Es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua. Es un indicador de contaminación del agua. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica que el agua es de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir (Quispe, 2016).

El oxígeno disuelto, proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua, parte del oxígeno disuelto en el agua es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas. Otros factores como la salinidad, la altitud (debido a que cambia la presión) también afectan los niveles de oxígeno disuelto.

#### **2.2.6. Sólidos Totales Disueltos (STD).**

Los STD, comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua (Argandoña y Macías, 2013).

Los STD presentes en el agua de consumo proceden de fuentes naturales, aguas residuales, escorrentía urbana y aguas residuales industriales. Las sales empleadas en algunos países para eliminar el hielo de las carreteras también contribuyen a aumentar el contenido de STD en el agua de consumo. Debido a las diferentes solubilidades de diferentes minerales, las concentraciones de STD en el agua varían considerablemente de unas zonas geológicas a otras.

#### **2.2.7. *Demanda Química de Oxígeno (DQO).***

La DQO, la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica y oxidable presente en un agua residual (Menéndez, 2018).

Es por tanto una medida representativa de la contaminación orgánica de un efluente, siendo un parámetro a controlar dentro de las distintas normativas de vertidos y que nos da una idea muy real del grado de toxicidad. Existen distintas formas de disminuir la DQO como los tratamientos físico-químicos, la electrocoagulación y el ozono.

#### **2.2.8. *Estándares de calidad o control ambiental.***

El nivel de concentración máximo de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en los recursos hídricos superficiales que no presentan riesgo significativo para la salud de las personas no contaminación del ambiente (ANA, 2016).

Los estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua de territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

#### **2.2.9. *Categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales.***

**Subcategoría D1: Riego de vegetales.** Aquellas aguas que son utilizadas en riego de cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el riego en cultivos, clase de

consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidas los productos agrícolas (ECA, 2017).

**Agua para riego no restringido.** Aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (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 (ECA, 2017).

**Agua para riego restringido.** Aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de cultivos alimenticios que se consumen cocidos (habas), cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (árboles frutales), cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (trigo, arroz, avena y quinua), cultivos industriales no comestibles (algodón) y cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (maíz forrajero y alfalfa) (ECA, 2017).

**Subcategoría D2.** 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 (ECA, 2017).

## **2.3. Caracterización ambiental de la zona de estudio**

### **2.3.1. Aspectos físicos.**

**Climatología y meteorología.** De la información recopilada y procesada de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) en el estudio de AMPHOS 21, 2020; “Estudio hidrológico e hidrogeológico de la U.M. Colquijirca, 2020”, se obtuvo los siguientes aspectos desarrollados.

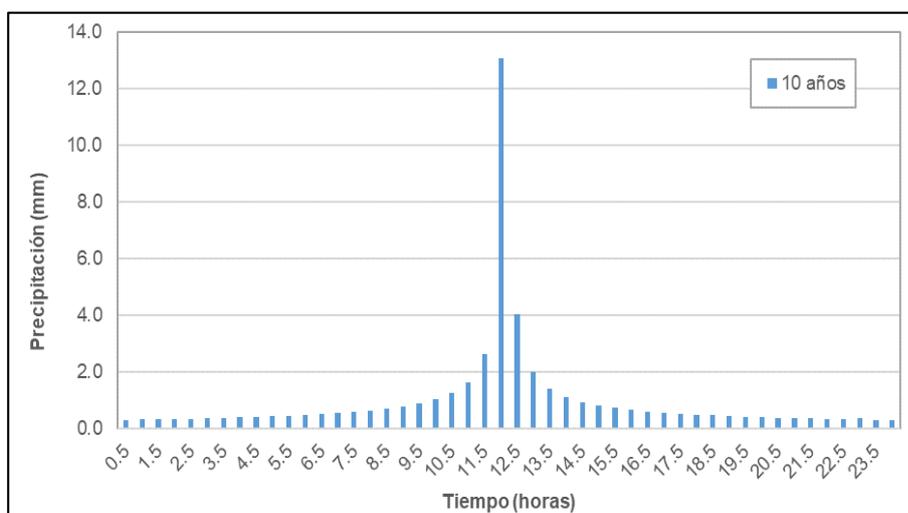
**Precipitación total.** Se obtuvo que la precipitación en la zona de estudio presenta una estacionalidad, donde la temporada húmeda se presenta de diciembre a marzo durante la cual se presenta el 57.6% de la precipitación total anual; una temporada seca de junio a agosto

durante la cual se presenta solo el 5.6% de la precipitación total anual; la temporada de transición de abril a mayo y de setiembre a noviembre, entre ambas temporadas se presenta el 36.9% de la precipitación anual.

**Precipitación máxima en 24 horas.** Los valores de las precipitaciones máximas en 24 horas se presentan en el siguiente gráfico.

**Figura 3**

*Precipitación máxima en 24 horas - Retorno en 10 años*

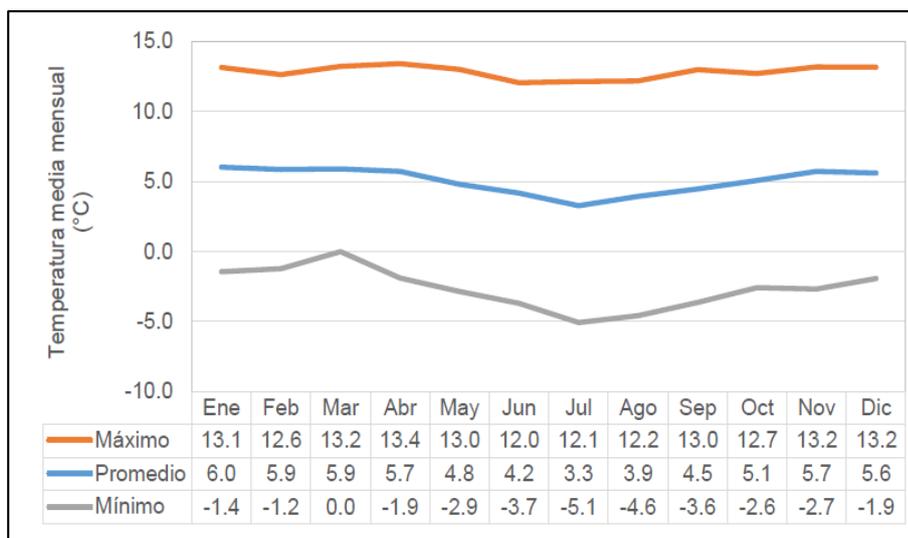


**Nota.** Se aprecia la precipitación máxima, en función al tiempo, en un periodo de 10 años. De “Estudio hidrológico e hidrogeológico de la U.M. Colquijirca, 2020”, por consultora ambiental AMPHOS21

**Temperatura.** La caracterización de la temperatura media anual de la zona de estudio es de 5 °C y la variación mensual de la temperatura máxima, media y mínima se presenta el siguiente gráfico, de donde se observa que la temporada cálida (5.6 °C – 6 °C) comprende los meses entre noviembre y abril, y la temporada fría (3.3 °C – 5.1 °C) comprende los meses entre mayo y octubre. Además, el máximo valor histórico se registró en abril del 2018 (19.3 °C) y el mínimo en agosto del 2001 (-12°C), tal como se muestra en la Figura 4.

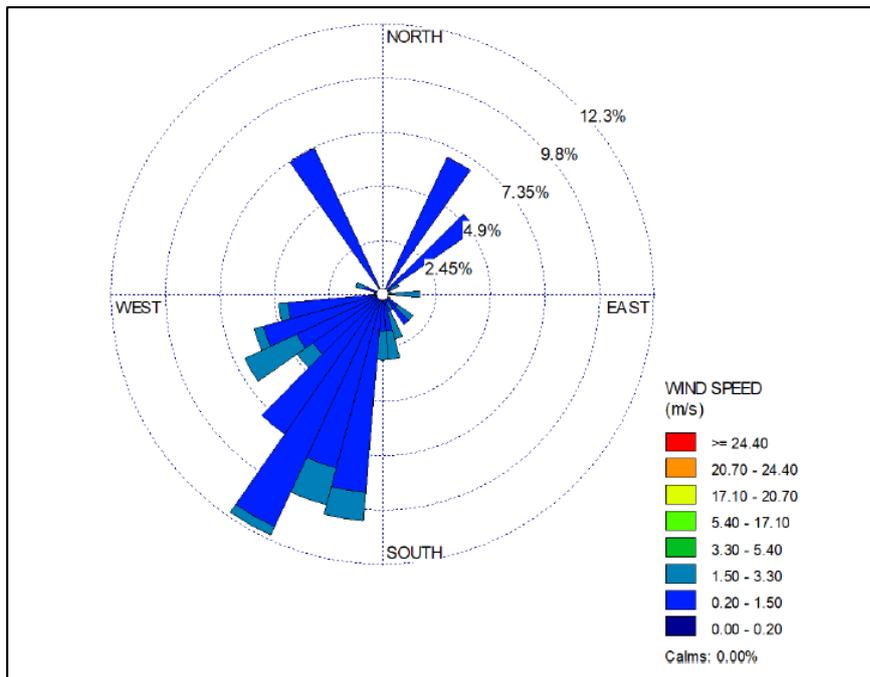
**Figura 4**

*Temperatura máxima, media y mínima en la estación Huaraucaca*



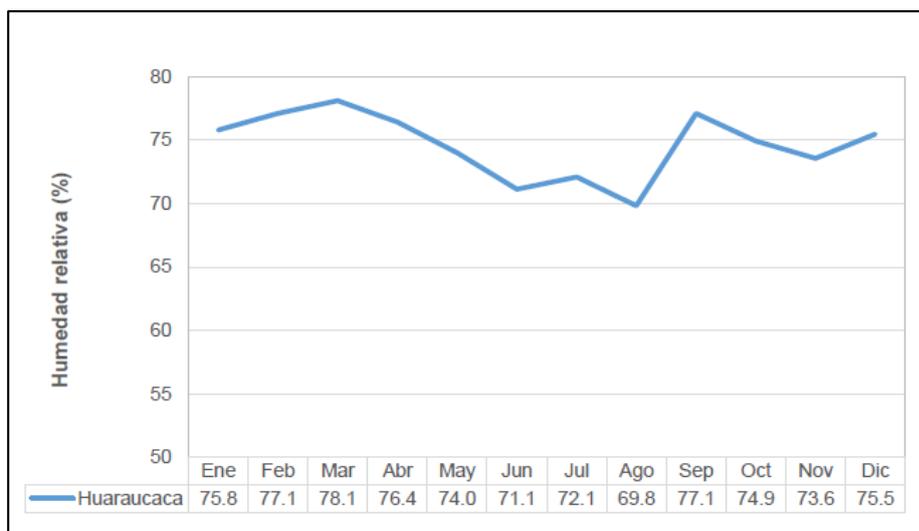
**Nota.** Se aprecia las temperaturas, máxima, media y mínima, en promedios mensuales, durante un año, de la estación Huaraucaca. De “Estudio hidrológico e hidrogeológico de la U.M. Colquijirca, 2020”, por consultora ambiental AMPHOS21

**Velocidad y dirección del viento.** Para la caracterización de la velocidad y dirección del viento de la zona de estudio se usó la data registrada en la estación Huaraucaca, debido a que el viento es una variable meteorológica muy relacionada a la topografía local. En la Figura 5, se muestra la rosa de viento de la estación Huaraucaca, de donde se observa predominancia de vientos provenientes del sursuroeste (SSO). Según la escala de Beaufort, la estación Huaraucaca presenta brisa leve, es decir las hojas y pequeñas ramas de las plantas se mueven continuamente y el viento extiende las banderas hechas de tejido suave.

**Figura 5***Rosa de Viento promedio - Estación Huaraucaca*

*Nota.* Se aprecia una velocidad del viento entre 0.20-1.50 m/s, con una predominancia del 12.3%, de la estación Huaraucaca. De “Estudio hidrológico e hidrogeológico de la U.M. Colquijirca, 2020”, por consultora ambiental AMPHOS21

***Humedad relativa.*** Para la caracterización de la humedad relativa se considera que los datos registrados en la estación Huaraucaca representan mejor las condiciones de humedad de la zona de estudio debido a que es una estación local y presenta un registro histórico suficientemente largo (20 años). Teniendo así que la humedad relativa media anual es de 74.6%, la cual varía entre 70% y 78%, tal como se puede apreciar en la siguiente figura.

**Figura 6***Humedad Relativa mensual - Estación Huaraucaca*

**Nota.** Se aprecia una mínima humedad relativa de 69.8%, en el mes de agosto, en un periodo de un año, de la estación Huaraucaca. De “Estudio hidrológico e hidrogeológico de la U.M. Colquijirca, 2020”, por consultora ambiental AMPHOS21

**Horas de Sol.** La duración máxima de la insolación durante el día o el máximo número de horas de sol durante el día fue obtenida del Atlas de energía solar del Perú (SENAMHI, 2003) en función de la ubicación geográfica del área de estudio (latitud), las horas máximas para la latitud de la zona de estudio ( $11^{\circ}11'$ ) se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1***Número de horas de sol máximo (h/día)*

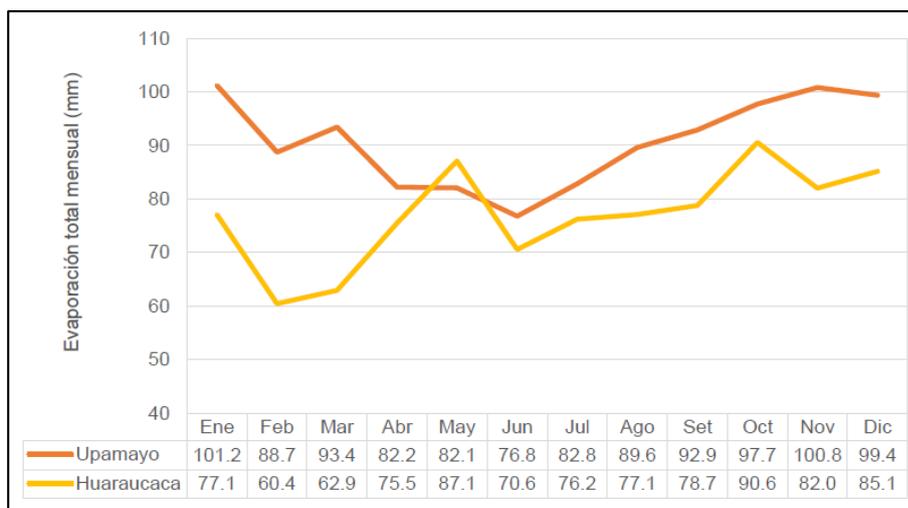
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
12.8	12.5	12.2	11.9	11.6	11.4	11.5	11.7	12	12.4	12.7	12.8

**Nota.** Se aprecia el número de horas de sol máximo, durante un año (2003), del área de estudio. De SENAMHI

**Evaporación.** De la información procesada, en la Figura 7, se aprecia que la evaporación varía entre 77 mm y 101 mm, presentándose con mayor intensidad durante la temporada húmeda y con menor intensidad durante la temporada seca, es decir, presenta un comportamiento similar al de la precipitación.

**Figura 7**

*Evaporación mensual en las estaciones Upamayo y Huaraucaca*



**Nota.** Se aprecia la mínima y máxima evaporación total mensual de, 60.4 mm y 87.1 mm, respectivamente, durante un año, de la estación Huaraucaca. De “Estudio hidrológico e hidrogeológico de la U.M. Colquijirca, 2020”, por consultora ambiental AMPHOS21

**Caracterización climática.** Para la clasificación climática de la zona de estudio se efectuó el balance hídrico climático, basado en el *método de Thornthwaite* (1953), considerando la serie de precipitación asignada a la zona de estudio y a la evapotranspiración potencial total promedio mensual (estimada por el método de Thornthwaite). Como resultado del balance hídrico se identificó un tipo climático B(o,i)D'H3, el cual puede describirse como clima semi frígido, lluvioso, con déficit de lluvia en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda.

**Hidrología e hidrografía.** A nivel regional, el área de estudio se ubica en la parte alta de cuenca hidrográfica del río Mantaro (UH: 4996), codificación asignada de acuerdo con la *metodología Pfafstetter* (Pfafstetter, 1999), la cual pertenece a la región hidrográfica del Amazonas.

A nivel local, en la zona de estudio se encuentra en la parte baja de la microcuenca del río San Juan y en la parte alta de la microcuenca del río Oschapampa, El río San Juan recibe

los aportes del río Huarapampa, Gashan y Tinragra aguas arriba de la U.M. Colquijirca; mientras que aguas abajo recibe los aportes del río Andacancha y del río Yurac Yacu.

**Geología y mineralización.** La geología regional de la zona está conformada predominantemente por las unidades lito-estratigráficas del grupo Excélsior (SD – e), grupo Mitu (Ps – m), grupo Pucará (trj – p); grupo Goyllarisquizca (Ki – g), formación Casapalca (Kp – ca), volcánico Rumillana (Nm – r), rocas Sub volcánicas (Nm – da; cl), rocas Sub volcánicas (Nm – an; da); Depósitos aluviales (Q – al).

Las formaciones geológicas locales, donde se emplaza la U. M. Colquijirca de Sociedad Minera El Brocal (SMEB) S.A.A. está compuesta por rocas sedimentarias, rocas volcánicas, y depósitos cuaternarios, los cuales se detallan a continuación: Formación Calera (Ke – ca), Grupo Mitu (Ps – m), Formación Volcánica Rumillana (NM-r), Depósitos fluvio glaciares (Q-fg), Depósitos tecnógenos (Q-te), Depósitos aluviales (Q-al) y Depósitos glaciares (Q-gl). (ver Tabla 2)

**Tabla 2**

*Unidades litoestratigráficas local*

Era	Sistema	Serie	Unidades Lito estratigráficas		Rocas Ígneas
<b>Cenozoico</b>	Cuaternario	Holoceno	Q-te	Depósitos Tecnógenos	Nm-r Volcánico Rumillana COMPLEJO MARCAPUNTA
			Q-al	Depósitos Aluviales	
		Pleistoceno	Q-fg	Depósitos Fluvioglaciares	
			Q-gl	Depósitos Glaciares	
Neógeno	Mioceno				
<b>Paleozoico</b>	Paleógeno	Eoceno	Ke-ca	Formación Calera	
		Paleoceno			
	Jurásico	Inferior	JTR-p	Grupo Pucará	
	Permiano	Superior	Ps-m	Grupo Mitu	

*Nota.* Se aprecia las unidades litográficas en el área de estudio SMEB(2020).

La estructura principal de la mineralización en el distrito minero, es el cuello volcánico de Cerro de Pasco. Este cuello que es de edad Terciaria, se encuentra en el anticlinal principal, cuyo eje enrumba en dirección Norte-Sur. Aquí en el mismo eje, buza en ambas direcciones. El afloramiento de este cuello, tiene la forma de elipse con diámetro de 2.3 y 2.5 Km., cuyo eje mayor sigue el rumbo del anticlinal principal. Las partes Este y Sur del cuello están ocupadas por un yacimiento conforme de Pb, Zn, Ag y Cu, que alcanza una profundidad de 700 metros. Consta de un cuerpo de Pb-Zn masiva, y está rodeado de un cuerpo mayor de pirita silicificada. En este yacimiento se encuentran cuellos secundarios de pirrotita.

La Anomalía Marcapunta-Colquijirca (Au, Cu, Pb, As, Sb, Hg, Ag) está ubicada en el distrito minero de Colquijirca, donde afloran los grupos Cabanillas (Excelsior), Mítu, Pucará, y las formaciones Pocobamba, Calera y los domos subvolcánicos de Marcapunta. Estructuralmente se tienen las fallas Cerro de Pasco y San Juan. En esta área se encuentran las minas de Marcapunta y Colquijirca, por lo que se considera a estas muestras como contaminadas.

El contraste geoquímico en esta área anómala es fuerte en Au, Cu, Pb, As, Sb, Hg, y moderado en Ag. Posiblemente estos resultados pueden estar ligados a la franja de depósitos polimetálicos asociados a diatremas volcánicos del Mioceno.

**Caracterización de suelos.** De acuerdo a los instrumentos ambientales con los que cuenta la U. M. Colquijirca, se determinó que los suelos donde está emplazada la zona de estudio pertenecen a la región edáfica denominada “Andosólica” que se extiende entre los 4,000 y 5,000 m.s.n.m. Dentro de esta región se reconocen:

- valles inter montañoso, con presencia de bofedales y superficies hidromórficas con drenajes imperfectos a pobres,
- laderas de montaña,

- suelos con característica residual - ubicados por lo general en las laderas altas, los cuales han sido formados *in situ* y su composición está estrechamente relacionada con la roca madre de la cual se ha originado.

Estos suelos presentan fertilidad media a baja con niveles medio altos de materia orgánica, y de reacción neutral ácida, debido a las condiciones climáticas del sitio, la materia orgánica no se descompone fácilmente y la meteorización de la roca madre es muy lenta.

### 2.3.2. Aspectos biológicos.

**Ecorregión.** La zona de estudio se encuentra en la Ecorregión Puna, la cual comprende las partes más altas andinas que se hallan, en promedio, por encima de los 3,700 m.s.n.m. Las temperaturas son bajas y el contraste es marcado entre las temperaturas diurnas y nocturnas. Estos factores han exigido a la escasa flora y fauna, adaptaciones considerables para hacer posible su supervivencia. Las rocas tienen una función muy importante, ya que actúan como reservorios de calor durante el día, el cual irradian durante la noche. La ausencia de precipitaciones hace que el terreno se torne sumamente árido. Los vientos contribuyen a reducir la temperatura y a humedecer el ambiente. La vegetación está determinada por los factores climáticos. La ausencia casi total de plantas arborescentes es resaltante. La unidad de cobertura vegetal predominante es el pajonal de puna formado por gramíneas de diversas especies.

**Zonas de vida.** Las zonas de vida están definidas por la relación existente en el orden natural entre los factores del clima y la vegetación, y está elaborado sobre la base del Sistema de Clasificación de Zonas de Vida, propuesto por *Holdridge*. El área de estudio, se identificó con la ayuda del Mapa Zonas de vida del Perú, basado en el sistema de clasificación de zonas de vida, y que utiliza los sistemas bioclimáticos como parámetros para definir la composición florística. La zona de vida identificada en la zona de estudio es:

*Paramo Muy Húmedo Subalpino Tropical (Pmh-Sat)*. Geográficamente, ocupa las partes orientales de los Andes en sus porciones norte, centro y sur y entre los 3,900 y 4,500

m.s.n.m. La biotemperatura media anual máxima es de 6 °C (Carhuamayo, Junín) y la media anual mínima de 3.8 °C (hacienda Pucará, Junín). El promedio máximo de precipitación total por año es de 1,254.8 mm y el promedio mínimo 584.2 mm. Según el Diagrama de *Holdridge*, la evapotranspiración potencial total por año se ha estimado que varía entre la cuarta parte (0.25) y la mitad (0.5) del promedio de precipitación total por año, lo que la ubica en la provincia de humedad: PERHÚMEDO.

La configuración topográfica está definida por áreas bastante extensas, suaves a ligeramente onduladas y colinosas, con laderas de moderado a fuerte declive hasta presentar en muchos casos afloramientos rocosos.

El escenario edáfico está conformado por suelos relativamente profundos, de textura media, ácidos, generalmente con influencia volcánica (Páramo Andosoles) o sin influencia volcánica (Paramosoles). Completan el escenario edáfico los suelos de mal drenaje (Gleysoles), suelos orgánicos (Histosoles) y Litosoles (suelos delgados) (Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA], 1995).

**Flora.** Durante la evaluación en temporada húmeda (marzo, 2018), se empleó la metodología de muestreo (cualitativo) que es producto de especies botánicas que se encontraron en caminatas que no cayeron en los transectos de evaluación cuantitativa, se registraron 137 especies con 85 géneros agrupadas en 37 familias botánicas y 28 ordenes durante temporada húmeda y en temporada seca (setiembre, 2018) se registraron 122 especies con 69 géneros agrupadas en 28 familias botánicas y 19 ordenes.

Las especies encontradas, resultado de la metodología de evaluación (cuantitativa) es producto de especies botánicas que se encontraron en los transectos establecidos en temporada húmeda, indican la presencia de 119 especies, 69 géneros y agrupadas en 29 familias botánicas y 21 órdenes. De todos los grupos registrados, 15 familias fueron las mejores representadas en aspectos de diversidad: *Asteraceae* (36 spp.), *Poaceae* (27 spp.), *Plantaginaceae* (6 spp.),

*Cyperaceae* y *Fabaceae* (5 spp.), *Caryophyllaceae* (4 spp.), *Geraniaceae*, *Onagraceae*, *Rosaceae* y *Juncaceae* (3 spp.), *Brassicaceae*, *Gentianaceae*, *Orchidaceae*, *Rubiaceae* y *Scrophulariaceae* (2 spp). Las familias referidas constituyen casi el 88% de la flora registrada, mientras que 14 familias están representadas por sólo una especie, como; *Adiantaceae*, *Apiaceae*, *Campanulaceae*, *Elaphoglossaceae*, *Ephedraceae*, *Ericaceae*, *Iridaceae*, *Lamiaceae*, *Polygonaceae*, *Portulacaceae*, *Ranunculaceae*, *Solanaceae*, *Urticaceae* y *Valerianaceae*.

En temporada seca se registró la presencia de 119 especies, 69 géneros y agrupadas en 28 familias botánicas y 19 órdenes. De todos los grupos registrados, 15 familias fueron las mejores representadas en aspectos de diversidad: *Asteraceae* (36 spp.), *Poaceae* (26 spp.), *Plantaginaceae* (6 spp.), *Fabaceae* (5 spp.), *Caryophyllaceae* (4 spp.), *Geraniaceae*, *Onagraceae*, *Rosaceae* y *Juncaceae* (3 spp.), *Brassicaceae*, *Gentianaceae*, *Orchidaceae*, *Rubiaceae* y *Scrophulariaceae* (2 spp). Las familias referidas constituyen casi el 88% de la flora registrada, mientras que 14 familias están representadas por sólo una especie, como; *Adiantaceae*, *Apiaceae*, *Campanulaceae*, *Elaphoglossaceae*, *Ephedraceae*, *Ericaceae*, *Iridaceae*, *Lamiaceae*, *Polygonaceae*, *Portulacaceae*, *Ranunculaceae*, *Solanaceae*, *Urticaceae* y *Valerianaceae*.

### **Fauna.**

**Anfibios y reptiles.** En la zona de estudio, se registraron dos especies de anfibios (temporada húmeda), ambas de diferentes familias. Los registros de anfibios son de las especies *Rhinella spinulosa* de la familia *Bufo* y *Pleurodema marmoratum* de la familia *Leptodactylidae*. Las unidades de cobertura vegetal, Bofedal y Pajonal andino sub-tipo césped presentaron la mayor riqueza con dos especies. En temporada seca solo se registró una especie de anfibio: *Rhinella spinulosa*.

### **Aves.**

En la zona de estudio se registraron un total de 38 especies (Temporada Seca), las especies se reparten en un total de 21 familias y 11 ordenes, así mismo en esta se detallan las estaciones en las que se registraron las especies.

Así mismo en temporada húmeda, se registró un total de 28 especies distribuidas en 16 familias y 6 órdenes.

**Mamíferos.** En la zona de estudio, en el monitoreo de temporada seca (2018) se registró una especie *Auliscomys pictus* en la estación T-05. Así mismo en temporada húmeda (2018) se registró una especie de *Calomys sorellus* en la estación T-02.

En el caso de mamíferos mayores no se tuvo reporte de especies silvestres mediante observación directa, en este caso se reportó bajo entrevistas al “Zorro colorado”, *Lycalopex culpaeus* y al “Zorrino”, *Conepatus chinga* en la zona de monitoreo.

## **2.4 Marco Legal**

- *La Constitución Política del Perú – Título III, Capítulo II: Del Ambiente y los Recursos Naturales.* La Constitución Política del Perú de 1993, en su artículo 2º, inciso 22, establece que “Toda persona tiene derecho a la paz, la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida”. Asimismo, los artículos 66º, 67º, 68º y 69º establecen que los recursos naturales, renovables y no renovables son patrimonio de la Nación, siendo el Estado el promotor del uso sostenible de éstos.
- *Decreto Legislativo N°635, Código Penal del año 1991;* menciona las penas privativas de libertad a las personas que descarguen, comercialicen o viertan desechos industriales o domésticos en zonas no autorizadas, con mayor sanción si el causante es funcionario o servidor público.

- *Ley General de Salud N° 26842, del año 1997.* Se reconoce la responsabilidad del Estado frente al cuidado de la salud del ambiente. Así tenemos en el Artículo N° 96 del capítulo IV, se menciona que para la disposición de sustancias y productos peligrosos debe tener en cuenta todas las medidas y precauciones para evitar daños a la salud y el ambiente. Así también, los Arts. 99, 104 y 107 del Capítulo VIII, mencionan sobre los desechos y responsabilidad de las personas naturales o jurídicas a no realizar descargas de compuestos o sustancias contaminantes al aire, agua o suelo.
- *La Ley General del Ambiente, Ley N° 28611, Conforme al artículo N°1.* Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y tiene el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente. Así como a sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y desarrollo sostenible del país.
- *En su artículo N° 9,* cuando se refiere a la Política Nacional del Ambiente que su objetivo es mejorar la calidad de vida de las personas y garantizar la permanencia de ecosistemas saludables, viables y funcionales a largo plazo; y el desarrollo sustentable del país, mediante la preservación, cuidado y recuperación del ambiente y sus componentes, la conservación y el aprovechamiento racional y sostenible de los recursos naturales, de una forma responsable y congruente con el respeto a los derechos esenciales de la persona.
- *En su Artículo N° 31* trata sobre el Estándar de Calidad Ambiental, y lo define 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.

- *Acorde al artículo N° 114.* Cita que el acceso al agua para consumo humano es un derecho de la población, y que le corresponde al Estado asegurar la vigilancia y protección de aguas que se utilizan para abastecimiento de la población, sin perjuicio de las responsabilidades que correspondan a los particulares. En caso de escasez del recurso hídrico, el Estado asegura el uso preferente del agua para abastecimiento de las necesidades poblacionales, frente a otros usos.
- *Acorde al artículo N° 120.* Establece que el Estado, tiene el deber de la protección de la calidad del recurso hídrico del país. De esta manera el Estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fine de su reúso, considerando como antecedente la obtención de la calidad necesaria para su reutilización, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizaran.
- *Ley N° 29338. Ley de Recursos Hídricos, del 31 de marzo de 2009,* esta ley tiene por finalidad normalizar el uso y gestión integrada del agua, la participación del Estado y los privados en dicha gestión, basándose en los principios de valoración del agua, priorizar el acceso al agua, participación de los ciudadanos y cultura del agua, seguridad jurídica, el respeto de los usos de agua por las comunidades campesinas y nativas, sustentabilidad, descentralización, prevención, eficiencia, gestión integrada y tutela jurídica; en este sentido se ha creado el Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, siendo la Autoridad Nacional del Agua el ente rector y la máxima autoridad técnico normativa la cual está integrada por el Consejo Directivo, Jefatura, Tribunal de Resolución de Controversias Hídricas, Órganos Desconcentrados denominados Autoridades Administrativas del Agua y Administradores Locales del Agua; y Órganos de Apoyo.

Para el uso del agua y su vertimiento se ha fijado una retribución económica cuyas tarifas están de acuerdo al uso de infraestructuras hidráulicas mayores y menores, por el servicio de monitoreo y por la gestión de las aguas subterráneas.

La presente ley deroga el Decreto Ley N° 17752, Ley General de Aguas y su reglamento el Decreto Supremo N° 261-69-AP.

- *Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, D.S. N° 001-2010 – AG*, en su Artículo 103 trata sobre la protección del agua, indica que, la protección del agua tiene como finalidad la prevención y deterioro de su calidad; proteger y mejorar el estado de los cuerpos naturales y los ecosistemas acuáticos; implantar medidas; específicas para eliminar o minimizar progresivamente las causas que generan su contaminación y degradación.
- *Política Nacional del Ambiente, D.S. N° 012-2009- MINAM*, tiene como finalidad mejorar la calidad de vida de las personas, asegurando la permanencia de ecosistemas saludables, viables y funcionales a largo plazo; y alcanzar el desarrollo sostenible del país, mediante la prevención, cuidado y recuperación del ambiente y sus componentes, la preservación y el aprovechamiento racional de los recursos naturales, de una manera responsable y teniendo en cuenta el respeto de los derechos fundamentales de la persona.
- *D.L N° 1083-2008-ANA*. El presente decreto legislativo establece el marco normativo para promover el aprovechamiento racional y la conservación de los recursos hídricos motivando el desarrollo de una cultura de uso responsable entre todos los usuarios y operadores de infraestructura hidráulica, pública o privada. La Autoridad Nacional del Agua, fija los parámetros de eficiencia para el aprovechamiento de los recursos hídricos, los cuales son requisitos máximos y mínimos aplicables a cada tipo y forma de uso del recurso. La ANA brinda Certificados de Eficiencia en la cual

consta el uso eficiente, así como Certificados de Creatividad, Innovación e Implementación para la Eficiencia del Uso del Agua. Los incentivos institucionales que promueve la Autoridad Nacional del Agua son cursos de buenas prácticas, pasantías, premios, divulgación de experiencias exitosas e impulso del uso de equipos y tecnologías innovadoras. Para los usuarios y operadores que incumplan con los parámetros de eficiencia tendrán que presentar un Plan de Adecuación para el uso eficiente de los recursos hídricos hasta cumplir en un tiempo no mayor de 5 años con los parámetros solicitados. La ANA fomenta la reversión de los excedentes de los recursos hídricos, así como el reúso de los mismos.

- *Resolución Jefatural N° 0201-2009-ANA.* En la presente resolución se establecen disposiciones para implementar una retribución económica o cobranza por el uso del agua superficial para el año 2009, las cuales dependerán del uso del agua pudiendo ser industrial, minero, poblacional y agrario, y de la clasificación de la administración local del agua en relación a sus tasas de disponibilidad del recurso hídrico; las cuales están tasadas en nuevos soles por metro cúbico. Además, se menciona que la retribución económica que pagaran las organizaciones comunales responsables de la prestación de los servicios será de S/ 50.00 y para la cobranza del agua con fines mineros, la Administración Local del Agua, emitirá recibos por el uso; debiéndose realizar un pago previo por el respectivo volumen solicitado y un pago posterior a dicho uso del agua. La falta de pagos estará sujeto a un interés por mora simple mensual del 1% del monto total de la retribución económica o en su defecto será sujeto a cortes de agua o se llevará a cabo la cobranza coactiva.
- *Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM.* En esta resolución se reglamenta los niveles máximos permisibles para las emisiones de las unidades minero metalúrgicas nuevas, las que se encuentren en operación y/o que reinicien operaciones (adjuntos

en el anexo I y II) Los parámetros a considerar son: el pH, sólidos suspendidos, As, Fe, Pb, Cu, Zn, y cianuro total con concentraciones diferentes para cada anexo.

- *Resolución Directoral N° 281-2007-MEM/AAM.* La presente guía ha sido elaborada para los responsables de las empresas mineras, funcionarios del Estado, consultores, y para todas las instituciones y personas interesadas en la identificación, prevención, evaluación y mitigación del impacto de las actividades minero metalúrgicas sobre el recurso hídrico, la misma ha sido elaborada por el equipo del Proyecto de Reforma del Sector Público Minero, bajo el auspicio de la Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional y presentado para el Ministerio de Energía y Minas. Esta guía desarrolla los principales aspectos relacionados con la elaboración de la línea de base hidrológica y de la calidad del agua, el modelamiento hidrológico y de la calidad del agua, la evaluación de los impactos en las aguas de superficie, con especial énfasis en el modelamiento numérico de los aspectos hidrológicos y de calidad del agua.
- *Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM.* El presente Decreto Supremo aprueba los *Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de emisiones líquidas de Actividades Minero-Metalúrgicas de acuerdo a los valores establecidos en su Anexo 01, que forma parte del presente Decreto Supremo.*
- *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.* La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023.2009-MINAM y el Decreto Supremo 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental para agua quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta norma modifica algunos valores de algunos parámetros correspondientes a algunas categorías de los Estándares de Calidad y mantiene a su vez algunos otros establecidos por los anteriores Decretos Supremos.

- *Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA*. La presente Resolución aprueba el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad del Agua de los Recursos Hídricos Superficiales.
- *Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental – Ley N° 28245*. Esta Ley se señala que el objetivo de la Política Nacional Ambiental es el mejoramiento continuo de la calidad de vida de las personas, mediante la protección y recuperación del ambiente y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, garantizando la existencia de ecosistemas viables y funcionales en el largo plazo.
- *Ley de declaratoria de emergencia ambiental ley N° 28804 (20/07/06)*. El objetivo de la presente Ley es la de regular el procedimiento para declarar en emergencia ambiental una determinada área geográfica en caso de ocurrencia de algún daño ambiental súbito y significativo ocasionado por causas naturales, humanas o tecnológicas que deteriore el ambiente, ocasionando un problema de salud pública como consecuencia de la contaminación del aire, agua y el suelo, que amerite la acción inmediata sectorial a nivel local y regional (Art. 1°). Asimismo, señala los criterios que debe considerarse para declarar dicha emergencia, los responsables y sus funciones, así como la participación interinstitucional.
- *Ley que establece medidas tributarias, simplificación de procedimientos y permisos para la promoción y dinamización de la inversión en el país – Ley N°30230 (12/07/14)*. En dicha norma se realiza una serie de cambios normativos en temas tributarios, ambientales de saneamiento físico – legal de predios y competencias de los gobiernos municipales y regionales.
- *Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales -Ley N° 26821*. Promueve y regula el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y no renovables, establece el marco para el fomento a la inversión,

procurando un equilibrio dinámico entre el crecimiento económico, la conservación de los recursos naturales y del ambiente y el desarrollo integral de las personas. Además, establece el derecho de los ciudadanos a ser informados y a participar en la definición y adopción de políticas relacionadas con la conservación y uso sostenible de los recursos naturales.

- *Ley de Conservación y Desarrollo Sostenible de la Diversidad Biológica – Ley N° 26839*. Señala que el Estado es soberano en la adopción de medidas para la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica, lo cual implica conservar la diversidad de ecosistemas, especies y genes, así como mantener procesos ecológicos esenciales de los que dependen la supervivencia de las especies. Autoriza al Estado a promover la adopción de un enfoque integrado para el manejo de tierras y agua utilizando la cuenca hidrográfica como unidad de manejo y planificación ambiental, la conservación de los ecosistemas naturales, así como las tierras de cultivo, la prevención de la contaminación y degradación de los ecosistemas terrestres y acuáticos, y la rehabilitación y restauración de los ecosistemas degradados, principalmente.
- *Ley Orgánica de Gobiernos Regionales – Ley N° 27867*. Establece que los gobiernos regionales tienen dentro de sus competencias compartidas, el promover y regular actividades y/o servicios en materia de vialidad, comunicaciones, educación, salud y medio ambiente, realizar la gestión sostenible de los recursos naturales y mejoramiento de la calidad ambiental, preservación y administración de las reservas y áreas naturales protegidas regionales, entre otras.
- *Ley Orgánica de Municipalidades – Ley N° 27972*. Establece que los gobiernos locales son entidades básicas dentro de la organización del Estado y canales inmediatos de participación vecinal en los asuntos públicos, que institucionalizan y

gestionan con autonomía los intereses de sus correspondientes colectividades. Tienen como función específica emitir normas técnicas generales, en materia de organización del espacio físico y uso del suelo, así como sobre protección y conservación del ambiente.

- *Reglamento de la Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental. D.S. 008-2005-PCM.* El presente reglamento, regula el funcionamiento del Sistema Nacional de Gestión Ambiental (SNGA), el que se constituye sobre la base de las instituciones estatales, órganos y oficinas de los distintos ministerios, organismos públicos descentralizados e instituciones públicas a nivel nacional, regional y local que ejerzan competencias, atribuciones y funciones en materia de ambiente y recursos naturales. Asimismo, el SNGA tiene por finalidad orientar, integrar, coordinar, supervisar, evaluar y garantizar la aplicación de las políticas, planes, programas y acciones destinados a la protección del ambiente y contribuir a la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.
- *Código Penal, Título XIII, Delitos contra la Ecología – D.L. N° 635 y su respectiva modificatoria.* Mediante el cual se especifican las sanciones contra diversos delitos contra la ecología, los recursos naturales y el medio ambiente según lo establecido en los artículos mencionados en su capítulo único, como son: responsabilidad culposa, contaminación agravada, depredación de flora y fauna legalmente protegidas, etc.
- *Decreto Legislativo que aprueba a la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Decreto Ley N° 1278.* El presente Decreto Legislativo establece derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, con la finalidad de propender hacia la maximización constante de la eficiencia en el uso de

los materiales y asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos económico, sanitaria y ambientalmente adecuado.

- *Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.* El reglamento tiene como finalidad asegurar la maximización constante de la eficiencia en el uso de materiales, y regular la gestión y manejo de residuos sólidos en la fuente, la valorización del material y energética de los residuos sólidos, la adecuada disposición final de los mismos y la sostenibilidad de los servicios de limpieza pública. Asimismo, el reglamento establece que el almacenamiento, tratamiento y disposición final de los residuos del generador no municipal, como resultado del desarrollo de sus actividades productivas, extractivas o de servicios, se realizará a través de las Empresas Operadoras de Residuos Sólidos (EO-RS), con excepción de los residuos sólidos similares a los municipales.
- *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.* Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. 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.

Las categorías establecidas para los estándares de calidad ambiental para agua son:

- *Categoría 1: Poblacional y Recreacional.*
- *Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.*
- *Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.*
- *Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.*

### III. Método

#### 3.1. Tipo de investigación

En literatura, referente a la investigación cuantitativa se establecen diferentes clasificaciones de los diseños. El diseño es “un plan o estrategia que se lleva a cabo para adquirir la información que se necesita en una investigación y de esta manera lograr responder al planteamiento del problema” (Hernández et al, 2014, p. 128).

A partir de este concepto la presente investigación es de diseño no experimental-longitudinal. No experimental, porque no se manipulará ninguna variable y se busca analizar cuál es el nivel o modalidad de la variable en un determinado momento o Evaluar una situación, evento o fenómeno en un punto del tiempo; y es longitudinal por que el recojo de datos será en diferentes tiempos y más de una vez. De esta manera Hernández et al (2015), indica que “los diseños longitudinales, [...] recaudan datos en diversos periodos o tiempo para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias” (p. 159).

La investigación fue definida con enfoque cuantitativo, de tipo cuantitativa – aplicada de nivel descriptivo correlacional y el diseño como no experimental- longitudinal.

#### 3.2. Ámbito temporal y espacial

##### 3.2.1. *Temporal*

Para el desarrollo de la tesis, se tomó como referencia las épocas de avenidas y estiajes en el año 2020, es decir para época de avenidas se muestreará en el mes de enero y para la época de estiajes se hará el monitoreo en las estaciones de estudio en el mes de abril.

En términos de ejecución, tuvo una duración aproximada de 5 meses, a partir del mes de febrero del 2020, y una culminación en el mes de julio del 2020.

##### 3.2.2. *Espacial*

La presente investigación se desarrolló en los Andes Centrales del Perú, a unos 25 Km aprox. Al Norte del lago de Junín y con una altitud promedio de 4,250 m.s.n.m. El presente

estudio está enfocado a la calidad del agua; el criterio que se considera para la delimitación, se basó en el sistema hidrográfico de la zona de estudio, el sistema hidrográfico comprendido dentro del distrito de Simón Bolívar, Tinyahuarco y Huaraucaca, el cual está constituido por el río San Juan y sus afluentes principales por la margen izquierda como el río Blanco y la quebrada Paráac y por la margen derecha cada una de las quebradas de menor grado.

El área de estudio comprende el tramo del río San Juan ubicado dentro de los distritos Simón Bolívar, Tinyahuarco y Huaraucaca, distritos que pertenecen a la provincia de Pasco, departamento de Pasco. En dicho, tramo se han seleccionado 5 estaciones de monitoreo de agua.

### **3.3. Variables**

En la siguiente tabla se presenta las variables:

**Figura 8***Operacionalización de variables de investigación*

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
<b>Variable Independiente</b>	Líquido proveniente de un proceso de tratamiento, proceso productivo o de una actividad (Compendio Ambiental MINAM, 2010).	Agua residual de naturaleza orgánica e inorgánica procedente de la actividad industrial y doméstica, o que se incorporan a estas por el escurrimiento de terrenos causado por las lluvias, los cuales son vertidos al río San Juan, el cual presenta sustancias tóxicas que no deben exceder los Límites Máximos Mermisibles (LMP) establecidos por la normativa.	PARAMETROS FISICO QUIMICO	pH	0-14
				TEMPERATURA	° C
				Conductividad	uS/cm
				DQO, TDS y Oxígeno disuelto	mg/l
Vertimiento de efluentes mineros			METALES PESADOS	Hierro, manganeso	mg/l
				Cobre, plomo y zinc	mg/l
<b>Variable Dependiente</b>	Johnson, D.L(1997) Es una medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies bióticas o a cualquier necesidad humana o propósito.	Son las características físicas, químicas y biológicas que presenta el cuerpo acuático en estudio, el mismo que deberá estar sujeto a un determinado uso de acuerdo al objetivo del estudio y condiciones del recurso hídrico, en tal sentido dichas características serán aplicadas al cuerpo receptor en estudio, para nuestro caso será el río San Juan.	PARAMETROS FISICO QUIMICO	pH	0-14
				TEMPERATURA	° C
				Conductividad	uS/cm
				DQO, TDS y Oxígeno disuelto	mg/l
Variación de la Calidad del agua			METALES PESADOS	Hierro, manganeso	mg/l
				Cobre, plomo y zinc	mg/l

### **3.4. Población y muestra**

#### **3.4.1. Población**

La población en estudio es la subcuenca alta del río San Juan en el cual se ubican 05 estaciones de monitoreo, ubicadas a una distancia de acuerdo al origen de los posibles focos contaminantes.

#### **3.4.2. Muestra**

La muestra consta de un volumen de 05 litros de agua de río tomados en 05 frascos independientes para su determinación por parámetro y por cada estación de monitoreo (05), haciendo 25 muestras por época (estiaje y avenidas), alcanzando un total de 50 litros. Para la ubicación de los puntos de muestreo se realizó sobre la base del juicio de expertos.

### **3.5. Instrumentos**

#### **3.5.1. Técnicas.**

- muestreo,
- protocolo de monitoreo,
- análisis de muestras,
- observación de campo.

#### **3.5.2. Instrumentos.**

- fichas de recolección de datos,
- métodos estandarizados,
- fichas textuales, resúmenes de informes, trabajos anteriores si hubieran,
- estadísticas, etc.

#### **3.5.3. Fuentes.**

- reportes de monitoreos anuales,
- mapas temáticos zonales,
- informes, trabajos anteriores, estadísticas, etc.

- el propio investigador se encargará de realizar el trabajo de campo.

### 3.6. Procedimientos

Para la realización del estudio se recurrió al método de evaluación integrada del medio biofísico, con el diseño de mapas y reconocimiento de campo. Asimismo, se aplicará también el método experimental para el análisis de las aguas naturales. El procedimiento seguido en la presente investigación, consiste en cuatro etapas secuenciales: etapa preliminar de gabinete, etapa de campo, etapa de laboratorio y etapa final de gabinete.

#### 3.6.1. *Etapas preliminar*

Se cuenta con un mapa de ubicación y referencias bibliográficas y estadísticas de la hidrografía del Perú se procedió a elaborar el proyecto de investigación:

**Elección del área de estudio.** Para identificar el área de estudio, se localizó en todo el sistema hidrográfico del Perú, un sistema acuático aparentemente alterado durante muchos años en sus características físicas y químicas. Estadísticas regionales a nivel nacional e internacional sobre diferentes investigaciones, las cuales se encuentran rodeadas por diversas industrias mineras. Y por diversos antecedentes en esta área de estudio se consideró tomar la cuenca del río San Juan como una posible zona polucionada por industrias mineras; de la misma manera considerar los efluentes industriales de las empresas mineras que se desarrollan en esta zona y su desembocadura en el río San Juan; y posteriormente el lago Junín como destino final.

**Identificación de industrias y efluentes mineros.** Dentro de la subcuenca del río San Juan se encuentran ubicadas tres industrias mineras que operan desde hace más de 50 años, como es el caso de Cerro SAC y El Brocal, situadas en Cerro de Pasco y Colquijirca respectivamente. La tercera unidad minera es Aurex, que se encarga del beneficio de oro y plata a través de su planta de cianuración. El efluente generado por la Industria Minera Cerro SAC, vierte sus efluentes en la Quebrada Quiulacocha, asimismo existen algunos drenajes y lixiviados generados por la relavera Quiulacocha y las desmonteras los cuales posteriormente

descargan en el río San Juan, ubicadas en el distrito de Simón Bolívar. La laguna Yanamate situada en la misma cuenca de estudio cuenta con descargas de drenajes ácidos de mina que infiltran hacia el río San Juan. Tal es así que la Industria Minera El Brocal vierte sus efluentes en la quebrada Huachuacaja, el cual descarga posteriormente en el río San Juan, en el distrito de Huaracaca (Colquijirca). La Industria Minera Aurex, vierte sus efluentes directamente al río San Juan, ubicada en la localidad de Yurajhuanca del Distrito de Simón Bolívar.

**Ubicación de los puntos de muestreo.** Localizadas las industrias y los puntos de vertimiento de efluentes industriales, se consideraron algunos de los puntos de muestreo establecidos por la ANA y otros complementarios por el autor, el criterio principal para tal ubicación fue considerando los puntos de descarga de las fuentes contaminantes.

### Figura 9

*Ubicación de las estaciones de muestreo*

ESTACIÓN	DESCRIPCIÓN	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM 18S		ALTITUD (msnm)
			ESTE	NORTE	
E-1	Río San Juan, aprox. a 50 m aguas arribas de la estación Hidroeléctrica (margen derecha)	Yurajhuanca/Distrito Simón Bolívar	354736	8820528	4215
E-2	Quebrada Quiulacocha, canal izquierdo, aprox. a 50 m antes de su confluencia con el río San Juan.	Quiulacocha/Distrito Simón Bolívar	359176	8816895	4255
E--3	Río San Juan, aprox. a 40 m aguas abajo del puente de Los Angeles, carretera CC Sacra Familia.	CC. Sacra Familia/Distrito Simón Bolívar	356768	8813331	4146
E-4	Quebrada Andacancha, aprox. A 80 m antes de su confluencia con el río San Juan (margen derecha)	Huaracaca/ Municipalidad Distrital Fundación de Tinyahuarco	360020	8805444	3725
E-5	Río San Juan, aprox. A 150 m agua abajo del puente antiguo hacia Huallay (margen derecha)	Huaracaca/ Municipalidad Distrital Fundación de Tinyahuarco	359923	8809055	4255

### 3.6.2. *Etapas de campo*

Habiéndose localizado e identificado previamente el área de estudio y sus puntos de monitoreo, se procedió a levantar información en la etapa de campo, la cual fue realizada en diez visitas a la subcuenca del río San Juan en un tiempo de cinco años. El protocolo empleado para las diez salidas de campo (monitoreos), fue el propuesto por DIGESA; el cual se detalla a continuación:

**Preparación y transporte de materiales y equipos.** Se emplearon frascos nuevos de plástico y vidrio para la toma de muestras, cada uno con sus respectivas etiquetas, en cantidades de acuerdo a las estaciones a monitorear y los parámetros a determinar.

- Los envases fueron colocados dentro de un Cooler utilizado para el mantenimiento de las muestras, así como también se acondicionó hielo (ice pack) para el retorno de las muestras hasta su determinación.
- Los equipos utilizados para medir los parámetros en campo fueron previamente calibrados y empacados con protectores especiales para evitar daños.
- Se empleó un tablero para el llenado de las fichas de registro de datos y otra información adicional.
- Una cámara fotográfica para el registro de imágenes que se consideren relevantes para el levantamiento de la información en campo.
- Se acondiciono todo el material complementario y Equipos de Protección Personal (EPP) para el trabajo en campo.
- El viaje a la ciudad de Cerro de Pasco desde Lima, se realizó en una camioneta particular para trasladar cómodamente los materiales y equipos a utilizar en el campo.
- Después de seis horas de viaje aproximadamente y previo refrigerio, nos trasladamos a la primera estación de monitoreo.

- Para la utilización de los instrumentos analíticos en el campo, previamente se procedió a verificar su calibración y accionar antes de las mediciones *in situ*.
- El recorrido trazado para el muestreo en la cuenca del río San Juan, se realizó desde la parte más alta de la cuenca bajando hasta la media alta en Upamayo.
- Los puntos de muestreo ubicados en el río San Juan fueron 05, en el cual cada punto fue medido con el equipo multiparámetro tomando las muestras de agua del cuerpo receptor correspondiente.
- Culminado el muestreo correspondiente para todas las estaciones en general, con sus respectivas fotografías, se procedió a llenar el cooler con las muestras y retornar a Lima.

### **3.6.3. Etapas de laboratorio**

Los análisis físico-químicos de las muestras de agua se realizaron en el Laboratorio de Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo de la Universidad Nacional Federico Villarreal. Para la determinación de los diversos parámetros físico-químicos de las muestras de agua, se utilizan métodos fundamentados en principios y leyes; que brevemente se mencionan a continuación:

- ***Método espectrometría de absorción atómica de llama (Métodos Normalizados APHA-AWWA-WPCF.3111 A. 1989)/ Determinación de metales pesados.*** En la espectrometría de absorción atómica se dirige un rayo luminoso a través de una llama a un monocromador y sobre un detector que mide la cantidad de luz absorbida por el elemento atomizado en la llama. Como cada metal tiene su propia longitud de onda de absorción característica, se utiliza como fuente luminosa una lámpara compuesta de dicho elemento; esto proporciona un método relativamente libre de interferencias espectrales o de radiación. La cantidad de energía absorbida en la llama a una

longitud de onda característica es proporcional a la concentración del elemento en la muestra, en un intervalo de concentraciones limitado.

- ***Método de Winkler o lodométrico (Winkler, L.W 1888) Determinación de Oxígeno Disuelto.*** Se basa en la adición de una solución de Mn divalente, seguido de un álcali fuerte, a la muestra contenida en un frasco con tapón de vidrio. El oxígeno disuelto oxida rápidamente una cantidad equivalente del precipitado disperso de hidróxido manganeso divalente a hidróxidos con mayor estado de valencia. En presencia de iones yoduro, en solución ácida, el Mn oxidado revierte al estado divalente, con liberación de yodo equivalente al contenido original de oxígeno disuelto. Entonces se valora el yodo con una solución patrón de tiosulfato.
- ***Método gravimétrico de filtración (Métodos Normalizados APHA-AWWAWPCF.2540 D. 1989) Determinación de Sólidos Totales en Suspensión (S.S.T).*** Se filtra una muestra bien mezclada por un filtro estándar de fibra de vidrio, y el residuo retenido en el mismo se seca a un peso constante a 103-105 °C. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión. Si este material obtura el filtro y prolonga la operación de filtrado, la diferencia entre el total de sólidos y el total de sólidos disueltos puede proporcionar un cálculo aproximado de los sólidos totales en suspensión.

#### **3.6.4. Etapas final**

- Después de trabajar la parte analítica con los parámetros fisicoquímicos previstos se realizó los cálculos y comparaciones correspondientes según los ECA Nacionales.
- Los valores obtenidos de los diez monitoreos (DIGESA e investigador) fueron finalmente, comparados analíticamente en el tiempo, con la idea de graficar una mejor tendencia adoptada por la contaminación durante todo este tiempo.

### **3.7. Análisis de datos**

Para el análisis de datos cuantitativos se tomará en cuenta los niveles de medición de las variables y se aplicará la estadística que permitirá describir las características principales de las variables, tomadas individualmente. Para analizar y describir cada una de las variables se utilizó el programa Ms. Excel 2016; además, se usará para presentar la estadística descriptiva tablas y gráficas de datos y para presentar la distribución de los datos se realizó empleando gráficas lineales, todo esto con el propósito de conocer los niveles que sobrepasan los ECA para cada uno de los parámetros físico-químicos y para los metales pesados luego de su determinación, así mismo servirá para estimar parámetros y probar hipótesis.

### **3.8. Consideraciones éticas**

Se deja constancia que en la investigación se respetó todos los derechos de autoría en cada una de las fuentes consignadas en los antecedentes y teorías, asimismo los resultados utilizados serán registrados sin manipular su contenido. Así mismo, se deja constancia que, como parte del proceso de trabajo de campo y experimental, se respetó el medio ambiente y su entorno donde se desarrolló la investigación, evitando contaminar el ambiente en el momento de interactuar con ellos.

#### **IV. Resultados**

La Figura 10 y Figura 11, presentan los resultados obtenidos en las mediciones de los parámetros fisicoquímicos y metales pesados, monitoreados en el año 2020, los mismos que fueron comparados con los ECA Aguas según la Categoría 3 (Riego de vegetales restringido).

Los meses tomados en cuenta para el monitoreo fueron ENERO como época de Avenidas y ABRIL como época de Estiaje. Para el monitoreo en el río San Juan fueron considerados 5 estaciones E-1, E-2, E-3, E-4, y E-5, de las cuales tres de ellos corresponden al cuerpo receptor (1, 3 y 5) y dos que corresponden a las descargas de los efluentes industriales mineros (2 y 4) en las quebradas Quiulacocha y Andacancha.

En la Figura 10, se muestran las estaciones de monitoreo consideradas para la evaluación de la calidad del agua en la cuenca alta del río San Juan debidamente georreferenciadas.

**Figura 10**

*Resultados fisicoquímicos – cuenca alta río San Juan – Cerro de Pasco*

PARAMETRO	PH		CONDUCTIVIDAD (uS/cm)		TEMPERATURA (°C)		TDS (mg/l)		DQO (mg/l)		OXIGENO DISUELTO (mg/l)	
	ESTIAJE	AVENIDA	ESTIAJE	AVENIDA	ESTIAJE	AVENIDA	ESTIAJE	AVENIDA	ESTIAJE	AVENIDA	ESTIAJE	AVENIDA
E-1	7,7	8,19	222	203,5	12,5	1243	116	102,4	8	28	7,79	7,57
E-2 (efluente)	7,47	7,84	1675	214	12,4	13,65	749	107,3	640,4	280,6	3,8	3,5
E-3	7,82	7,93	1257	514,6	12,5	14,3	744	257,3	12	16	4,88	6,34
E-4 (efluente)	4	5,8	964	995,2	13,7	9,9	444	500,8	180	140,6	4,9	4,5
E-5	7,22	8,16	758	368,2	12,6	13,8	421	184,6	13	10	6	7,53
D.S. Nº 004-2017-MINAM. ECA para Agua. Categoría 3, Riego de Vegetales y Bebidas de animales. Sub Categoría Riego de Vegetales (No Restringido/ Restringido)												
	6.5-8.5		2500		Δ 3		-		40		≥ 4	
D.S. Nº 004-2017-MINAM. ECA para Agua. Categoría 3, Riego de Vegetales y Bebidas de animales. Sub Categoría Riego de Vegetales (Restringido)												
	6.5-8.5		2500		Δ 3		-		40		≥ 4	
D.S. Nº 004-2017-MINAM. ECA para Agua. Categoría 3, Riego de Vegetales y Bebidas de animales. Sub Categoría Bebida de Animales												
	6.5-8.4		5000		Δ 3		-		40		≥ 5	

**Figura 11**

*Resultados de la concentración de metales – cuenca ata río San Juan – Cerro de Pasco*

PARAMETRO	HIERRO (mg/l)		MANGANESO (mg/l)		COBRE (mg/l)		PLOMO (mg/l)		ZINC (mg/l)	
	ESTIAJE	AVENIDA	ESTIAJE	AVENIDA	ESTIAJE	AVENIDA	ESTIAJE	AVENIDA	ESTIAJE	AVENIDA
<b>E-1</b>	0,152	0,172	0,069	0,0123	0,018	<0.001	<0.001	<0.001	0,031	0,456
<b>E-2 (efluente)</b>	8,763	8,702	3,0105	1,613	0,72	0,004	0,347	0,295	3,031	2,200
<b>E-3</b>	3,439	3,152	1,902	1,602	2,647	0,065	0,236	0,104	0,918	0,406
<b>E-4 (efluente)</b>	14,302	55,25	4,1715	5,506	0,077	2,211	0,319	0,225	4,311	1,956
<b>E-5</b>	0,343	0,679	1,27	0,8215	1,921	0,024	0,377	0,24	0,538	0,806
<b>D.S. N° 004-2017-MINAM. ECA para Agua. Categoría 3, Riego de Vegetales y Bebidas de animales. Sub Categoría Riego de Vegetales (No Restringido / Restringido)</b>										
	5		0,2		0,2		0,05		2	
<b>D.S. N° 004-2017-MINAM. ECA para Agua. Categoría 3, Riego de Vegetales y Bebidas de animales. Sub Categoría Riego de Vegetales (Restringido)</b>										
	5		0,2		0,2		0,05		2	
<b>D.S. N° 004-2017-MINAM. ECA para Agua. Categoría 3, Riego de Vegetales y Bebidas de animales. Sub Categoría Bebida de Animales</b>										
	-		0,2		0,5		0,05		24	

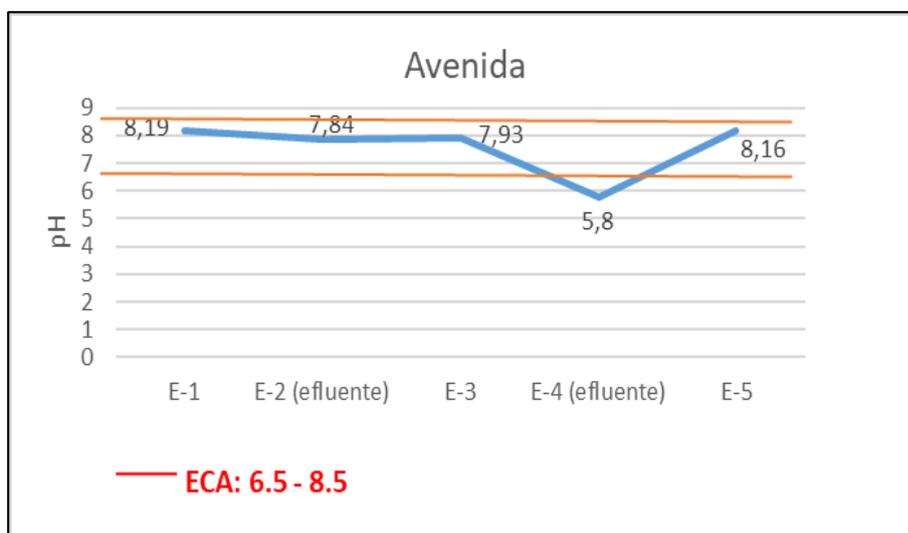
#### 4.1. Niveles de los parámetros fisicoquímicos en épocas de avenidas

##### 4.1.1. Potencia de hidrógeno (pH)

Los niveles de pH para las cuatro estaciones monitoreadas en el río San Juan y Qda. Quiulacocha presentan una tendencia estable que no excede el ECA (6.5-8.5), sin embargo, se aprecia que para la estación E-4, los valores de pH se encuentran por debajo del rango permitido, esto posiblemente asociado a descargas de naturaleza acida en la Qda. Andacancha.

**Figura 12**

*Potencial de hidrógeno en época de avenidas*

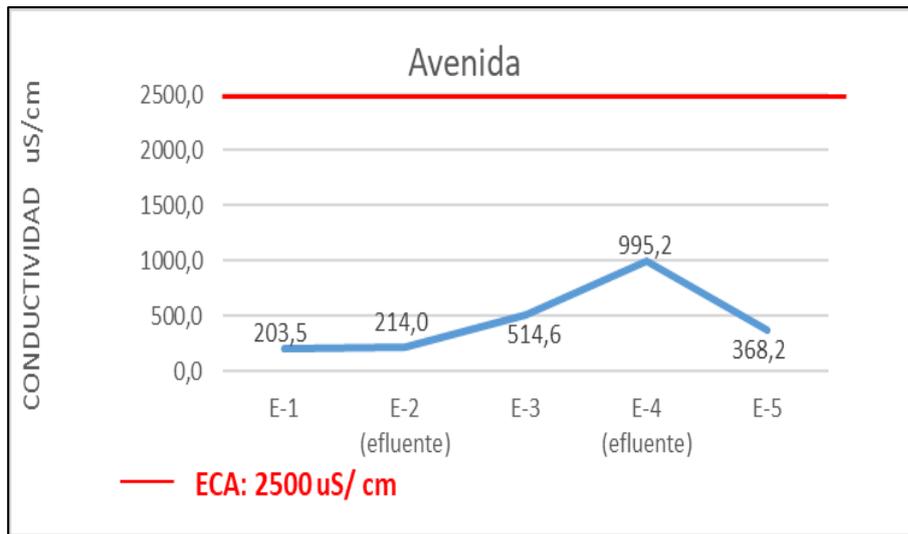


##### 4.1.2. Conductividad Eléctrica (CE)

El comportamiento de la CE en todas las estaciones de monitoreo muestra una tendencia bastante estable que no excede el ECA (2500 uS/cm) para la categoría 3, riego de vegetales restringido.

**Figura 13**

Conductividad en época de avenidas ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

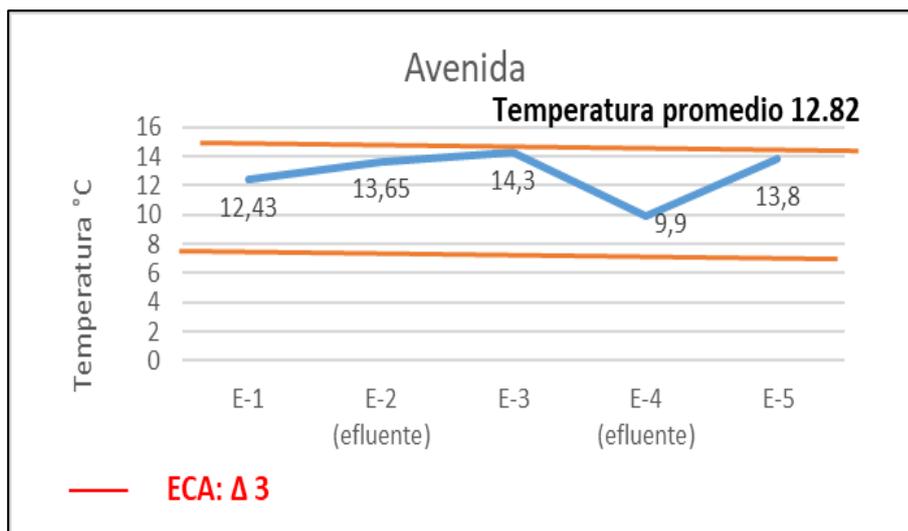


#### 4.1.3. Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )

El comportamiento de la temperatura para cada una de las estaciones está dentro de la variación de  $3^{\circ}\text{C}$  según establece el ECA, siendo el promedio de la temperatura en el río San Juan para épocas de avenida de  $12,82^{\circ}\text{C}$ .

**Figura 14**

Temperatura en época de avenidas ( $^{\circ}\text{C}$ )

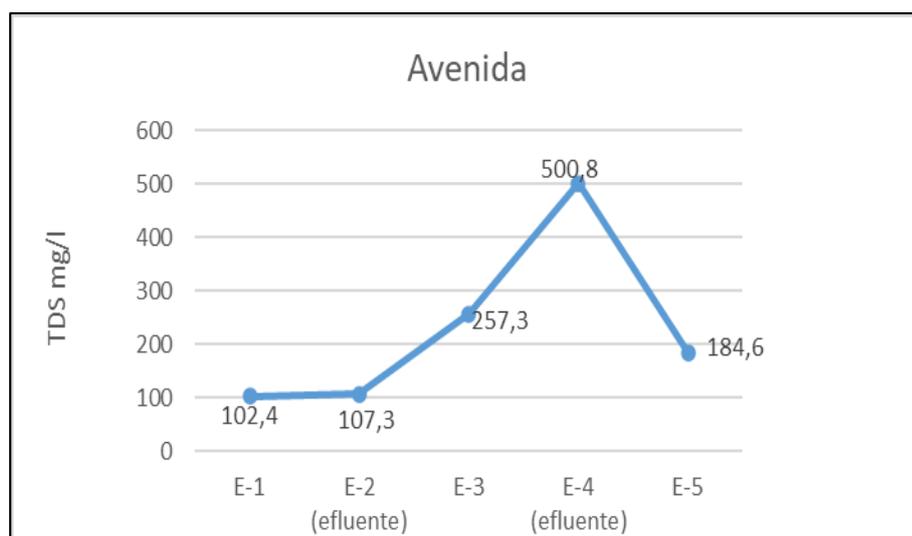


#### 4.1.4. Sólidos Disueltos Totales (STD)

El comportamiento de los STD para cada una de las estaciones muestra niveles no elevados, estando dentro de los promedios para aguas superficiales naturales, este parámetro no cuenta con ECA.

**Figura 15**

*Sólidos Disueltos Totales en época de avenidas (mg/l)*

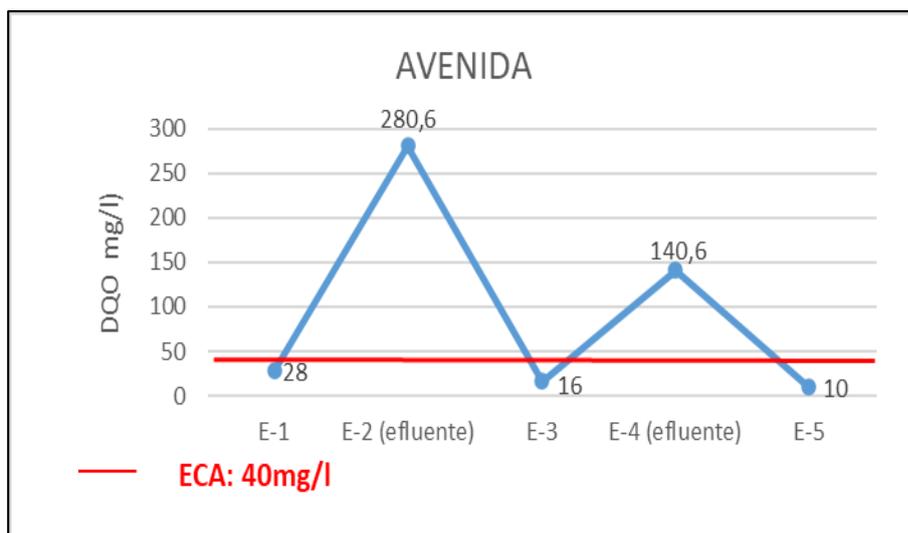


#### 4.1.5. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

El comportamiento de la DQO en la cuenca alta del río San Juan muestra que las concentraciones en las estaciones E2 y E4 se encuentran fuera del ECA (40.0 mg/l), esto posiblemente asociado a las descargas de compuestos orgánicos e inorgánicos, mientras que las estaciones E1, E3 y E5, se encuentran dentro de los ECA.

**Figura 16**

*Demanda Química de Oxígeno en época de avenidas (mg/l)*

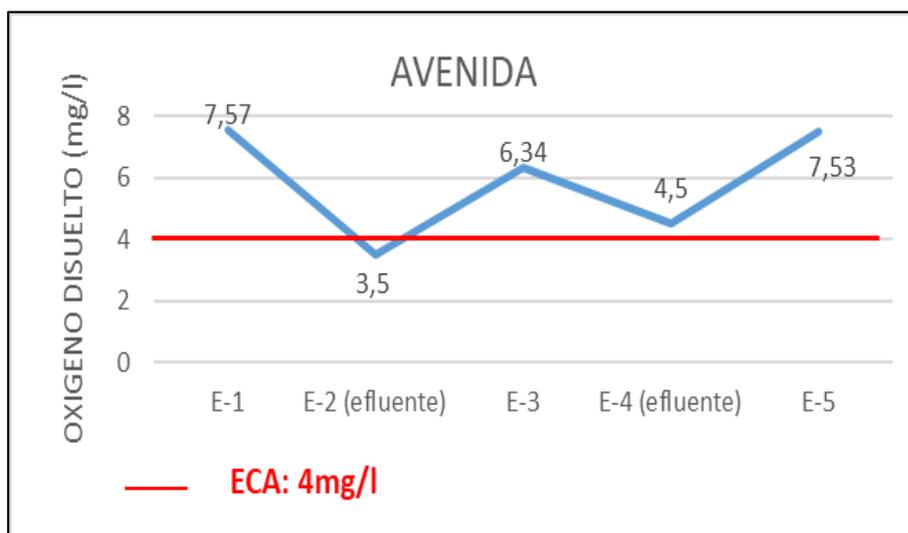


#### 4.1.6. Oxígeno Disuelto (OD)

Los niveles de OD muestran que la estación E-2 se encuentra por debajo del ECA, esto posiblemente asociado a las descargas de naturaleza orgánica en la Qda. Quiulacocha. Las demás estaciones monitoreadas se encuentran dentro del ECA (4.0 mg/l valor mínimo).

**Figura 17**

*Oxígeno Disuelto en época de avenida (mg/l)*



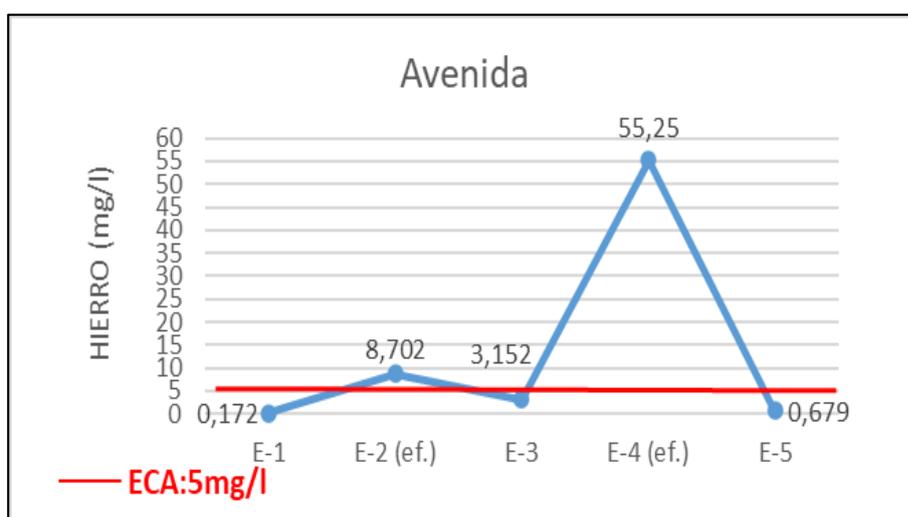
## 4.2. Resultados de concentración de metales pesados en época de avenidas

### 4.2.1. Hierro

El Fe presenta un nivel elevado para las estaciones E2 y E4, los cuales exceden el ECA (5 mg/l), muy asociado a las descargas de actividad minera, mientras que para las estaciones E1, E3 y E5 los niveles de Fe no exceden los ECA.

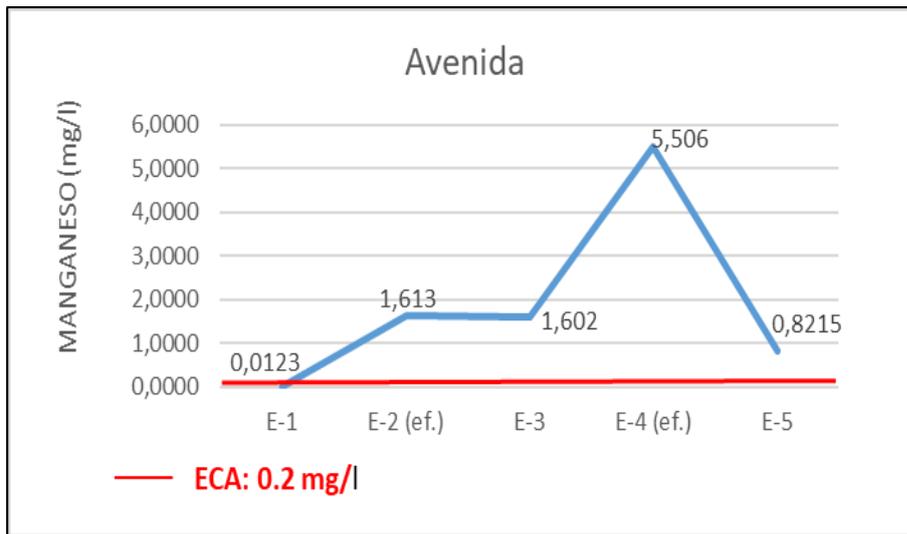
**Figura 18**

*Hierro en época de avenida (mg/l)*

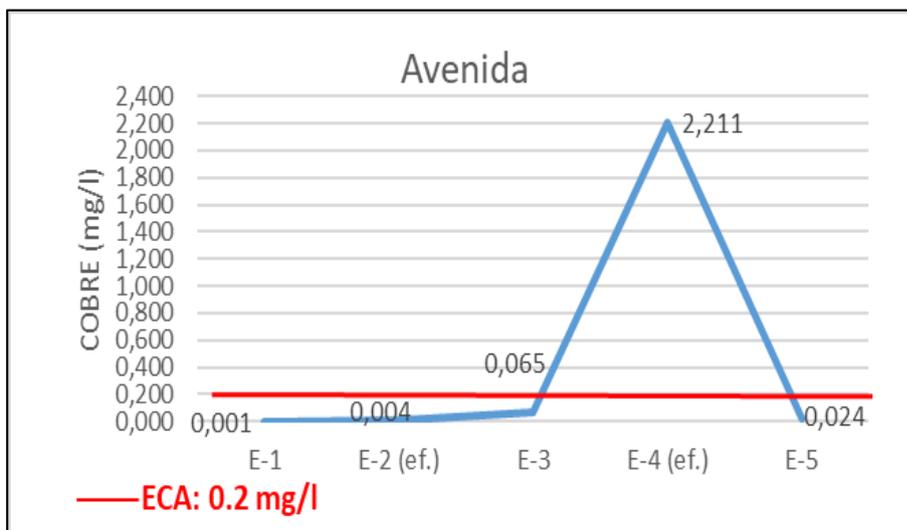


### 4.2.2. Manganeso

Los niveles de Mn para 04 estaciones de monitoreo (E-2, E-3, E-4, E-5) indican que las concentraciones exceden el ECA (0.2 mg/l), mientras que para la estación E-1, su nivel se encuentra dentro del ECA.

**Figura 19***Manganeso en época de avenida (mg/l)***4.2.3. Cobre**

Se puede apreciar que los niveles de Cu para la estación E-4 monitoreada excede el ECA (0.2 mg/l), muy asociado a vertimientos de origen minero, mientras que en las otras 4 estaciones los valores tienen un nivel normal dentro del ECA.

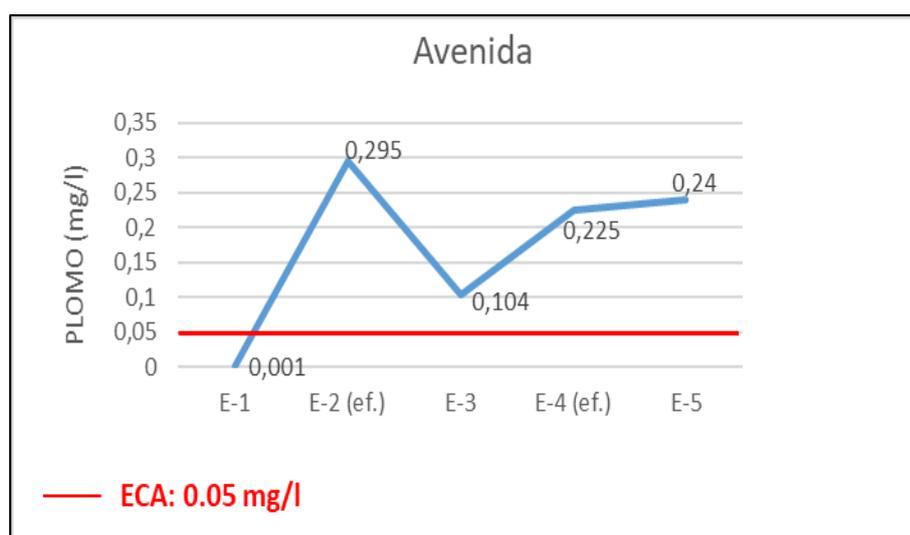
**Figura 20***Cobre en época de avenida (mg/l)*

#### 4.2.4. Plomo

Los niveles de Pb para 04 estaciones de monitoreo (E-2, E-3, E-4, E-5) indican que las concentraciones exceden el ECA (0.05 mg/l), asociado a vertimientos mineros, mientras que para la estación E-1, su nivel se encuentra dentro del ECA.

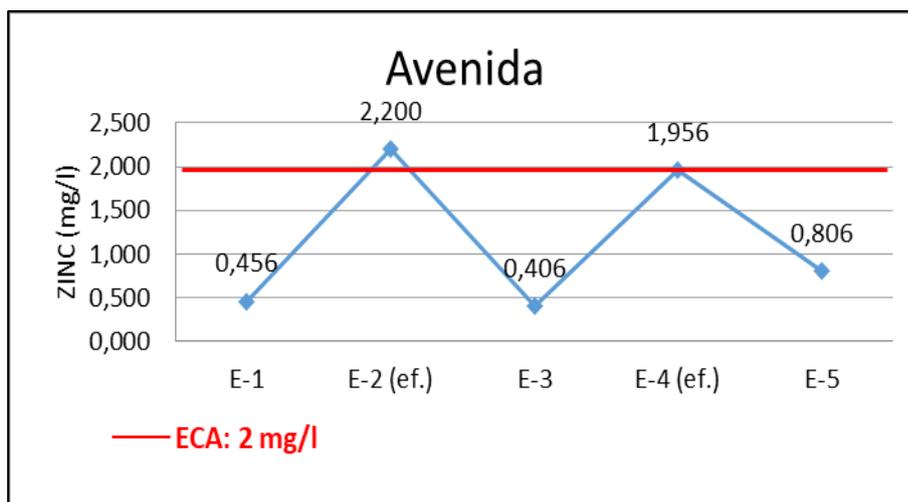
**Figura 21**

*Plomo en época de avenida (mg/l)*



#### 4.2.5. Zinc

Los niveles de Zn para la estación de monitoreo E-2 indican que las concentraciones exceden el ECA (2.0 mg/l), asociado a vertimientos de origen minero, mientras que para las estaciones E-1, E-3, E-4 y E-5 su nivel se encuentra dentro del ECA.

**Figura 22***Zinc en época de avenida (mg/l)*

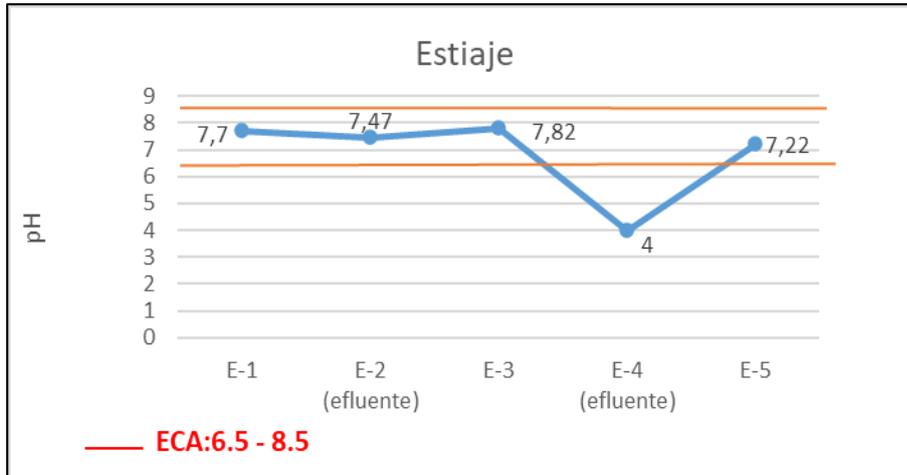
### 4.3. Resultados de los niveles de los parámetros fisicoquímicos en época de estiaje

#### 4.3.1. Potencia de hidrógeno (pH)

Los niveles de pH para las 4 estaciones monitoreadas en el río San Juan y Qda. Quiulacocha presentan una tendencia estable que no excede el ECA (6.5-8.5), sin embargo, se aprecia que para la estación E-4, los valores de pH se encuentran por debajo del rango permitido, esto posiblemente asociado a descargas de naturaleza ácida en la Qda. Andacancha.

**Figura 23**

*Potencial de hidrógeno en época de estiaje*

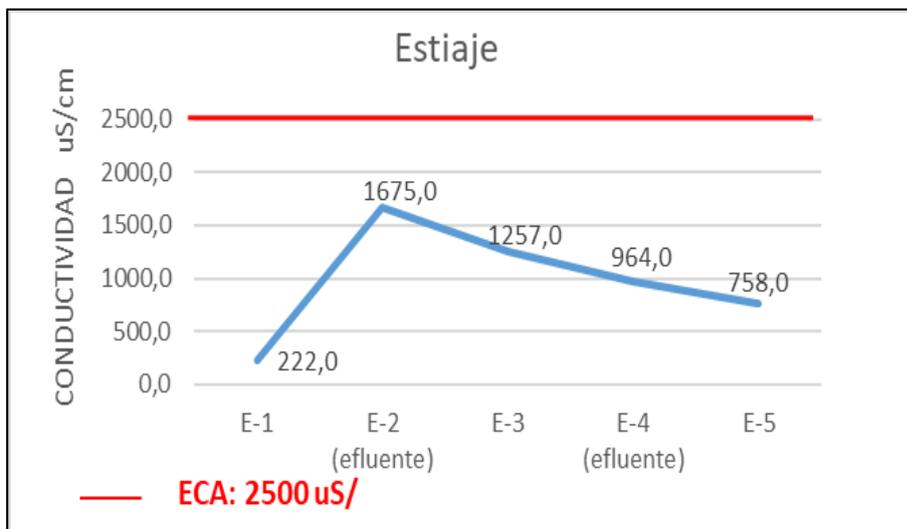


#### 4.3.2. Conductividad eléctrica (CE)

El comportamiento de la CE en todas las estaciones de monitoreo muestra una tendencia bastante estable que no excede el ECA (2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) para la categoría 3, riego de vegetales restringido.

**Figura 24**

*Conductividad eléctrica en época de estiaje ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )*

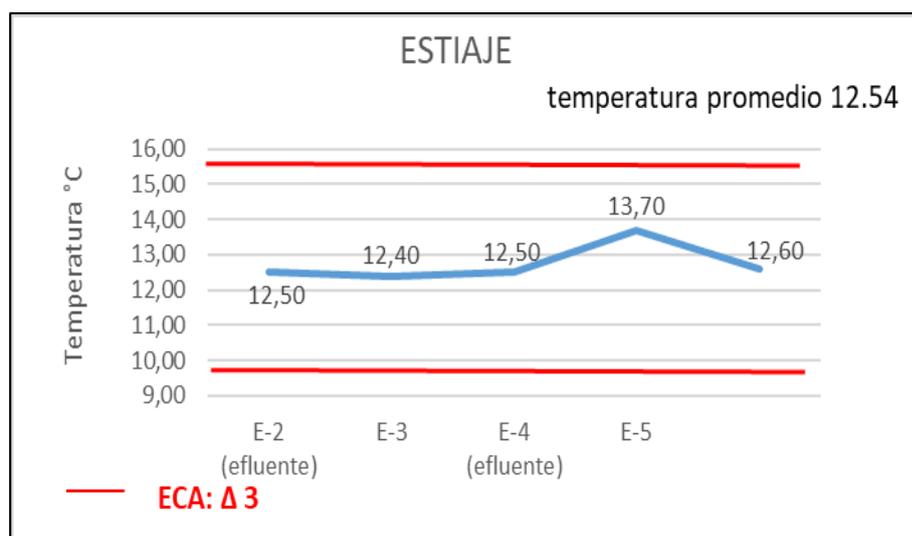


### 4.3.3. Temperatura (°C)

El comportamiento de la temperatura para cada una de las estaciones está dentro de la variación de 3°C según establece el ECA, siendo el promedio de la temperatura en el río San Juan para épocas de avenida de 12.74 °C.

**Figura 25**

*Temperatura en época de estiaje (°C)*

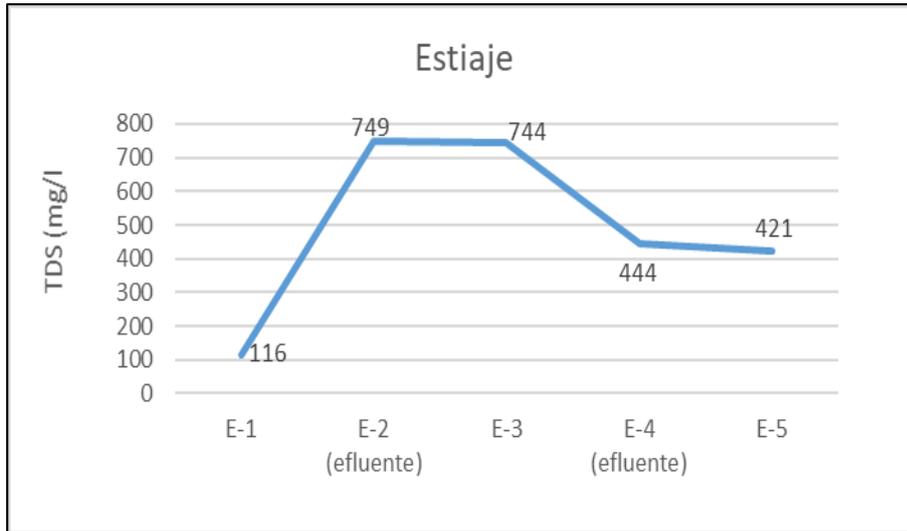


### 4.3.4. Sólidos Disueltos Totales (STD)

El comportamiento de los STD para cada una de las estaciones muestra niveles no elevados, estando dentro de los promedios para aguas superficiales naturales, este parámetro no cuenta con ECA.

**Figura 26**

Sólidos disueltos totales en época de estiaje (mg/l)

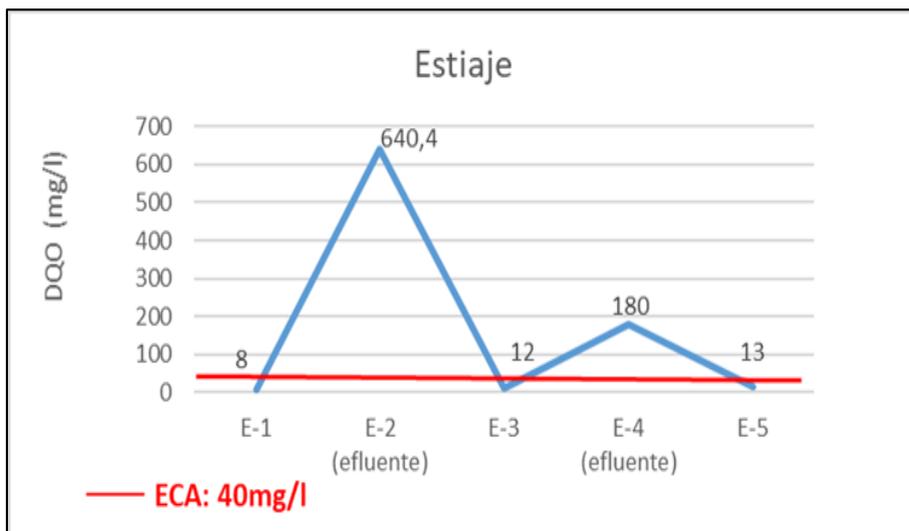


#### 4.3.5. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

El comportamiento de la DQO en la cuenca alta del río San Juan muestra que las concentraciones en las estaciones E2 y E4 se encuentran fuera del ECA (40.0 mg/l), esto posiblemente asociado a las descargas de compuestos orgánicos e inorgánicos, mientras que las estaciones E1, E3 y E5, se encuentran dentro de los ECA.

**Figura 27**

Demanda química de oxígeno en época de estiaje (mg/l)

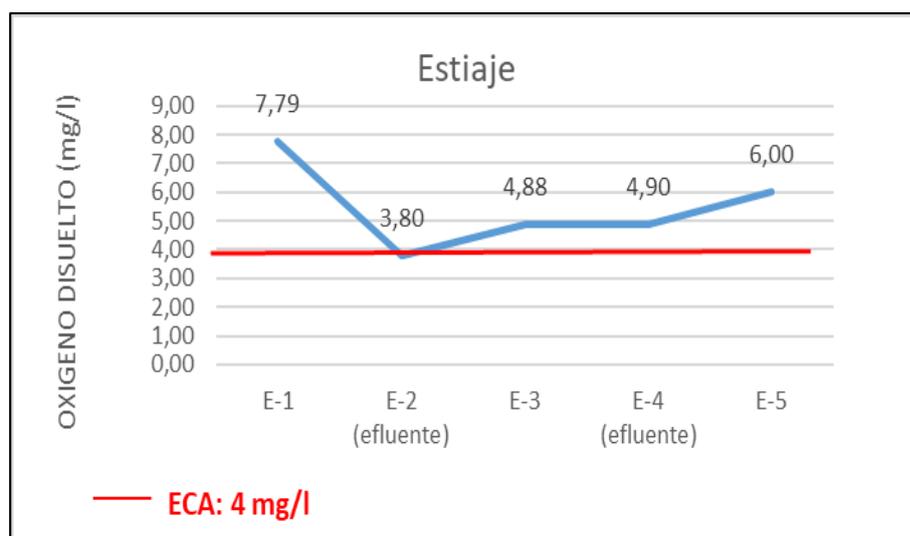


#### 4.3.6. Oxígeno Disuelto (OD)

Los niveles de OD muestran que la estación E-2 se encuentra por debajo del ECA, esto posiblemente asociado a las descargas de naturaleza orgánica en la Qda. Quiulacocha. Las demás estaciones monitoreadas se encuentran dentro del ECA (4.0 mg/l valor mínimo).

**Figura 28**

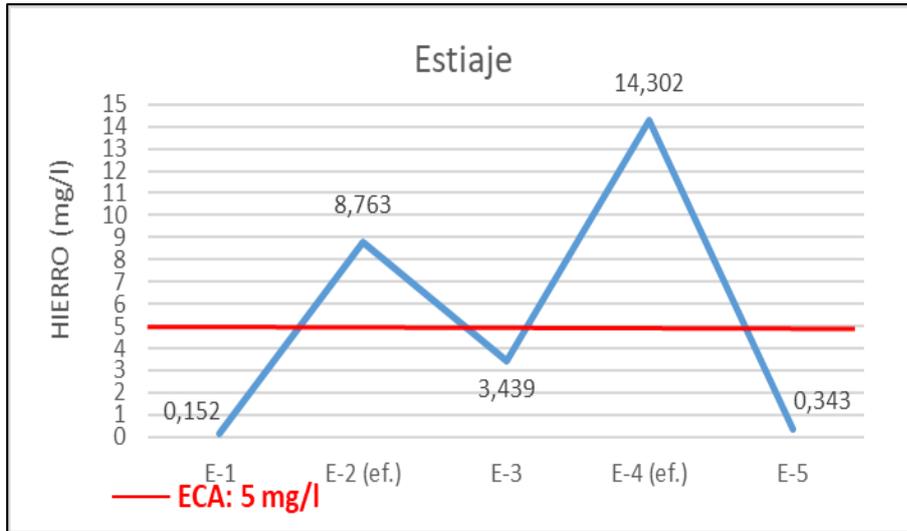
*Oxígeno disuelto en época de estiaje (mg/l)*



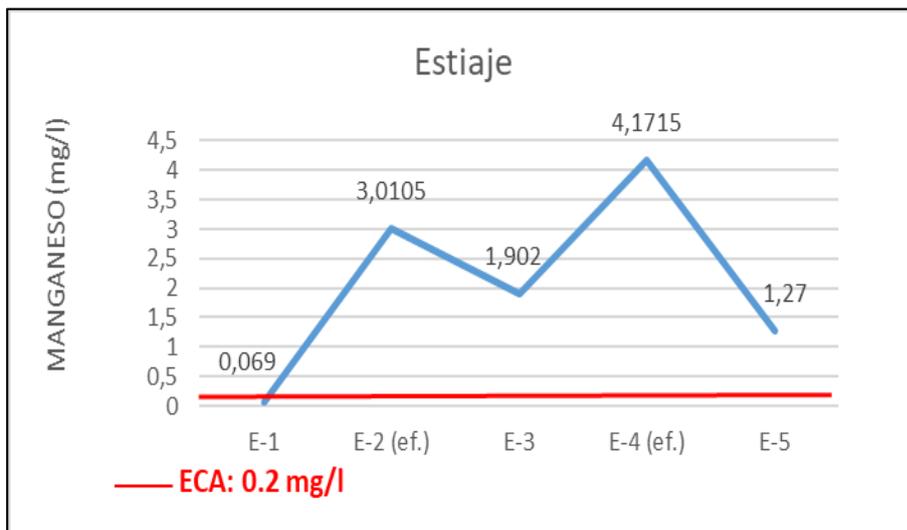
#### 4.4. Resultados de concentración de metales pesados en época de estiaje

##### 4.4.1. Hierro

El Fe presenta un nivel elevado para las estaciones E2 y E4, los cuales exceden el ECA (5 mg/l), muy asociado a las descargas de actividad minera, mientras que para las estaciones E1, E3 y E5 los niveles de Fe no exceden los ECA.

**Figura 29***Hierro en época de estiaje (mg/l)***4.4.2. Manganeso**

Los niveles de Mn para 04 estaciones de monitoreo (E-2, E-3, E-4, E-5) indican que las concentraciones exceden el ECA (0.2 mg/l), mientras que para la estación E-1, su nivel se encuentra dentro del ECA.

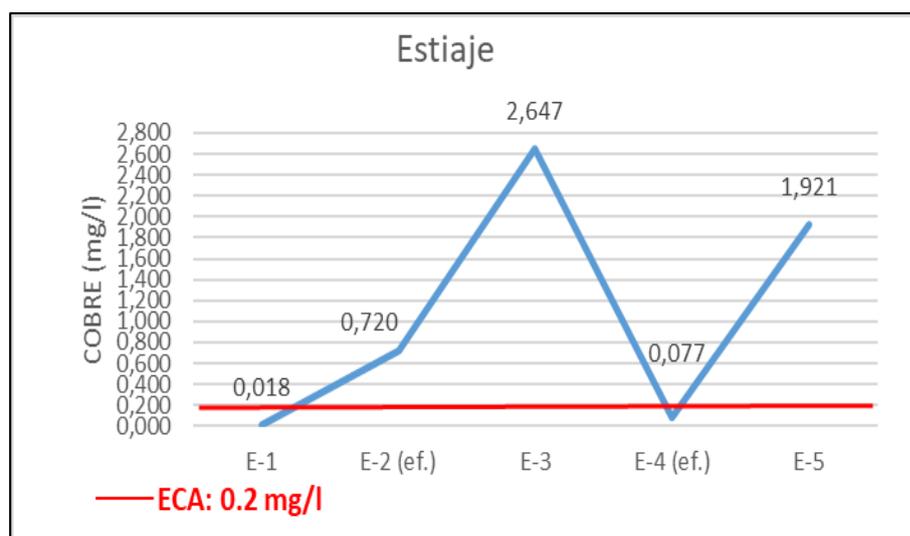
**Figura 30***Manganeso en época de estiaje (mg/l)*

#### 4.4.3. Cobre

Se puede apreciar que los niveles de Cu para la estación E-4 monitoreada excede el ECA (0.2 mg/l), muy asociado a vertimientos de origen minero, mientras que en las otras 4 estaciones los valores tienen un nivel normal dentro del ECA.

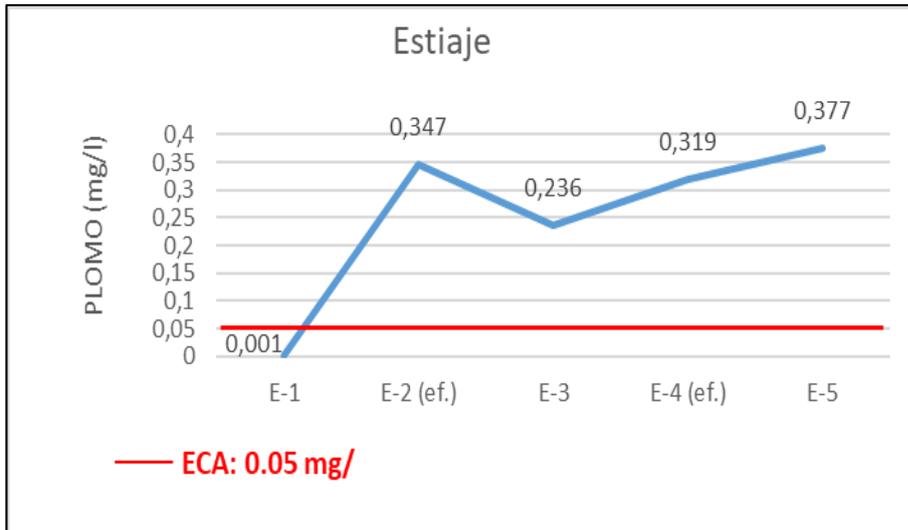
**Figura 31**

*Cobre en época de estiaje (mg/l)*

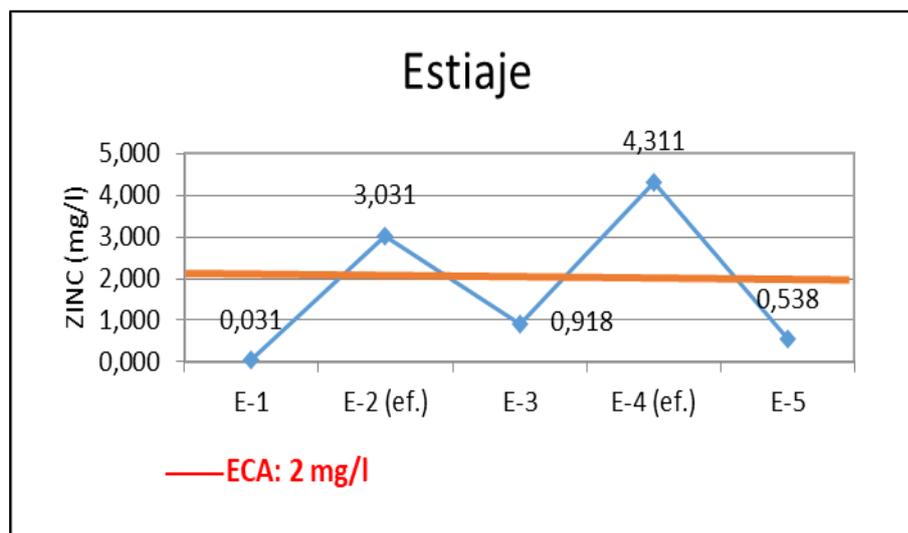


#### 4.4.4. Plomo

Los niveles de Pb para 04 estaciones de monitoreo (E-2, E-3, E-4, E-5) indican que las concentraciones exceden el ECA (0.05 mg/l), asociado a vertimientos mineros, mientras que para la estación E-1, su nivel se encuentra dentro del ECA.

**Figura 32***Plomo en época de estiaje (mg/l)***4.4.5. Zinc**

Los niveles de Zn para las estaciones de monitoreo E-2 y E-4 indican que las concentraciones exceden el ECA de 0.05 mg/l, asociado a vertimientos de origen minero, mientras que para las estaciones E-1, E-3, y E-5 sus niveles se encuentran dentro del ECA.

**Figura 33***Zinc en época de estiaje (mg/l)*

## 4.5. Análisis estadístico

### 4.5.1. Estadística descriptiva comparativa

Las muestras serán analizadas en tres pilotos en los cuales se verifica su comportamiento básico, de lo cual se obtiene:

#### Parámetros fisicoquímicos del agua.

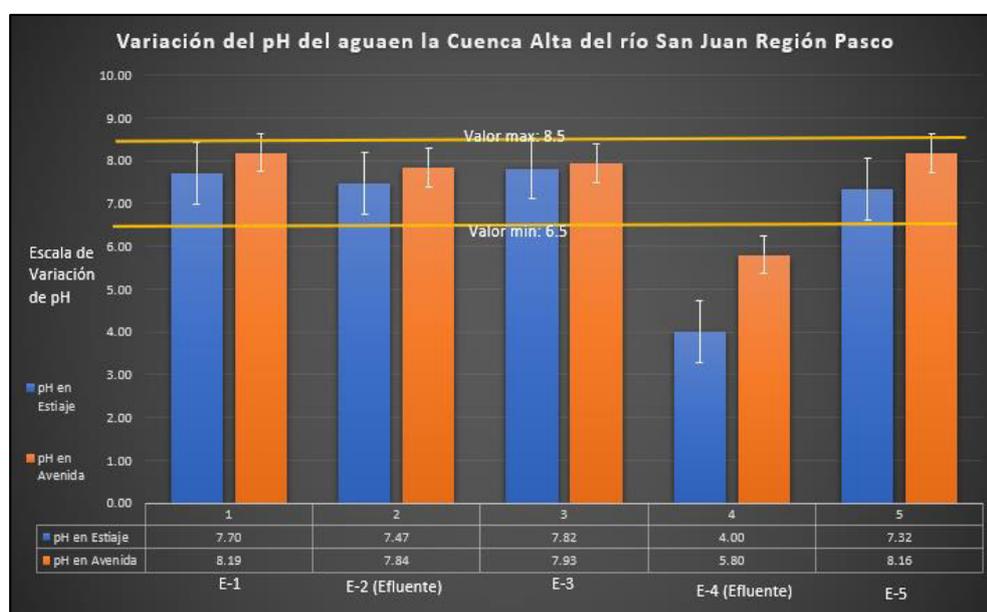
**Tabla 3**

*Resultados de monitoreo de pH en estaciones*

	pH en estiaje	pH en avenida
E-1	7.70	8.19
E-2	7.47	7.84
E-3	7.82	7.93
E-4	4.00	5.80
E-5	7.32	8.16

**Figura 34**

*Resultados de la variación de pH en las estaciones de monitoreo propuestas*



**Nota.** Se aprecia el valor del parámetro pH (unidades) en la época de estiaje (barra de color azul) y en la época de avenida (barra de color anaranjado), para las cinco estaciones (E-1, E-2, E-3, E-4 y E-5); y en una línea de color amarillo, el valor mínimo (6.5) y el valor máximo (8.5).

En la Tabla 3 y Figura 34, lo referente al parámetro pH, se observa que los valores están ajustados en un rango de 2% de error con valores en los efluentes que oscilan entre pH 4 en E-4, y como máximo 7.84 en E-2, experimentando un aumento en épocas de avenida en los puntos declarados efluentes.

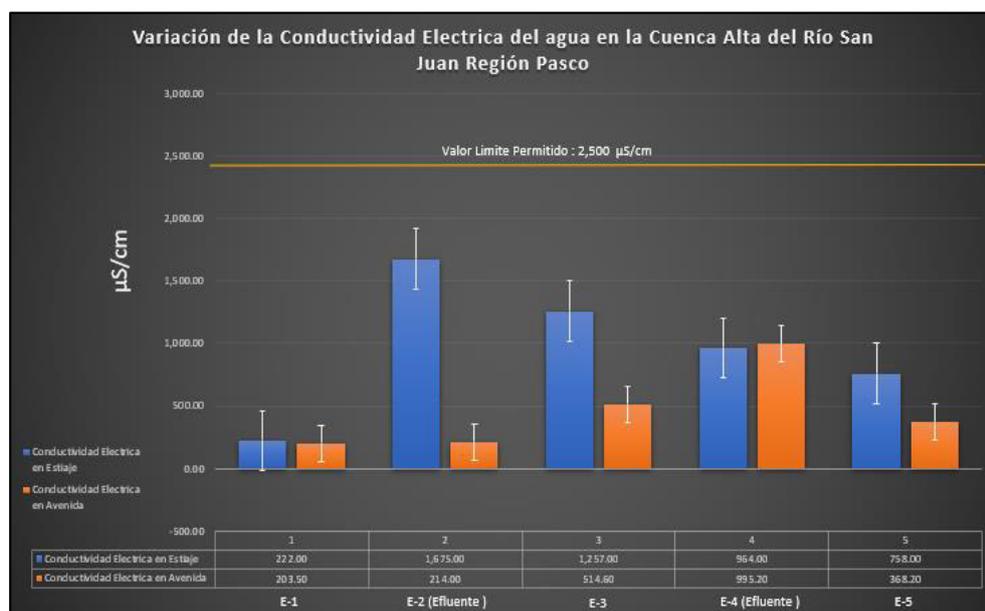
**Tabla 4**

*Resultados de monitoreo de CE en estaciones*

	CE en estiaje	CE en avenida
E-1	222.00	203.50
E-2	1,675.00	214.00
E-3	1,257.00	514.60
E-4	964.00	995.20
E-5	758.00	368.20

**Figura 35**

*Resultados de la variación de CE en las estaciones de monitoreo propuestas*



**Nota.** Se aprecia el valor del parámetro CE (uS/cm) en la época de estiaje (barra de color azul) y en la época de avenida (barra de color anaranjado), para las cinco estaciones (E-1, E-2, E-3, E-4 y E-5); y el ECA (línea de color amarillo). Los valores registrados en los puntos de muestreo, están por debajo del ECA.

En la Tabla 4 y Figura 35, lo referente al parámetro CE, se observa que presenta una variación de error del 2% en sus resultados y teniendo como valor mínimo en puntos declarados como efluentes a 214  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el punto E-2 y como valor máximo a 1675  $\mu\text{S}/\text{cm}$  presentando mayor concentración en épocas de estiaje según la data obtenida.

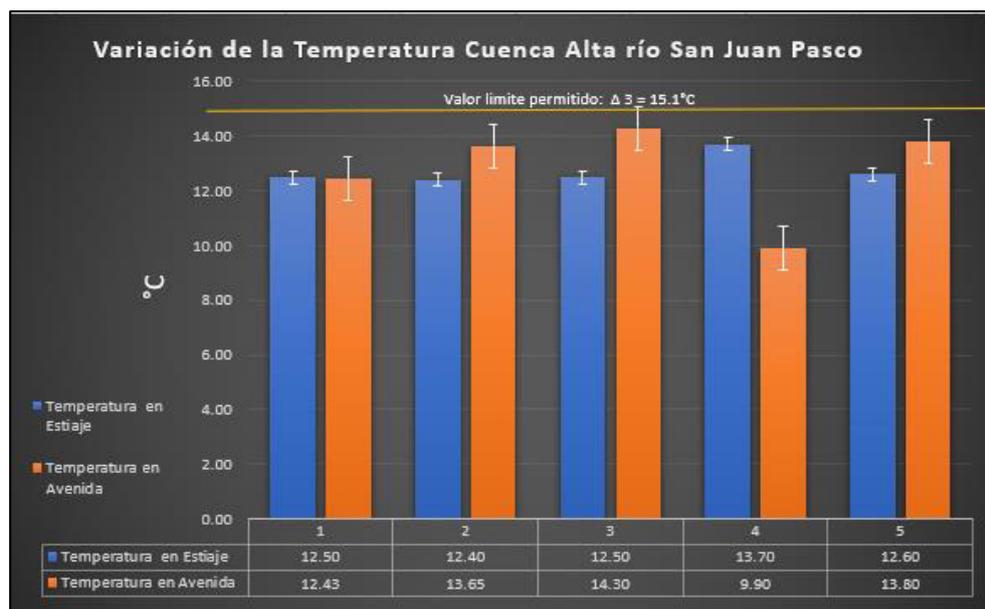
**Tabla 5**

*Resultado de monitoreo de temperatura de agua en estaciones*

	Temperatura en estiaje	Temperatura en avenida
E-1	12.50	12.43
E-2	12.40	13.65
E-3	12.50	14.30
E-4	13.70	9.90
E-5	12.60	13.80

**Figura 36**

*Resultados de la variación de la temperatura del agua en las estaciones de monitoreo propuestas*



**Nota.** Se aprecia el valor del parámetro T ( $^\circ\text{C}$ ) en la época de estiaje (barra de color azul) y en la época de avenida (barra de color anaranjado), para las cinco estaciones (E-1, E-2, E-3, E-4 y E-5); y el ECA (línea de color amarillo). Los valores registrados en los puntos de muestreo, están por debajo del ECA.

En la Tabla 5 y Figura 36, lo referente a la temperatura, se observa que presenta una variación de error del 2% en sus resultados y teniendo como valor mínimo en puntos declarados como efluentes a 9.9°C en el punto E-4 y como valor máximo a 13.70°C en el punto E-4, presentando mayor variación en épocas de estiaje según la data obtenida.

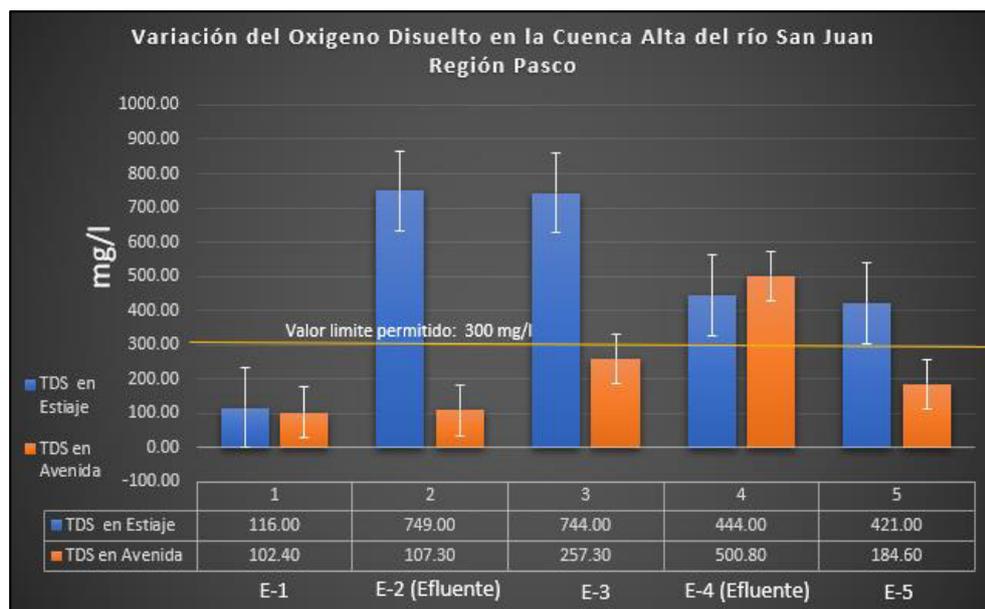
**Tabla 6**

*Resultado de monitoreo de STD en agua de agua en estaciones*

	STD en estiaje	STD en avenida
E-1	116.00	102.40
E-2	749.00	107.30
E-3	744.00	257.30
E-4	444.00	500.80
E-5	421.00	184.60

**Figura 37**

*Resultados de la variación de STD en agua en las estaciones de monitoreo propuestas*



**Nota.** Se aprecia el valor del parámetro STD (mg/l) en la época de estiaje (barra de color azul) y en la época de avenida (barra de color anaranjado), para las cinco estaciones (E-1, E-2, E-3, E-4 y E-5); y el ECA (línea de color amarillo). Los valores registrados, para ambas épocas, de la E-1, están por debajo del ECA.

En la Tabla 6 y Figura 37, lo referente al parámetro STD, se observa una variación de error del 2% en sus resultados y teniendo como valor mínimo en puntos declarados como efluentes a 107.30 mg/l en el punto E-2 y como valor máximo a 749 mg/l en el punto E-2, presentando mayor variación en épocas de estiaje según la data obtenida.

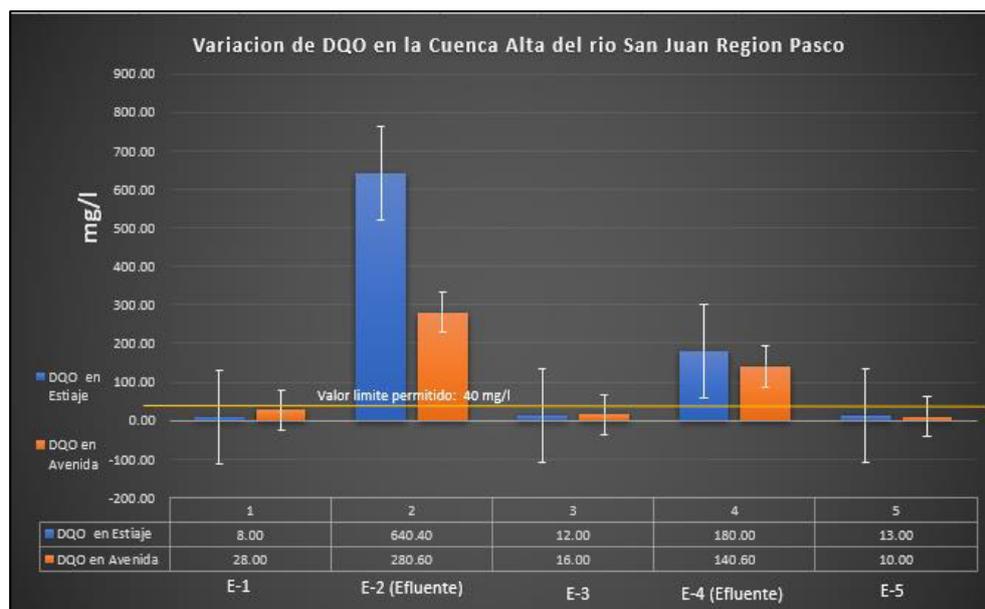
**Tabla 7**

*Resultado de monitoreo de DQO en estaciones*

	DQO en estiaje	DQO en avenida
E-1	8.00	28.00
E-2	640.40	280.60
E-3	12.00	16.00
E-4	180.00	140.60
E-5	13.00	10.00

**Figura 38**

*Resultados de la variación de DQO en agua en las estaciones de monitoreo propuestas*



**Nota.** Se aprecia el valor del parámetro DQO (mg/l) en la época de estiaje (barra de color azul) y en la época de avenida (barra de color anaranjado), para las cinco estaciones (E-1, E-2, E-3, E-4 y E-5); y el ECA (línea de color amarillo). Los valores registrados, para ambas épocas, de la E-1 y E-4, están muy por encima del ECA.

En la Tabla 7 y Figura 38, lo referente al parámetro DQO, se observa una variación de error del 2% en sus resultados y teniendo como valor mínimo en puntos declarados como efluentes a 140.60 mg/l en el punto E-4 y como valor máximo a 640.4 mg/l en el punto E-2, presentando mayor variación en épocas de estiaje según la data obtenida.

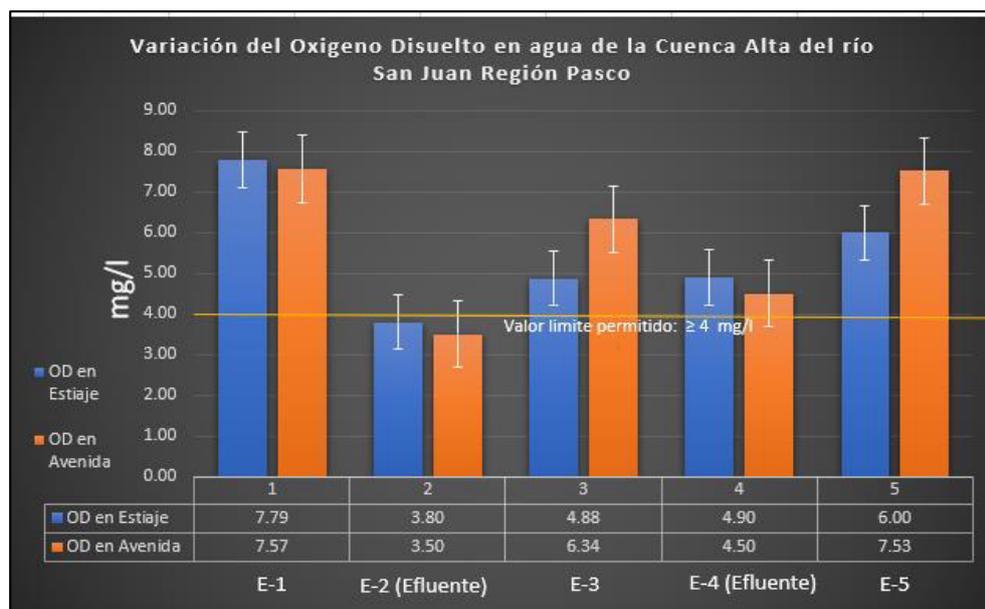
**Tabla 8**

*Resultado de monitoreo de OD en agua en estaciones*

	OD en Estiaje	OD en Avenida
E-1	7.79	7.57
E-2	3.80	3.50
E-3	4.88	6.34
E-4	4.90	4.50
E-5	6.00	7.53

**Figura 39**

*Resultados de la variación de OD en agua en las estaciones de monitoreo propuestas*



**Nota.** Se aprecia el valor del parámetro OD (mg/l) en la época de estiaje (barra de color azul) y en la época de avenida (barra de color anaranjado), para las cinco estaciones (E-1, E-2, E-3, E-4 y E-5); y el ECA (línea de color amarillo). Los valores registrados, para ambas épocas, de la E-2, está por debajo del ECA.

En la Tabla 8 y Figura 39, lo referente al OD, se observa una variación de error del 2% en sus resultados y teniendo como valor mínimo en puntos declarados como efluentes a 3.50 mg/l en el punto E-2 y como valor máximo a 4.90 mg/l en el punto E-4, presentando mayor variación en épocas de estiaje según la data obtenida.

### Metales pesados encontrados en agua.

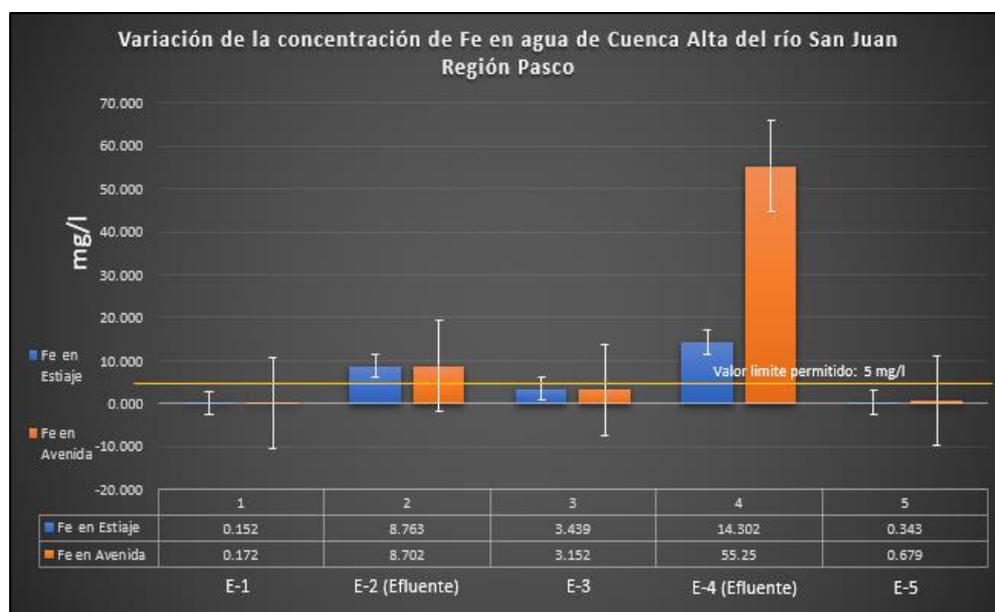
**Tabla 9**

*Resultado de concentraciones de Fe en agua en estaciones*

	Fe en estiaje	Fe en avenida
E-1	0.152	0.172
E-2	8.763	8.702
E-3	3.439	3.152
E-4	14.302	55.25
E-5	0.343	0.679

**Figura 40**

*Resultados de la variación de concentraciones de Fe en agua en las estaciones de monitoreo propuestas*



**Nota.** Se aprecia el valor de la concentración de Fe (mg/l) en la época de estiaje (barra de color azul) y en la época de avenida (barra de color anaranjado), para las cinco estaciones (E-1, E-2, E-3, E-4 y E-5); y el ECA (línea de color amarillo). Los valores registrados, para ambas épocas, de la E-4, están por muy por encima del ECA.

En la Tabla 9 y Figura 40, lo referente a la concentración de Fe, se observa una variación de error del 2% en sus resultados y teniendo como valor mínimo en puntos declarados como efluentes a 8.702 mg/l en el punto E-2 y como valor máximo a 55.25 mg/l en el punto E-4, presentando mayor variación en épocas de avenida según la data obtenida.

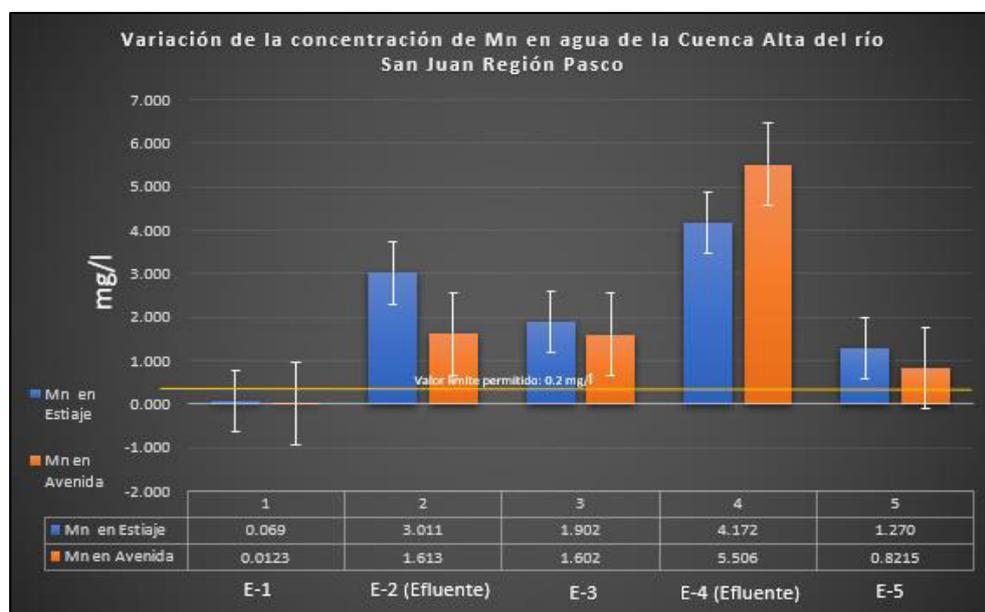
**Tabla 10**

*Resultado de concentraciones de Mn en agua en estaciones*

	Mn en Estiaje	Mn en Avenida
E-1	0.069	0.0123
E-2	3.011	1.613
E-3	1.902	1.602
E-4	4.172	5.506
E-5	1.270	0.8215

**Figura 41**

*Resultados de la variación de concentraciones de Mn en agua en las estaciones de monitoreo propuestas*



**Nota.** Se aprecia el valor de la concentración de Mn (mg/l) en la época de estiaje (barra de color azul) y en la época de avenida (barra de color anaranjado), para las cinco estaciones (E-1, E-2, E-3, E-4 y E-5); y el ECA (línea de color amarillo). Los valores registrados, para ambas épocas, de la E-1, están por debajo del ECA.

En la Tabla 10 y Figura 41, lo referente a la concentración de Mn, se observa una variación de error del 2% en sus resultados y teniendo como valor mínimo en puntos declarados como efluentes a 1.613 mg/l en el punto E-2 y como valor máximo a 5.506 mg/l en el punto E-4, presentando mayor variación en épocas de estiaje según la data obtenida

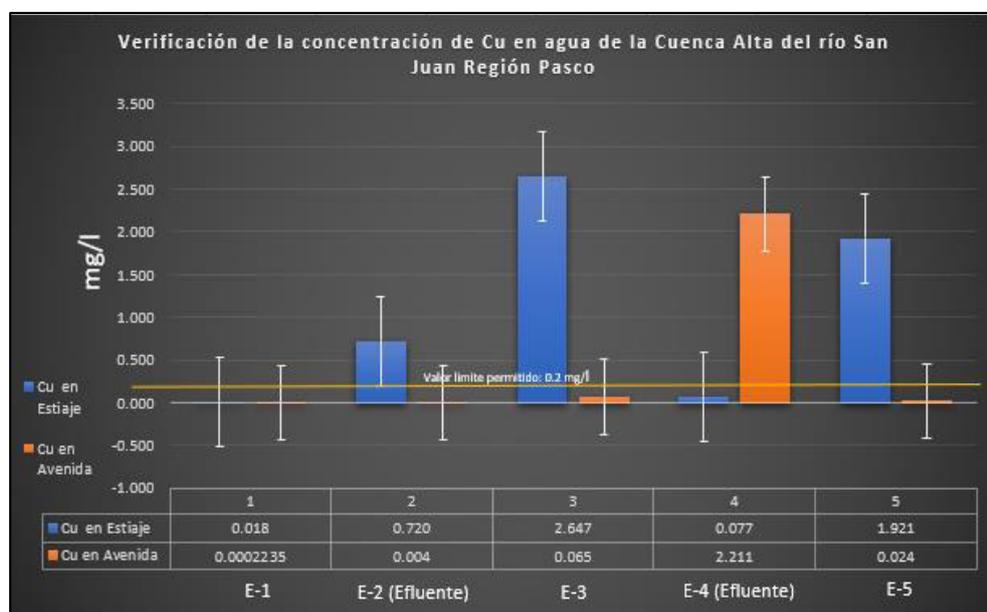
**Tabla 11**

*Resultado de concentraciones de Cu en agua en estaciones*

	<b>Cu en estiaje</b>	<b>Cu en avenida</b>
E-1	0.018	0.0002235
E-2	0.720	0.004
E-3	2.647	0.065
E-4	0.077	2.211
E-5	1.921	0.024

**Figura 42**

*Resultados de la variación de concentraciones de Cu en agua en las estaciones de monitoreo propuestas*



**Nota.** Se aprecia el valor de la concentración de Cu (mg/l) en la época de estiaje (barra de color azul) y en la época de avenida (barra de color anaranjado), para las cinco estaciones (E-1, E-2, E-3, E-4 y E-5); y el ECA (línea de color amarillo). Los valores registrados, para ambas épocas, de la E-1, están muy por debajo del ECA.

En la Tabla 11 y Figura 42, lo referente a la concentración de Cu, se observa una variación de error del 2% en sus resultados y teniendo como valor mínimo en puntos declarados como efluentes a 0.004 mg/l en el punto E-2 y como valor máximo a 2.211 mg/l en el punto E-4, presentando mayor variación en épocas de avenida según la data obtenida.

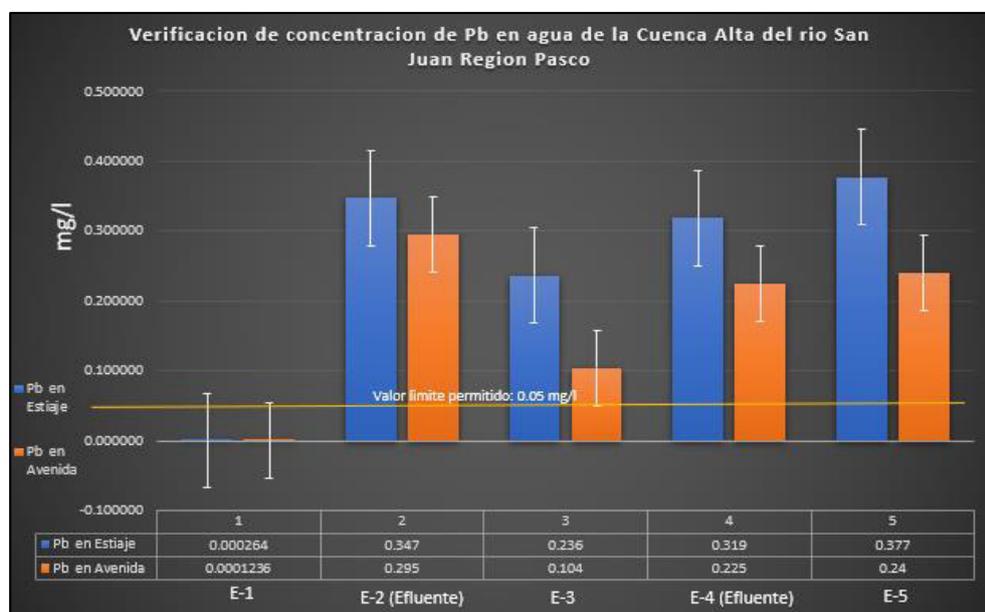
**Tabla 12**

*Resultado de concentraciones de Pb en agua en estaciones*

	<b>Pb en estiaje</b>	<b>Pb en avenida</b>
E-1	0.000264	0.0001236
E-2	0.347	0.295
E-3	0.236	0.104
E-4	0.319	0.225
E-5	0.377	0.24

**Figura 43**

*Resultados de la variación de concentraciones de Pb en agua en las estaciones de monitoreo propuestas*



**Nota.** Se aprecia el valor de la concentración de Pb (mg/l) en la época de estiaje (barra de color azul) y en la época de avenida (barra de color anaranjado), para las cinco estaciones (E-1, E-2, E-3, E-4 y E-5); y el ECA (línea de color amarillo). Los valores registrados, para ambas épocas, de la E-1, están por debajo del ECA.

En la Tabla 12 y Figura 43, lo referente a la concentración de Pb, se observa una variación de error del 2% en sus resultados y teniendo como valor mínimo en puntos declarados como efluentes a 0.225 mg/l en el punto E-4 y como valor máximo a 0.347 mg/l en el punto E-2, presentando mayor variación en épocas de estiaje según la data obtenida.

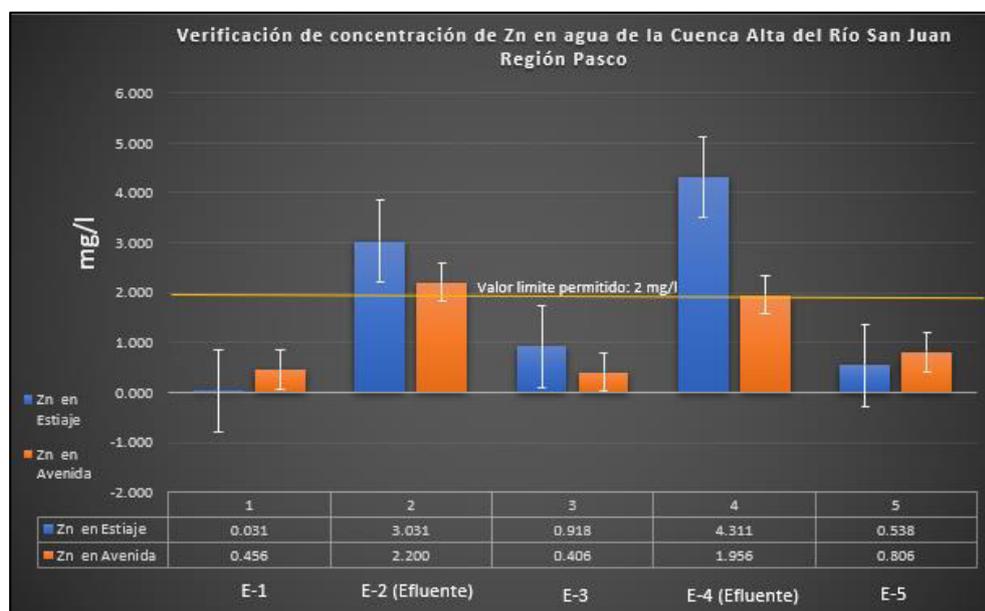
**Tabla 13**

*Resultado de concentraciones de Zn en agua en estaciones*

	Zn en estiaje	Zn en avenida
E-1	0.031	0.456
E-2	3.031	2.200
E-3	0.918	0.406
E-4	4.311	1.956
E-5	0.538	0.806

**Figura 44**

*Resultados de la variación de concentraciones de Zn en agua en las estaciones de monitoreo propuestas*



**Nota.** Se aprecia el valor de la concentración de Zn (mg/l) en la época de estiaje (barra de color azul) y en la época de avenida (barra de color anaranjado), para las cinco estaciones (E-1, E-2, E-3, E-4 y E-5); y el ECA (línea de color amarillo). Los valores registrados, para ambas épocas, de la E-2 y E-4, están por encima del ECA.

En la Tabla 13 y Figura 44, lo referente a la concentración de Zn, se observa una variación de error del 2% en sus resultados y teniendo como valor mínimo en puntos declarados como efluentes a 1.956 mg/l en el punto E-4 y como valor máximo a 4.311 mg/l en el punto E-4, presentando mayor variación en épocas de estiaje según la data obtenida.

#### 4.5.2. *Contrastación de hipótesis de la investigación*

La Tabla 14, presenta la contrastación de las hipótesis.

**Tabla 14**

*Contrastación de la hipótesis*

Hipótesis general	Argumentación	Contrastación
La Calidad del Agua presenta un grado de alteración que supera los ECA por el vertimiento de efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan, Cerro de Pasco, 2020	Según el análisis estadístico descriptivo comparativo en lo que respecta a parámetros fisicoquímicos las estaciones están dentro del parámetro, presentando alteraciones en concentraciones de metales pesados en exceso en la E-2 y E-4 que son efluentes que vierten sus aguas al cuerpo receptos, encontrándose saturación de metales pesados cantidades hasta más del doble del valor permitido	Verdadera
Hipótesis específicas	Argumentación	Contrastación
Los niveles de los parámetros fisicoquímicos en época de avenidas presentan un grado de variación que supera los ECA por el vertimiento de efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan, Cerro de Pasco, 2020.	Los parámetros fisicoquímicos en épocas de avenida que superan el ECA de agua se manifiestan de la siguiente manera: el TDS presentado valores pico de 500.80 mg/l en la estación E-2 y 107.30 mg/l en la estación E-4 superando el valor permitido que es de 300 mg/l, respecto al de los valores que se presentan en época de avenida son: 280.60 mg/l en la estación E-2 y 140.60 mg/l en la estación E-4, superando el valor permitido de 40 mg/l	Verdadera
Las concentraciones de metales pesados en época de avenidas presentan un grado de alteración que supera los ECA por el vertimiento de efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan, Cerro de Pasco, 2020.	En lo que respecta a metales pesados en efluentes que van al cuerpo receptor en épocas de avenida, se han encontrado que los metales Fe, Mn, Cu, Pb y Zn superan los ECA de agua encontrándose con mayor concentración Cu con concentración de 2.211 mg/l superando al ECA permitido que es 0.2 mg/l, este indicador determinado en periodo de avenida	Verdadera
Los niveles de los parámetros fisicoquímicos en época de estiaje presentan un grado de alteración que supera los ECA por el vertimiento de efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan, Cerro de Pasco, 2020.	Los parámetros fisicoquímicos en épocas de estiaje que superan el ECA de agua se manifiestan de la siguiente manera: el TDS presentado valores pico de 749 mg/l en la estación E-2 y 444 mg/l en la estación E-4 superando el Valor permitido que es de 300 mg/l, respecto al DQO los valores que se presentan en época de estiaje son: 640.40 mg/l en la estación E-2 y 180 mg/l en la estación E-4, superando el valor permitido de 40 mg/l	Verdadera
Las concentraciones de metales pesados en época de estiaje presentan un grado de alteración que supera los ECA por el vertimiento de efluentes mineros en la cuenca alta del río San Juan, Cerro de Pasco, 2020.	En lo que respecta a metales pesados en efluentes que van al cuerpo receptor en épocas de estiaje, se han encontrado que los metales Fe, Mn, Cu, Pb y Zn superan los ECA de agua encontrándose con mayor concentración Cu con concentración de 0.7220 mg/l superando al ECA permitido que es 0.2 mg/l, este indicador determinado en periodo de avenida. Así, también se han encontrado valores en época de estiaje de Pb disuelto concentraciones en la estación E-2 de 0.347 mg/l siendo permitido por el ECA de agua solo 0.05 mg/l.	Verdadera

## V. Discusión de resultados

**Orellana (2016)** en la investigación que realizó planteó como objetivo evaluar la calidad del agua de la microcuenca.

Teniendo como conocimiento de dos focos contaminantes se tomaron 05 puntos de monitoreo en la época transición lluviosa-seca y época seca; la selección de parámetros a muestras se consideran por lo descrito en el D.S. N°002 – 2008 – MINAM. Concluyéndose que los valores del parámetro coliformes fecales y OD, en su gran mayoría, se encuentran por encima de los ECA, a diferencia del resto de los parámetros físicos y químicos que si se encuentran por debajo de los ECA. Cabe resaltar que en la presente investigación se establecieron 5 estaciones de calidad del agua y se pudo comprobar que sólo la estación E-2 superaron los ECA en el parámetro de OD en las temporadas de avenida y estiaje, este resultado se debe a un inadecuado tratamiento de los efluentes que se generan por la actividad minera que se realizan en su entorno.

**Villarreal (2016)** en su investigación planteó como uno de sus objetivos específicos evaluar los resultados de los monitoreos de las concentraciones de los elementos metálicos, fisicoquímicos y microbiológicos, durante el periodo 2001-2011 y 2014 tanto en época de avenida y estiaje.

Con los niveles establecidos en el ECA de agua dado por el D.S. 002-2008-MINAM. Categoría 3. Concluyó que las concentraciones de los coliformes termotolerantes en época de avenida en los años 2001, 2003, 2004 y 2006, superaron el estándar en las estaciones M-03 y M-04, pero en el año 2014 no superaron el estándar, con respecto a los coliformes totales superaron el estándar en todos los años mencionados. En época de estiaje tanto coliformes termotolerantes como totales superaron el estándar en los años 2001, 2004, 2006 y 2014, en dos estaciones M-02 y M-04. En cuanto a los parámetros fisicoquímicos; el pH tanto en época de avenida como de estiaje durante su

periodo 2001 – 2011 y 2014 no se encontraron dentro del rango estándar. Con respecto al parámetro aceites y grasas en los años 2001 (M-01, M-02, M-03 y M-04) y 2014 (M-02). El OD sólo superó el ECA en la estación M-06 en el año 2014. En el caso de nuestra investigación se establecieron 5 estaciones de calidad del agua y se pudo comprobar que sólo la estación E-2 superaron los ECA en el parámetro de OD en las temporadas de avenida y estiaje, y la estación E-4 superaron los ECA en el parámetro pH en las dos temporadas; estos resultados se deben a un inadecuado tratamiento de los efluentes que se generan por la actividad minera que se realizan en su entorno.

**Pari (2017)** en su investigación, cuyo objetivo general fue evaluar el grado de contaminación por metales pesados en las aguas superficiales del río Ananea y sus efectos en la vida aledaña.

Se ubicaron 05 puntos de muestreo en el río Ananea (micro cuenca del río Alto Azángaro) para dos épocas, una en avenidas y otra en estiaje ubicadas estratégicamente según la población, accesibilidad del terreno y a las actividades que se realizan en la zona de estudio. Llego a la conclusión que las concentraciones de metales pesados en todos los puntos de muestreo realizados sobrepasan los valores del ECA para aguas de consumo humano, riego de plantas y bebida de ganados, los mismos que no son recomendables para su consumo en general. En analogía con nuestra investigación se establecieron 5 estaciones de calidad del agua y se pudo comprobar que E-2 superaron los estándares de calidad en los parámetros Fe, Mn, Cu, Pb y Zn en las temporadas de avenida y estiaje, la estación E-3 superaron los ECA en los parámetros Mn y Pb en la temporada de avenida y Mn, Pb y Cu en la temporada de estiaje; la estación E-4 superaron los ECA en los parámetros Fe, Mn, Cu y Pb en la temporada de avenida y todos los metales en la temporada de estiaje; estos resultados se deben a un inadecuado

tratamiento de los efluentes que se generan por la actividad minera que se realizan en su entorno también por la geología local altamente mineralizada del lugar.

**Vásquez (2018)** en su estudio planteó como objetivo general evaluar la calidad del agua por el vertimiento de efluentes industriales y domésticos durante los últimos once años en la subcuenca alta y media del río San Juan, a fin de conocer su grado de alteración.

Llegando a la conclusión que existe una reducción de las concentraciones de metales pesados (As, Pb, Zn, Mn, Cu, Fe y Cd) a lo largo del tiempo de estudio y que las concentraciones de los indicadores orgánicos (DBO, DQO, OD, coliformes termotolerantes, aceites y grasas) sobrepasan los ECA. Cabe resaltar que en nuestra investigación se establecieron 5 estaciones de calidad del agua y se pudo comprobar que sólo la estación E-2 superaron los ECA en el parámetro de oxígeno disuelto en las dos temporadas, tal como lo muestran los resultados las estaciones E-2 y E-4, presentando excedencia de metales pesados y DQO de acuerdo a los ECA en las dos temporadas; y la estación E-4 presenta un pH de moderadamente ácido (pH=5.8) a ácido (pH=4) en la temporada de estiaje estando fuera del rango de los estándares de calidad en la temporada de avenida.

## VI. Conclusiones

De lo visto anteriormente, de la información procesada y del análisis de las estaciones de muestreo, se presentan las siguientes conclusiones:

- De manera general, la zona de estudio presenta una geología mineralizada caracterizada por un yacimiento coniforme de Pb, Zn, Ag y Cu, logrando una profundidad cerca de los 700 metros, además, presenta un cuerpo de Pb-Zn masiva, y está rodeado de un cuerpo mayor de pirita silicificada. De acuerdo a las investigaciones geoquímica está considerada como anómala y bastante fuerte en Pb, Cu, Zn, Au, Hg, As, Sb, y de manera moderada en Ag; esta anomalía estaría ligada a la franja de depósitos polimetálicos asociados a diatremas volcánicos del Mioceno. Por consiguiente, podemos indicar que la zona de estudio es muy mineralizada con surgimiento de pirita (sulfuro de hierro), motivo por el cual es factible que se puedan combinar con otros elementos como el agua (precipitaciones en temporada húmeda), y el oxígeno (presente en el ambiente) y dar como resultado las formaciones naturales de DAR, cuya principal característica es la gran acidez que posee por el ácido sulfúrico en formación, el cual puede alcanzar niveles de pH menores a 2; dado a la existencia de este drenaje, los procesos de lixiviación de metales hace posible su presencia en toda la zona de estudio el cual incluye necesariamente el río San Juan y sus principales afluentes, todo esto nos permite concluir que las concentraciones obtenidas en las estaciones estarían influenciadas por la geología local y por la actividad minera.
- La calidad del agua de la zona de estudio, presenta alteraciones relacionadas a efluentes mineros que son vertidos sin un adecuado tratamiento, lo que han generado un impacto en la calidad del agua, tal como lo muestran los resultados que sólo la estación E-2 no supero los estándares de calidad ambiental en el parámetro de

oxígeno disuelto en las dos temporadas para la subcategoría D1 y no supero los estándares de calidad ambiental en el parámetro de oxígeno disuelto en las estaciones E-2, E-3 y E-4 en la estación de estiaje y las estaciones E-2 y E-4 en la temporada de avenidas para la subcategoría D2, las estaciones E-2 y E-4 superaron los estándares de calidad ambiental en el parámetro de DQO en las dos temporadas y la estación E-4 presenta un pH de moderadamente ácido (pH=5.8) en la temporada de avenida, a ácido (pH=4) en la temporada de estiaje.

- Los resultados de muestreo de los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua en la época de avenida indican que la estación E-2 supero el ECA en el parámetros DQO y no supero el limite establecido en el ECA para OD; y la E-4 no superaron los ECA en los parámetros pH y DQO, estos resultados obtenidos se deben a un inadecuado tratamiento de los efluentes que se generan por la actividad minera que se realizan en su entorno.
- Los resultados de muestreo de los metales pesados de la calidad del agua en la época de avenida indican que la estación E-2 supero los estándares de calidad en todos los parámetros analizados (Fe, Mn, Pb y Zn), la estación E-3 y E-5 superaron los ECA en los parámetros Mn y Pb, y la estación E-4 superaron los ECA en todos los parámetros analizados a excepción de Zn, esto resultados obtenidos se debe a un inadecuado tratamiento de los efluentes que se generan por la actividad minera que se realizan en su entorno y también por la geología local altamente mineralizada del lugar.
- Los resultados de muestreo de los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua en la época de estiaje indican que la estación E-2 supero el ECA en el parámetro DQO y no supero el límite establecido en el ECA para OD; y la estación E-4 superaron los ECA en los parámetros pH, DQO, estos resultados obtenidos se deben

a un inadecuado tratamiento de los efluentes que se generan por la actividad minera que se realizan en su entorno.

- Los resultados de muestreo de los metales pesados de la calidad del agua en la época de estiaje indican que las estaciones E-2 supero el ECA en todos los parámetros analizados (Fe, Mn, Cu, Pb y Zn) y la E-4 supero los ECA en todos los parámetros analizados (Fe, Mn, Pb y Zn), la estación E-3 y E-5 superaron los ECA en los parámetros Mn, Cu y Pb, estos resultados obtenidos se debe a un inadecuado tratamiento de los efluentes que se generan por la actividad minera que se realizan en su entorno y también por la geología local altamente mineralizada del lugar.

## VII. Recomendaciones

Para la presente investigación se presenta las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda el tratamiento de efluentes mineros de característica ácida, con iones de sulfatos y trazas de metales mediante los lodos de alta densidad, el cual nos permitirá tener un efluente que cumpla con los LMP en forma permanente, y por consiguiente cuando llegue a los cursos de agua nos asegure cumplir con los ECA. La mencionada técnica ya viene implementándose en distintos proyectos mineros tanto a nivel nacional como internacional obteniendo buenos resultados, permitiendo de esta manera el cuidado y protección de los recursos hídricos y la influencia de su entorno.
- Se recomienda continuar monitoreando en las estaciones de calidad del agua indicadas en el presente estudio, de manera que esto permita vigilar y controlar la calidad de los efluentes mineros que luego son vertidos a un cuerpo receptor.
- Elaborar y desarrollar un plan integral de remediación ambiental para todos los pasivos ambientales mineros y componentes no cerrados, identificados en la zona de estudio, involucrando a los actores involucrados directamente como los titulares mineros, la población y las instituciones del estado, a fin de que colaboren de modo significativo en cumplir el objetivo principal, planteado en la presente investigación.

## VIII. Referencias

- AMPHOS (2020). *Estudio hidrológico e hidrogeológico de la U.M. Colquijirca, 2020*.
- Arce, G. y Quispe, Z. (2016). *Determinación del pH de alimentos de la región Cusco y la variación sobre el pH salival después de su consumo en estudiantes de la escuela profesional de estomatología de la universidad andina del cusco 2016* [Tesis de grado, Universidad Andina del Cusco].  
<http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/UAC/562>
- Argandoña, L. y Macías, R. (2013). *Determinación de sólidos totales, suspendidos, sedimentados y volátiles, en el efluente de las lagunas de oxidación situadas en la parroquia Colón, cantón Portoviejo, provincia de Manabí, durante el período de marzo a septiembre 2013* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Manabí].  
<https://pdfcoffee.com/determinacion-de-solidos-totales-suspendidos-sedimentados-y-volaticos-pdf-free.html>
- Cajchaya Q., W. (2019). *Variación de la calidad fisicoquímica del agua consumida en los procesos mineros metalúrgicos auríferos, distrito de Ananea, 2018* [Tesis de grado, Universidad Andina Nestor Cáceres Velasquez].  
[file:///C:/Users/user/Downloads/T036\\_40706158\\_T.pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/T036_40706158_T.pdf)
- Cartagena, M. (2019). *Biorremediación en aguas residuales contaminadas con cianuro y mercurio generadas en el proceso de la minería aurífera en Colombia, a partir de una revisión bibliográfica entre los años 2008 -2018* [Tesis de grado, Universidad de Antioquia].
- Casilla Q., S. (2014). *Evaluación de la calidad de agua en los diferentes puntos de descarga de la cuenca del río Suchez* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano Puno].  
[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4546/Casilla\\_Quispe\\_Sergio.pdf?sequence=1](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4546/Casilla_Quispe_Sergio.pdf?sequence=1)

- Cava, T. y Ramos, F. (2016). *Caracterización físico – química y microbiológica de agua para consumo humano de la localidad Las Juntas del distrito Pacora – Lambayeque, y propuesta de tratamiento* [Tesis de grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].  
<https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/850/BC-TES-5266.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cervantes, A. (2014). *Caracterización del drenaje ácido y de las rocas asociadas a una mina para evaluar su posible aplicación en un sistema de tratamiento pasivo* [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de México].  
[https://repositorio.unam.mx/contenidos/caracterizacion-del-drenaje-acido-y-de-las-rocas-asociadas-a-una-mina-para-evaluar-su-posible-aplicacion-en-un-sistema-d-246409?c=E4aZ0A&d=false&q=:\\*:\\*&i=12&v=1&t=search\\_0&as=0](https://repositorio.unam.mx/contenidos/caracterizacion-del-drenaje-acido-y-de-las-rocas-asociadas-a-una-mina-para-evaluar-su-posible-aplicacion-en-un-sistema-d-246409?c=E4aZ0A&d=false&q=:*:*&i=12&v=1&t=search_0&as=0)
- Contreras B., B. A. y García G., J. A. (2015). *Análisis de la calidad físico-química del agua en la quebrada El Santuario por la explotación de hierro en el municipio de Ubalá-Cundinamarca* [Tesis de grado, Universidad Libre de Bogotá].  
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11288/An%c3%a1lisis%20f%isico%20quimico%20de%20la%20calidad%20de%20la%20agua%20quebrada%20el%20santuuario%20por%20la%20explotacion%20de%20hierro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Corzo, A. (2015). *Impacto de los pasivos ambientales mineros en el recurso hídrico de la microcuenca Quebrada Paráca, distrito de San Mateo de Huanchor, Lima* [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú].  
[http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6160/CORZO\\_REMIGIO\\_AMELIA\\_IMPACTO\\_MINEROS%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6160/CORZO_REMIGIO_AMELIA_IMPACTO_MINEROS%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Cruzado M., E. y Bravo A., F. (2010). *Impacto de los relaves mineros en el Perú*.  
[https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/3E8B99831ACE6AE90525814000716FBA/\\$FILE/363\\_IT021\\_04011111\\_mineria.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/3E8B99831ACE6AE90525814000716FBA/$FILE/363_IT021_04011111_mineria.pdf)
- Decreto Supremo N° 004- 2017- MINAM. (2017). *Estándar de calidad ambiental [ECA] para agua*. Decreto Supremo N° 004- 2017- MINAM. Presidencia del Consejo de Ministros (PCM).
- Hernández, M.; Sanz, L. y Mancebo, J. (2015). Tratamiento de bajo coste para aguas contaminadas por actividades de minería. Diseño y Tecnología para el Desarrollo.  
[http://oa.upm.es/44286/1/INVE\\_MEM\\_2014\\_238768.pdf](http://oa.upm.es/44286/1/INVE_MEM_2014_238768.pdf)
- Higueras, P. y Oyarzun M., R. (2008). Curso de minería y medio ambiente.  
<https://www.uclm.es/users/higueras/mam/>
- López, H. (2011). *Tratamiento anaeróbico de aguas acidas de mina con travertinos y compost a escala de laboratorio* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro de Perú].  
<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/2159/Lopez%20Gutiérrez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lottermoser, G. (2007). *Mine wastes characterization, treatment and environmental impacts [Residuos de minas, caracterización, tratamiento e impactos ambientales]*. Editorial Springer.
- Madueño, F. (2017). *Determinación de metales pesados (plomo y cadmio) en lechuga (Lactuca sativa) en mercados del Cono Norte, Centro y Cono Sur de Lima Metropolitana* [Tesis de grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].  
[https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/7349/Madue%c3%bl\\_o\\_vf.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/7349/Madue%c3%bl_o_vf.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Menéndez, A. (2018). *Reducción de la demanda química de oxígeno en lactosuero mediante el proceso fenton* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano].

[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7544/Men%c3%a9ndez\\_Escar\\_cena\\_Alfredo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7544/Men%c3%a9ndez_Escar_cena_Alfredo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Monsalve, R. (2018). *Análisis de la calidad de agua de mar y su relación con la infraestructura asociada a la actividad minera en la región de Antofagasta, entre los años 1990-2015* [Tesis de grado, Universidad de Chile].

<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/151966/analisis-de-la-calidad-de-agua-de-mar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pari H., D. C. (2017). *Efectos de los relaves mineros en la calidad del agua del río Ananea - Puno* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano].

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7074>

Quispe, M. (2016). *Estudio del comportamiento del oxígeno disuelto y parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la Bahía Interior de Puno* [Tesis de grado, Universidad Privada Norbert Wiener].

Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Vásquez A., A. O. (2016). *Evaluación de la calidad del agua y vertimientos de efluentes industriales en la subcuenca del río San Juan, 2006-2016, Cerro de Pasco* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Federico Villareal].

[file:///C:/Users/user/Downloads/UNFV\\_VASQUEZ\\_ARANDA\\_AHUBER\\_OMAR\\_MAESTRIA\\_2018.pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/UNFV_VASQUEZ_ARANDA_AHUBER_OMAR_MAESTRIA_2018.pdf)

Villareal H., M. P. (2016). *Calidad del agua del río San Juan, en el departamento de Pasco* [Tesis de grado, Universidad Nacional Federico Villareal].

[file:///C:/Users/user/Downloads/Villarreal\\_Huacachi\\_Meredith\\_Pat\\_Titulo\\_Profesional\\_2016.pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/Villarreal_Huacachi_Meredith_Pat_Titulo_Profesional_2016.pdf)

**IX. Anexos**

## Anexo A Muestreo de campo

**Figura 45**

*Muestreo en E-1*



*Nota.* Parámetros evaluados en E-1, cuyo registro de datos fue, agua superficial: pH (unidades), Conductividad (uS/cm), SDT y DBO, en mg/l; metales pesados. Fe, Mn, Cu, Pb y Zn, en (mg/l). Ubicación: N 8820528 y E 0354736. Fecha: enero de 2020.

**Figura 46**

*Muestreo en E-2*



*Nota.* Parámetros evaluados en E-2, cuyo registro de datos fue, agua superficial: pH (unidades), Conductividad (uS/cm), SDT y DBO, en mg/l; metales pesados. Fe, Mn, Cu, Pb y Zn, en (mg/l). Ubicación: N 8816895 y E 0359176. Fecha: enero de 2020.

**Figura 47***Muestreo en E-3*

*Nota.* Parámetros evaluados en E-3, cuyo registro de datos fue, agua superficial: pH (unidades), Conductividad (uS/cm), SDT y DBO, en mg/l; metales pesados. Fe, Mn, Cu, Pb y Zn, en (mg/l). Ubicación: N 8813331 y E 0356768. Fecha: enero de 2020.

**Figura 48***Muestreo en E-4*

*Nota.* Parámetros evaluados en E-4, cuyo registro de datos fue, agua superficial: pH (unidades), Conductividad (uS/cm), SDT y DBO, en mg/l; metales pesados. Fe, Mn, Cu, Pb y Zn, en (mg/l). Ubicación: N 8805444 y E 0360020. Fecha: enero de 2020.

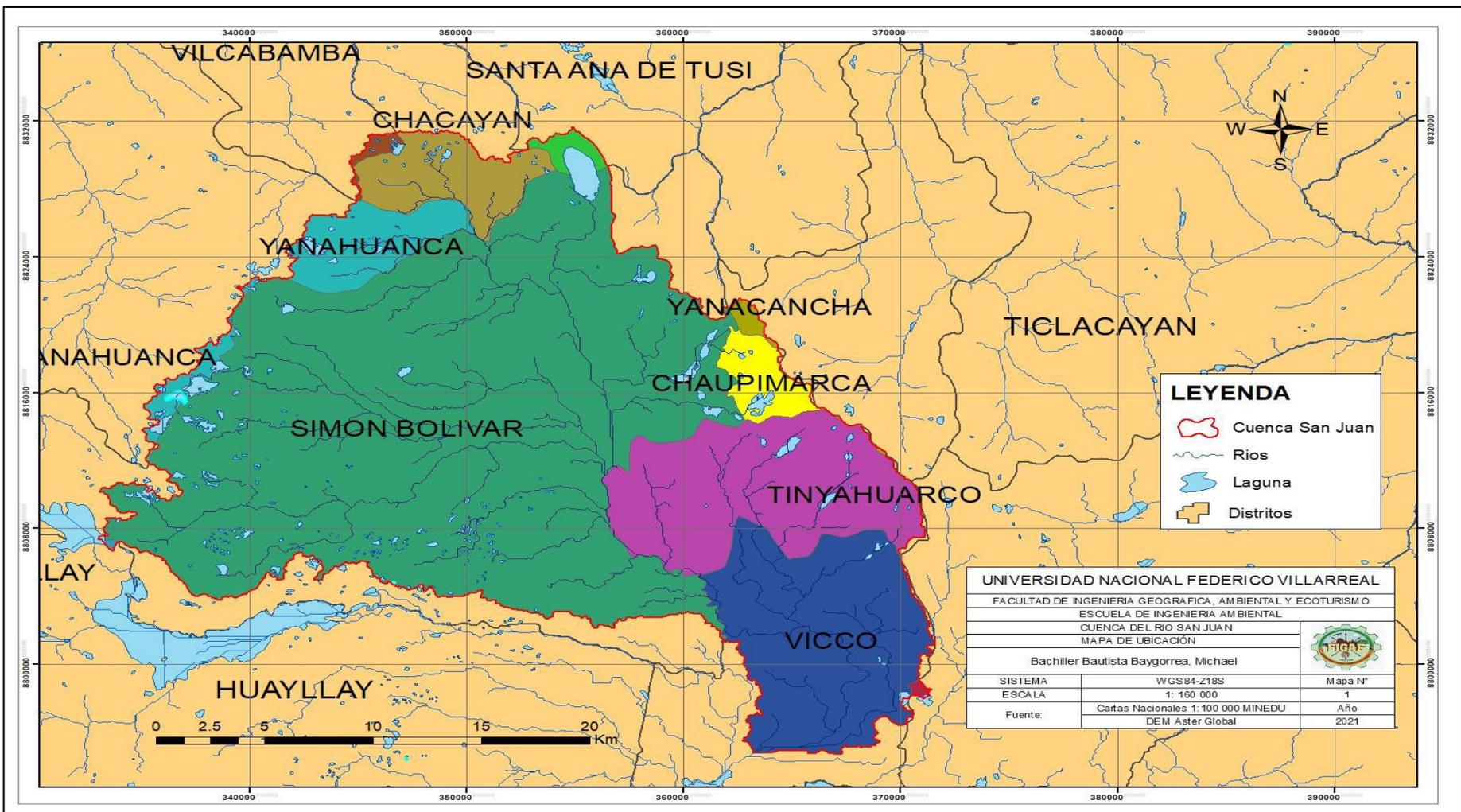
**Figura 49***Muestreo en E-5*

*Nota.* Parámetros evaluados en E-1, cuyo registro de datos fue, agua superficial: pH (unidades), Conductividad (uS/cm), SDT y DBO, en mg/l; metales pesados. Fe, Mn, Cu, Pb y Zn, en (mg/l). Ubicación: N 8809055 y E 0359923. Fecha: enero de 2020.

Anexo B Mapas

Figura 50

Mapa de Ubicación



**Figura 51**

*Mapa de Estaciones*

