



EFFECTO AMBIENTAL DE METALES PESADOS EN EL RIO APACHETA POR PRESENCIA DE YACIMIENTOS MINEROS EN EXPLORACIÓN EN LA REGIÓN AYACUCHO

**FORTUNATO DE LA CRUZ PALOMINO
HEMERSON LIZARBE ALARCÓN
EDWIN CARLOS GARCIA SAEZ
ALEX SANDER IRCAÑAUPA HUAMANI**



EFFECTO AMBIENTAL DE METALES PESADOS EN EL RIO APACHETA POR PRESENCIA DE YACIMIENTOS MINEROS EN EXPLORACIÓN EN LA REGIÓN AYACUCHO

**FORTUNATO DE LA CRUZ PALOMINO
HEMERSON LIZARBE ALARCÓN
EDWIN CARLOS GARCIA SAEZ
ALEX SANDER IRCAÑAUPA HUAMANI**

Conselho Editorial

Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva - UNIDAVI
Prof. Dr. Astor João Schönell Júnior - IFFAR
Prof. Dr. Alan Ricardo Costa - UFRR
Prof. Dr. Allan Diêgo Rodrigues Figueiredo - UESPI
Profa. Dra. Andréia Bulaty - UNESPAR
Profa. Dra. Carla da Conceição de Lima - UFVJM
Prof. Dr. Camilo Darsie de Souza - UNISC
Profa. Dra. Clarice Caldeira Leite - UFRGS
Profa. Dra. Cecilia Decarli - UFRGS
Prof. Dr. Carlos Adriano Martins - UNICID
Prof. Dr. Christian Dennys Monteiro de Oliveira - UFCE
Profa. Dra. Dayse Marinho Martins - UFMA
Prof. Dr. Deivid Alex dos Santos - UEL
Prof. Dr. Dioni Paulo Pastorio - UFRGS
Prof. Dr. Douglas Manoel Antonio de Abreu Pestana dos Santos - FASESP
Profa. Dra. Elane da Silva Barbosa - UERN
Profa. Dra. Elen Gomes Pereira - IFBA
Profa. Dra. Francielle Benini Agne Tybusch - UFN
Prof. Dr. Francisco Odécio Sales - IFCE
Prof. Dr. Francisco Ricardo Miranda Pinto - UFCAT
Prof. Dr. Gilvan Charles Cerqueira de Araújo - UCB
Prof. Dr. Ismar Inácio dos Santos Filho - UFAL
Prof. Dr. Leonardo Bigolin Jantsch - UFSM
Profa. Dra. Liziany Müller Medeiros - UFSM
Profa. Dra. Marcela Mary José da Silva - UFRB
Prof. Dr. Mateus Henrique Köhler - UFSM
Prof. Dr. Michel Canuto de Sena - UFMS
Profa. Dra. Mônica Aparecida Bortolotti - UNICENTRO
Prof. Nilton David Vilchez Galarza - UPLA
Prof. Dr. Olavo Barreto de Souza - UEPB
Prof. Dr. Rafael Nogueira Furtado - UFABC
Prof. Dr. Roberto Araújo da Silva Vasques Rabelo - UNISANTOS
Prof. Dr. Rodrigo Toledo - USCS
Prof. Dr. Rodolfo Rodrigues de Souza - UERJ
Prof. Dr. Sidnei Renato Silveira - UFSM
Prof. Dr. Thiago Ribeiro Rafagnin - UFOB
Prof. Dr. Tomás Raúl Gómez Hernández - UCLV

Editor Chefe: Ivania Folmer

Bibliotecária: Eliane de Freitas Leite

Projeto gráfico e Diagramação: Gabriel Eldereti Machado

Imagem capa: www.canva.com

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Efecto ambiental de metales pesados en el Rio
Apacheta por presencia de yacimientos mineros
en exploración en la Región Ayacucho [livro
eletrônico] / Fortunato de La Cruz
Palomino... [et al.]. -- Santa Maria, RS :
Arco Editores, 2025.
PDF

Outros autores: Hemerson Lizarbe Alarcón, Edwin
Carlos Garcia Saez, Alex Sander Ircañaupa Huamani.
Bibliografia.
ISBN 978-65-5417-504-3

1. Contaminação ambiental 2. Investigação
3. Metais pesados - Aspectos ambientais 4. Rios -
Preservação I. Palomino, Fortunato de La Cruz.
II. Alarcón, Hemerson Lizarbe. III. Saez, Edwin
Carlos Garcia. IV. Huamani, Alex Sander Ircañaupa.

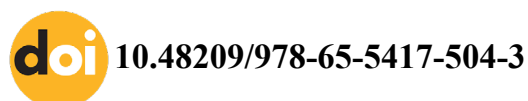
25-285849

CDD-333.72

Índices para catálogo sistemático:

1. Rios : Preservação : Conservação e proteção : Economia 333.72

Eliane de Freitas Leite - Bibliotecária - CRB 8/8415



Este livro é o resultado de uma pesquisa científica em atividades de ciência e tecnologia.
O trabalho foi revisado por pares acadêmicos externo antes de ser publicado.



PROLOGO

La polución del agua causada por metales pesados es un asunto medioambiental de considerable importancia a escala global. Estos elementos, por su durabilidad en el entorno y su posible toxicidad, constituyen un riesgo considerable para la salud de los ecosistemas acuáticos y, eventualmente, para el bienestar humano. En este documento técnico, analizaremos las razones por las cuales los metales pesados se convierten en un desafío en determinadas áreas, además de los efectos que esta contaminación puede ocasionar en los seres humanos.

La presencia de yacimientos mineros, tiene la capacidad de polucionar el agua de diferentes formas, sobre todo mediante el drenaje ácido, la emisión de desechos tóxicos provenientes de la minería y la contaminación con metales pesados. Estas acciones pueden influir en las aguas tanto de la superficie como subterráneas, causando efectos perjudiciales para la salud de las personas y el entorno natural.

La polución del agua ocasionada por la minería en Perú representa un asunto serio, impactando de manera adversa tanto la salud de las personas como el entorno natural. La labor minera, en particular la recolección y tratamiento de metales, puede soltar elementos dañinos como metales pesados y ácidos en las reservas de agua, perjudicando ríos, lagos y aguas subterráneas.

AGRADECIMIENTOS

A mis seres queridos, quienes me brindaron su respaldo continuo y sin condiciones a lo largo de mi existencia y especialmente durante los momentos difíciles en mi trayectoria laboral, quiero expresar mi profunda gratitud a mis progenitores, ya que, sin su apoyo, habría sido inviable completar mi formación profesional.

Deseo manifestar mi sincero agradecimiento a mi mentor, Ing. Edgar Aranés Medina por su invaluable ayuda y guía a lo largo de la investigación. Su comprensión, sabiduría y continua inspiración fueron esenciales para el éxito de este proyecto.

Por último, quiero expresar mi agradecimiento a mis compañeros por su respaldo sin condiciones y su motivación continua durante este trabajo. Su apoyo fue crucial para enfrentar las dificultades y lograr mis objetivos.

ÍNDICE

PROLOGO.....	5
AGRADECIMIENTO.....	6
RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	13
INTRODUCCIÓN.....	15
1. CAPÍTULO I: EL PROBLEMA.....	17
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.2.1. Espacial.....	19
1.2.2. Temporal.....	20
1.2.3. Población.....	20
1.2.4. Social.....	20
1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	22
1.4.1. Problema general.....	22
1.4.2. Problemas específicos.....	22
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	22
1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
1.6.1. Objetivo general.....	23
1.6.2. Objetivos específicos.....	24
1.7. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
1.7.1. Hipótesis general.....	24
1.7.2. Hipótesis específicas.....	24
2. CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1. ANTECEDENTES.....	25
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	25
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	29
2.1.3. Antecedentes locales.....	30

2.2. MARCO TEÓRICO.....	32
2.2.1. Impacto ambiental.....	32
2.2.1.1. Clasificación de Impacto Ambiental.....	33
2.2.1.2. Características de los yacimientos metálicos en relación con estudios de geoquímica ambiental.....	33
2.2.1.3. Impactos en la calidad del agua.....	37
2.2.1.4 Impactos de la minería en el medio natural, aguas superficiales y Subterráneas.....	38
2.2.2. El agua.....	39
2.2.2.1. Propiedades físico químicas del agua.....	41
2.2.2.2. Tipos de agua.....	42
2.2.3. Problemática del agua dulce.....	43
2.2.4. Fuentes de agua.....	44
2.2.4.1. Fuentes subterráneas.....	45
2.2.4.2. Fuentes superficiales.....	45
2.2.5. El Agua en el Perú.....	46
2.2.6. Contaminación del agua.....	47
2.2.6.1. Contaminación de aguas superficiales por metales pesados.....	50
2.2.6.2. Contaminación de sedimentos por metales pesados.....	51
2.2.6.3. Metales pesados en la materia en suspensión.....	52
2.2.7. Calidad de agua y aspectos relacionados a su degradación.....	55
2.2.8. La cuenca, la micro cuenca y los factores que Intervienen en el funcionamiento y equilibrio de acuático.....	56
2.2.9. Metales pesados objeto de estudio.....	58
2.2.9.1. Arsénico.....	59
2.2.9.2. Zinc.....	61
2.2.9.3. Hierro.....	66
2.2.9.4. Manganeseo.....	70
2.2.9.5. Aluminio.....	71
2.2.10. Características físico naturales del área de estudio.....	72
2.2.10.1. Rio Apacheta.....	72

2.2.10.2. Geología.....	73
2.2.10.3. Geomorfología.....	77
2.2.11. Geología local.....	77
2.2.11.1. Estratigrafía.....	77
2.2.11.2. Marco geológico local (Proyecto Tunsulla).....	78
2.2.11.3. Marco geológico (Proyecto Chuschi).....	81
2.2.12. Legislación ambiental peruana.....	81
2.2.13. Estándares nacionales de calidad ambiental para el agua.....	85
3. CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	88
3.1. NATURALEZA DEL ESTUDIO.....	88
3.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y LUGAR DE TRABAJO.....	88
3.3. CLIMATOLOGÍA.....	89
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	90
3.5. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS.....	90
3.5.1. Equipos.....	90
3.5.2. Materiales.....	90
3.5.3. Reactivos.....	91
3.5.4. Refrigerantes.....	91
3.6. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA.....	91
3.6.1. Muestreo de agua.....	92
3.6.1.1 Ubicación del punto de muestreo.....	92
3.6.1.2. Muestreo, preservación, conservación y envío de las muestras.....	93
3.6.1.3. Toma, preservación y conservación de las muestras de agua.....	93
3.7. MÉTODO DE DETERMINACIÓN ANALÍTICA.....	95
3.7.1. Determinaciones “insitu”.....	96
3.7.1.1. Caudal.....	96
3.7.1.2. Conductividad.....	96
3.7.1.3. Oxígeno disuelto.....	97
3.7.1.4. Potencial de hidrogeno (pH).....	97
3.7.1.5. Temperatura.....	97

3.8. DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	98
3.8.1. Técnicas y procedimientos de recolección de información.....	98
3.8.2. Determinación de metales por I.C.P- MS.....	98
4. CAPÍTULO IV RESULTADOS.....	99
4.1. Estaciones muestreo.....	99
4.2. Condiciones y frecuencia de muestreo.....	100
4.3. Medición de los parámetros de campo.....	101
4.4. Concentración de los metales pesados.....	105
4.5. Caudal del rio Apacheta.....	110
4.6. Impactos ambientales.....	111
4.7. Correlaciones.....	128
5. CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	143
CONCLUSIONES.....	162
RECOMENDACIONES.....	164
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	166
SOBRE LOS AUTORES.....	175

RESUMEN

La indagación se centra en analizar el impacto de la actividad minera en la pureza del agua del río Apacheta, debido a la llegada de rocas con minerales, que entran por tierra como resultado de filtraciones de desechos y el drenaje superficial que actualmente se encuentra en calidad de prospectos mineros. La microcuenca del Río Apacheta está situada en los distritos de Paras y Chuschi de la provincia de Cangallo, y en el distrito de Vinchos de la provincia de Huamanga. El objetivo es determinar impacto ambiental potencial de metales pesados en el agua del río Apacheta debido a la presencia de yacimientos mineros en las zonas altas y adyacentes del río Apacheta de donde ingresan las aguas por las quebradas que forman parte de la cuenca del río.

Para la determinación de la presencia de metales pesados en el agua del río de Apacheta, se ubicaron 5 estaciones de muestreo, denominados RAPAC-01; RAPAC-02; RAPAC-03; RAPAC-04 y RAPAC-05, en una longitud del río de 37,32 km, en cada una de ellas se realizó 06 veces el muestreo, entre los meses diciembre 2016 a febrero 2017. Se determinó la concentración de los metales pesados utilizando el método de ICP-MS en los laboratorios de SGS del Perú SAC y los parámetros fisicoquímicos con el equipo multiparámetro.

Se identificó el origen de las fuentes del impacto ambiental de aguas superficiales; la presencia de las rocas mineralizadas que se encuentran en las formaciones de Apacheta, Portuguesa y formación Chahuarma 2. Se describieron las características físico-naturales de la microcuenca en general y las del entorno de los sitios de muestreo de aguas; vinculado a la contaminación del agua, así como las referidas al control institucional del problema en la zona de estudio. Se verificó que se tiene incidencia de los minerales existentes en los prospectos mineros en la calidad de las aguas de la microcuenca, siendo mayor durante los meses de menor precipitación pluvial, dado que se determinó una correlación inversa entre el caudal y los metales pesados que presentaron mayores niveles contaminantes (Aluminio, arsénico, hierro, manganeso), disminuyendo las concentraciones de éstos cuando el caudal aumenta; y una correlación positiva

entre el caudal y la alcalinidad, parámetro que presentó valores bajos, al igual que la dureza y otros considerados indicadores de riesgo a la acidificación.

Los resultados obtenidos en la investigación, comprueba que el impacto ambiental potencial de metales pesados en el río Apacheta es provocada principalmente en forma natural por la presencia de zonas mineralizadas en rocas mineralizadas que están ubicados en los afluentes o en las cuencas del río Apacheta, debido a que los metales son incorporados a los sistemas acuáticos como resultado de la lixiviación de suelos y rocas. Se determinó que el agua del río Apacheta, no cumple con los ECA de agua, el cual para su uso y consumo humano se requiere de un tratamiento previo.

Palabras Claves: mineralización; metales pesados; calidad del agua; Impacto.

ABSTRACT

The research is focused on the study of the incidence of mining in the water quality of the Apacheta River, due to the presence of mineralized rocks, which enter by land, the product of effluent filtration, of the surface runoff, currently found in the quality of mining prospects. The Apacheta river micro basin is located in the Paras and Chuschi districts of the province of Cangallo, and in the Vinchos district of the province of Huamanga. The objective is to determine the potential environmental impact of heavy metals in the water of the Apacheta river due to the presence of mining sites in the highlands and adjacent areas of the Apacheta river from where the waters enter the streams that are part of the river basin.

For the evaluation of the presence of heavy metals in the water of the Apacheta river, 5 sampling stations were placed, named RAPAC-01; RAPAC-02; RAPAC-03; RAPAC-04 and RAPAC-05, in a river length of 37.32 km, in each one of them the sampling was performed 06 times, between the months of December 2016 to February 2017. The concentration of the heavy metals was determined using the method of ICP-MS in the laboratories of SGS of Peru SAC, and the physical-chemical parameters with the multiparameter equipment.

The origin of the sources of environmental impact on surface water was identified: the presence of the mineralized rocks found in Apacheta, Portugueza, and Chahuarma 2 formations. The physical-natural characteristics of the micro-basin in general and of the surroundings of the water sampling sites were described; related to water pollution, as well as those related to the institutional control of the problem in the study area. It was verified that there is an incidence of minerals in the mining prospects on the quality of the waters of the micro basin, being higher during the months of lower rainfall, since an inverse correlation between the flow and the heavy metals that presented higher levels of pollution (aluminum, arsenic, iron, manganese) was determined, the concentrations of these decreasing when the flow increases; and a positive correlation between the flow and the alkalinity, a parameter that presented low values, as

well as hardness and others considered risk indicators for acidification.

The results obtained in the investigation proves that the potential environmental impact of heavy metals in the Apacheta river is mainly caused in a natural way by the presence of mineralized rocks in the mineral prospects that are located in the tributaries or in the Apacheta river basins, owing to the fact that the metals are introduced into the aquatic systems as a result of the leaching of soils and rocks. It was determined that the Apacheta River does not comply with the Environmental Quality Standards (EQS) for water, which for use and human consumption requires previous treatment.

Keywords: mineralization; heavy metals; water quality; impact.

INTRODUCCIÓN

La microcuenca del río Apacheta es la naciente del río Cachi tributario, pertenece a la cuenca del río Mantaro. La cuenca del Mantaro del sector Ayacucho, en el recorrido final de escurrimiento de sus aguas y que al confluir con el río Apurímac que viene de la parte sur de Ayacucho, forma el río Ene. El río Ene forma la cuenca del río Amazonas, posteriormente se desemboca en el océano Atlántico.

La zona cuenta con 22 concesiones mineras, que anteriormente en los años 2006 a 2010 realizaron trabajos de exploración, con fines de explotación con lo que se determinó los minerales existentes en dicha área de influencia de la cuenca del río Apacheta.

La contaminación del agua en forma natural por la presencia de metales pesados provenientes de los yacimientos mineros es un tema de interés que se determinaron diferentes niveles de contaminación por aluminio (Al), arsénico (As), hierro (Fe); manganeso (Mn) y zinc (Zn), en las aguas del río Apacheta.

En este estudio se realiza una determinación de la incidencia del impacto desde las aguas superficiales debido a las condiciones geológicas de la región (presencia de fracturas y fallas), con énfasis en metales pesados, a través de la investigación de diferentes componentes relacionados a la problemática ambiental sin la actividad minera. El propósito es proporcionar un sentido de entendimiento del impacto de los yacimientos mineros en las aguas de la microcuenca, cuyo deterioro de la calidad podría ocasionar problemas de salud en la población de Vinchos y de los alrededores del río, y también de la población Ayacuchana, en vista que se capta en las aguas del río Apacheta en forma parcial en el punto denominado bocatoma Apacheta.

Los componentes complementarios se definieron considerando que el transporte de contaminantes está regido por el ciclo hidrológico, las condiciones climáticas, geomorfológicas, y de la calidad ambiental de la microcuenca; y que el impacto de los yacimientos mineros en la calidad del agua, depende de una variedad de factores, tales como la sensibilidad del terreno local y la com-

posición de los minerales. Es también una intención de este estudio, servir de instrumento de apoyo en la gestión ambiental municipal, mediante la inclusión de algunos elementos a considerar que permitan crear medios necesarios para un mejor desarrollo de la misma.

Con esta investigación, se buscó averiguar en qué medida los niveles de metales pesados se presentan en las aguas del río Apacheta, así como establecer si estos niveles superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM conforme a la legislación general sobre aguas y su posible uso como agua de categoría 1-A (consumo humano) y categoría 3 (riego de cultivos y suministro para animales). Se realizaron análisis de las muestras recolectadas en diciembre de 2016, enero y febrero de 2017 en los laboratorios de SGS del Perú SAC, se pudo constatar que los niveles de los elementos de aluminio y hierro tienen las concentraciones elevadas, en la parte alta a una altura 4295 m.s.n.m. ya que superan los niveles máximos permisibles para el agua de categoría 3, en cambio el elemento arsénico tiene concentraciones altas en la parte baja a una altura de 3900 a 3450 m.s.n.m. que superan ampliamente al ECA 3. Además, las aguas del río Apacheta no deben ser utilizados para el consumo humano, sin el previo tratamiento. Pero pese a esto, es necesario tomar medidas al respecto, porque puede ser, que estos iones de metales pesados se acumulen cuando lleguen a los campos de cultivo y puedan ser absorbidos por las plantas y se bioacumulen en estas, las cuales serán utilizadas en el consumo y constituyen un peligro para la salud humana a través de los alimentos que se pueda consumir. Se debe tener precaución al respecto para evitar que estos elementos se encuentren presentes en las aguas, aunque sean en porcentajes menores a los establecidos en los Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua. Como medida de prevención se pueden realizar tratamiento muy especial en caso de explotarse los yacimientos mineros que se encuentran en las partes altas y adyacentes a la cuenca del río Apacheta, sembrar pasto para evitar el arrastre de las aguas superficiales o lagunas, y los ríos afluentes del río Apacheta. Se conoce también que las minas no están en actividad.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El río Apacheta, nace en el departamento de Huancavelica, nevado del Apacheta, cordillera central; en su thalweg aguas abajo cambia de nombre por río Vinchos, tiene una longitud de 55,961 km. Sólo el 33,20% del territorio de la provincia de Cangallo, se halla ubicado en la cuenca del río Apacheta, parte de espacio territorial es del distrito de Chuschi y Paras. El territorio de la cuenca de Apacheta abarca también el distrito de Vinchos que representa 49,70% pertenecientes al departamento de Ayacucho, y otra parte de la cuenca del río Apacheta abarca distrito de Pillpichaca y Lircay que representa 17% correspondiente al departamento de Huancavelica.

En las áreas elevadas y próximas de la cuenca de este río se encuentran concesiones para la minería polimetálica, así como depósitos minerales como la mineralización en Tunsulla, que se presenta en vetas de sulfuración intermedia de entre 1 y 5 cm de ancho, además de venillas de menos de 1 cm compuestas de cuarzo-gohetita y cuarzo-galena-pirita-esfalerita. Los metales presentes en la mineralización son, principalmente, oro (Au), plata (Ag), plomo (Pb) y zinc (Zn); también se ha identificado estibina en venillas en el área de Carola, situada al noreste de Tunsulla⁽¹⁾.

Estos minerales están contaminando las aguas de este río con metales pesados: Aluminio, hierro, arsénico, manganeso y zinc y en mínima cantidad pueden estar contaminando sus aguas por los desechos orgánicos que son evacuados (arrojados) a su cauce, durante el recorrido sin ser tratados.

Los metales son introducidos en forma natural por escorrentía a los sistemas acuáticos como resultado de la lixiviación de suelos y rocas mineralizadas.

El ingreso de estos metales pesados al ciclo del agua proviene de múltiples orígenes, destacando uno que es litogénico o geoquímico, derivado de

los minerales que, debido a la erosión, las lluvias, y otros factores, se deslizan hacia el agua. En la actualidad, los metales pesados son considerados como importantes señales de la calidad ecológica de cualquier corriente de agua, debido a su toxicidad y, sobre todo, a su capacidad de bioacumulación ⁽²⁾.

Además, los metales pesados suelen unirse a compuestos minerales (como carbonatos y sulfatos) y, en mayor medida, a sustancias orgánicas, a través de procesos de intercambio iónico, adsorción, quelación y la creación de combinaciones químicas, lo que conduce a su acumulación en el entorno, especialmente en los sedimentos de ríos, lagos y océanos. ⁽³⁾

Las elevadas cantidades de metales pesados en las aguas de los ríos vinculadas a sulfuros como el As, Cd, Cu, Pb y Zn son consecuencia de actividades mineras y generan un considerable efecto negativo en el medio ambiente. Por otro lado, metales no sulfurosos como el Cr, Ni y Hg probablemente reflejan una contaminación de metales pesados de origen humano que está muy relacionada con las emisiones de las industrias ⁽⁵⁾.

El tipo y la cantidad de partículas en suspensión en las aguas superficiales están determinados por la geología, el relieve, la vegetación, el flujo de agua, la inclinación que puede afectar el deslizamiento de materiales en el lecho y la zona de drenaje del río. Además, la descarga de aguas residuales de sistemas de saneamiento deficientes también tiene un impacto considerable en la cantidad de partículas en suspensión. Normalmente, los metales pesados presentes en estas partículas en suspensión muestran concentraciones más altas que las encontradas en los sedimentos, probablemente porque los procesos de precipitación generan coloides que están enriquecidos con metales pesados. ⁽⁷⁾

Los metales pesados y el As se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos, pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas ⁽⁸⁾, pasar a la atmósfera por volatilización y moverse hacia el agua superficial o subterránea. No son degradados fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos ⁽⁹⁾.

El presente trabajo de investigación, es conocer si existe los impactos ambientales y en qué nivel y así como caracterizar, determinar cómo se encuentra los diferentes metales pesados en las aguas del río Apacheta, determinando a través de los análisis químicos que se hicieron en las aguas del río Apacheta en el laboratorio.

1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

En sus cuencas, el río Apacheta comprende varios cuerpos de agua en quebradas y lagunas, y se sitúa a nivel hidrológico en la cuenca del río Mantaro-Sector Ayacucho.

Durante la temporada de estiaje se reduce el flujo de agua. El río Apacheta nace desde la quebrada Jolpamachay, y las quebradas más importantes por el margen derecha es Occo que viene a ser la unión de las quebradas Chulunza y Romero; por el margen izquierdo, se encuentran las quebradas de Rangrapampa y la quebrada Antacocha, cuyas aguas desemboca en el río Apacheta.

Otra quebrada importante por el margen derecho viene a ser la quebrada Quichkahuasi y la quebrada Rosario, las aguas de la unión de estas dos quebradas desemboca en el río Apacheta.

1.2.1. Espacial

- **Área:** 398,76 km².
- **Perímetro:** 130,08 km.
- **Longitud:** 55,961 km.
- **Lugar:** Cuenca del río Apacheta.
- **Provincia:** Cangallo, Huamanga.
- **Departamento:** Ayacucho.
- **Provincia:** Pillpichaca.
- **Departamento:** Huancavelica.

1.2.2. Temporal

El período de evaluación es en el mes de diciembre del año 2016, enero y febrero en el año 2017.

1.2.3. Población

La población a ser observada son las aguas del río Apacheta y respecto a los metales pesados a aquellos que superen el ECA del agua establecido por el Ministerio del Ambiente del Perú.

1.2.4. Social

La investigación se ha desarrollado esencialmente sobre la parte de la sociedad que no tiene conocimiento pleno del peligro que representa los metales pesados como el aluminio, arsénico, hierro, manganeso y zinc en el medio ambiente, y por carecer de medios para determinar la presencia de estos metales en el medio ambiente, hace uso del agua sin saber de las características y que puedan afectar su salud.

1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En términos hidrográficos, la cuenca del Mantaro, ubicada en la región medio-central de Perú, está enclavada en la cordillera andina entre la cadena central y oriental, lo que la sitúa en la vertiente oriental o del Atlántico. La cuenca del Mantaro, perteneciente al sector Ayacucho, se encuentra en la zona Sur-Este de la cuenca mayor, en la última etapa del flujo de sus aguas. Al unirse con el río Apurímac, originario de la zona Sur de Ayacucho, se origina el río Ene.

La Subcuenca del Cachi, también conocida como Huarpa o Warpa, representa la mayor y más importante cuenca del río Cachi–Warpa. Su forma ramificada se extiende a lo largo de la mayor parte del sur del área de análisis. El tramo más extenso comienza en la quebrada de Jolpamachay, dentro del distrito de Paras en la provincia de Cangallo. A lo largo de su curso, en el lado

izquierdo, se une la quebrada Rangrapampa. Además, en su trayecto, el río Apacheta recibe a la quebrada Occo desde la margen derecha, que es el resultado de la confluencia de las quebradas Chulunza y Romero. Más abajo, en la margen izquierda, se encuentra la quebrada Antacocha, que coincide con la Vía Nacional los Libertadores Wari, y desde ahí desciende por la cima que lleva el mismo nombre, para luego recibir otro afluente significativo por el río Vinchos.

El río Apacheta es una de las fuentes hídricas para el Proyecto Cachi, que capta las aguas mediante una bocatoma, que se ubica en el km 2+500, del canal de irrigación, que sirve para la irrigar, agua potable y provisión de energía eléctrica. Atraviesa mediante un canal de irrigación una longitud de 107,50 kilómetros.

La zona de influencia del río Apacheta, aparte de servir como fuente de agua para el proyecto Cachi, también como es una quebrada que sirve para irrigar, por las aguas que corren a lo largo del lecho del río, irrigando amplias áreas de cultivo y abasteciendo del líquido elemento a muchos pueblos que se encuentran asentados a lo largo de su cauce.

Las aguas que discurren a lo largo de su cauce, están contaminadas naturalmente por metales pesados tales como el aluminio, arsénico, hierro, manganeso y zinc, que se encuentran asentados en las zonas alto andinas de influencia (Apacheta) o también pueden ser contaminadas sus aguas por los desechos orgánicos que son evacuados (arrojados) a su cauce, durante el recorrido sin ser tratados.

Estos residuos de origen inorgánico (metales pesados) son causantes de la calidad de las aguas del río Apacheta para formar más adelante el río se vea afectada tanto en la agricultura y en el agua para el consumo humano.

El presente trabajo de investigación, evalúa la existencia de contaminación, el impacto ambiental potencial y el nivel como se encuentran los diferentes metales pesados en las aguas del río Apacheta, conocimiento que se obtuvo a través de los análisis químicos que se hicieron de sus aguas, determinando en que cantidad se presentan y se pudo conocer el resultado no siendo apta el agua para el consumo humano sin el tratamiento, y para el regadío de plantas de cultivos, y para el consumo animales.

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.4.1. Problema general

¿La presencia de yacimientos mineros en la Región de Ayacucho, es un factor importante en el impacto ambiental potencial por metales pesados en el agua del río Apacheta?

1.4.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuál es la concentración de metales pesados (mg/L) en las aguas del río Apacheta?
- b) ¿Cuál es el tipo de agua del río Apacheta, debido a la presencia de metales pesados?
- c) ¿Cuáles son las áreas más afectadas por contaminación con metales pesados y sus impactos ambientales?

1.5. JUSTIFICACIÓN

El río Apacheta de la Región Ayacucho, está contaminado con metales tales como el aluminio, arsénico, fierro, manganeso y zinc que se encuentran asentados en las zonas alto andinas y adyacentes de la cuenca del río Apacheta por la presencia de minerales en las rocas (Apacheta) o también pueden ser contaminadas sus aguas por los desechos orgánicos que son evacuados (arrojados) a su cauce, durante el recorrido sin ser tratados. Estos residuos de origen inorgánico (metales pesados) son causantes de la calidad de las aguas del río Apacheta, y su uso puede afectar tanto en la agricultura y en el agua para el consumo humano.

Teniendo en cuenta que la contaminación ambiental por metales pesados se ha asociado a efectos negativos que está presentando el posible impacto a la salud derivado de la contaminación del agua, y plantear medidas de intervención que permitan reducir la exposición y mejorar las condiciones de vida y tratamiento del agua para el consumo humano y para el uso en el regío de vegetales

y de animales. Esta información va a permitir ofrecer el conocimiento a las autoridades ambientales y sanitarias del Departamento de Ayacucho, para estudiar los supuestos efectos que sobre la salud está generando la contaminación del agua del río Apacheta; así mismo va a contribuir con el aporte de información sobre el real impacto que sobre la salud, están generando los principales contaminantes presentes en el agua del río apacheta de modo que se pueda orientar la toma de decisiones en relación a las medidas que se deben acatar para preservar la salud de la población afectada y frente a las políticas que en materia ambiental, debe asumir el gobierno para mejorar la actual situación

Es probable que, de manera natural, los metales están introduciéndose a los sistemas acuáticos como resultado de la lixiviación de suelos y rocas. A la fecha después del estudio se conoce el grado de contaminación de metales pesados como el aluminio, arsénico, hierro, manganeso y zinc del río Apacheta.

El estudio es de mucha importancia, debido al problema ambiental y de la salud que presenta el aluminio, arsénico, hierro, manganeso y zinc por ser unos elementos altamente tóxicos y cancerígenos en cualquiera de sus formas en el medio ambiente y por ende en los ríos.

El desarrollo del presente estudio es factible técnica y administrativamente, porque se cuenta con las condiciones para ejecutar el proyecto.

La presencia de metales pesados en las aguas del río Apacheta, debido a su toxicidad, presenta un grave riesgo para la salud de las personas que viven en las comunidades que dependen de estos ríos. Esto conlleva un aumento en los costos de atención médica, una reducción en la capacidad productiva de los habitantes y, sin duda, consecuencias económicas tanto a nivel local como nacional.

1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. Objetivo general

Determinar el impacto ambiental potencial por metales pesados en el agua del río Apacheta debido a la presencia de yacimientos mineros en las zonas altas y adyacentes del río Apacheta de donde ingresan las aguas por las quebradas que forman parte de la cuenca del río.

1.6.2. Objetivos específicos

- a) Determinar la concentración de metales pesados presentes en el agua del río Apacheta.
- b) Identificar el tipo de agua del río Apacheta debido a la presencia de metales pesados comparando con los valores establecidos en la Ley de Recursos Hídricos, para establecer al tipo de agua que le corresponde.
- c) Determinar las áreas más afectadas por contaminación con metales pesados y sus impactos ambientales.

1.7. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1. Hipótesis general

La presencia de yacimientos mineros en la cuenca del río Apacheta de la provincia de Cangallo departamento de Ayacucho, es un factor potencial de impacto ambiental, debido a la contaminación de metales pesados, siendo significativa y superaría los límites máximos establecidos por ECA de agua, la OMS y la EPA.

1.7.2. Hipótesis específicas

- a) La cantidad de metales pesados (mg/L) presente en las aguas del río Apacheta supera los límites máximos permitidos por el ECA de agua, la OMS y la EPA.
- b) El tipo de agua del río Apacheta no corresponde a la Clase III, no siendo adecuado para el riego de cultivos y el agua de los animales.
- c) Las áreas afectadas son las que se encuentran próximos al río Apacheta, produciendo impacto ambiental en el agua.

CAPITULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Antecedentes internacionales

A pesar de las abundantes pruebas que demuestran los efectos nocivos que causan a la salud, la exposición a metales pesados continua y puede aumentar por falta de una política responsable y concreta para evitarlo. Por ejemplo, el mercurio (Hg) todavía se utiliza en algunas minas de oro en América Latina, e incluso en países desarrollados. En Bolivia los residuos tóxicos arrojados por una mina de zinc en los Andes fueron los causantes de terminar con la vida acuática a lo largo de 300 km de vías fluviales en 1996. Las emisiones de las fundiciones de níquel (Ni) en Sudbury, en Ontario (Canadá) devastaron 10400 hectáreas de bosque. Uno de los casos más sonados de intoxicación por metales pesados fue lo que ocurrió en Minamata, Japón (1940), donde murieron alrededor de 44 personas y muchos supervivientes quedaron con algún tipo de parálisis, debido a las altas concentraciones de mercurio arrojadas en la bahía, mismas que estaban un 20% por encima de lo permitido ⁽¹⁰⁾.

México es un país que no está libre de ser dañado por estas sustancias. En los últimos años el desarrollo industrial ha afectado a diferentes regiones de la República Mexicana y el problema va en aumento ⁽¹¹⁾. La contaminación por metales ha llegado a afectar los recursos marinos mexicanos, ejemplo de ello es Mazatlán, Sinaloa donde el aumento de estos metales en las aguas costeras afectó el desarrollo de las larvas del camarón, y provocó la eclosión temprana de huevos, entre otros daños, afectando grandemente la producción camaronera. El cultivo de ostiones, uno de los recursos más importantes en México, también se vio afectado en lugares como Baja California y la zona del Golfo de México. Los recursos acuíferos de Coatzacoalcos, Veracruz presentan tam-

bién altos niveles de metales pesados. El impacto ecológico que han causado los cinco complejos petroquímicos de la zona, afectó a más de 12 municipios veracruzanos y constituyen una amenaza permanente hacia los recursos naturales endémicos, como son 46 especies de peces, su vegetación selvática y el ecosistema del manglar^(id 11).

Todos los casos anteriores son una muestra de que la contaminación por metales pesados no tiene fronteras, y de que ataca por igual las grandes urbes que los poblados más pequeños del país.

El análisis de la existencia de metales pesados en ríos y sedimentos proporciona información valiosa sobre el medio ambiente de estas corrientes y ayudará a evaluar cada una de sus cuencas, facilitando así la toma de decisiones, especialmente a nivel gubernamental. La contaminación por metales pesados representa un desafío ambiental importante debido a su toxicidad y sus efectos nocivos en el organismo de humanos y animales, como es el caso de los peces. La evaluación de metales pesados en diferentes cuerpos de agua permite identificar las vías de contaminación y su interacción con otras sustancias que se encuentran en las aguas. Este proyecto se llevó a cabo para determinar la concentración de metales pesados en las aguas y sedimentos del río Haina.⁽¹²⁾

La adsorción de metales pesados en resinas de intercambio catiónico fue estudiada por⁽¹³⁾ estudiándose los efectos de la concentración iónica y del pH en dicho comportamiento de adsorción. Por su parte Campos y Néstor⁽¹⁴⁾ estudiaron los niveles de metales pesados en el pez *Ariopsis bonillai* de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia, comprobándose en el hígado valores superiores de Zn y Cu a los determinados en el músculo. La resistencia a metales pesados tóxicos fue encontrada en bacterias de origen clínico y ambiental por⁽¹⁵⁾; unas experiencias similares reportaron⁽¹⁶⁾.

Es bien conocido que la utilización de las cuencas hídricas como receptores de descargas antrópicas representa un riesgo para la salud humana. Particularmente importante es la contaminación provocada por las altas concentraciones de algunos metales pesados y su incremento en los efectos adversos causados por la persistencia y el fenómeno de biomagnificación⁽¹⁷⁾. Los metales

pesados ingresan al ambiente acuático principalmente por descargas directas de fuentes industriales, siendo la industria minera una de las más importantes⁽¹⁸⁾.

Un ejemplo de contaminación debida a las actividades mineras se presenta en el río San Pedro, que tiene su origen en las inmediaciones de la ciudad de Cananea, Sonora. Este río es transfronterizo y se considera la principal fuente de abastecimiento de agua para las actividades agrícolas y ganaderas que se desarrollan en la frontera entre el estado de Sonora (México) y el estado de Arizona (Estados Unidos de América), así como para los asentamientos humanos que se localizan en su curso, además de ser un hábitat para algunas especies de peces nativos, considerados en peligro de extinción⁽¹⁹⁾.

Desde hace varios años, el río San Pedro ha sido severamente contaminado por los desechos ácidos provenientes de la explotación del mineral de cobre debido a la actividad minera de la región, incluyendo las descargas de aguas residuales de origen doméstico e industrial, provenientes de la ciudad de Cananea, Sonora⁽²⁰⁾.

La contaminación de las corrientes formadoras del río San Pedro ha sido evidente, como en el caso del Arroyo Cananea Vieja que ha recibido en varias ocasiones desechos ácidos con elevados niveles de metales pesados provenientes del almacenamiento de aguas ácidas^(id 20).

En una evaluación ambiental realizada en la región de Hidalgo (México), se revisó la cantidad de cadmio y plomo en el agua de su río, su suelo y los cultivos de su valle, subrayando la importancia de crear regulaciones para definir el límite aceptable de metales pesados en el suelo. Actualmente, hay 90000 hectáreas dedicadas a la agricultura, donde se producen diferentes cultivos y forrajes como maíz, alfalfa, frijoles, cebada y trigo, entre otros. El método utilizado implicó tomar muestras de agua, suelo, tejido vegetal y grano de tres diferentes especies en nueve lugares; en el agua, el nivel de plomo era de 0,13 mg/L, y en el follaje de trigo, en un periodo de solo un mes, subió de 0,8 mg/L a 1,4 mg/L. Se sospecha que esto se debe a la alta presencia de estos metales en el aire y en las aguas de riego del río. Respecto a los niveles de cada metal en el agua, se observa una tendencia al aumento del Pb durante el periodo de muestreo, mientras que las cantidades de Cd y

Ni son más estables al inicio, pero tienden a crecer hacia el final; a través del análisis del agua en cada lugar, el número de irrigaciones y el volumen utilizado en cada uno, se logró estimar la acumulación anual de metales en el suelo. La concentración de Cd en el agua durante el presente estudio superó el valor máximo permisible de calidad del agua para riego agrícola, las concentraciones de Ni y Pb fueron 3 y 60 veces inferiores, respectivamente, al valor máximo permisible para agua superficial^(id 0).

Ante evidentes elementos que perjudican el agua, ya sea subterránea, superficial o potable, se busca implementar nuevas metodologías y técnicas para eliminar, en este caso, el arsénico del agua. Esto lo indican en un estudio los investigadores de la Universidad Nacional de La Plata, quienes están trabajando en la creación de un proceso para extraer el arsénico presente en fuentes de agua natural y cumplir con los estándares establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Actualmente, el modelo está preparado para ser evaluado en un entorno de aplicación real. En este contexto, García Einschlag enfatizó: “deseamos poner a prueba nuestro prototipo en condiciones reales, ya que eliminar arsénico en laboratoriales no es lo mismo que hacerlo en el agua de pozos. En estas situaciones, el contaminante aparece junto a otras sustancias que, por lo general, complican su remoción.”⁽²¹⁾.

Se llevó a cabo un análisis de la calidad del agua superficial del río San Pedro entre los años 1997 y 1999, abarcando desde su nacimiento cerca de Cananea, Sonora, México, hasta el límite con Estados Unidos. Se midieron el pH, la conductividad eléctrica, los niveles de sulfatos y metales pesados totales: Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn, aplicando la metodología establecida por la EPA y la CNA. Se detectaron concentraciones elevadas de ciertos metales pesados (Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn), así como altos niveles de conductividad eléctrica y sulfatos; además, se registraron pH bajos en las dos fases, especialmente en los puntos de muestreo más cercanos a las actividades mineras. Se determinó que la minería en la región es la fuente principal de contaminación del río San Pedro.

2.1.2. Antecedentes nacionales

De acuerdo con Corzo⁽²²⁾, menciona que las acciones relacionadas con la minería y la metalurgia en Perú son muy activas y, por ello, tienen un impacto importante en el crecimiento económico del país. Sin embargo, también son causantes de serios problemas de contaminación en el agua, los suelos y los cultivos, debido a la liberación de desechos sólidos y líquidos que provienen de la extracción, flotación y manejo de relaves.

En cuanto a la evaluación de metales pesados en el agua, existen pocos trabajos al respecto, siendo uno de ellos el realizado por el Ministerio de Energía y Minas (1998), institución que al realizar el estudio de la Evaluación Ambiental Territorial y de Planeamiento para la Reducción o Eliminación de la Contaminación de Origen Minero en la Cuenca del río Huaura, menciona que en esta cuenca se desarrolla actividad minera formal de explotación polimetálica, siendo los lugares donde se encuentran los yacimientos más importantes Uchucchacua, los Quenuales (Isaycruz), compañías que actualmente están activas y otra de menor escala como Caujul y Mallay. Menciona también que el yacimiento de Uchucchacua está ubicado en la Provincia de Oyón, de esta se extraen minerales como el Zn, Pb, etc.

En el caso de los Quenuales (antes Isaycruz) también se encuentra ubicada en la provincia de Oyón de donde se extrae mayormente. Zn. Mencionó también que se extraen carbón mineral como actividad minera no metálica en las localidades de Osuna, Pampalahua y Parquín con un 8,4% de la producción nacional (Ministerio de Energía y Minas 1998).

La extracción minera puede ser (es) iniciadora de procesos de contaminación por la generación de desmontes, oxidación de estructuras rocosas, alterando el nivel freático de la mina, etc., ocasionando así que estos residuos discurren a las quebradas y riachuelos que a su vez van a desembocar en el río Huaura, ocasionando así, la contaminación de sus aguas.

2.1.3. Antecedentes locales

En la parte superior y contigua de la cuenca del río Apacheta se sitúa el proyecto minero Chuschi, el cual se ubica en zonas cercanas a la Comunidad Campesina de Chuschi. Este se extiende en los siguientes distritos: el distrito de Chuschi en la provincia de Cangallo, y el distrito de Vinchos en la provincia de Huamanga, dentro del departamento de Ayacucho. Los derechos mineros asociados con el proyecto Chuschi incluyen Chanca 908 (código 01-0033606) y Chanca 909 (código 01-0033706). La localización de los puntos de muestreo para la caracterización físico-química de los cuerpos o corrientes de agua se detalla así: en la penúltima quebrada, cerca de la unión con la quebrada Quichcahuasi, en la microcuenca Quichcahuasi (PH1); en la antepenúltima quebrada cerca a la confluencia con la quebrada Quichcahuasi, cerca al punto de toma de agua N° 2, en la microcuenca Quichcahuasi (PH2); cerca al punto de toma de agua N° 1 y 3 en la quebrada Rosario, en la Nanocuenca Rosario. (PH3); En la quebrada Quichcahuasi cerca a la confluencia con el río Apacheta cerca al puente Niño bamba, en intercuenca (PH4); Quebrada Quichcahuasi próximo a la unión con la quebrada Oropeza, en la microcuenca Quichcahuasi (PH5).

TABLA 2.1: Resultado de caracterización fisicoquímica de los cuerpos o flujos de agua parámetros in situ.

Punto	pH	T(°C)	Conductividad eléctrica (uS)	Caudal (m ³ /s)
PH1	7,42	10,6	140	0,0225
PH2	6,93	13,1	160	0,0120
PH3	6,25	8,5	150	0,0289
PH4	7,98	13,9	640	0,0154
PH5	6,97	10,8	120	2,4400

La fecha de muestreo fue el 20 de febrero del 2009, trabajos realizados por Eccoconsult. Perú SAC. Para la Empresa Newmont Perú S.R.L. sin embargo, no se tiene el análisis químico de los inorgánicos (metales pesados).

El Prospecto TUNSULLA se sitúa en el lado oriental de la Cordillera Occidental, en la región de Puna, a una altitud que varía entre 4 200 y 4 850 metros sobre el nivel del mar, en el distrito de Paras, perteneciente a la provincia de

Cangallo, en el ámbito del departamento de Ayacucho. Las concesiones mineras relacionadas con este proyecto se encuentran dentro de la Concesión Minera “NIÑOBAMBA 08” (código 010281108), que pertenece a NEWMONT PERU S. R. L, así como la de CHURIAC 5 (código 01-0285308).

Se llevó a cabo una valoración de la calidad del agua en cinco lugares de monitoreo de aguas superficiales, en la zona de influencia del Prospecto. Esta tarea fue realizada por la Empresa ECCOCONSULT S. A. Se analizaron los parámetros fundamentales de pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto. Un solo punto de muestreo mostró niveles significativos de acidez (4,83); los otros parámetros se encontraban en rangos normales. No obstante, no se realizó el análisis de la calidad del agua en relación con las sustancias inorgánicas, como los metales pesados.

Exploración minera portuguesa se ubica en el paraje denominado portuguesa en los distritos de Pillpichaca y Paras, provincia de Huaytará y Cangallo departamentos de Huancavelica y Ayacucho respectivamente, conformado por las concesiones Mineras Churiac 3, Churiac 4 entre los 4 200 y 5 000 m.s.n.m.

Exploración minera Atunsulla comprende cinco 05 concesiones mineras Sagollan 1-03, Sagollan 3-03; Sagollan 4-03, Sagollan 5-03 y Sagollan 7-03.

Además, se encuentran otras concesiones mineras que se adjunta en el anexo, sin embargo, ninguna de los prospectos mineros haya realizado el análisis del agua, a pesar que todas las escorrentías del agua donde están emplazados los yacimientos mineros desembocan en el río Apacheta.

Por otra parte, la Administración local de agua (ALA) de Ayacucho, ha realizado el monitorio de la calidad de agua del río Apacheta el 24 de mayo del 2016, en dos puntos. Río arriba de la bocatoma Apacheta y en Hatumpampa. Teniendo los siguientes resultados.

En bocatoma de Apacheta:

- Aluminio total: 4,810 mg/L
- Arsénico total: 0,011 mg/L
- Hierro Total: 3,554 mg/L
- Manganeso total: 0,328 mg/L

En Hatumpampa:

- Aluminio total: 0,050 mg/L
- Arsénico total: 0,268 mg/L
- Hierro Total: 0,122 mg/L
- Manganeso total: 0,027 mg/L

Así mismo ha realizado el 29 de diciembre del 2015 el monitoreo por la unidad de control de calidad SEDA, en la cuenca del río Apacheta, obteniendo los siguientes resultados.

Río Churiac (afluente del río Apacheta):

• Aluminio: 0,287 mg/L; arsénico 0,0034 mg/L; fierro 0,56 mg/L; manganeso: 0,04059 mg/L.

Río Apacheta:

• Aluminio: 1,655 mg/L; arsénico: 0,0124 mg/L; fierro 2,43 mg/L; manganeso: 0,14874 mg/L.

Río Quichcahuasi (afluente del río Apacheta):

• Aluminio 0,269 mg/L; arsénico 0,0305 mg/L; fierro 0,91 mg/L; manganeso 0,10101 mg/L.

Río Suni: (Afluente al río Quichcahuasi):

• Aluminio: 1,142 mg/L; arsénico: 0,0060 mg/L; fierro 3,88 mg/L; manganeso 0,11954 mg/L.

Río Rosario (afluente al río Quichcahuasi):

• Aluminio 0,170 mg/L; arsénico 0,0054 mg/L; fierro 0,94 mg/L; manganeso 0,29730 mg/L.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Impacto ambiental ⁽²³⁾

Se entiende por impacto ambiental el efecto que produce una determinada acción sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos. El concepto puede extenderse a los efectos de un fenómeno “natural” catastrófico. Así

podríamos hablar de “Impacto ambiental” como la diferencia entre lo que había y los que hay después de una actividad humana o fenómeno natural. Sin embargo, a efectos de esta obra, hablaremos de impacto ambiental solo en los casos en los que la diferencia la marca una actividad natural.

Por su parte la minería es una de las actividades humanas con mayor potencial para afectar al medio ambiente.

2.2.1.1. Clasificación de los impactos ambientales ⁽²⁴⁾

El impacto que produce la minería desde el punto de vista ambiental se puede clasificar de muy diversas formas:

- Según sea un impacto directo, o indirecto sobre el medio.
- Según sea a corto o a largo plazo
- Según sea reversible o irreversible (a escala humana)
- Según sea local o externo
- Evitable o inevitable

Por otra parte, en función de los aspectos del medio que modifican, pueden ser:

- Acciones que modifican el uso del suelo
- Acciones que implican la emisión de contaminantes (sólidos, líquidos, gases y otros: ruidos, onda aérea)
- Acciones que implican sobreexplotación de recursos (agua)
- Acciones que implican la modificación del paisaje (casi todos)
- Acciones que repercuten en las infraestructuras
- Acciones que modifican el entorno social, económico y cultural (impacto socioeconómico).

2.2.1.2. Características de los yacimientos metálicos en relación con estudios de geoquímica ambiental. ⁽²⁵⁾

La meteorización y erosión de un depósito mineral en la superficie terrestre dispersa, de forma natural, sus constituyentes en las aguas, suelos y sedi-

mentos del medio que lo rodea. Allí, los constituyentes pueden ser captados por las plantas y/o los organismos.

Las características geológicas de los depósitos minerales ejercen un control importante y predecible en las características de base (“fondo geoquímico”) del ambiente natural de las áreas mineralizadas antes de cualquier actividad minera. Una buena comprensión de la geología ambiental de los depósitos mineros, incluyendo parámetros físicos, químicos y aspectos biológicos, es por lo tanto crucial para el desarrollo de prácticas de predicción, remediación y/o mitigación de los efectos sobre el medio.

Independientemente de las clasificaciones de los diversos tipos de yacimientos minerales y con el objetivo final de estudiar los efectos medioambientales, por causas naturales o debidos al laboreo, el aspecto más importante de cualquier yacimiento es la presencia de diferentes asociaciones minerales debidas al proceso geodinámico primario de emplazamiento o a los procesos posteriores que promueven la desagregación de la estructura cristalina y la movilización de los constituyentes en la superficie terrestre. Por ello, distinguiremos unos complejos minerales primarios, habitualmente en equilibrio termodinámico con el proceso de génesis y unos cortejos de minerales secundarios, generalmente en desequilibrio y en formas metaestables, generados en la superficie.

Mineralogía primaria de los yacimientos

Los minerales primarios se definen como aquellos que se generan en las mismas condiciones termodinámicas del yacimiento beneficiable en su globalidad, y por tanto se hallan genéticamente relacionados constituyendo una misma paragénesis mineral. En esta paragénesis se encuentra la mena (mineral o minerales beneficiables, de interés económico) y la ganga (parte no económicamente valiosa, que habitualmente constituye la mayor parte de los residuos mineros). Tanto una como otra presentan unos elementos químicos transferibles y la forma en que puedan potencialmente ser transferidos al medio ambiente circundante, depende de multitud de variables tanto naturales como antrópicas.

Con un carácter general, la propiedad esencial que determina la mayor o menor movilidad de elementos químicos, - principalmente metales en el medio ambiente -, es la mayor o menor acidez de las aguas que los transportan. El pH

de las aguas superficiales, o de aquellas que circulan en la zona no saturada hacia niveles freáticos, queda también controlado por la presencia de minerales susceptibles de oxidarse o disolverse, generando cambios en la acidez o alcalinidad del medio hídrico.

Muchos depósitos minerales que se forman debajo de la superficie terrestre contienen sulfuros debido a su génesis bajo condiciones químicas reductoras. Los sulfuros que se exponen a la erosión y a la minería son inestables en presencia de oxígeno atmosférico o aguas subterráneas. La oxidación de los sulfuros catalizada por bacterias también es bien conocida debido al drenaje ácido de mina (Schippers, A., et al, 2007; Rawlings, DE. and Johnson, DB, 2007). Sin embargo, el nivel de acidez generada es una función compleja dependiente de: a) los sulfuros presentes en el cuerpo mineral, b) su resistencia a la meteorización, c) el contenido en hierro de los sulfuros, d) la presencia mayoritaria de otros elementos como arsénico, e) el agente oxidante (oxígeno, hierro férrico, etc.) y f) el nivel de precipitación de óxidos u otros minerales como resultado del proceso de oxidación.

Los sulfuros de hierro (pirita, FeS_2 ; marcasita, FeS_2 ; pirrotina, Fe_{1-x}S), sulfuros con relaciones metal:azufre <1 , y sulfosales como enargita (Cu_3AsS_4), generan acidez cuando reaccionan en presencia de oxígeno y agua. Otros sulfuros con relación metal/sulfuro $=1$, como esfalerita (ZnS), galena (PbS) y calcopirita (CuFeS_2) tienden a no producir acidez cuando es oxígeno el agente oxidante. (Nordstrom, K.D., & Alpers, C.N., 1999). Esto es lo que sucede habitualmente en las mineralizaciones de Pb-Zn en las cuales incluso se han reportado valores de pH básicos. (Jennet, J.C. & Wixson, B.G., 1983).

Las siguientes reacciones nos muestran algunos de los mecanismos mediante los que se pueden incrementar la acidez (representada en este caso por los iones H^+) del medio, a partir de los principales sulfuros presentes en yacimientos metálicos:

Mineralogía secundaria

Los minerales secundarios son aquellos que se forman en o cerca de la superficie terrestre cuando los depósitos minerales son expuestos a la erosión y la alteración por los agentes geodinámicos externos.

Cuando un depósito mineral está expuesto a la erosión y es meteorizado por las aguas superficiales, se suelen producir fenómenos de encostramiento, así como eflorescencias por precipitación de minerales desde la solución agua-roca (o residuo) mineralizada. Algunos ejemplos de minerales comunes en la zona de oxidación secundaria son: óxidos e hidróxidos de hierro (goetita, lepidocrocita, hematita), aluminio (boehmita, gibsitita, diaspora), de manganeso (pirolusita) y/o de cobre (cuprita, tenorita); sulfatos de calcio (yeso) y plomo (anglesita); hidroxisulfatos de hierro, aluminio, potasio, sodio y plomo (alunita, natroalunita, jarosita, natrojarosita, plumbojarosita); arcillas (Caolinita, Halloysita, Dickita); silicatos de manganeso (psilomelano), cobre (Chrysocolla), y zinc (hemimorfita); carbonatos de cobre (malaquita y azurita), zinc (smithsonita), y plomo (cerusita).

Algunos metales que son lixiviados por aguas en la zona no saturada son redepositados como sulfuros en profundidad debido a condiciones reductoras presentes por debajo del nivel freático.

Los sulfatos y los sulfatos hidratados de los elementos mayoritarios, calcio (yeso) y magnesio (epsomitita, pickeringita) y de los metales mayoritarios hierro y aluminio (melanterita, copiapita, coquimbita, rhomboclasa, halotriquitita, alunógeno, etc.) son generalmente los más abundantes, debido a la presencia de sulfuros de hierro en muchos depósitos minerales y la abundancia del Ca, Mg y Al en las rocas encajantes de los depósitos. La abundancia de sulfatos hidratados de metales pesados como cobre (calcantita, brocantita), zinc (gummingita, zincosita) y níquel (morenosita) varía dependiendo de la abundancia de estos metales en los sulfuros primarios presentes por debajo del nivel freático.

Sales secundarias solubles

Una cantidad compleja de sulfatos solubles, sulfatos hidratados y algunos hidroxisulfatos son los resultados más comunes de la oxidación de sulfuros en el ambiente superficial. Estas sales solubles son de importancia ambiental extrema porque almacenan metales en la fase sólida y pueden suponer una reserva de condiciones de acidez en episodios lluviosos. Estas sales también pueden ser una fuente importante de ión férrico disuelto el cual, cuando se libera, puede suponer la oxidación de sulfuros.

Los sulfatos y los sulfatos hidratados de los elementos mayoritarios, calcio (yeso) y magnesio (epsomita, pickeringita) y de los metales mayoritarios hierro y aluminio (melanterita, copiapita, coquimbita, rhomboclase, halotriquitita, alunógeno, etc.) son generalmente los más abundantes, debido a la presencia de sulfuros de hierro en muchos depósitos minerales y la abundancia del Ca, Mg y Al en las rocas encajantes de los depósitos. La abundancia de sulfatos hidratados de metales pesados como cobre (calcantita, brocantita), zinc (gummingita, zincosita) y níquel (morenosita) varía dependiendo de la abundancia de estos metales en los sulfuros primarios presentes.

2.2.1.3. Impactos en la calidad del agua⁽²⁶⁾

A largo plazo, todas las operaciones mineras provocan la contaminación de las aguas del sitio.

Los contaminantes de la roca natural son liberados al medio ambiente de las menas expuestas, la roca estéril, y las colas. Tales contaminantes incluyen: pH excesivamente alto o bajo, aluminio, antimonio, arsénico, bario, cadmio, cobre, cromo, cobalto, hierro, plomo, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, selenio, plata, talio, vanadio, cinc, sulfato, nitrato, amonio, boro, fluoruro, cloruro, y constituyentes radioactivos naturales (uranio, torio, potasio-40, radiación alfa y beta, en general). En adición a los componentes de la roca, las aguas de las minas son sistemáticamente contaminadas con: cianuro y compuestos de descomposición asociados (complejos metal-cianuro, cianato, tiocianato), carbón orgánico, aceites y grasas, y muchos otros compuestos orgánicos (Moran 2001, 2002, 2007), explosivos, químicos de proceso, combustibles, aceites y grasas, anticongelante, aguas negras, herbicidas y pesticidas.

¿Qué son los metales pesados?⁽²⁷⁾

Intentaremos ofrecer una definición relativamente precisa. Los metales pesados son elementos naturales con un alto peso molecular, que son ampliamente presentes y a menudo bastante beneficiosos, como es el caso del plomo, que se usa con frecuencia en tuberías, y el cadmio. En cuanto a la contaminación, estos metales pesados impactan la salud y pueden influir en varios órganos. Esta podría ser una descripción bastante general.

2.2.1.4. Impactos de la minería en el medio natural. Aguas superficiales y subterráneas ⁽²⁸⁾

Alteración en la dinámica fluvial: incorporación de partículas sólidas, en la corriente, aumento de la carga de fondo, y en suspensión, incremento en las tasas de sedimentación aguas abajo

Pérdidas de masa de agua: ocupación de lagos, embalses, bahías.

Alteración en el régimen hidrológico: variaciones en el nivel freático, variaciones en el régimen de carga, y modificaciones en el flujo subterráneo por efectos barrera, drenajes inducidos, infiltración reducida/favorecida, compactación, modificación del relieve, deforestación.

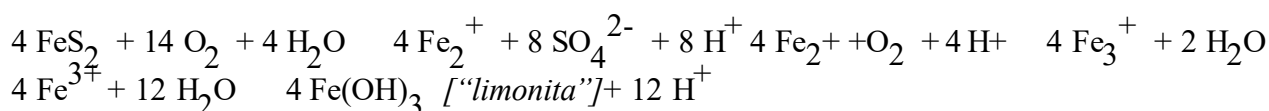
Contaminación de metales pesados (As)

En coloides en suspensión.

En especies en disolución: uno de los procesos más relevantes para la movilización de metales desde la fase sólida, es el (“acid mine drainage”, AMD), además en los procesos de metalurgia por lixiviación y cianuración.

Se puede producir nuevamente la incorporación de los metales a la fase sólida (sedimentos) por adsorción y/o coprecipitación.

Variaciones del pH por el drenaje ácido de mina: se produce por la hidrólisis y la oxidación de sulfuros en especial la pirita:



Variaciones del pH por el drenaje ácido mina (“acid mine drainage”, AMD); en condiciones de aridez, se forman sulfato de hierro (jarosita).

Como resultado se obtienen aguas de pH muy bajo (2 – 3) , cargadas en aniones (sobre todo sulfatos), en las que generalmente son más solubles los metales pesados como Pb, Zn, Cu, As, Cd, etc. (a excepción de Hg).

Variaciones del pH por el drenaje ácido de mina (“acid mine drainage, AMD):

Depende de la superficie específica (tamaño) de las partículas ;balsas; y la porosidad. La cinética también está controlada por el clima y la actividad bacteriana.

Así, las alteraciones de las condiciones hidráulicas se pueden ejercer directamente sobre el agua, sobre el medio por donde esta fluye o circula, o en algunos casos sobre ambos. Sin embargo, lo realmente importante es considerar que esas modificaciones de las condiciones iniciales conllevan en la mayoría de los casos otros efectos ambientales secundarios que pueden ser de gran importancia, sobre todo si tienen lugar en un medio muy reactivo desde el punto de vista químico. **No hay que olvidar que el agua es el principal agente responsable de la alteración química de minerales y del transporte de los componentes liberados en ella**, tanto en coloides y partículas, como en especies en disolución.

2.2.2. El agua

El agua (H_2O) es un compuesto químico inorgánico formado por dos átomos de hidrógeno (H) y uno de oxígeno (O) ⁽²⁹⁾.

Líquido incoloro casi inodoro e insípido, H_2O , esencial para la vida animal y vegetal y el más empleado de los disolventes. Punto de fusión $0^{\circ}C$ ($32^{\circ}F$), punto de ebullición $100^{\circ}C$ ($212^{\circ}F$), gravedad específica ($4^{\circ}C$) 1000 kg/m, peso por galón ($15^{\circ}C$) 8,337 libras. La mayoría de las moléculas de agua tiene un peso molecular de 18. Sin embargo, puesto que el hidrógeno y el oxígeno tienen cada uno tres isótopos hay 18 pesos moleculares posibles del agua. En la molécula del agua ambos átomos de hidrógeno están ubicados del mismo lado del átomo de oxígeno; sus enlaces con el átomo de oxígeno se encuentran separados a $104,5^{\circ}$. Los átomos de hidrógeno tienen una carga positiva mientras que el átomo de oxígeno tiene carga negativa. Debido a esta distribución de carga, el H_2O es una molécula fuertemente bipolar. Los dipolos de la molécula de agua se atraen entre sí y forman agregados a través de enlaces que se conocen como “puentes de hidrógeno” ⁽³⁰⁾.

El agua cubre las tres cuartas partes de la superficie terrestre y es una parte esencial de los sistemas vivos, siendo el medio por el que la vida evoluciona y en el que la vida existe. La energía y la materia son transportadas por el agua a través de las diversas regiones del medio ambiente. El agua lleva constituyentes solubles de materia mineral y los transporta a los océanos o

los deja como depósitos a alguna distancia de sus fuentes de origen; también lleva los nutrientes del suelo a las plantas a través de sus raíces ⁽³¹⁾.

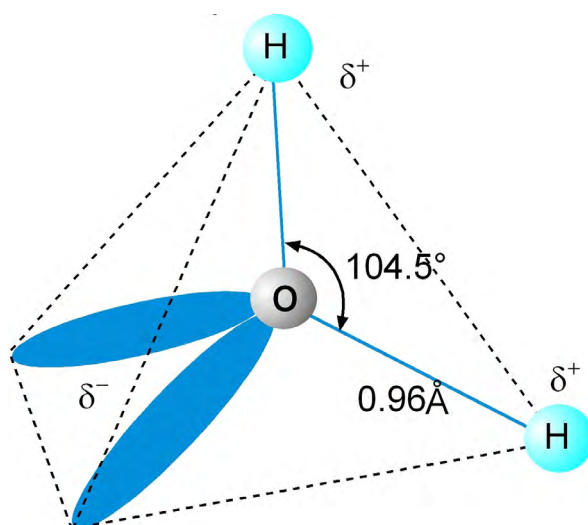


FIGURA 2.1: Molécula del agua ^(id.24).

Por todas estas razones, el agua se considera fundamental para la existencia humana, tanto para vivir como para su uso en actividades industriales, domésticas y agrícolas. Sin embargo, la humanidad ya consume la mitad de los recursos de agua dulce disponibles en el planeta y su uso sigue en aumento. Las repercusiones son evidentes: la erosión del terreno, la expansión de áreas áridas, la extinción de ecosistemas acuáticos y la caída en los niveles de ríos y lagos. Las consecuencias de esta situación impactan significativamente la salud, la producción de alimentos, la subsistencia de la población humana, de la flora y de la fauna, así como la estabilidad y la paz. Por este motivo, en ocasiones se le llama oro azul ^(id.31).

El agua es considerada como uno de los recursos naturales más fundamentales para el desarrollo de la vida, y junto con el aire, la tierra y la energía, constituye los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo. Se sabe que más del 97% del agua total del planeta se encuentra en los océanos y otras masas salinas y que podemos considerarla como inservible, ya que apenas están disponibles para ningún propósito. Del 3% restante, un 2,38% aproximadamente, se encuentra en estado sólido, resultando prácticamente inaccesible. El resto, un 0,62%, se encuentra en ríos, lagos y aguas subterráneas. Como apreciamos, la cantidad disponible de agua es verdaderamente escasa, aunque

mayor es el problema de la distribución irregular en el planeta. El agua, como recurso natural, es manipulada por el hombre, alterando así su ciclo. El agua se extrae de los ecosistemas para su utilización. Pero un mayor suministro de agua significa una mayor carga de aguas residuales, lo que altera la vegetación y la calidad posterior en su vertido. Es aquí donde hay que dejar constancia de la importancia del desarrollo sostenible, que es aquel que permite compatibilizar el uso de los recursos con la conservación de los ecosistemas ^(id 31).

2.2.2.1. Propiedades fisicoquímicas del agua

A temperatura ambiente, el agua pura es inodora, insípida e incolora, aunque adquiere una leve tonalidad azul en grandes volúmenes, debido a la refracción de la luz al atravesarla, ya que absorbe con mayor facilidad las longitudes de onda larga (rojo, amarillo, naranja) que las longitudes de onda corta (azul, violeta), desviando lentamente estas otras, provocando que en grandes cantidades de agua esas ondas cortas se hagan apreciables. Su relevancia radica en que prácticamente todos los procesos químicos que ocurren en el medio ambiente, no solo en seres vivos sino también en la superficie caótica del planeta, así como los que se realizan en el sector industrial, suceden entre compuestos disueltos en agua. Henry Cavendish descubrió en 1781 que el agua es una sustancia compuesta y no un elemento. Estos resultados fueron anunciados por Antoine - Laurent de Lavoisier (1743 – 1794) en la Academia Francesa en 1783, dando a conocer que el agua estaba formada por oxígeno e hidrógeno. En 1804, el químico francés Joseph Louis Gay-Lussac (1778 – 1794) y el naturalista y geógrafo alemán Alexander von Humboldt (1769 – 1859) publicaron un documento científico que demostraba que el agua estaba formada por dos volúmenes de hidrógeno por cada volumen de oxígeno (H_2O). Entre las moléculas de agua se establecen enlaces por puentes de hidrógeno debido a la formación de dipolos electrostáticos que se originan al situarse un átomo de hidrógeno entre dos átomos más electronegativos, en este caso de oxígeno. El oxígeno, al ser más electronegativo que el hidrógeno, atrae más los electrones compartidos en los enlaces covalentes con el hidrógeno, cargándose negativamente, mientras los átomos de hidrógeno se cargan positivamente, estableciéndose así dipolos

eléctricos. Los enlaces por puentes de hidrógeno son enlaces por fuerzas de van der Waals de gran magnitud, aunque son unas 20 veces más débiles que los enlaces covalentes. Los enlaces por puentes de hidrógeno entre las moléculas del agua pura son responsables de la dilatación del agua al solidificarse, es decir, su disminución de densidad cuando se congela⁽³²⁾.

2.2.2.2. Tipos de agua⁽³³⁾

Agua Potable. Agua que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades.

Agua salada. Agua en la que la concentración de sales es relativamente alta (más de 10 000 mg/L).

Agua salobre. Agua que contiene sal en una proporción significativamente menor que el agua marina. La concentración del total de sales disueltas está generalmente comprendida entre 1000 - 10 000 mg/L. Este tipo de agua no está contenida entre las categorías de agua salada y agua dulce.

Agua dulce. Agua natural con una baja concentración de sales, o generalmente considerada adecuada, previo tratamiento, para producir agua potable.

Agua dura. Agua que contiene un gran número de iones positivos. La dureza está determinada por el número de átomos de calcio y magnesio presentes. El jabón generalmente se disuelve malamente en las aguas duras.

Agua blanda. Agua sin dureza significativa.

Aguas negras. Agua que sirve a una comunidad tras haber sido dañada por diferentes usos. Puede incluir una mezcla de desechos, líquidos o sólidos, de origen doméstico, urbano e industrial, así como las aguas subterráneas, de superficie y de lluvia que puedan existir. Aguas grises. Aguas domésticas residuales compuestas por agua de lavar procedente de la cocina, cuarto de baño, aguas de los fregaderos, y lavaderos.

Aguas residuales. Fluidos residuales en un sistema de alcantarillado. El gasto o agua usada por una casa, una comunidad, una granja, o industria que contiene materia orgánica disuelta o suspendida.

Aguas residuales municipales. Residuos líquidos, originados por una comunidad, formados posiblemente aguas residuales domésticas o descargas industriales.

Agua bruta. Agua que no ha recibido tratamiento de ningún tipo, o agua que entra en una planta para su ulterior tratamiento.

Aguas muertas. Aguas en estado de escasa o nula circulación, generalmente con déficit de oxígeno.

Agua alcalina. Agua cuyo pH es superior a 7.

2.2.3. Problemática de agua dulce ⁽³⁴⁾

El desafío relacionado con la escasez de agua que afecta a uno de cada cinco personas en el mundo no se debe a una absoluta falta, sino a una gestión inadecuada. Es fundamental desarrollar una nueva filosofía sobre el agua, donde se valore su utilización como un derecho humano esencial y se implemente una gestión sostenible basada en los ecosistemas para este recurso, en lugar de tratarlo, como ha sucedido hasta ahora, como un simple artículo comercial.

Más de 1,200 millones de personas de todo el mundo no disponen de una provisión razonable y segura de agua potable, y cerca de 2,400 millones de personas no tienen derecho a servicios básicos de saneamiento, las cifras involucran en valores aproximados al 40 por ciento de la población mundial. Cinco millones de personas la mayoría, niños mueren cada año por beber agua contaminada.

En la actualidad, los problemas se relacionan con la ineficiencia, especialmente por las decisiones en materia de política y tecnología. En los procesos de desarrollo de los sistemas de abastecimiento de agua, se consideró durante muchos años que la tecnología era la solución principal a los problemas, y por consiguiente era necesario transferirla de manera masiva, de los países industrializados hacia los países en vía de desarrollo. Estas tecnologías implantadas, sin tener en cuenta las condiciones locales, fracasaron y tuvieron consecuencias funestas para la población y el ambiente. No funcionaron porque, al parecer, olvidaron que el fin último de la tecnología era que la gente la usara,

que funcionara a través del tiempo y que el uso dado por las comunidades, estaba determinado por su contexto sociocultural, económico y ambiental.

La gestión o administración consiste esencialmente en realizar un conjunto de actividades para obtener un resultado y para atender su realización. La gestión del agua requiere, por lo tanto, la determinación de un propósito, la elaboración de una política y planes para realizarlo y la elección de los instrumentos idóneos para ejecutarlos. Se necesita claridad en los fines, unidad en las políticas, conocimiento en los planes y coordinación en los medios. Elementos fáciles de enumerar e hipotéticos para llevar a la práctica en algo tan vasto como el agua y todas las facetas que la afectan y a las que afecta. La meta, enteramente ambiciosa, es consecuentemente la gestión integrada del agua. La dificultad de abordarla, a nivel general, es la verdadera crisis del agua.

El Perú cuenta con 231 cuencas hidrográficas y con el 70% de los glaciares tropicales del mundo. A pesar de ello, la disponibilidad de agua en la costa - región donde vive cerca del 70% de los 30 millones de peruanos - es menor al 2% del total nacional. Más aún, buena parte de la población en el país afronta la escasez y contaminación de fuentes de agua, que se agravan en el contexto del Cambio Climático. Estos y otros factores como el crecimiento de la población y el acelerado desarrollo económico generan crecientes presiones en los recursos hídricos del país^(id 27).

2.2.4. Fuentes de agua ⁽³⁵⁾

Las fuentes de abastecimiento de agua pueden ser:

- Subterráneas: manantiales, pozos, nacientes;
- Superficiales: lagos, ríos, canales, etc.; y
- Pluviales: aguas de lluvia.

Para la selección de la fuente de abastecimiento deben ser considerados los requerimientos de la población, la disponibilidad y la calidad de agua durante todo el año, así como todos los costos involucrados en el sistema, tanto de inversión como de operación y mantenimiento.

El tipo de fuente de abastecimiento influye directamente en las alternativas tecnológicas viables. El rendimiento de la fuente de abastecimiento puede condicionar el nivel de servicio a brindar. La operación y el mantenimiento de la alternativa seleccionada deben estar de acuerdo a la capacidad de gestión de los beneficiarios del proyecto, a costos compatibles con su perfil socio económico.

2.2.4.1. Fuentes subterráneas

La captación de aguas subterráneas se puede realizar a través de manantiales, galerías filtrantes y pozos, excavados y tubulares.

Las fuentes subterráneas protegidas generalmente están libres de microorganismos patógenos y presentan una calidad compatible con los requisitos para consumo humano. Sin embargo, previamente a su utilización es fundamental conocer las características del agua, para lo cual se requiere realizar los análisis físico-químicos y bacteriológicos correspondientes.

2.2.4.2. Fuentes superficiales

Las aguas superficiales están constituidas por los ríos, lagos, embalses, arroyos, etc.

La calidad del agua superficial puede estar comprometida por contaminaciones provenientes de la descarga de desagües domésticos, residuos de actividades mineras o industriales, uso de defensivos agrícolas, presencia de animales, residuos sólidos, y otros.

En caso de la utilización de aguas superficiales para abastecimiento, además de conocer las características físico químicas y bacteriológicas de la fuente, será preciso definir el tratamiento requerido en caso que no atiendan a los requerimientos de calidad para consumo humano.

2.2.5. El agua en el Perú ⁽³⁶⁾

Perú dispone de 106 cuencas fluviales que transportan un total de 2 043 548,26 millones de metros cúbicos al año. Además, el país tiene 12 200 lagos en la región andina y más de 1 007 ríos, lo que resulta en una media de recursos hídricos de 2458 millones de metros cúbicos, predominantemente en la cuenca del Amazonas. No obstante, la distribución del agua en el país es desigual, ya que casi el 70% de las precipitaciones ocurre de diciembre a marzo., contrastando con épocas de extrema aridez en algunos meses. Además, muchas lagunas han sufrido el impacto de la contaminación por desechos mineros, agrícolas y urbanos, y el asentamiento de pueblos o centros recreativos en sus orillas.

Nuestra nación posee tres cuencas hidrográficas: la del Atlántico, que produce el 97,7% de los recursos de agua; la del Pacífico, que aporta el 1,8%; y la del Titicaca, representando el 0,5% restante. Curiosamente, la mayor parte de la población se asienta en la cuenca del Pacífico, lo que origina un desafío de escasez de agua: un contexto donde hay una mayor necesidad de agua que la que se puede proporcionar, o cuando la calidad del agua limita su uso.

En efecto, el análisis de la disponibilidad de agua en la región del Pacífico para estimar las necesidades hídricas y los recursos disponibles señala que, aunque en términos generales se satisface la demanda de agua, más del 68% de las cuencas de la zona presenta un balance deficitario. Por ejemplo, 90 de cada 100 personas en Perú habitan en áreas áridas, semiáridas y subhúmedas; y la mitad de la población reside en la costa.

De esta forma, a pesar de que Perú posee la más alta disponibilidad de agua dulce renovable por persona en América Latina (74 546 MMC/persona al año), la asignación de esos recursos hídricos es desigual. La agrupación de ciudades y actividades económicas en las tres cuencas hidrográficas provoca que la necesidad de agua sea más intensa en las áreas donde la oferta y provisión de este recurso son limitadas.

2.2.6. Contaminación del agua ⁽³⁷⁾

Los principales contaminantes del agua son los siguientes:

a. Agentes patógenos. - Bacterias, virus, protozoarios, parásitos que entran al agua proveniente de desechos orgánicos.

b. Desechos que requieren oxígeno. - Los desechos orgánicos pueden ser descompuestos por bacterias que usan oxígeno para biodegradables. Si hay poblaciones grandes de estas bacterias, pueden agotar el oxígeno del agua, matando así las formas de vida acuáticas.

c. Sustancias químicas inorgánicas. - Ácidos, compuestos de metales tóxicos (Mercurio, Plomo), envenenan el agua.

Los nutrientes vegetales pueden ocasionar el crecimiento excesivo de plantas acuáticas que después mueren y se descomponen, agotando el oxígeno del agua y de este modo causan la muerte de las especies marinas (zona muerta).

d. Sustancias químicas orgánicas. - Petróleo, plásticos, plaguicidas, detergentes que amenazan la vida.

e. Sedimentos o materia suspendida. - Partículas insolubles de suelo que enturbian el agua, y que son la mayor fuente de contaminación.

f. Contaminantes líquidos

Los contaminantes en forma líquida provienen de las descargas de desechos domésticos, agrícolas e industriales en las vías acuáticas, de terrenos de alimentación de animales, de terrenos de relleno sanitario, de drenajes de minas y de fugas de fosas sépticas. Estos líquidos contienen minerales disueltos, desechos humanos y de animales, compuestos químicos sintéticos y materia coloidal y en suspensión.

g. Contaminantes sólidos

Entre los residuos sólidos se incluyen arena, arcillas, tierra, cenizas, restos de vegetales de cultivo, grasas, alquitrán, papel, goma, plásticos, madera y metales.

h. Contaminantes físicos. Afectan el aspecto del agua y cuando flotan o se sedimentan interfieren con la flora y fauna acuáticas. Son líquidos insolubles o sólidos de origen natural y diversos productos sintéticos que son arrojados al agua como resultado de las actividades del hombre, así como, espumas, residuos oleaginosos y el calor (contaminación térmica).

i. Contaminantes químicos.

Constan de sustancias tanto orgánicas como inorgánicas que se encuentran disueltas o distribuidas en el agua. Los contaminantes inorgánicos abarcan una variedad de productos que se han disuelto o dispersado en el agua, los cuales se originan a partir de vertidos de hogares, actividades agrícolas e industrias, así como por la erosión de suelos. Los más comunes son los cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos.

Asimismo, se incluyen residuos ácidos, básicos y vapores dañinos que se encuentran en el agua, tales como los óxidos de azufre, de nitrógeno, el amoníaco, el cloro y el sulfuro de hidrógeno. Gran parte de estos contaminantes son liberados directamente a la atmósfera y bajan arrastrados por la lluvia. Esta lluvia ácida, tiene efectos nocivos que pueden observarse tanto en la vegetación como en edificios y monumentos de las ciudades industrializadas.

J. Los contaminantes de origen orgánico

Estos son sustancias que se encuentran disueltas o repartidas en el agua, las cuales provienen de desechos de hogares, agricultura, industrias y la erosión del terreno. Incluyen residuos tanto humanos como de animales, restos de sacrificios o mataderos, productos derivados de la preparación de alimentos para personas y animales, diferentes sustancias químicas industriales de origen natural como aceites, grasas, resinas y colorantes, así como una variedad de compuestos químicos sintéticos como pinturas, herbicidas e insecticidas, entre otros. Los contaminantes orgánicos reducen el oxígeno disponible en el agua, lo que perjudica a la fauna acuática (eutrofización).

Los niveles inusuales de sustancias nitrogenadas en el agua, como el amoníaco o los cloruros, sirven como indicador de la existencia de estas impurezas contaminantes en el agua.

k. Contaminantes biológicos

Incluyen hongos, bacterias y virus que provocan enfermedades, algas y otras plantas acuáticas. Algunas bacterias son inofensivas y otras participan en la degradación de la materia orgánica contenida en el agua.

Ciertas bacterias descomponen sustancias inorgánicas. La eliminación de los virus que se transportan en el agua es un trabajo muy difícil y costoso.

j. Contaminantes químicos de la minería aurífera y su impacto en el recurso hídrico

La minería, y el tratamiento de los metales puede ser una fuente significativa de daño ambiental a los recursos naturales ⁽³⁸⁾. El vertido de líquidos residuales asociados al procesamiento de minerales auríferos, en los sistemas de agua natural, ocasiona la aparición de diferentes contaminantes metálicos, cianuros y sólidos sedimentables que deterioran la calidad de sus aguas limitando sus usos y poniendo en riesgo la existencia de las especies acuáticas (CNRH, 1998; RASRHN, 2001).

La contribución antropogénica de sólidos, que llegan a las aguas naturales por el vertido de residuos, añaden más materia orgánica y una amplia variedad de productos químicos. Los efectos negativos del aporte de sedimentos son: alteración de caudales; aumento de la turbidez del agua, reduciéndose la fotosíntesis y afectando a la vida animal del sistema acuático, y transformación del hábitat de los organismos (camarones, cangrejos de río y de mar, algunos bivalbos, gran variedad de gusanos, insectos entre otros) que viven en los fondos acuáticos, en donde puede ocurrir la transferencia de especies químicas contaminantes desde los sedimentos a estos ⁽³⁹⁾.

El impacto de un contaminante en el ambiente y en la salud humana depende de las condiciones físico-químicas que afecten directamente su toxicidad y del grado de exposición (concentración y tiempo) al mismo ⁽⁴⁰⁾.

2.2.6.1. Polución de aguas superficiales por metales pesados

En la actualidad, se calcula que hay más de un millón de compuestos distintos que se vierten en las fuentes de agua naturales como resultado de actividades humanas. Una gran parte de estas sustancias no se identifica como tóxica, aunque pueden modificar las propiedades sensoriales del agua, afectar gravemente al ecosistema y/o resultar perjudiciales para la salud humana.

Los niveles de metales pesados en el agua están vinculados de manera directa a las acciones de las personas y a la liberación de residuos, así como dependen de los cambios en el flujo de algunos vertidos que el río recibe. ⁽⁴²⁾.

Los cauces de agua han funcionado, desde tiempos remotos, como receptores, de forma directa o indirecta, de los efluentes líquidos generados por las actividades humanas. En los inicios, estos eran capaces de manejar las cargas contaminantes vertidas en los ríos gracias a su naturaleza de autorregulación. Sin embargo, con el surgimiento de grandes ciudades, la cantidad de desechos aumentó considerablemente. Como resultado, los cauces fluviales perdieron su capacidad de autorregeneración, lo que causó severas alteraciones en la calidad del agua y creó riesgos significativos para la salud de la población que reside río abajo. A menudo, esta situación llevó a que las aguas de ríos, lagos y costas se convirtieran en vertederos de residuos, con un equilibrio natural que se encuentra gravemente perturbado e, en muchos casos, completamente desintegrado. ⁽⁴³⁾.

A diferencia de varios contaminantes orgánicos, los metales pesados típicamente no son removidos de los ecosistemas acuáticos a través de medios naturales, ya que carecen de biodegradabilidad. ⁽⁴⁴⁾.

En cambio, son altamente contaminantes y atraviesan un ciclo ecológico global, donde las aguas naturales representan la vía principal. Actualmente, los metales pesados son cruciales como señales de la salud ecológica de cualquier corriente de agua, debido a su toxicidad y, sobre todo, a su capacidad de bioacumulación. ⁽⁴⁶⁾.

De igual manera, los metales con alta densidad tienden a unirse a compuestos minerales como carbonatos y sulfatos, así como en mayor medida a

materiales orgánicos. Esto ocurre a través de procesos de intercambio de iones, adsorción, quelación y creación de reacciones químicas. Como resultado, se concentran en el entorno, especialmente en los sedimentos de ríos, lagos y océanos. ⁽⁴⁷⁾.

Elevadas cantidades de metales pesados en los ríos que están vinculadas a sulfuros como As, Cd, Cu, Pb y Zn son resultado de actividades mineras y provocan un significativo efecto negativo en el entorno. Por otro lado, metales no sulfurosos como Cr, Ni y Hg pueden señalar una contaminación de origen humano de metales pesados, íntimamente relacionada con vertidos industriales. ⁽⁴⁹⁾.

2.2.6.2. Contaminación de sedimentos por metales pesados

Las acciones humanas generan distintos tipos de desechos que aumentan los niveles de metales pesados en los sedimentos de los ríos. Dependiendo de cómo se agrupan, los metales pueden ser solubles o no al experimentar cambios físico-químicos durante las estaciones (baja de agua, inundaciones, etc.). Durante el verano, la falta de oxígeno en las capas más profundas lleva a la reducción química de los óxidos que están en la fase sólida, resultando en una menor concentración de Fe y Mn en los sedimentos. La disminución de estos elementos puede llevar a la disolución de algunos metales que estaban adsorbidos en el sedimento, como Zn, Cr y Ni. ⁽⁵⁰⁾

Los sedimentos tienen la capacidad de funcionar como transportadores y posibles orígenes de polución, ya que los metales pesados no permanecen de manera indefinida y pueden ser liberados a la columna del agua por cambios en las condiciones ambientales tales como pH, potencial redox, oxígeno disuelto o la presencia de quelatos orgánicos ⁽⁵¹⁾. Por otra parte, numerosos estudios han demostrado el poder quelatante del EDTA, que disuelve metales de los sedimentos incorporándolos a la columna del agua ⁽⁵²⁾. Otra posibilidad es que la presencia de ciertos componentes de las formulaciones Los detergentes que incluyen tensioactivos, blanqueadores, estabilizadores y otros, colaboran en el movimiento de metales pesados. Por lo tanto, al analizar los metales pesados en los sedimentos, podemos identificar la polución que podría no ser evidente en el análisis del agua, además de ofrecer datos sobre áreas críticas dentro del sis-

tema hídrico. De la cantidad total del metal, solo algunas formas químicas son perjudiciales para los seres vivos, y estas comprenden iones libres y metales que se disuelven en grasas. Así, investigar la fracción biodisponible o movilizada de los metales adheridos a los sedimentos resulta ser más relevante que la cantidad total de metal en los ríos.

2.2.6.3. Metales pesados en los sólidos suspendidos

La clase y la cantidad de sólidos suspendidos en cuerpos de agua superficiales están determinadas por la geología, el relieve, la vegetación, el caudal, y la inclinación que puede afectar la erosión de los materiales a lo largo del cauce y la superficie que drena el río. Además, la descarga de aguas residuales con tratamientos inadecuados tiene un impacto considerable en la cantidad de sólidos suspendidos presentes. En términos generales, los metales pesados en los sólidos suspendidos muestran concentraciones más altas que en los sedimentos, probablemente porque los procesos de precipitación generan coloides que concentran metales pesados.⁽⁵⁷⁾

El material suspendido está compuesto por una amplia gama de compuestos que incluye minerales como arcillas, carbonatos, cuarzos, feldespatos y una considerable cantidad de materia orgánica⁽⁵⁸⁾. Los metales pesados suelen encontrarse vinculados a óxidos y hidróxidos de manganeso y hierro, así como a compuestos orgánicos, los cuales impactan notablemente los procesos de interacción entre las partículas sólidas y los metales en solución.⁽⁵⁹⁾

Rutas de ingreso y procedencia de los metales tóxicos en los ecosistemas acuáticos.^(id 48)

Los metales ingresan al ambiente acuático a través de tres métodos principales. **(figura 2.2).**

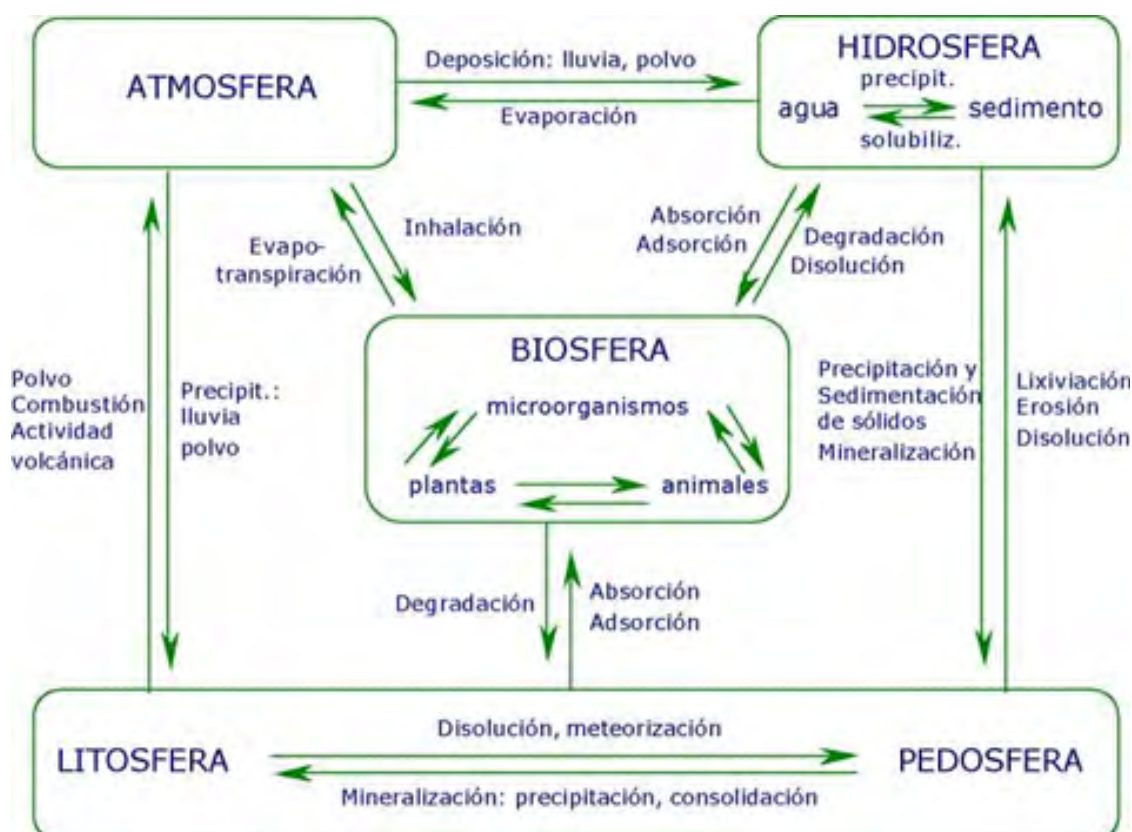


FIGURA 2.2: Ciclo biogeoquímico general de los metales pesados.

- La contaminación atmosférica surge a causa de la acumulación de partículas que se liberan al aire por actividades naturales o humanas, especialmente por la quema de combustibles fósiles y la fundición de metales.
- La ruta terrestre es resultado de la entrada de contaminantes a través de desechos, el escurrimiento de superficies de áreas afectadas (minas, uso de lodos como fertilizante, lixiviación de desechos sólidos, lluvias, entre otros) y otros factores ambientales.
- El ingreso directo de metales en el medio ambiente se debe a la descarga inmediata de aguas residuales tanto de industrias como de áreas urbanas a los ríos.

a) Origen natural

El ingreso directo de metales en el medio ambiente se debe a la descarga inmediata de aguas residuales tanto de industrias como de áreas urbanas a los ríos. ⁽⁶⁰⁾ La acción de los factores medioambientales sobre las rocas y los suelos derivados de ellas son los determinantes de las diferentes concentraciones basales (niveles de fondo) de metales pesados en los sistemas fluviales (aguas,

sedimentos y biota). En la **tabla 2.2** se recogen algunas concentraciones de metales pesados en rocas graníticas, esquistos, arcillas, areniscas y carbonatos. Es importante señalar las variaciones en las concentraciones que se observan entre los diferentes materiales, especialmente entre la arcilla y los carbonatos.

TABLA 2.2: Concentraciones de metales pesados en varios tipos de rocas(mg/g).

Elementos	Rocas graníticas	Esquistos	Arcilla	arenisca	Carbonato
Antimonio	0,20	1,50	1,00	0,20*	0,20
Arsénico	1,90	13,00	13,00	9,70	8,10*
Cadmio	0,13	0,30	0,42	0,02	0,035
Cobre	30,00	45,00	250,00	15,00	4,00
Cromo	22,00	90,00	90,00	35,00	11,00
Mercurio	0,08	0,40	0,02*	0,03	0,04
Níquel	15,00	68,00	225,00	2,00	20,00
Plomo	15,00	20,00	80,00	7,00	9,00
Zinc	60,00	95,00	165,00	16,00	20,00

Fuente: Turekian y Wedepohi, 1961; Forstner, 1981; * Adriano, 1986

Las variaciones en la estructura físico-química de los sedimentos, como la dimensión de las partículas, su dispersión y tipo mineral, influyen en las cantidades de metales pesados de origen natural. Una elevada cantidad de metales en los sedimentos puede, en algunos casos, ser consecuencia de su material geológico sin que haya experimentado una contaminación específica. ⁽⁶²⁾.

b) Origen doméstico

Las aguas de desecho de las urbes son las que llevan metales pesados provenientes del hogar. Los desechos domésticos transportan diversos metales presentes en los desechos humanos, en los sobrantes de comida, en las aguas de limpieza, entre otros. ⁽⁶²⁾.

c) Origen minero

En la zona de estudio hay concesiones mineras de minería de tipo metálico, no obstante, no existen explotaciones mineras que se sitúan en los alrededores de la cuenca del río Apacheta sin embargo tienen importantes concentraciones de metales pesados.

2.2.7. Calidad del agua y aspectos relacionados a su degradación

La calidad del agua es definida por el conocimiento de su composición, y de los efectos que pueden causar las diferentes sustancias que contiene; lo cual permite determinar posibilidades de su utilización (bebida o potable, baño, riego, o vertido). Estas sustancias que son indicadores del estado de la calidad del agua, son también llamados parámetros y pueden ser físicos, químicos y biológicos. La selección de los parámetros se realiza en dependencia del tipo de contaminantes que se sospecha puedan estar limitando su uso y cuya presencia o comportamiento se desea estudiar. Una vez disponibles los datos de estudio de la calidad del agua, se necesita una guía de referencia para discernir si aquellos parámetros, y en aquellas cantidades son o no contaminantes con respecto al uso que se le quiere dar al agua⁽⁶⁴⁾.

El agua pura químicamente (H_2O), no existe en la naturaleza⁽⁶⁵⁾. Las aguas de las fuentes naturales forman parte de un ciclo hidrológico continuo: El agua se evapora de las superficies de agua, de los sistemas acuáticos (océanos, lagos ríos...) y posteriormente se precipita sobre la superficie de agua o sobre el suelo, en forma de lluvia, nieve, o granizo; a medida que la lluvia cae, absorbe gases del aire, humos, vapores, polvo, esporas y bacterias que se encuentran en la atmósfera. Cuando llega a la tierra, forma corriente superficiales, o subterráneas, por el agua que se infiltra, y circula arrastrando consigo materiales litológicos (minerales) y probablemente elementos poluentes del terreno, hasta que regresa a los sistemas acuáticos ⁽⁶⁶⁾.

Los elementos poluentes del agua pueden ser microorganismos patógenos de las heces humanas, sustancias tóxicas de desechos industriales (e.g, provenientes de minas) y actividades agrícolas que implican el uso de fertilizantes y plaguicidas ^(id 66).

La sedimentación, la oxidación, la exposición a los rayos solares, y la acción biológica de microorganismos, que separan partículas y estabilizan la materia orgánica, son causas naturales que tienden a purificar las aguas contaminadas, pero el grado de auto-purificación, depende de numerosos factores: el tiempo, la temperatura y el carácter de la polución y aireación del agua ^(id 66).

2.2.8. La cuenca, la microcuenca y los factores que intervienen en el funcionamiento y equilibrio de los sistemas acuáticos

Una cuenca hidrográfica está constituida por un conjunto de subsistemas de aguas naturales que interaccionan entre sí; los ríos, lagos y las aguas subterráneas, son los subsistemas más importantes en cuanto al flujo del agua. Por lo que se refiere a la calidad del agua, estos subsistemas naturales tienen su propia dinámica, actuando como drenaje de su cuenca ^(id 58).

Una microcuenca es toda área que desarrolla su drenaje directamente hacia el curso principal de una subcuenta; es la expresión más pequeña de la red hidrológica continental, constituyendo las áreas donde se originan las quebradas, riachuelos individuales, que drenan de las laderas y pendientes altas del paisaje geomorfológico ⁽⁶⁷⁾.

En el funcionamiento de los sistemas acuáticos continentales, interaccionan variables: físicas químicas y biológicas. Entre las variables físicas se destacan la morfología, la geología, el clima y la hidrología. Las variables químicas consideran principalmente, los gases disueltos (oxígeno y anhídrido carbónico) y nutrientes principalmente nitratos y fosfatos; y las biológicas, consideran las comunidades vegetales y animales que se desarrollan interactuando con las variables físicas y químicas ⁽⁶⁸⁾.

La composición química del agua natural depende de: la cantidad de lluvia, el área de drenaje, la erosión, solubilización e intemperización de los suelos, evaporación, sedimentación y actividad microbiana del fondo. Por otro parte, la latitud y altura de los sistemas acuáticos, determina su funcionamiento lumínico y térmico ^(id 68).

Los cambios climáticos (época del año, y condiciones del tiempo) provocan la existencia de ciclos diarios, estacionales y a mayor plazo, de los componentes biológicos, quienes a su vez determinan estacionalidad en la composición química de las aguas ^(id 68).

El equilibrio global de los sistemas acuáticos, es alterado por la presencia de diferentes contaminantes. Unos contaminantes afectan totalmente el sistema natural como es el caso de un exceso de nutrientes; otros afectan a los procesos

redox, como son los residuos que requieren oxígeno; otros afectan a la cadena alimenticia, como es el caso de los metales que tienden a bioacumularse⁽⁶⁹⁾.

Debido a la presencia de CO_2 , en el agua, cuando esta se infiltra o pasa a través de formaciones de piedra caliza, y disuelve el carbonato cálcico (CaCO_3) cuyo equilibrio de reacción determina muchos de los parámetros de las aguas naturales como su pH, su capacidad reguladora (alcalinidad), dureza, entre otros^(id 69).

El agua, tiene la capacidad de disolver determinados minerales, lo cual le hace disponer de un conjunto de especies iónicas: cationes como calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K); y aniones como bicarbonatos; además de elementos metálicos traza, que son imprescindibles para el funcionamiento del ecosistema fluvial^(id 64).

La alcalinidad es un término referido a la capacidad de neutralización de la acidez (o capacidad de bufereo), lo cual es la capacidad de neutralización de ácidos inorgánicos fuertes. Esta propiedad en la mayoría de las aguas es impartida por la presencia de bicarbonatos y carbonatos y el sistema de equilibrio $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Cuando los efectos letales de la mayoría de los ácidos empiezan a aparecer, cerca de pH 4,5 y a pH más altos cerca de 9,5, es que el bufereo, puede ser de mayor importancia en el mantenimiento de la vida. La alcalinidad en aguas resulta de algunas especies disueltas, usualmente de aniones ácidos débiles que pueden aceptar y neutralizar protones⁽⁷⁰⁾.

La dureza es un parámetro frecuentemente usado para la evaluación de la calidad de agua de consumo. La dureza de un agua, es gobernada por el contenido de sales de calcio y de magnesio, mayormente combinado con bicarbonato y carbonato y con sulfatos, cloruros, y otros aniones de minerales ácidos^(id 70). La mayor o menor presencia de iones Ca^{+2} y Mg^{+2} confiere a las aguas dulces unas propiedades diferentes: aguas duras y blandas. Cuantitativamente, el índice de dureza de un agua se define como los mg/L de CaCO_3 equivalente, resultante de la suma de las concentraciones de iones Ca^{+2} y Mg^{+2} ^(id 69).

Se comienzan a considerar aguas relativamente duras aquellas con índice de dureza (ID) mayor de 75; duras, aquellas con un ID mayor de 150; y muy duras, las que sobrepasan los 300 mg/L de CaCO_3 ^(id 69). Las aguas duras

poseen propiedades indeseadas, dado que mezcladas con los jabones (detergentes en general) provocan la precipitación de agregados micelares que se adhieren a los objetos de lavar y a las lavadoras; y obstruyen las tuberías de los sistemas de agua caliente con la precipitación de carbonatos insolubles. Las aguas muy blandas pueden también causar problemas, ya que al tener menos iones básicos (OH^-), tienen un pH, lo bastante bajo para provocar la disolución de los iones Pb^{+2} y Cd^{+2} , de las tuberías que los contienen ^(id 69).

La cantidad de oxígeno condiciona el estado de oxidación reducción en los sedimentos. El incremento de la temperatura durante el verano en los ecosistemas templados, disminuye la cantidad de oxígeno hasta en un 50% siendo modificada por las reacciones de respiración y fotosíntesis ^(id 68).

“El cambio en el estado de oxidación de muchos iones metálicos y nutrientes como nitratos fosfatos y sulfatos, se define como potencial redox”. El agua natural con condiciones de pH neutro, temperatura de 25 °C y oxigenación, tiene un potencial redox de alrededor de + 500 mV. En estas condiciones, la mayor parte de los nutrientes y metales son termodinámicamente estables porque se encuentran en estado oxidado, entonces hay compuestos insolubles. A medida que disminuye la cantidad de oxígeno, el potencial redox también disminuye, y los compuestos, por pasar a un estado reducido se modifican, pudiendo provocar que algunos compuestos inorgánicos se transformen en compuestos orgánicos complejos, solubles y por consiguiente, también bio-disponibles. Las reacciones oxido - reducción, en la delgada zona de interfase sedimento -agua, se revierten cuando hay incorporación de oxígeno ^(id 68).

2.2.9. Metales pesados objeto del estudio

Los metales se introducen en los ciclos biogeoquímicos por procesos naturales tales como erupciones volcánicas, y degradación de rocas y minerales. Estos se encuentran en aguas naturales en concentraciones muy bajas, del orden de los microgramos por litro ($\mu\text{g/L}$), lo que se denomina al nivel de trazas. Sin embargo, los aumentos de la concentración de diferentes metales, por diversas actividades antropogénicas, pueden provocar importantes efectos tóxicos tanto para el ecosistema acuático como para la especie humana ^(id 64).

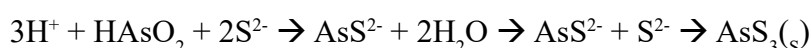
En los sistemas acuáticos, los metales tóxicos se incorporan mediante: precipitación o deposición desde la atmosfera, descarga de aguas residuales industriales, agrícolas y domésticas, filtración de minas y rellenos, lavado del suelo, lixiviación, y percolación profunda ^(id 69). La textura y la estructura del suelo juegan un papel importante en el comportamiento de los metales. Las arcillas tienden a adsorber a los metales pesados, los cuales son retenidos por las cargas negativas en las posiciones de intercambio de iones. Las arenas, por el contrario, carecen de capacidad de fijación para los metales pesados, y estos pueden pasar entonces para el subsuelo o a los acuíferos ⁽⁷¹⁾.

“La toxicidad de los metales en el medio acuático depende de la forma fisicoquímica en que se encuentren: iones simples o complejos, óxidos o hidróxidos, complejos organometálicos hidro o liposolubles, adsorbatos sobre diferentes tipos de partículas adsorbentes, es decir, de la especiación del elemento, ya que las interacciones con los componentes celulares se establecen con una especie química particular del elemento” ^(id 69).

2.2.9.1. Arsénico

(El arsénico es un elemento que forma parte de minerales metálicos y de sulfuros de metales como el cobre, cobalto, plomo y zinc, entre otros. Muchos de los compuestos que contienen arsénico se disuelven en agua, sobre todo en sus formas de As+3 y As+5, así como en compuestos orgánicos ^{id (60)}).

En la superficie del agua, es común que ocurra la oxidación del arsenito a arseniato: $2\text{H}_2\text{O} + \text{HAsO}_2 \rightarrow \text{HAsO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^-$. En contraste, en las áreas donde se da la reducción, se lleva a cabo el proceso opuesto. Normalmente, el As se elimina de forma natural del agua por medio de su adsorción en óxidos de hierro y aluminio, así como en partículas de arcilla; además, puede formar un precipitado que es arseniato de hierro, FeAsO_4 . En condiciones anóxicas y en la presencia de iones S^{2-} , el arsenito puede convertirse en sulfuro de arsenico (III), que se deposita en los sedimentos. ⁽⁷²⁾



Este compuesto químico en su mayor parte se origina de la industria química, la minería, la agricultura (insecticidas que contienen arsénico), productos farmacéuticos, de la transformación de metales no ferrosos y de la quema de carbón mineral. La cantidad de arsénico presente en la corteza terrestre se estima en alrededor de 5,0 g/g. Los minerales que presentan las mayores concentraciones son los arseniuros de cobre, plomo, plata y oro, así como los sulfuros de arsénico, siendo el trióxido de arsénico el compuesto más comúnmente empleado como subproducto en la fundición de minerales de Cu y Pb ⁽⁷⁴⁾. Por otro lado, el arsenato de calcio y de plomo se utilizan en la agricultura como pesticidas, herbicidas y venenos ^(id 60).

Las concentraciones de arsénico en distintos materiales del medio ambiente se recogen en la tabla 2.3.

TABLA 2.3: Concentración de arsénico en varias matrices medioambientales (mg/g)

Material	Concentración media	Rango
Rocas ígneas	1,50	0,20 - 13,80
Calizas	2,60	0,10 - 20,10
Areniscas	4,10	0,60 - 120,00
Esquistos	14,50	0,30 - 500,00
Petróleo	0,18	<0,003 - 1,11
Carbón	15,00	0,30 - 100,00
Lodos de depuradoras	14,30	3,00 - 30,00
Suelos	7,20	0,10 - 55,00
Sedimentos marinos	33,70	<0.40 - 455,00

Fuente ^(id 59).

Los elementos que pueden influir en la movilidad y en la disponibilidad del arsénico incluyen el pH del sedimento además de la concentración de iones de calcio. Asimismo, los óxidos de hierro y aluminio junto con el fosfato tienen un efecto; el arsénico se adhiere fuertemente a los óxidos hidratados de hierro, aunque su atracción es menor hacia los óxidos en comparación con los fosfatos. Otro aspecto que puede afectar la disolución del arsénico es el potencial redox, ya que la forma reducida As (III) es considerablemente más soluble, siendo entre cuatro y diez veces más que la forma oxidada (V). ^(id 60).

Efectos del arsénico sobre la salud. ⁽⁷⁵⁾

Los humanos pueden ser expuestos al arsénico a través de la comida, agua y aire.

La ingestión de pequeñas cantidades de arsénico puede causar efectos crónicos por su acumulación en el organismo, como:

- Irritación de estómago e intestino.
- Disminución de la producción de glóbulos rojos y blanco.
- Irritación de los pulmones.
- Lesiones en la piel.
- Diabetes.
- Posibilidades de Cáncer (Piel, Pulmón, Riñones e Hígado).
- En exposiciones muy altas:
- Infertilidad y Aborto en mujeres
- Daño del Cerebro
- Problemas Cardiacos.

2.2.9.2. Zinc

El zinc es un metal que se encuentra en grandes cantidades en la corteza terrestre, con una media de 70 mg/g. En las aguas superficiales, este elemento aparece en formas inorgánicas, iónicas o coloidales, siendo las formas más comunes Zn^{2+} , $Zn(OH)^+$ y $ZnCl_3^-$. Sus compuestos que son poco solubles, como los hidróxidos y carbonatos, tienden a unirse de manera fuerte a los sedimentos y lodos en el fondo de los cuerpos de agua ⁽⁷⁶⁾. Este elemento puede alcanzar concentraciones altas en el entorno acuático debido a los desechos de seres humanos y animales ⁽⁷⁷⁾. Estudios indican que un adulto promedio excreta entre 7 y 20 mg/L de zinc diariamente ⁽⁷⁸⁾.

La especie química que se presenta en el entorno es Zn (II), y también se puede encontrar Zn (0) y Zn (I)^(id60). Las cantidades de zinc en diversos elementos del ambiente están detalladas en la tabla 2. 4.

TABLA 2.4. Concentración de zinc en varias matrices medioambientales (mg/g)

Material	Concentración media	Rango
Rocas ígneas	65,0	5,0 – 1070,0
Calizas	20,0	<1,0 - 180,0
Areniscas	30,0	15,0 - 170,0
Esquistos	97,0	15,0 - 1500,0
Fertilizantes fosfatados	305,0	40,0 - 600,0
Desechos orgánicos	390,0	8,0 - 1600,0
Lodos de depuradoras	2250,0	1000,0 - 10000,0
Suelos	90,0	1,0 - 900,0
Agua dulce (g/l)	15,0	<1,0 - 100,0
Agua marina(g/l)	5,0	<1.0 - 48,0

Fuente ⁽⁵⁴⁾.

El zinc en su forma metálica y/o sus compuestos se emplea principalmente en estos procedimientos industriales: recubrimientos que protegen diversos metales de la corrosión y en galvanización (por ejemplo, en tubos que se utilizan frecuentemente en sistemas de suministro de agua, donde la corrosión se ve incrementada debido a la disolución del Zn, a las dosis de este metal presentes en aguas residuales y de consumo), aleaciones como el latón y el bronce, papel, cristales, porcelanas, cerámica y esmaltes, fabricación y vulcanización del caucho, industria de textiles (seda artificial, tintes, mordientes, impermeabilizantes), pinturas, cerámica, etc.), laboratorios químicos y farmacéuticos (fabricación de insulinas al Zn), preservantes de la madera, entre otros. Tienen usos en el campo agrícola como pesticida (ferrosulfonato de zinc), como parte de los superfosfatos y como veneno para roedores (Zn_3P_2)(79). Es fundamental destacar que el zinc es un mineral necesario para los humanos, no resultando tóxico en altas concentraciones. Además, dado que a menudo se encuentra junto al Cd (un elemento bastante tóxico), su aumento en un cuerpo de agua podría indicar una posible contaminación por este metal perjudicial.

El Hierro

Elemento químico con símbolo Fe, número atómico 26 y masa atómica 55,847. El hierro ocupa el cuarto lugar en abundancia en la corteza terrestre,

representando un 5%. Este metal es maleable, resistente, de tono gris plateado y posee propiedades magnéticas. En la naturaleza, hay cuatro isótopos estables con masas de 54, 56, 57 y 58. Los dos minerales más importantes son la hematita, Fe_2O_3 , y la limonita, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. La pirita, FeS_2 , y la cromita, $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$, son extraídas como minerales de azufre y cromo, respectivamente. El hierro se encuentra en numerosos otros minerales y también está presente en el agua subterránea y en la hemoglobina roja de la sangre ⁽⁸⁰⁾.

Características principales

Es un metal que se puede moldear, de tonalidad gris plateado y posee características magnéticas; es ferromagnético en condiciones de temperatura normal y presión ambiental. Su dureza y densidad son muy elevadas ^(id 76).

Se halla en el entorno como componente de varios minerales, incluyendo varios óxidos, y es poco frecuente encontrarlo en su forma pura. Para obtener hierro en su forma pura, se lleva a cabo la reducción de los óxidos utilizando carbono, y posteriormente se realiza un proceso de purificación para eliminar las impurezas que contiene ⁽⁸¹⁾.

Es el elemento más pesado que se produce exotérmicamente por fusión, y el más ligero que se produce a través de una fisión, debido a que su núcleo tiene la más alta energía de enlace por nucleón (energía necesaria para separar del núcleo un neutrón o un protón); por lo tanto, el núcleo más estable es el del hierro-56 (con 30 neutrones) ^(id 81).

Este metal es un buen agente reductor y, dependiendo de las condiciones, puede oxidarse hasta el estado 2^+ , 3^+ o 6^+ . En la mayor parte de los compuestos de hierro está presente el ion ferroso, hierro (II), o el ion férrico, hierro (III), como una unidad distinta. Generalmente, los compuestos que contienen hierro tienen un rango de color desde un amarillo pálido hasta un marrón verdoso intenso; el ion hidratado $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$, que se halla en varios compuestos y en disoluciones, muestra un tono verde claro. Este ion no tiende a formar complejos de coordinación a menos que se trate de reactivos fuertes, como el ion cianuro, las poliaminas y las porfirinas. El ion férrico, debido a su elevada carga (3^+) y su reducido tamaño, tiene un notable impulso por atraer aniones. El ion hidra-

tado $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$, presente en soluciones, se une a OH^- , F^- , Cl^- , CN^- , SCN^- , N_3^- , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ y otros aniones para generar complejos de coordinación ⁽⁸²⁾.

Un punto fascinante sobre la química del hierro es la disposición de los compuestos que contienen enlaces de carbono. El cementita, Fe_3C , constituye una parte del acero. Los compuestos que incluyen cianuro, ya sea del ion ferroso o del férrico, son bastante sólidos y no exhiben una intensa magnetización, a diferencia de la mayoría de los complejos de coordinación del hierro. Los compuestos con cianuro generan sales de color rojo ^(id.82).



FIGURA 2.3: Hierro puro^(id.76).

A. Fuentes del Hierro

El núcleo de la Tierra está formado principalmente por hierro y níquel en forma metálica, generando al moverse un campo magnético. Ha sido históricamente muy importante, y un período de la historia recibe el nombre de Edad de Hierro. En cosmología, es un metal muy especial, pues es el metal más pesado que puede producir la fusión en el núcleo de estrellas masivas; los elementos más pesados que el hierro solo pueden crearse en supernovas ⁽⁸³⁾.

El hierro se encuentra formando parte de numerosos minerales, entre los que destacan la hematita (Fe_2O_3), la magnetita (Fe_3O_4), la limonita ($\text{FeO}(\text{OH})$), la siderita (FeCO_3), la piritita (FeS_2), la ilmenita (FeTiO_3), etc. ⁽⁸⁴⁾.

Se puede obtener hierro a partir de los óxidos con más o menos impurezas. El mineral extraído de una mina de hierro puede ser de carga directa a los altos hornos o puede requerir de un proceso de peletización para ser utilizado en la producción del acero, esto según sea su calidad ^(id 84).

B. Usos industriales

El principal uso del hierro es en la producción de aceros utilizados en estructuras; además, se fabrican considerables volúmenes de hierro fundido y de hierro moldeado. Otros empleos del hierro y sus derivados incluyen la creación de imanes, colorantes (tintas, papeles para heliografía, pigmentos para pulido) y materiales abrasivos (colcótar) ^(id.81).

El metal más comúnmente empleado es el hierro, representando el 95% del peso en la producción global de metales. El hierro en su forma pura no suele tener muchas aplicaciones, salvo en casos específicos donde se aproveche su capacidad magnética. Su principal uso radica en la creación de productos de acero, utilizando éste como elemento matriz para alojar otros elementos aleantes tanto metálicos como no metálicos, que confieren distintas propiedades al material. Las aleaciones férreas presentan una gran variedad de propiedades mecánicas dependiendo de su composición o el tratamiento que se haya llevado a cabo ^(id.84).

C. Efectos del hierro sobre la salud

El hierro se puede hallar en carne, granos enteros, papas y verduras. El organismo humano capta el hierro de fuentes animales más rápidamente que el de las fuentes vegetales. Este mineral es crucial para la hemoglobina, el pigmento rojo de la sangre que lleva oxígeno por nuestro organismo ^(id.80).

Puede causar conjuntivitis, coriorretinitis y retinitis si entra en contacto y permanece en los tejidos. La exposición prolongada a altas concentraciones de vapores o polvos de óxido de hierro puede llevar a la aparición de una neumoconiosis benigna conocida como siderosis, la cual es detectable a través de radiografías. No se ha vinculado daño físico en la función pulmonar con la siderosis. La inhalación de altas concentraciones de óxido de hierro podría aumentar la probabilidad de desarrollar cáncer de pulmón en trabajadores que están expuestos a sustancias carcinogénicas. LD50 (oral, en ratas) = 30 mg/kg (LD50: Dosis Letal 50. La cantidad de una sustancia que causa la muerte del 50% de una población de animales debido a la exposición a través de cualquier vía que no sea la inhalación. Usualmente se presenta en miligramos o gramos por kilogramo de peso del animal). ^(id.80).

D. Efectos ambientales del hierro

El arsenito de hierro (III) con cinco moléculas de agua puede resultar perjudicial para el entorno; es crucial tener cuidado con la vegetación, la atmósfera y los cuerpos de agua. Es fundamental evitar que este compuesto se libere al ambiente debido a su permanencia en él. ^(id.82).

2.2.9.3. El manganeso

Elemento químico, con el símbolo Mn, que posee un número atómico de 25 y una masa atómica de 54,938. Se clasifica como uno de los metales de transición del primer período extenso de la tabla periódica; se localiza entre el cromo y el hierro. Comparte características con ambos metales. A pesar de ser poco reconocido o utilizado en su estado puro, es de suma relevancia en la industria del acero ⁽⁸⁵⁾.



FIGURA 2.4: Manganeso puro ⁽⁸⁶⁾.

A. Características principales

El manganeso es un metal de transición blanco grisáceo, parecido al hierro. Es un metal duro y muy frágil, refractario y fácilmente oxidable. El manganeso metal puede ser ferromagnético, pero sólo después de sufrir un tratamiento especial ^(id.86).

Sus estados de oxidación más comunes son 2^+ , 3^+ , 4^+ , 6^+ y 7^+ , aunque se han encontrado compuestos con todos los números de oxidación desde 1^+ a 7^+ ; los compuestos en los que el manganeso presenta estado de oxidación 7^+ son agentes oxidantes muy enérgicos. Dentro de los sistemas biológicos, el catión

Mn^{2+} compite frecuentemente con el Mg^{2+} . Se emplea sobre todo aleado con hierro en aceros y en otras aleaciones ^(id.86).

El manganeso se corrige fácilmente en la atmósfera, generando una cobertura marrón de óxido. Esto ocurre igualmente a temperaturas altas. En este sentido, su reacción es más similar a la de su vecino con un número atómico superior en la tabla periódica (el hierro), que a la del que tiene un número atómico inferior, el cromo ^(id.85).

El manganeso es un elemento metálico que tiene alta reactividad. Aunque el estado sólido del metal reacciona de manera pausada, su forma en polvo interactúa rápidamente y en ocasiones de forma muy intensa. Cuando se expone al calor junto con aire o oxígeno, el manganeso en polvo genera un óxido de color rojo, Mn_3O_4 . Al entrar en contacto con agua a temperatura normal, se producen hidrógeno y el hidróxido de manganeso (II), $\text{Mn}(\text{OH})_2$. En la presencia de ácidos, y dado que el manganeso es un metal que reacciona fácilmente, se libera hidrógeno y se forma una sal de manganeso (II). Este metal también reacciona a altas temperaturas con halógenos, azufre, nitrógeno, carbono, silicio, fósforo y boro ^(id.85).

En sus diversos compuestos, muestra niveles de oxidación que van desde 1+ a 7+. Los niveles de oxidación predominantes son 2+, 4+ y 7+. Todos los compuestos, a excepción de aquellos que incluyen Mn II, son altamente coloridos. Por ejemplo, el KMnO_4 , conocido como permanganato de potasio, genera soluciones acuosas que tienen un tono rojo púrpura; mientras que el K_2MnO_4 , que es manganato de potasio, produce soluciones de un verde brillante ⁽⁸⁷⁾.

B. Fuentes del manganeso

Se encuentra como elemento libre en la naturaleza, a menudo en combinación con el hierro y en muchos minerales. Como elemento libre, el manganeso es un metal con aleación de metales industriales con importantes usos, sobre todo en los aceros inoxidables ^(id.86).

C. Usos industriales

Los compuestos de manganeso tienen muchas aplicaciones en la industria. El dióxido de manganeso se usa como un agente desecante o catalizador en pinturas y barnices y como decolorante en la fabricación de vidrio y en

pilas secas. El permanganato de potasio se emplea como blanqueador para decoloración de aceites y como un agente oxidante en química analítica y preparativa ^(id 86).

D. Impactos del manganeso en la salud

El manganeso es un elemento bastante habitual que se encuentra en diversos lugares de la tierra. Este metal es uno de los tres minerales traza tóxicos necesarios, implicando que es crucial para la vida humana, aunque puede resultar perjudicial en altos niveles en el organismo. Si las personas no obtienen la cantidad diaria sugerida, su bienestar se verá afectado. Sin embargo, si el consumo es excesivo, surgirán complicaciones de salud.

La ingestión de manganeso por las personas ocurre principalmente a través de la alimentación, incluyendo espinacas, té y hierbas. Los alimentos con las concentraciones más elevadas son los granos, el arroz, la soja, los huevos, los frutos secos, el aceite de oliva, las judías verdes y las ostras. Una vez que el manganeso ha sido absorbido en el organismo, se transportará por la sangre hacia el hígado, los riñones, el páncreas y las glándulas endocrina

Los impactos del manganeso se manifiestan principalmente en las vías respiratorias y el sistema nervioso. Los signos de toxicidad por manganeso incluyen ilusiones, pérdida de memoria y lesiones nerviosas. Este metal puede desencadenar enfermedad de Parkinson, embolia pulmonar y bronquitis.

Cuando los hombres son expuestos al manganeso durante un tiempo prolongado, el daño puede volverse significativo.

Un trastorno provocado por el manganeso presenta los siguientes signos: psicosis, tristeza, fatiga muscular, cefalea y dificultades para dormir.

Dado que el manganeso es un componente vital para el bienestar de las personas, su deficiencia puede tener repercusiones en la salud. Los efectos son los próximos

- Engordar.
- Intolerancia a la glucosa.
- Coágulos de sangre.
- Problemas de la piel.

- Bajos niveles de colesterol.
- Desorden del esqueleto.
- Anomalías congénitas
- Alteraciones en el tono del cabello
- Manifestaciones neurológicas

E. Efectos ambientales del manganeso ⁽⁸⁹⁾

Los compuestos de manganeso se encuentran de manera natural en el entorno en estado sólido en la tierra y en diminutas partículas en el agua. Las pequeñas partículas de manganeso en la atmósfera están contenidas en el polvo. Generalmente, estas se asientan en el suelo en un corto periodo de tiempo.

Las personas incrementan los niveles de Manganeso en la atmósfera por medio de procesos industriales y mediante la combustión de combustibles fósiles. El Manganeso proveniente de actividades humanas puede también contaminar el agua superficial, los acuíferos y las aguas residuales. Al usar Manganeso como pesticida, este metal se incorporará al terreno.

Para los seres vivos, el manganeso es un elemento crucial en aproximadamente 36 enzimas que se utilizan en el procesamiento de carbohidratos, proteínas y lípidos.

En los seres vivos que ingieren cantidades mínimas de manganeso, se ve afectado el desarrollo normal, la creación de huesos y el proceso reproductivo.

Para ciertos seres vivos, la cantidad mortal es bastante reducida, lo que indica que su probabilidad de sobrevivir se ve afectada incluso por pequeñas cantidades de manganeso que superan la cantidad necesaria. El manganeso puede provocar alteraciones en los pulmones, el hígado y el sistema circulatorio, disminuir la presión arterial, afectar el desarrollo fetal en animales y ocasionar lesiones cerebrales.

Cuando el manganeso es absorbido por la piel, puede provocar temblores y pérdida de coordinación. Por último, las investigaciones de laboratorio en animales han indicado que diferentes tipos de intoxicación por manganeso podrían incluso resultar en la formación de tumores en los animales.

En plantas los iones del Manganeso son transportados hacia las hojas después de ser tomados en el suelo. Cuando muy poco manganeso puede ser

absorbido desde el suelo esto causa perturbaciones en los mecanismos de las plantas. Por ejemplo, perturbaciones en la división del agua en hidrógeno y oxígeno, en lo cual el

El manganeso desempeña una función significativa.

La falta o exceso de manganeso puede provocar problemas en las plantas. Cuando el pH en la tierra es reducido, las carencias de manganeso son más frecuentes

2.2.9.4. El aluminio ⁽⁹⁰⁾

El aluminio es el elemento metálico más abundante en la Tierra y en la Luna, pero nunca se encuentra en forma libre en la naturaleza. Se halla ampliamente distribuido en las plantas y en casi todas las rocas, sobre todo en las ígneas, que contienen aluminio en forma de minerales de alúmino silicato. Cuando estos minerales se disuelven, según las condiciones químicas, es posible precipitar el aluminio en forma de arcillas minerales, hidróxidos de aluminio o ambos. En esas condiciones se forman las bauxitas que sirven de materia prima fundamental en la producción de aluminio.

A. Efectos del aluminio sobre la salud.

El aluminio es uno de los metales más ampliamente usados y también uno de los más frecuentemente encontrados en los compuestos de la corteza terrestre. Debido a este hecho, el aluminio es comúnmente conocido como un compuesto inocente. Pero todavía, cuando uno es expuesto a altas concentraciones, este puede causar problemas de salud. La forma soluble en agua del aluminio causa efectos perjudiciales, estas partículas son llamadas iones. Son usualmente encontradas en soluciones de aluminio combinadas con otros iones, por ejemplo, cloruro de Aluminio.

La toma de aluminio puede tener lugar a través de la comida, respirarlo y por contacto en la piel. La toma de concentraciones significantes de aluminio puede causar un efecto serio en la salud como:

- Daño al sistema nervioso central
- Demencia
- Pérdida de memoria

- Apatía
- Temblores severos

B. Efectos ambientales del aluminio

Los efectos del Aluminio, mayormente debido a los problemas de acidificación. El Aluminio puede acumularse en las plantas y causar problemas de salud a animales que consumen esas plantas.

Hay fuertes indicadores de que el aluminio puede dañar las raíces de los árboles cuando éstos están localizados en las aguas subterráneas.

2.2.10. Características físico-naturales del área de estudio

2.2.10.1. Río Apacheta

Niveles extremadamente peligrosos de Manganese en el suelo pueden generar inflamación en la membrana celular, quemaduras en el follaje y manchas oscuras en las hojas. Las carencias también pueden provocar estos síntomas, y entre las concentraciones perjudiciales y aquellas que generan carencias, se puede identificar un rango limitado donde el desarrollo de la planta es ideal.

2.2.9.5. El aluminio.

El aluminio representa el metal más prevalente en nuestro planeta y en la Luna, aunque no se presenta de manera libre en el entorno natural. Se distribuye de forma extensa en vegetales y en casi toda clase de rocas, especialmente en las ígneas, que contienen aluminio en forma de minerales de silicato de alúmina. Cuando estos minerales sufren disolución, dependiendo de las condiciones químicas, se puede obtener el aluminio ya sea como arcillas minerales, hidróxidos de aluminio, o una combinación de ambos. En tales circunstancias, se generan las bauxitas, que son materias primas esenciales para la fabricación de aluminio.

A) efectos del aluminio sobre la salud.

El aluminio es uno de los metales más utilizados y también uno de los que se hallan con mayor frecuencia en los compuestos de la corteza terrestre.

Por esta razón, se le considera a menudo un compuesto benigno. Sin embargo, al estar expuesto a niveles altos, puede provocar problemas de salud. La forma de aluminio que se disuelve en agua tiene efectos dañinos, y estas pequeñas partículas se conocen como iones. Generalmente se encuentran en soluciones de aluminio que se combinan con otros iones, como el cloruro de aluminio.

La ingesta de aluminio puede ocurrir mediante alimentos, inhalación y contacto con la piel. Consumir niveles importantes de aluminio puede provocar un impacto grave en la salud, tales como:

- Daño al sistema nervioso central
- Demencia
- Pérdida de memoria
- Apatía
- Temblores severos

B. Efectos ambientales del aluminio

Las consecuencias del Aluminio, principalmente ocasionadas por los inconvenientes de la acidificación. El Aluminio puede concentrarse en la vegetación y generar complicaciones de salud en los seres vivos que ingieren esa vegetación.

Existen evidencias claras de que el aluminio podría perjudicar las raíces de los árboles que se encuentran en las aguas subterráneas.

2.2.10. Características físico-naturales del área de estudio

2.2.10.1. Río Apacheta

Río Apacheta es una corriente Hidrográfica que está ubicada en el departamento de Ayacucho. Se encuentra a una altitud de 3488 metros sobre el nivel del mar. Sus coordenadas son 13°15'55" S y 74°20'24" W en formato y su posición UTM es WL73⁽⁹¹⁾.

2.2.10.2. Geología

La subcuenca del río Apacheta se encuentra en el mapa geológico del área de Huachocolpa, creado por el Instituto Nacional de Geología, Minería y Metalurgia.

A. Formaciones de la cuenca del Río Apacheta

Neógeno Mioceno: Formación Apacheta (Nm-ap)

Esta formación se ha descrito a lo largo del río Apacheta y quebrada Apacheta de cuál deriva su nombre. Se encuentra formando cadenas de centros volcánicos orientadas en una franja de NO-SE, cubriendo así una gran parte del cuadrángulo⁽⁹²⁾.

Los volcánicos se encuentran en posición casi normal cubriendo el bloque mesozoico plegado y fallado al Este del sistema de fallas Chonta^(id 92).

Frecuentemente se puede observar etapas de un volcanismo explosivo inicial, resultando en la erupción de flujos piroclásticos, ignimbritas y a veces con intercalaciones de lahares de gran espesor^(id. 92).

Esta fase inicial ha sido de amplia distribución y fue diferenciado en el mapa geológico como miembro inferior de la Formación Apacheta^(id 92).

Siguen las erupciones de un régimen más efusivo con múltiples derrames de lavas en alternancia con piroclastos estratificados constituyendo numerosos estratovolcanes. Las secuencias lávicas-bioclásticas tienen grosores de varios cientos de metros y presentan buzamientos que varían de 15 a 30 grados alrededor de los centros eruptivos^(id 92).

La erosión ha dejado solamente los restos de cuellos volcánicos y los domos morfológicos de los antiguos centros subvolcánicos dentro de extensas zonas de alteración hidrotermal posterior, causa de la mineralización del distrito minero Huachocolpa y otros^(id 92).

Finalmente se puede observar el emplazamiento de numerosos diques y stocks jóvenes a lo largo de estructuras tectónicas, cortando la secuencia volcánica de la Formación Apacheta y que no están afectadas por la alteración hidrotermal. Estos últimos eventos están datados coincidentemente en 4 millones de años. aproximadamente (Noble et al. 1972, McKee et al. 1975), testificando un

nuevo pulso de ascenso magmático, lo cual se puede vincular probablemente con las grandes erupciones coetáneas del centro volcánico Nevado Portuguesa al Este del cuadrángulo (Formación portuguesa). Con la datación de estos eventos tardíos se puede limitar el proceso de la alteración hidrotermal y de la mineralización acompañante dentro de un rango de 8-4 millones de años. aproximadamente ^(id 89).

Los volcánicos de la Formación Apacheta sobreyacen discordantemente a las calizas Pucará y al Grupo Mitú (laguna Azulcocha). Al este de Pillpichaca sobreyacen a las Capas Rojas de la Formación Casapalca ^(id 92).

Neógeno Mioceno: Formación Chahuarma 2 (Nm-cha2)

El miembro superior (Chahuarma 2) se aprecia mejor en la localidad Chahuarma, está constituido en su base por lavas columnares andesíticas basálticas con cavidades algo milimétricas en menor proporción y alargados casi próximos a la horizontal, las lavas son lenticulares porque lateralmente se hacen más delgadas alejándose del centro eruptivo. Las facies laterales constituyen extensas mesetas volcánicas, protegiendo las tobas inferiores de los procesos de meteorización ^(id 89).

La edad de la formación Chahuarma se considera del Mioceno Superior datado por D. Noble en unas tobas del miembro inferior con 7 0.3 millones de años.

Neógeno Plioceno: Formación Portuguesa (Np-po) ^(id 92)

Con este nombre se describe a las rocas volcánicas que forman la secuencia del Nevado Portuguesa, del cual deriva su nombre. La forma elongada del centro eruptivo es aparentemente controlado por lineamientos tectónicos con rumbo 45° NE (antiandino). Los rasgos estructurales indican una caldera elongada de 7 km diámetro aprox. (“Caldera Cerro Sagollan”, Noble y McKee 1982), rellena por las tobas de la última erupción paroxismal que ha generado las tobas Atunsulla.

Se caracteriza por su litología constituida por derrames de lavas y brechas andesíticas y dacíticas en las unidades inferiores y domos riodacíticos con espectaculares depositaciones de tobas riodacíticas (ignimbritas) en las unidades superiores, de coloración variable gris verdosa, gris blanquecino a gris violácea. Sin investigación más detallada es difícil de diferenciar en el mapa

los miembros inferiores (“Paleo - Portuguesa”) de las unidades andesíticas de la Formación Apacheta.

Posteriormente los derrames del “Paleo - Portuguesa”. Tal vez son coetáneos con las últimas unidades de la Formación Apacheta, se puede diferenciar principalmente dos ciclos explosivos (PO 1 y PO 3 en el mapa), resultando en flujos de brechas y tobas lapillíticas (ignimbritas) Los primeros constituidos por bloques muy gruesos (hasta un metro de diámetro) con relativamente poca matriz (“clast supported”), mientras las ignimbritas Atunsulla tienen textura tobácea con clastos de pómez y líticos.

Las tobas riolíticas son abundantes entre el puente de Chuirá y Niño-bamba, se encuentra en posición casi horizontal con buzamiento débil hacia el sur, el que se hace más conspicuo en el C° Tallacuche, dicho buzamiento es de 15° hacia el noroeste. En los alrededores de las cumbres los depósitos piroclásticos probablemente han sido erosionados por la acción glaciofluvial, encontrándose en altura. de 4500 msnm aprox.

Las ignimbritas Atunsulla (PO 3) de la última erupción paroxismal cubren gran parte del lado oriental del cuadrángulo, continuando sin embargo en su mayor parte en la hoja de Ayacucho, llegando a espesores de 400 m aproximadamente Según Noble & McKee (1982) el volumen mínimo de estas depositaciones es alrededor de 50 km³.

Pleistoceno: Terrazas aluviales (Qpl-te)^(id 92)

Los depósitos aluviales están constituidos por los materiales arrastrados por los ríos y depositados a lo largo de su trayecto, formando los lechos, terrazas y llanuras de inundación.

En el área de estudio se encuentran cubriendo gran parte de los afloramientos rocosos, con espesores variables, concentrándose mayormente en los flancos y valles glaciares los que algunas veces alcanzan varios metros de espesor. Por erosión forman pequeñas terrazas, se caracterizan por la uniformidad litológica, siendo en la mayoría de las veces limos y arcillas.

Los depósitos aluviales recientes que se encuentran generalmente en los cauces de los ríos principales, están constituidos principalmente por conglomerados y arenas provenientes de las rocas aflorantes. Los suelos son por lo tanto arenosos y de composición feldespática y cuarzosa.

En general el material que constituye estos depósitos es un conglomerado constituido por cantos, cascajos, arenas y arcillas provenientes de las rocas aflorantes. Los suelos son por lo tanto arenosos y de composición feldespática cuarzosa.

Pleistoceno depósitos morrénicos (Qpl-mo)^(id 92)

Restos de morrenas laterales y frontales han sido observados en algunas localidades de las áreas glaciadas, como el Norte de la Hda. Huari, en la cadena de cerros de Azapara y Despensa y también en la sierra de Huarmicocha y Huishccana.

Las acumulaciones morrénicas consisten de una mezcla heterogénea de cantos y gravas angulosas con arenas y arcillas derivadas de las distintas formaciones. Generalmente se encuentran arriba de los 3800 m.s.n.m.

La acción de las lluvias y aguas de escorrentía han desmantelado la mayor parte de estas morrenas, transportándolas a niveles inferiores, donde han sido depositados en forma de mantos groseramente estratificadas constituyendo acumulaciones fluvioglaciares.

B. ROCAS ÍGNEAS ^(Id 92)

Dentro del área existen cuerpos intrusivos tanto plutónicos como subvolcánicos, los primeros más escasos y de ocurrencia reducida con poca extensión.

a) Rocas Intrusivas (Plutónicas)

Son las causantes de las alteraciones metamórficas en las rocas sedimentarias y volcánicas. En algunos cuerpos se nota metamorfismo de contacto (en el grupo Pucará), dando lugar a la presencia de Skarn. En los volcánicos de la Formación Apacheta se presentan propilitización, piritización y silicificación.

En estos cuerpos existen frecuente asociación de mineralización polimetálica.

b) Área Atunsulla

Aflora en el área y con geometría circular aflora un stock intrusivo, particularmente presenta textura gruesa aflorante en forma homogénea en toda el área, con textura granular la roca se presenta de color gris blanquecina hasta amarillenta.

En esta litología se encuentran la mayor parte de vetas del distrito minero de Atunsulla, no descartando genéticamente la mineralización asociada a esta.

2.2.10.3 Geomorfología ^(id 92)

Geomorfológicamente el efecto de las glaciaciones es dominante en la zona, presentando el característico modelado de valles en forma de “U”.

El relieve geomorfológico del área está conformado por quebradas profundas, con pendientes considerables con variaciones entre 25° y 40°.

Se nota también la influencia estructural de los planos de buzamiento en las pendientes de las laderas, la zona presenta un sistema de bloques con fallamiento normal, es así que se puede encontrar pisos escalonados en las estructuras generalmente de origen volcánico y sub-volcánico.

2.2.11. Geología local

2.2.11.1. Estratigrafía

En el área de estudio aflora la siguiente unidad litológica:

Volcánicos Portuguesa

Se caracterizan por su litología constituida por derrames de lavas y brechas dacíticas, las mismas se encuentran alteradas hidrotermalmente, presentando propilitización y en algunos casos alteración de tipo argílica, la zona del presente estudio presenta además mineralización polimetálica, en la zona encontramos indicios de impregnación de Proustita en la roca originalmente de características graníticas.

Existe en el área en forma contigua afloramiento de rocas volcánicas de naturaleza brechoide de regular a buena consistencia las mismas que se presentan fracturadas.

Hidrogeología

La zona de estudio presenta en su naturaleza un sistema de drenaje dendrítico, el mismo que se halla determinado por los diversos controles estructurales.

Geológicamente las aguas se infiltran por los suelos de origen orgánico en la parte superficial para luego llegar a la capa de suelo constituido por los depósitos de naturaleza glacial clasificados como SM - SC los mismos que son de tipo areno limo arcilloso. En su mayoría esta capa de suelos constituye en muchos casos la matriz de las rocas que se hallan cerca de la superficie constituyendo los coluvios y ripios, su consistencia es firme y moderadamente plástica.

Las aguas se percolan y aforan por zonas que son favorables, en su mayoría determinados por controles estructurales y litológicos, se presenta en el área el afloramiento de aguas termales en el cauce del río Apacheta, posiblemente relacionado la existencia del centro volcánico Portuguesa.

2.2.11.2. Marco geológico local (proyecto Tunsulla)

En la sección central del proyecto se encontraba un extenso volcán conformado en su mayor parte por lavas de tipo intermedio. La creación de estas lavas ocurrió entre hace 8,5 millones de años y 4,0 millones de años (Noble 1982). y estarían formando la base litológica en el proyecto Tunsulla. La formación Apacheta sería correlacionado a este evento. Un volcanismo bio-clástico explosivo ocurrió durante los 2,4 millones de años a 0,2 millones de años (Noble, 1982) produciendo el tufo Atunsulla (parte de la formación Portuguesa), el cual es una ignimbrita de composición riodacítica-riolítica de volumen moderado. Estos eventos explosivos ocasionaron una caldera de colapso de 7 km de diámetro de dirección de este noreste.⁽⁹³⁾

El modelo Tunsulla, que incluye las concesiones de minería Niñobamba 08 y Churiac 5, está vinculado a un sistema de tipo sulfuración intermedia en venas de cuarzo-limonita, pirita-galena $\pm$ esfalerita. La dirección estructural más propicia es de NE a SW. La litología en el proyecto Tunsulla es bastante sencilla y se compone principalmente de una ignimbrita riolítica de formación intra-caldera interrumpida por algunos diques de tipo dacítico. No se conoce el grosor de esta unidad..^(id 92)

Se han identificado dos tipos de rocas en Tunsulla.

Tufo riolítico: Este tipo de unidad volcánica está constituida por partículas de tamaño medio a grueso. La matriz está formada por cristales de cuarzo (entre 5 y 30 %), cristales de plagioclasa de 1-2 mm (30-40 %) y cristales de biotita (1-3 %). También contiene fragmentos de pómez con una textura eutáctica, y se observan fragmentos de roca que varían desde milímetros hasta 20 cm, además de algunos trozos de granodiorita y cuarcitas. La profundidad reconocida de esta unidad es de 700 m, aunque el límite interno todavía no se ha determinado.

Dique dacítico. Esta es una unidad con textura porfídica de grano medio a fino que presenta cristales de cuarzo (1-2 mm) en un 3 a 5%, cristales de plagioclasa (0.2 a 1 cm) de un 30 a 40% y cristales de ortoclasa (0.5 a 1 cm) que constituyen del 3 a 5%. La anchura promedio de este dique varía entre 20 y 30 m, existiendo la opción de que pueda tomar la forma de un domo. Este dique atraviesa el tufo riolítico. Se distingue por tener fracturas bastante continuas y bien alineadas^(id 93).

Geología estructural

Estructuras

Y El control estructural primario de las vetas es de dirección NE-SW con configuraciones del tipo “echelon”. Dicho patrón estructural se encuentra alineado o a la par de la anomalía de cargabilidad, aunque la disposición de las vetas está restringida por estructuras que siguen una tendencia NNE-SSW.

- Domos. - identificados por noble 1982. Los son de composición riolítica a riolítica, el más importante identificado es el domo Portuguesa de composición riolítica. Los domos por lo general están ubicados al margen de la caldera^(id 93).

Alteración: Tunsulla representa un sistema de vetillas que se clasifica como sulfuración intermedia. La región impactada por la alteración hidrotermal abarca cerca de 2.3 por 1.2 kilómetros. Esta alteración se compone en su mayor parte de cuarzo, sericita y pirita, además de materiales arcillosos que se vuelven propilíticos hacia los límites. El esquema de alteración sigue la dirección del corredor estructural noreste-suroeste.

Cuarzo-sericita-pirita(jarosita)-QSP

Esta modificación tiene lugar en el centro del sistema Tunsulla y abarca una superficie de 700 metros por 300 metros. Esta modificación está vinculada directamente con la fuerza de venilleo y las laderas de 1 a 3 centímetros ^(id 93).

La sericita está distribuida en la matriz, como resultado de la modificación de los feldespatos, los cuales normalmente cambian de forma. La cantidad de pirita se sitúa alrededor del 5 %, y la oxidación de la pirita provoca el tono amarillento de la jarosita en diversas áreas de Tunsulla. Las concentraciones elevadas de oro, que oscilan entre 100 ppb y 500 ppb en la roca host, estarían vinculadas a esta transformación.

Sericita. Esta modificación surge como resultado de la transformación de la plagioclasa/ortoclasa en sericita (illita). Se distingue por un tono que va de crema a blanco. Además, no es obligatorio que exista dispersión, aunque muestra fracturas llenas de gohetita. Los contenidos de oro típicos para esta modificación varían entre 30 ppb de Au y 100 ppb de Au en los canales.

Argilico (arcilla). Esta modificación sucede en los límites de la alteración sericita y cuarzo-sericita-pirita, siguiendo una dirección noreste-suroeste. El ensamblaje principal consiste en esmectita y caolinita, con una tonalidad verde pálido. No se observa mineralización de oro en la roca anfitriona, apareciendo el oro únicamente en venas.

Clorita. Esta transformación se presenta en las periferias del sistema, manifestándose como la combinación común de clorita y esmectita. Se ha identificado una cantidad mínima de venillas en esta transformación. Una de las características de esta modificación es que las plagioclasas están ligeramente cambiando a arcillas, mientras que los minerales máficos aún mantienen su forma original o se han transformado en cloritas. ^(id 93)

Mineralogía.

La mineralización en Tunsulla se encuentra dentro de vetas intermedias de sulfuro (1-5 cm de ancho) y venillas (menos de 1 cm) compuestas de cuarzo-gohetita, cuarzo-galena-pirita-esfalerita. La mineralización consiste principalmente en Au-Ag-Pb-Zn, con algunos valores de cobre. Se ha registrado la estibina en venillas de la región de Carola (noreste de Tunsulla).

Hidrología En la zona del prospecto hay diferentes cuerpos de agua, como riachuelos y lagunas. Durante la temporada seca, el flujo de agua disminuye. La quebrada más importante es Quichcahusi, que está cerca del proyecto, además de otras quebradas menores que fluyen al río Apacheta. Este río, a su vez, es parte de la cuenca del río Mantaro.

2.2.11.3. Marco geológico local (Proyecto Chuschi)

En el núcleo del trabajo se encontraba un extenso volcán, principalmente formado por lavas de tipo intermedio. Estas lavas intermedias tienen una antigüedad estimada entre 8,5 millones de años y 4,0 millones de años (Noble 1982) y constituyen la base litológica del Proyecto Niñobamba. Se puede relacionar la formación apacheta con este acontecimiento. Durante el periodo de 2,4 a 0,20 millones de años (Noble 1982), se produjo un volcanismo explosivo de tipo piroclástico que generó el tufo Atunsulla, que forma parte de la formación Portuguesa; este tufo es una ignimbrita de composición riodacítica a riolítica y de volumen moderado. Dichos episodios explosivos dieron lugar a una caldera de colapso con un diámetro de 7 km, orientada hacia el este-noreste.^(id 93)

2.2.12. Legislación ambiental peruana⁽⁹⁴⁾

El Manual de Legislación Ambiental es una iniciativa que recoge y sistematiza de modo coherente el marco legal e institucional vigente en materia ambiental en el Perú. De este modo, se busca aportar con una herramienta que facilite la revisión y difusión de la normativa ambiental nacional, acercándola a la comunidad jurídica, pero también a quienes tienen interés en conocer y defender sus derechos ambientales, así como en aprender y cumplir con sus obligaciones ambientales

Con el fin de hacer esta iniciativa mucho más accesible y que su contenido pueda ser utilizado por una mayor cantidad de personas, es que vimos necesario utilizar medios de difusión alternativos. Es así que nace. legislación ambiental generando un espacio virtual fuente de información y conocimiento del marco jurídico en materia ambiental aplicable en el Perú.

Legislación peruana sobre “medio ambiente” la legislación ambiental peruana comprende todas las normas legales vigentes, promulgadas por los diversos organismos públicos de los niveles de gobierno nacional, regional y local: Tratados Internacionales, Constitución Política, Leyes, Decretos, Resoluciones, etc., que directa o indirectamente inciden sobre el ambiente y sobre todo en el desarrollo adecuado de la vida.

Artículo 66°. Los recursos de la naturaleza, tanto renovables como no renovables, pertenecen a la Nación. El Estado tiene la autoridad para su explotación. A través de una ley orgánica se establecen las pautas para su uso y la concesión a terceros. La concesión confiere al beneficiario un derecho tangible, que se ajusta a esta normativa. Artículo 67°. El Estado define la estrategia nacional en relación al medio ambiente. Fomenta el uso responsable de sus recursos naturales (Artículo 68°). El Estado tiene la responsabilidad de incentivar la protección de la biodiversidad y de los espacios naturales protegidos (Artículo 69°). El Estado apoya el desarrollo sostenible de la Amazonía mediante una legislación apropiada.

La CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL PERÚ, según el numeral 22 del Artículo 2° DECLARA el derecho fundamental e irrenunciable a gozar de un ambiente adecuado y equilibrado para el desarrollo de la vida, aparejado al deber personalísimo y sociedad de conservarlo. (LA VIDA COMO VALOR) ^(id 91).

LEGISLACIÓN PERUANA SOBRE “MEDIO AMBIENTE”

1. La Ley General del Ambiente – Ley N° 28611, que fue promulgada el 13 de octubre de 2005, establece las regulaciones legales necesarias para la gestión ambiental en Perú. Define los principios y normas fundamentales que garanticen: “El ejercicio pleno del derecho constitucional a un ambiente sano, equilibrado y adecuado para un desarrollo vital completo”.

2. La Ley General del Ambiente regula el cumplimiento de las responsabilidades que están relacionadas con una gestión ambiental efectiva, la cual incluye: a) Mejora en la calidad de vida de las personas. b) Desarrollo sostenible de las actividades económicas c) Mejoras en los entornos urbanos y rurales. d) Conservación del patrimonio natural del país^(id 91).

La Ley del ambiente N° 28611, modificado por el decreto Legislativo N° 1055:

Art. 1.- “Del derecho y Deber fundamental “toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger al ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente el bienestar de los individuos y grupos, la protección de la variedad biológica, el uso responsable de los recursos naturales y el progreso sostenible del país ^(id 91)).

Ley N° 29338 “Ley de Recursos Hídricos” ⁽⁹⁵⁾

Esta normativa define de manera clara el significado del agua para los ciudadanos peruanos, así como el valor y la herencia que el gobierno debe asignar a este recurso esencial para la existencia; esto mediante la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Artículo 1°.- El agua

El agua representa un recurso natural que puede reponerse, esencial para la existencia, frágil y crucial para el progreso sustentable, el sostenimiento de los ciclos y sistemas naturales que la apoyan, así como la seguridad del país.

Artículo 2°.- Dominio y uso público sobre el agua

El agua es un recurso que pertenece a la Nación. Su control es intransferible y no se puede perder con el tiempo. Se trata de un recurso de acceso público y su gestión debe realizarse de manera que favorezca el bienestar general, la conservación del medio ambiente y los intereses del país. No existe propiedad privada sobre el agua.

Artículo 5°.- El agua abarcada por la legislación

El agua que se regula en esta Ley incluye lo siguiente

1. La proveniente de los ríos y sus tributarios, desde su fuente natural;
2. la que fluye a través de canales artificiales;
3. la que se acumula de manera natural o mediante intervención humana;
4. la que está presente en bahías y estuarios;
5. la que se localiza en áreas húmedas y manglares;

6. la que se origina en manantiales;
7. la de las montañas nevadas y glaciares;
8. la de aguas residuales;
9. la subterránea;
10. la derivada de la minería medicinal;
11. la geotérmica;
12. la atmosférica; y
13. la que resulta de procesos de desalación.

Artículo 10º. - Objetivo del Sistema Nacional de Administración de Recursos Hídricos

El Sistema Nacional de Administración de Recursos Hídricos forma parte del Sistema Nacional de Administración Ambiental y se orienta hacia el uso sostenible, la preservación y el aumento de los recursos hídricos, así como la implementación de la política y estrategia nacional relacionada con estos recursos y el plan nacional pertinente en todos los niveles gubernamentales y con la colaboración de los diversos usuarios del recurso.

El “Capítulo IV” de la “Ley de Recursos Hídricos Ley N°29338”

También señala lo siguiente:

a) Responsabilidades de los gobiernos regionales y locales

Artículo 25º. - Cumplimiento de las responsabilidades de los gobiernos regionales y locales

Los gobiernos regionales y los locales, a través de sus organismos pertinentes, participan en la creación de los planes para la gestión de los recursos hídricos de las cuencas.

Colaboran en los Consejos de Cuenca y llevan a cabo actividades de supervisión y monitoreo, en coordinación con la Autoridad Nacional, para asegurar el uso sostenible de los recursos acuáticos.

La infraestructura hidráulica pública principal que el gobierno nacional cede a los gobiernos regionales se gestiona de acuerdo con los lineamientos y normas establecidos por la ley, así como con las directrices emitidas por la Autoridad Nacional.

Artículo 35°.- Clases de usos de agua y orden de prioridad

La Ley reconoce las siguientes clases de uso de agua:

1. Uso primario.
2. Población en uso.
3. Productividad en uso.

La prioridad para la concesión y el ejercicio de los usos mencionados anteriormente respeta el orden en que han sido listados.

Artículo 36°.- Uso esencial del agua

El uso esencial se refiere a la aplicación directa y efectiva del agua en fuentes naturales y ríos públicos, para satisfacer necesidades humanas básicas. Incluye la utilización de agua para cocinar, beber y la higiene personal, así como su empleo en ceremonias culturales, religiosas y rituales.

Artículo 37°.- Particularidades del uso esencial

El uso esencial del agua no necesita permiso administrativo y se lleva a cabo simplemente por disposición legal.

Es seguro para el entorno y para otras personas, no tiene un propósito comercial y se realiza de forma gratuita por los individuos, asumiendo su propia responsabilidad, limitado únicamente a métodos manuales y sujeto a que:

1. No modifique la cantidad y calidad de las fuentes de agua, y
2. No perjudique los bienes relacionados con el agua.

2.2.13. Estándares nacionales de calidad ambiental para el agua

DECRETO SUPREMO N° 004-2017- MINAM (96)

Artículo 1° Objeto de la Norma

Cambiar 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.

Categoría 1: Población y recreacional.

Categoría 2: Actividades relacionadas con la pesca y el cultivo en áreas marinas y continentales.

Categoría 3: Irrigación de cultivos y suministro de agua para animales.

Categoría 4: Protección del entorno acuático: - Se refiere a masas de agua superficiales que integran ecosistemas delicados, regiones naturales resguardadas y/o zonas de protección, y cuyas cualidades necesitan ser conservadas.

TABLA 2.5: CATEGORÍA 1-A

PARÁMETRO	UNID	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Cobre	mg/L	2	2	2
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Zinc	mg/L	3	5	5

TABLA 2.6: CATEGORÍA 3

CATEGORÍAS		ECA AGUA-CATEGORÍA 3	
PARÁMETRO	UNIDAD	D1 PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES	D2 PARÁMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES
Aluminio	mg/L	5	5
Arsénico	mg/L	0,1	0,2
Cobre	mg/L	0,2	0,5
Hierro	mg/L	5.0	**
Manganeso	mg/L	0,20	0,20
Mercurio	mg/L	0,001	0,01
Plomo	mg/L	0,05	0,05
Zinc	mg/L	2.00	24

** No presenta valor en ese parámetro para la subcategoría.

TABLA 2.7: CATEGORÍA 4

		CATEGORÍA 4				
PARÁMETRO	UNIDAD	E1 LAGUNAS Y LAGOS	E2 RÍOS		E3: ECOSISTEMAS MARINO COSTERAS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. NATURALEZA DEL ESTUDIO

La investigación es de tipo aplicativo y el nivel descriptivo–longitudinal. El nivel de la investigación es descriptivo, porque busca especificar propiedades y características del agua del río Apacheta sin manipular las variables deliberadamente. El diseño de investigación es longitudinal porque se captó información a través del tiempo.

3.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y LUGAR DE TRABAJO

La investigación se desarrolló en la cuenca del río Apacheta. Esta subcuenta está ubicada en la región de Ayacucho y drena una cuenca de 398,76 km² de extensión, longitud 52,69 km, perímetro 130,08 km. Tiene una altitud media de 4359,17 m.s.n.m., una pendiente media en el orden de 2,99% y de acuerdo a la curva hipsométrica mostrada corresponde a un río joven. El factor de forma determinada es 0,12 lo cual nos estaría indicando que esta subcuenca tiene buena respuesta a las crecidas, asimismo el coeficiente de compacidad determinado es 1,81 y que corresponde a cuencas de forma alargada⁽⁹⁷⁾.

La cuenca del río Apacheta la zona de estudio se sitúa en regiones cercanas a la Comunidad Campesina de Chuschi, abarcando los siguientes distritos: Chuschi y Paras en la provincia de Cangallo; así como el distrito de Vinchos, en la provincia de Huamanga. También abarca una parte del distrito de Pillpichaca provincia de Huaytará departamento de Huancavelica.

En el mapa de la figura N° 3.1 se puede ver al río Apacheta desde sus orígenes nace en el departamento de Huancavelica, nevado del Apacheta, hasta su desembocadura, con sus respectivos afluentes, así como la ubicación de los diferentes yacimientos mineros ubicados en sus márgenes tanto a la derecha

como a la izquierda que están contaminando las aguas del río Apacheta que puedan llegar a su cauce.

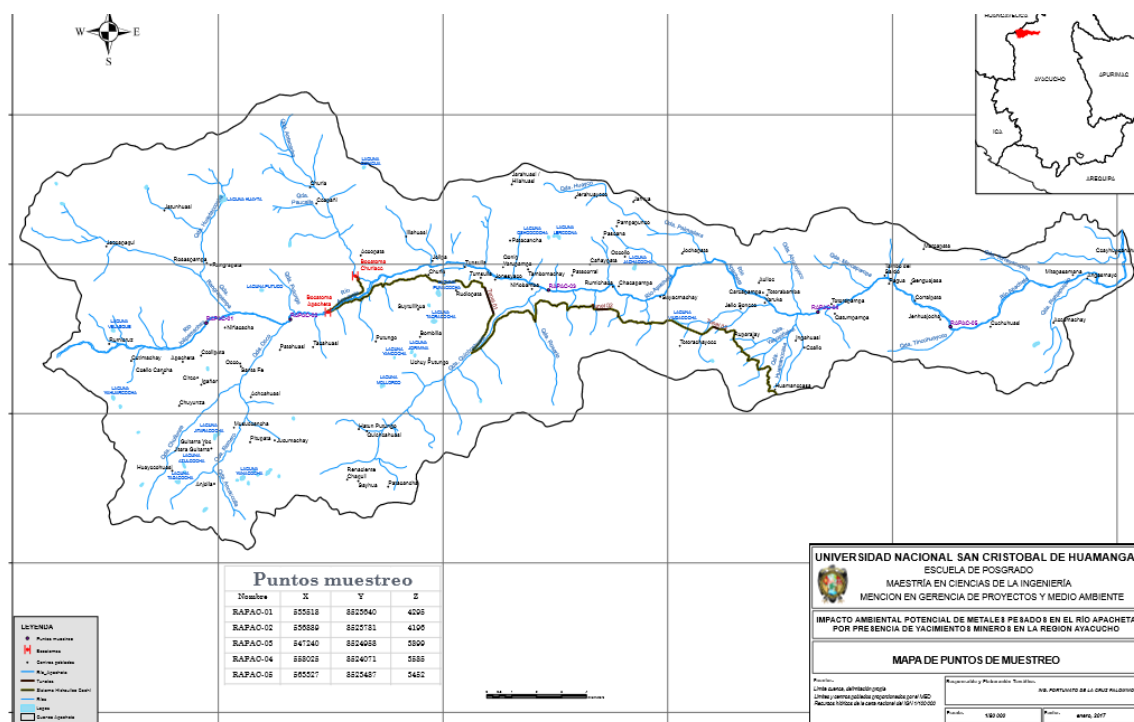


FIGURA. 3.1: Cuenca del río Apacheta

Los puntos de estación o de muestreo se ubicaron a lo largo del río Apacheta considerando los puntos más representativos en un máximo de cinco puntos, para ello se tuvo en cuenta las quebradas que desembocan hacia el río Apacheta.

3.3. CLIMATOLOGÍA

Las fuentes del río Apacheta, por su altitud y proximidad a las montañas nevadas, presentan un clima que se define por días fríos y noches extremadamente gélidas. La temperatura media anualmente se encuentra por encima de 0°C y por debajo de 7°C. Entre septiembre y abril, las temperaturas máximas superan los 15°C, alcanzando hasta los 22°C. Las temperaturas mínimas absolutas durante los meses de mayo a agosto varían de -9°C a -25°C. Se aprecia una considerable variación térmica entre las zonas soleadas y las sombreadas, y en ocasiones, durante el día, la sombra de las nubes provoca descensos en las temperaturas. Las precipitaciones de lluvia y nieve ocurren en el verano,

iniciando desde octubre; hay una pequeña época seca de mayo a setiembre. La precipitación fluctúa entre los 400- 1,000 mm al año. La dirección del viento generalmente va del NE al SO.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. Población

- ✓ Aguas de río Apacheta

3.4.2. Tamaño de muestra

- ✓ Alícuotas representativas de agua del río Apacheta.

3.5. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVO

3.5.1. Equipos

Para los trabajos de campo para la toma de muestra, se utilizó el equipo multiparametros de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Marca HANNA –HI9828; en la que se tomaron los siguientes datos: pH del agua; oxígeno disuelto; temperaturas, presión, conductividad, solución total; porcentaje de sal. Así mismo se determinó la turbidez del agua.

Se contrató al laboratorio de SGS del Perú S.A.C. para el análisis de agua de la presencia de los metales pesados.

GPS. Se determinó la altura y las coordenadas totales del punto de estación.

Cronómetro. Se utilizó para la medición del tiempo.

3.5.2. Materiales

- ✓ Agua tomada en cinco puntos del río Apacheta
- ✓ Pintura
- ✓ Palos de escoba
- ✓ Wincha

- ✓ Pelotitas de plástico
- ✓ Regla graduada.
- ✓ Envase de plástico de 1/4 litro para tomar la muestra de agua
- ✓ Kooler como envase para el envío de muestra

Cuaderno de campo para tomar los datos de campo

3.5.3. Reactivos

El ácido nítrico para preservar la muestra de agua.

3.5.4. Refrigerante

Gel Pack.

3.6. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA

La metodología utilizada para la evaluación de la presencia de los metales pesados en el río Apacheta es el siguiente:

- Reconocimiento del área de estudio.
- Realizar el plan de muestreo.
- Actividades pre-muestreo.
- Actividades en el sitio de muestreo.
- Toma de muestra.
- Preservación de la muestra.
- Embalaje y transporte de las muestras.
- Entrega de muestras al laboratorio.
- Análisis de la muestra.
- Reporte de los resultados.
- Análisis de resultados.
- Determinar impacto ambiental.

3.6.1. Muestreo de agua

Se realizaron muestreo en 5 estaciones con 06 veces en cada una, resultando 30 muestreos en total.

3.6.1.1. Ubicación del punto de muestreo

La posición de los lugares de muestreo satisfizo los siguientes requisitos:

a) Reconocimiento: El lugar de muestreo fue marcado y señalado de forma clara, de tal modo que facilitará su localización precisa en posteriores muestreos.

b) Accesibilidad: Se eligió los lugares que permitió un rápido y seguro acceso al lugar establecido para tomar la muestra.

c) Representatividad: Se eligió el primer punto de la quebrada en donde nace el río Apacheta y los demás puntos por debajo de la unión de quebradas, se tomó en cuenta la referencia para situar un punto de control, que podría ser un puente o una gran roca.

Captura de información de campo

Formulario de captura de campo: Usado en la supervisión, incluye la información siguiente:

- Se anotó el código del sitio de muestreo, la procedencia de la fuente, una descripción precisa y clara del lugar de muestreo, la hora y la fecha de la recogida de muestra, así como la localidad, el distrito, la provincia y el departamento.
- Se registraron todas las mediciones realizadas en el monitoreo, los parámetros medidos fueron el pH, la temperatura del agua, la presión, altitud, coordenadas, conductividad, oxígeno disuelto, en cada punto del muestreo.
- Para registrar estos datos fue necesario el uso del equipo multiparámetro de propiedad de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga de la Facultad de Ingeniería Química, debidamente calibrada.

3. 6. 1. 2. Recolección, almacenamiento, protección y remisión de las muestras

Para ello, se aplicaron los lineamientos definidos en los “Procedimientos Estándar para el Estudio de Aguas Superficiales (aguas fluviales).

a) Observaciones Generales

- Los envases empleados son de PVC (nueva utilización), los cuales se encontraron limpios y secos para prevenir contaminación, proporcionados por la firma S. G. S. DEL PERU SAC.
- Las muestras necesitaron conservarse a baja temperatura y/o tratamiento con productos químicos para asegurar su integridad durante el traslado y antes del examen en el laboratorio.
- El producto químico a utilizar fue el ácido nítrico, manejándolo con precaución.

a cada frasco de un cuarto litro se echó 06 gotitas de ácido nítrico inmediatamente tomado la muestra.

- Se emplearon contenedores térmicos adecuados (Kooler) para el traslado de las muestras. para almacenar las muestras tomadas, materiales de empaque y refrigeradas mediante gel Pack, que mantiene a baja temperatura, reemplaza al hielo.
- Se llenaron los registros de cada muestra recolectada (ficha de muestreo) e identificó cada frasco (etiquetado).
- La indumentaria de protección del personal que realizó el muestreo estuvo constituida por pantalón, casco, guardapolvo, botas de jebe, guantes de jebe y quirúrgico.
- Instrumentos de campo tales como cordel, wincha, reloj de parada, neveras portátiles, esferas, regla de medición, escobas.

3. 6. 1. 2. Obtención, mantenimiento y custodia de las muestras de agua

Es fundamental tener en cuenta las fases que deben seguirse en cualquier procedimiento de muestreo, con el objetivo de que la muestra sea lo más representativa que se pueda y garantizar su integridad desde su recolección hasta la presentación de los resultados. Por esta razón, se debe considerar lo siguiente:

a) Recolección de muestras

- En la recolección de muestras en ríos, se evitaron zonas con excesiva agitación, teniendo en cuenta la profundidad, la rapidez del flujo y la distancia entre las orillas.
- La recolección se llevó a cabo en el corazón de la corriente a una profundidad que correspondía al parámetro que se iba a medir.
- Las muestras se recolectaron en sentido contrario al flujo del agua.

Se dejó un margen mínimo de aproximadamente el 0.5 % de la capacidad del recipiente (espacio superior) para permitir que la muestra se expanda.

- Para recolectar muestras destinadas a identificar distintos metales pesados, se utilizaron frascos de PVC con boca estrecha y cerrado hermético, con una capacidad de medio litro y bien limpios. Se abrió el recipiente y se sumergió unos 15 cm por debajo de la superficie, luego se preservó; además, las muestras se mantuvieron en contenedores protectores a una temperatura de alrededor de 5 °C. mediante el refrigerante gel Pack, que mantiene a baja temperatura, reemplaza al hielo.

b) Evaluación de parámetros en el sitio

La evaluación de los parámetros en el sitio fue llevada a cabo utilizando el equipo multiparámetro.

c) Preservación de las muestras de agua

- Una vez tomada la muestra de agua, se procedió a adicionarle el preservante requerido, que en nuestro caso fue ácido nítrico. Esto consistió en agregar ácido nítrico 6 gotitas a cada frasco de cuarto litro de agua.
- Después de que se conservó la muestra, se selló el frasco de manera segura y, para mayor protección, se puso cinta en la tapa para prevenir cualquier fuga del líquido
- Luego las muestras son refrigeradas utilizando el Gel Pack que mantiene a baja temperatura y son almacenadas las muestras dentro de un Kooler y luego son enviados al laboratorio.

Los recipientes fueron marcados de inmediato tras la recolección de muestras con una etiqueta que, escrita con caracteres nítidos y comprensibles, incluía la siguiente información.

- Muestra identificada por su secuencia.
- Sitio de verificación.
- Código de representación (punto y/o área de muestreo).
- Proveniencia de la fuente.
- Fecha y momento en que se recolectó la muestra.
- Preservación efectuada, clase de preservante utilizado.
- Clase de análisis solicitado.
- Nombre de la persona a cargo de la recolección.

d) Preservación y transporte de las muestras de agua:

- Las muestras obtenidas se mantuvieron en contenedores térmicos a la temperatura indicada, utilizando refrigerantes como hielo o similares.
- Las muestras recogidas para el análisis físico-químico se enviaron al laboratorio en el plazo más breve, dentro de las 24 horas posteriores a la recolección.

3.7. MÉTODO DE DETERMINACIÓN ANALÍTICA

El monitorio se desarrolló de acuerdo al protocolo de monitorio de calidad de agua del MINEM. El equipo multiparámetro utilizado es de propiedad de la Universidad Nacional de San Cristóbal, previamente fueron calibrados. Se hicieron la lectura en cada punto de muestreo de agua.

La toma de muestras de agua se realizó con botellas proporcionadas por el laboratorio SGS, siguiendo los procedimientos normados para cada parámetro de acuerdo al método empleado. Los frascos se etiquetaron utilizando tinta indeleble con código, fecha y estación para cada muestra, previamente refrigerado y se echó 06 gotitas de ácido nítrico como preservante a cada frasco. Las muestras fueron remitidas al laboratorio certificado de SGS. a la ciudad de Lima para su respectivo análisis. Repitiéndose esta actividad por seis veces. Cada una a cada 15 días.

Estas muestras se recolectaron en los meses de diciembre 2016 y enero y febrero del 2017.

3.7.1. Determinaciones “*in situ*”

Las evaluaciones se llevaron a cabo al mismo tiempo que se recolectaban las muestras en todas las estaciones. Se han medido *in situ* los siguientes parámetros físico-químicos: temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad. Se empleó el equipo multiparamétrico modelo HANNA HI 9828, que mide PH/ORP/EC/DO, perteneciente a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

3.7.1.1. Caudal

El caudal es uno de los parámetros importantes en las determinaciones que se realizan “*in situ*” ya que de él dependerán en gran parte las concentraciones de los contaminantes en las muestras. Este parámetro se ha evaluado determinando la velocidad de la corriente del río y la sección transversal de forma aproximada. Se calcula con la siguiente expresión $Q = A \cdot V$ (m³/s) donde: Q es el caudal, A es la sección aproximada y V la velocidad del agua. Se procedió del modo siguiente:

- Se empleó el método de flotación para ello se realizó las siguientes actividades, se midió el ancho del río y la altura de la sección transversal cada 0,20; 0,50; 1,00 metros dependiendo del ancho del río.
- Se mide la longitud del río lo necesario, teniendo en cuenta que la velocidad del agua sea uniforme.
- Se suelta la bolita de plástico desde un punto inicial de la longitud del río medido, controlando el tiempo hasta el final de la longitud del río medio. Con lo que se halla el tiempo, esta actividad se repite por cinco veces.

3.7.1.2. Conductividad

La conductividad del agua nos da una estimación acerca de la concentración aproximada de las sales minerales presentes lo que es de importancia,

especialmente si las aguas están destinadas a la producción de agua potable. En nuestro caso, se ha medido con el equipo multiparámetro modelo HANNA HI 9828, PH/ORP/EC/DO debidamente calibrado, introduciendo al agua el terminal del cable aproximadamente 20 cm de profundidad y efectuando directamente la conductividad.

3.7.1.3. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es un parámetro muy importante en el control de la calidad del agua. Las aguas superficiales limpias normalmente están saturadas de oxígeno disuelto, pero la demanda de oxígeno de los desechos orgánicos puede consumirlo rápidamente. En mi caso, se ha utilizado también el mismo multiparámetro modelo HANNA HI 9828 graduado en (% de saturación) y (mg/l de oxígeno disuelto). El equipo antes de su utilización en cada muestreo se ha calibrado.

3.7.1.4. Potencial de hidrogeno (pH)

El pH se ha determinado con un pH-metro portátil modelo HANNA HI 9828 de lectura digital a la centésima, con un electrodo combinado de vidrio-calomelano.

3.7.1.5. Temperatura

La temperatura en las aguas es un parámetro importante por su efecto en otras propiedades, por ejemplo, aceleración de reacciones químicas, reducción de la solubilidad de los gases, intensificación de sabores y olores, etc. La temperatura viene afectada por la época de la determinación, el caudal, la hora del día y la calidad del agua. Se ha medido con el mismo equipo multiparámetro portátil modelo HANNA HI 9828 graduado en décimas de grado centígrado.

3.8. DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS Y EQUIPOS DE ANÁLISIS

3.8.1. Técnicas y procedimientos de recolección de información

Unidad de análisis

- Agua de río Apacheta.

Técnica de recolección de datos

- Observación directa.
- Medición directa con equipos.

3.8.2. Determinación de metales por ICP- MS

La técnica de espectrometría de masas usando plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS), del nombre en inglés Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry es una forma específica de análisis por espectrometría de masas. Sus principales beneficios incluyen alta exactitud, bajos límites de detección y un coste accesible, permitiendo el análisis casi instantáneo de la mayoría de los elementos e isótopos presentes en la tabla periódica en cuestión de minutos. Por lo tanto, es una técnica altamente adecuada para el análisis de agua, lixiviados de minerales y rocas, alimentos, entre otros. Además, en años recientes, la incorporación del láser al ICP-MS ha facilitado el estudio de elementos traza y metales raros en minerales, fósiles, metales y semiconductores, abarcando una muestra de hasta 50 μm . La técnica de ICP-MS fusiona dos cualidades analíticas que la hacen un instrumento poderoso en el análisis multielemental de trazas. Primero, proporciona una matriz libre de interferencias gracias a la efectividad de ionización del plasma de argón y, en segundo lugar, muestra una alta relación señal-ruido que es distintiva en técnicas de espectrometría de masas. El plasma de acoplamiento inductivo de argón se utiliza como una fuente muy eficiente de iones en su estado M^+ . El espectro de masas que proviene de esta fuente de iones se capta utilizando un espectrómetro de masas cuadrupolar. Esto se logra a través de una zona de interfaz que incorpora los iones del plasma mediante un orificio (cono) a través de un sistema de vacío diferencial y posteriormente dentro del filtro cuadrupolar de masas (Skimmer).⁽⁹⁸⁾

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. ESTACIONES MUESTREO

Se seleccionó 05 estaciones de muestreo en la cuenca del río Apacheta. Las estaciones de muestreo se abarcan desde la quebrada de donde nace río Apacheta y luego por debajo de la unión de quebradas; que van de la estación de muestreo de RAPAC- 01 hasta RAPAC-05.

RAPAC 01, ubicado debajo del puente Niñacha a 7,446 km desde la nacimiento del río, en las coordenadas $X= 533,518$; $Y= 8523,640$, cota 4295 m.s.n.m, distrito de Paras, Provincia de Cangallo, Departamento de Ayacucho.

RAPAC 02, ubicado a una distancia de 11,362 km, río abajo desde el inicio, cuyas coordenadas son $X= 536,889$; $Y= 8523,781$; cota 4196 m.s.n.m., distrito de Paras, provincia de Cangallo, departamento de Ayacucho. Capta las aguas de las quebradas Occo y quebrada Rangrapampa.

RAPAC-03, ubicado a 23,747 km río abajo desde el inicio, cuyas coordenadas son $X= 547,240$; $Y= 8524,958$; cota 3899 m.s.n.m. en el distrito de Vinchos, provincia de Huamanga, departamento Ayacucho. Capta las aguas de las quebradas Churiac, Jollpa y de la unión de las quebradas Quichcahuasi y Rosario.

RAPAC 04, ubicado en el lugar denominado Hatumpampa, a 37,463 km río abajo desde el inicio, cuyas coordenadas son $X= 558,025$; $Y= 8524,071$, cota 3585 m.s.n.m. en el distrito de Vinchos, provincia de Huamanga, departamento Ayacucho. Capta las aguas de las quebradas Palmadera, Jello Soncco, Yacupiñahui y Abucuyocc.

RAPAC-05, ubicado en el lugar denominado Ccenuhuacucho, a 44,766 km. río abajo desde el inicio, cuyas coordenadas son $X= 563,327$; $Y= 8523487$, cota 3452 m.s.n.m., en el distrito de Vinchos, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho.

4.2. CONDICIONES Y FRECUENCIA DE MUESTREO

El muestreo se realizó cada quince días en cada el punto de muestreo por 6 veces, los días 09 de diciembre del 2016, 24 de diciembre del 2016, 08 de enero del 2017, 22 de enero del 2017, 05 de febrero del 2017 y 22 de febrero del 2017, en las estaciones RAPAC-01; RAPAC-02; RAPAC-03, RAPAC-04 Y RAPAC-05.

La Toma de muestras el 09 de diciembre del 2016; el RAPAC-01, RAPAC-02 y RAPAC-03 tiempo despejado sin presencia de lluvia, tiempo caluroso, y en la toma de muestras del RAPAC-04 y RAPAC-05 nublado con pequeñas precipitaciones de aguas pluviales, el caudal del río Apacheta fue bajo.

La toma de muestra de fecha 24 de diciembre del 2016; en toda la muestra tomada el tiempo fue normal despejado y algunos momentos calurosos. También el caudal del río Apacheta era bajo.

En la toma de muestra de fecha 08 de enero del 2017, el tiempo fue con presencia de nubes e incluso hubo presencia de nevados en las partes altas de los cerros adyacentes al río Apacheta; en la cual se ha observado que fue notorio que ha aumentado el caudal del río Apacheta, en horas de la mañana muy frígida y a partir del mediodía caluroso, este día no hubo presencia de lluvias.

En la toma de muestra del día 22 de enero del 2017, se observó que ha aumentado el caudal del río Apacheta, además se observó que hubo la presencia de nevados en los cerros circundantes al río Apacheta, presencia de nubes, con poca insolación. En la toma de muestra del día 05 de febrero del 2017, el tiempo nublado, sin embargo, se observó que el caudal del río ha disminuido.

En la toma de la muestra el día 21 de febrero del 2017, el tiempo nublado, se observó que el caudal del río Apacheta ha aumentado, con presencia de bastante aire, lo que notó bastante frío en todas las estaciones de muestreo, con amenazas de lluvia.

4.3. MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CAMPO

TABLA 4.1: Parámetros medido en campo (1era semana diciembre-2016)

PUNTOS DE MONITORIO		RA-PAC-01	RA-PAC-02	RA-PAC-03	RA-PAC-04	RA-PAC-05
Fecha	dd.mm.aa	09-dic-16	09-dic-16	09-dic-16	09-dic-16	09-dic-16
Hora	h	10,2	11,35	13,3	14,45	15,45
Caudal	m ³ /s	0,11	0,77	0,41	1,46	2,06
Altura	msnm	4295	4196	3899	3585	3452
Coordenadas	X	533518	536889	547240	558025	563327
	Y	8523640	8523781	8524958	8524071	8523487
PARÁMETROS FÍSICO- QUÍMICAS						
Temperatura	°C	12.33	11.62	16.73	17.38	17.35
Presión	mmHg	450	461.70	477.40	496.20	502.10
Conductibilidad	US/cm	515/399	525/392	1210/1020	1039/889	916/783
Sólidos totales	ppm	263	263	605	520	459
Oxígeno disuelto	ppm	4,02	4,35	4,71	4,93	5,07
pH		4,25	5,87	7,25	7,56	7,80
% de solidos	%	0,26	0,26	0,61	0,52	0,45
Turbidez	NTU	0,63	14,00	28,20	50,30	44,50
PARÁMETROS INORGÁNICOS		Toma de muestra	Toma de muestra	Toma de muestra	Toma de muestra	Tomas de muestra

TABLA 4.2: Parámetros medido en campo (2da semana diciembre-2016)

PUNTOS DE MONITORIO		RAPC-01	RA-PAC-02	RA-PAC-03	RA-PAC-04	RA-PAC-05
Fecha	dd.mm.aa	24-dic-16	24-dic-16	24-dic-16	24-dic-16	24-dic-16
Hora	h	9,25	10,1	11,00	11,38	13,00
Caudal	m ³ /s	0,12	0,89	0,45	0,76	1,12
Altura	msnm	4295	4196	3899	3585	3452
Coordenadas	X	533518	536889	547240	558025	563327
	Y	8523640	8523781	8524958	8524,071	8523487

PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICAS						
Temperatura	°C	6,73	7,47	12,34	13,78	16,47
Presión	mmHg	450,10	458,80	478,40	498,80	506,20
Conductibilidad	US/cm	554/362	524/350	1507/1145	1226/965	993/852
Sólidos totales	ppm	278	263	754	613	497
Oxígeno disuelto	ppm	4,00	4,40	4,80	4,80	5,20
pH		3,97	6,39	7,92	7,90	7,62
% de sólidos	%	0,27	0,26	0,76	0,62	0,49
Turbidez	NTU	0,48	4,86	1,91	2,12	3,24
PARÁMETROS INORGÁNICOS		Toma de muestra	Toma de muestra	Toma de muestra	Toma de muestra	Tomas de muestra

TABLA 4.3: Parámetros medidos en campo (1era semana enero-2017)

PUNTOS DE MONITORIO		RA-PAC-01	RA-PAC-02	RA-PAC-03	RA-PAC-04	RAPAC-5
Fecha	dd.mm.aa	08-ene-17	08-ene-17	08-ene-17	08-ene-17	08-ene-17
Hora	h	8,12	8,48	9,56	10,58	12,19
Caudal	m ³ /s	0,62	7,22	11,30	12,46	12,65
Altura	msnm	4295	4196	3899	3585	3452
Coordenadas	X	533518	536898	547240	558025	563327
	Y	8523640	8523781	8524958	8524071	8523487
PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICAS						
Temperatura	°C	5,65	6,32	8,14	9,35	11,29
Presión	mmHg	450,00	459,30	477,40	498,70	505,80
Conductibilidad	US/cm	362/229	228/147	257/175	241/170	236/174
Sólidos totales	ppm	182	114	129	121	118
Oxígeno disuelto	ppm	4,20	4,40	4,60	4,80	5,10
pH		4,20	5,61	6,97	6,73	7,09
% de sólidos	%	0,18	0,11	0,12	0,12	0,11
Turbidez	NTU	9,50	12,30	16,30	26,40	28,60
PARÁMETROS INORGÁNICOS		Toma de muestra	Toma de muestra	Toma de muestra	Toma de muestra	Tomas de muestra

TABLA 4.4: Parámetros medidos en campo (2da semana enero-2017)

PUNTOS DE MONITORIO		RA-PAC-01	RA-PAC-02	RA-PAC-03	RA-PAC-04	RAPAC-5
Fecha	dd.mm.aa	22-ene-17	22-ene-17	22-ene-17	22-ene-17	22-ene-17
Hora	h	9,00	9,45	10,45	11,50	13,28
Caudal	m ³ /s	2,07	12,17	19,67	20,73	23,44
Altura	msnm	4,295	4,196	3,899	3,585	3,452
Coordenadas	X	533518	536889	547240	558025	563327
	Y	8523640	8523781	8524958	8524071	8523487
PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICAS						
Temperatura	°C	6,14	6,63	8,50	9,57	11,01
Presión	mmHg	451,10	461,70	478,70	499,50	505,70
Conductibilidad	US/cm	229/147	188/122	196/135	180/127	179/132
Sólidos totales	ppm	114	94	98	90	90
Oxígeno disuelto	ppm	4,74	4,80	4,88	4,84	4,82
pH		3,91	6,28	7,15	7,36	7,46
% de sólidos	%	0,11	0,09	0,09	0,09	0,07
Turbidez	NTU	9,30	12,60	16,30	26,40	28,50
PARÁMETROS INORGÁNICOS		Toma de muestra	Toma de muestra	Toma de muestra	Toma de muestra	Tomas de muestra

TABLA 4.5: Parámetros medidos en campo (1ra semana febrero-2017)

PUNTOS DE MONITORIO		RA-PAC-01	RA-PAC-02	RA-PAC-03	RA-PAC-04	RAPAC-5
Fecha	dd.mm.aa	05-feb-17	05-feb-17	05-feb-17	05-feb-17	05-feb-17
Hora	h	8,22	8,52	9,46	10,3	11,16
Caudal	m ³ /s	0,56	4,28	2,29	4,45	4,62
Altura	msnm	4295.00	4196.00	3,899.00	3585.00	3452.00
Coordenadas	X	533518	536889	547240	558025	563327
	Y	8523640	8523781	8524958	8524071	8523487
PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICAS						
Temperatura	°C	6,5	7,25	10,19	12,58	14,62
Presión	mmHg	450,00	459,40	479,20	498,20	508,7
Conductibilidad	US/cm	339/220	241/160	431/309	360/275	345/277
Sólidos totales	ppm	170	121	215	180	173
Oxígeno disuelto	ppm	4,05	4,4	4,60	4,95	5,08
pH		3,31	6,28	7,15	7,25	7,70
% de sólidos	%	0,16	0,12	0,21	0,17	0,17
Turbidez	NTU	9,20	11,80	15,50	25,40	28,60
PARÁMETROS INORGÁNICOS		Toma de muestra	Toma de muestra	Toma de muestra	Toma de muestra	Tomas de muestra

TABLA 4.6: Parámetros medidos en campo (2da semana febrero-2017)

PUNTOS DE MONITORIO		RA-PAC-01	RA-PAC-02	RA-PAC-03	RA-PAC-04	RAPAC-5
Fecha	dd.mm.aa	21-feb-17	21-feb-17	21-feb-17	21-feb-17	21-feb-17
Hora	h	9,05	9,38	10,22	11,02	11,34
Caudal	m ³ /s	1,61	9,65	14,08	14,64	14,80
Altura	msnm	4295.00	4196.00	3899.00	3585.00	3452.00
Coordenadas	X	533518	536898	547240	558025	563327
	Y	8523640	8523781	8524958	8524071	8523487
PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICAS						
Temperatura	°C	4,08	4,49	6,000	7,20	7,79
Presión	mmhg	450	458,2	475,70	495,80	503,50
Conductibilidad	US/cm	239,4	189,7	241,3	202	198,7
Sólidos totales	ppm	119,70	95,56	122,2	102	100,4
Oxígeno disuelto	ppm	4,02	4,35	4,71	4,93	5,07
pH		4,23	6,29	7,50	7,70	7,74
% de sólidos	%	0,10	0,08	0,10	0,09	0,09
Turbidez	NTU	9,50	12,70	16,50	26,80	29,05
PARÁMETROS INORGÁNICOS		Toma de muestra	Toma de muestra	Toma de muestra	Toma de muestra	Tomas de muestra

4.4. CONCENTRACIÓN DE LOS METALES PESADOS

TABLA 4.7: Resultados obtenidos del análisis de los metales pesados
(1era semana de diciembre del 2016)

Metal	Unidad	RAPAC-01 09.12.16	RAPAC-02 09.12.16	RAPAC-03 09.12.16	RAPAC-04 09.12.16	RAPAC-05 09.12.16
Aluminio	mg/L	7,331	4,740	1,533	3,605	3.,23
Antimonio	mg/L	<0,00004	<0,00004	0,00651	0,00339	0,00428
Arsénico	mg/L	<0,00003	0,03609	0,42096	0,58228	0,44978
Bario	mg/L	0,0262	0,0359	0,0656	0,0787	0,0856
Berilio	mg/L	0,00070	0,00063	0,00024	0,00067	0,00052
Boro	mg/L	<0,002	0,380	4,686	4,372	3,848
Cadmio	mg/L	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0.,0001	<0,00001
Cobalto	mg/L	0,02361	0,01707	0,00389	0,00299	0,00337
Cobre	mg/L	0,00641	0,00373	0,00353	0,00514	0,00507
Cromo	mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0029	0,0034
Hierro	mg/L	3,8762	5,4696	2,0484	3,6327	3,2957
Magnesio	mg/L	9,840	9,572	12,509	11,290	10,400
Manganeso	mg/L	0,47816	0,51530	0,31028	0,25730	0,29228
Mercurio	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Molibdeno	mg/L	<0,00002	<0,00002	0,00028	0,00048	0,00057
Níquel	mg/L	0,0454	0,0301	0,0076	0,0074	0,0070
Plomo	mg/L	<0,0002	0,0005	0,0012	0,0012	0,0039
Selenio	mg/L	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Uranio	mg/L	<0,000003	0,000044	0,000054	0,000086	0,000167
Zinc	mg/L	0,0494	0,0374	0,0408	0,1043	0,1035

TABLA 4.8: Resultados obtenidos del análisis de los metales pesados
(2da semana de diciembre del 2016)

Metal	Unidad	RA- PAC-01 24.12.16	RA- PAC-02 24.12.16	RAPAC-03 24.12.16	RAPAC-04 24.12.16	RAPAC-05 24.12.16
Aluminio	mg/L	8,843	4,933	0,272	0,363	0,349
Antimonio	mg/L	<0,00004	<0,00004	0,00242	0,00189	<0,00004
Arsénico	mg/L	<0,00003	0,03222	0,50061	0,41983	0,30299
Bario	mg/L	0,0243	0,0342	0,00496	0,00576	0,0547
Berilio	mg/L	0,00079	0,00062	0,00013	<0,000022	0,00002
Boro	mg/L	<0,002	0,370	5,925	5,703	4,313
Cadmio	mg/L	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Cobalto	mg/L	0,02166	0,011519	0,00196	0,00084	0,00071
Cobre	mg/L	0,00601	0,00272	0,00194	0,00136	<0,00003
Cromo	mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0026	<0,0001
Hierro	mg/L	5,1526	5,1119	0,5077	0,3960	0,5035
Magnesio	mg/L	9,143	9,079	15,793	12,677	10,049
Manganeso	mg/L	0,45408	0,42795	0,21988	0,08061	0,09348
Mercurio	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Molibdeno	mg/L	<0,00002	<0,00002	0,00028	0,00038	0,00034
Níquel	mg/L	0,0435	0,0255	0,049	<0,029	0,0025
Plomo	mg/L	<0,0002	<0,0002	0,0009	<0,0002	<0,0002
Selenio	mg/L	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Uranio	mg/L	<0,000003	<0,000003	<0,000003	<0,000003	<0,000003
Zinc	mg/L	0,0413	0,0321	0,0539	0,0095	0,018

TABLA 4.9: Resultados obtenidos del análisis de los metales pesados
(1era semana de enero del 2017)

Metal	Unidad	RAPAC-01 08.01.17	RAPAC-02 08.01.17	RAPAC-03 08.01.17	RAPAC-04 08.01.17	RAPAC-05 08.01.17
Aluminio	mg/L	6,0400	4,633	2,205	3,447	2,904
Antimonio	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Arsénico	mg/L	<0,00003	0,02929	0,05167	0,06995	0,06332
Bario	mg/L	0,0256	0,0496	0,0899	0,0757	0,0785
Berilio	mg/L	0,00070	0,00062	0,00013	0,00041	<0,00002
Boro	mg/L	<0,002	0,371	0,347	0,342	0,328
Cadmio	mg/L	<0,00001	<0,00001	0,00035	<0,00001	<0,00001
Cobalto	mg/L	0,02027	0,01561	0,00308	0,00331	0,00302
Cobre	mg/L	0,00626	0,00328	0,00152	0,00293	0,00201
Cromo	mg/L	0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0023	0,0022
Hierro	mg/L	5,1605	5,1008	2,9035	4,4734	3,9013
Magnesio	mg/L	9,400	9,055	3,799	4,053	3,855
Manganeso	mg/L	0,46061	0,40492	0,14987	0,1800	0,17297
Mercurio	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Molibdeno	mg/L	<0,00002	<0,00002	0,00018	0,00033	0,00027
Níquel	mg/L	0,0387	0,0118	0,0046	0,0066	0,0059
Plomo	mg/L	<0,0002	0,0006	0,0006	0,0024	0,0025
Selenio	mg/L	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Uranio	mg/L	<0,000003	0,000040	0,000081	0,000051	0,000136
Zinc	mg/L	0,0402	0,0273	0,0244	0,0245	0,0374

TABLA 4.10: Resultados obtenidos del análisis de los metales pesados
(2da semana de enero del 2017)

Metal	Unidad	RAPAC-01 22.01.17	RAPAC-02 22.01.17	RAPAC-03 22.01.17	RAPAC-04 22.01.17	RAPAC-05 22.01.17
Aluminio	mg/L	5,078	2,930	1,684	2,558	2,644
Antimonio	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Arsénico	mg/L	0,00253	0,01114	0,03896	0,04295	0,04427
Bario	mg/L	0,0558	0,0517	0,0544	0,0541	0,0566
Berilio	mg/L	0,00042	0,00027	0,00019	0,00021	<0,00020
Boro	mg/L	<0,002	0,032	0,311	0,279	0,257
Cadmio	mg/L	<0,00001	<0,00001	0,00035	<0,00001	<0,00001
Cobalto	mg/L	0,01293	0,00760	0,00324	0,00249	0,00261
Cobre	mg/L	0,00841	0,00413	0,00322	0,00292	0,00356
Cromo	mg/L	0,0035	0,0021	<0,0001	0,0001	<0,0001
Hierro	mg/L	6,2260	3,6667	2,0730	2,4172	2,9816
Magnesio	mg/L	4,920	5,278	4,086	4,443	3,823
Manganeso	mg/L	0,19238	0,17703	0,13331	0,1138	0,15162
Mercurio	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Molibdeno	mg/L	<0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002
Níquel	mg/L	0,0249	0,0130	0,0062	0,0051	0,0047
Plomo	mg/L	0,0009	0,0010	0,0017	0,0022	0,0027
Selenio	mg/L	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Uranio	mg/L	<0,000003	<0,000003	0,000003	<0,000003	<0,000003
Zinc	mg/L	0,0292	0,0191	0,0317	0,0201	0,0192

TABLA 4.11: Resultados obtenidos del análisis de los metales pesados
(1era semana de febrero del 2017)

Metal	Unidad	RAPAC-01 05.02.17	RAPAC-02 05.02.17	RAPAC-03 05.02.17	RAPAC-04 05.01.17	RAPAC-05 05.02.17
Aluminio	mg/L	5,754	2,484	0,208	0,348	0,766
Antimonio	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Arsénico	mg/L	<0,00003	0,0122	0,1033	0,08782	0,08949
Bario	mg/L	0,0330	0,0360	0,0375	0,0386	0,0445
Berilio	mg/L	0,00041	0,00023	0,00012	<0,00002	<0,00002
Boro	mg/L	<0,002	0,057	1,365	1,024	0,965
Cadmio	mg/L	<0,00001	<0,00001	0,00001	<0,00001	<0,00001
Cobalto	mg/L	0,01750	0,00926	0,00113	0,00062	0,00092
Cobre	mg/L	0,00823	0,00271	0,00140	0,00172	0,00531
Cromo	mg/L	0,0025	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Hierro	mg/L	5,3838	2,9351	0,4228	0,4666	1,3013
Magnesio	mg/L	5,626	5,390	4,532	4,934	5,758
Manganeso	mg/L	0,24841	0,21204	0,10006	0,0563	0,05686
Mercurio	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Molibdeno	mg/L	<0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002
Níquel	mg/L	0,0354	0,0172	0,0021	0,0020	0,0049
Plomo	mg/L	<0,0002	<0,0002	0,0004	0,0005	0,0019
Selenio	mg/L	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Uranio	mg/L	<0,000003	<0,000003	0,000003	<0,000003	<0,000003
Zinc	mg/L	0,03200	0,01910	0,01870	0,01010	0,00960

TABLA N° 4.12: Resultados obtenidos del análisis de los metales pesados
(2da semana de febrero del 2017)

Metal	Unidad	RAPAC-01 21.02.17	RAPAC-02 21.02.17	RAPAC-03 21.02.17	RAPAC-04 21.02.17	RAPAC-05 21.02.17
Aluminio	mg/L	4,1140	2,484	1,382	3,0030	3,498
Antimonio	mg/L	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Arsénico	mg/L	<0,00003	0,00854	0,03184	0,03869	0,04402
Bario	mg/L	0,03325	0,0437	0,0438	0,0658	0,0770
Berilio	mg/L	0,00037	0,00021	0,00015	0,00021	0,00024
Boro	mg/L	<0,002	0,029	0,328	0,261	0,253
Cadmio	mg/L	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Cobalto	mg/L	0,01167	0,00549	0,00268	0,00285	0,00346
Cobre	mg/L	0,00571	0,00281	0,00279	0,00389	0,00467
Cromo	mg/L	0,0021	<0,0001	<0,0001	0,0034	0,0029
Hierro	mg/L	3.9213	2,3194	1,6165	2,8489	3,2648
Magnesio	mg/L	4,296	4,328	3,327	3,820	4,025
Manganeso	mg/L	0,16869	0,14515	0,11208	0,16881	0,18758
Mercurio	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003
Molibdeno	mg/L	<0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002
Níquel	mg/L	0,0229	0,0106	0,0057	0,0056	0,0057
Plomo	mg/L	<0,0002	0,0006	0,0013	0,0037	0,0046
Selenio	mg/L	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Uranio	mg/L	<0.000003	<0,000003	0,000003	<0,000003	<0,000003
Zinc	mg/L	0,0257	0,0133	0,0247	0,0225	0,0324

4.5. CAUDAL DEL RIO APACHETA

El resultado del caudal del río Apacheta es variable, está en función a la fecha del muestreo, cuyo resultado fue de la siguiente manera.

TABLA 4.13: Caudales del río Apacheta en los puntos de muestreo (m³/s).

Puntos de muestreo	9.12.16	24.12.16	8.01.17	22.01.17	5.02.17	21.02.17	Promedio m ³ /S
RAPAC-01	0,1107	0,115	0,6215	2,0697	0,561	1,609	0,84782
RAPAC-02	0,7667	0,888	7,2201	12,1669	4,284	9,649	5,8291
RAPAC-03	0,4132	0,4548	11,2981	19,6681	2,2860	14,080	8,03336
RAPAC-04	1,458	0,7648	12,4639	20,7267	4,4520	14,640	9,08423
RAPAC-05	2,0579	1,1186	12,6513	23,4400	4,6190	14,795	9,7803

4.6. IMPACTOS AMBIENTALES

Los metales pesados, más significativos, que impactaron al agua del río Apacheta. Son el aluminio, hierro, arsénico y manganeso, el resultado del análisis se precisan en las tablas 4.14, 4.16, 4.18 y 4.21 respectivamente.

TABLA 4.14: Resultados obtenidos de la concentración de aluminio (mg/L)

Puntos de muestreo	9.12.16	24.12.16	8.01.17	22.01.17	5.02.17	21.02.17	Promedio mg/L
RAPAC-01	7,331	8,843	6,04	5,078	5,754	4,114	6,193
RAPAC-02	4,74	4,933	4,633	2,930	2,484	2,484	3,70
RAPAC-03	1,533	0,272	2,205	1,684	0,208	1,382	1,214
RAPAC-04	3,605	0,363	3,447	2,558	0,348	3,003	2,2206
RAPAC-05	3,425	0,349	2,904	2,644	0,766	3,498	2,2643

D.S.N° 015-2015-MINAN: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental de agua categoría 3, para aluminio 5.0 mg/L.

TABLA 4.15: Aluminio Total (mg/L)

Zonas muestreo	N	Medias	H	p
RAPAC-01	6	6,19	18,71	0,0009
RAPAC-02	6	3,7		
RAPAC-03	6	1,21		
RAPAC-04	6	2,22		
RAPAC-05	6	2,26		

Trat.	Ranks			
RAPAC-03	6,17	A		
RAPAC-05	12,83	A	B	
RAPAC-04	13	A	B	
RAPAC-02	18,5		B	C
RAPAC-01	27			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

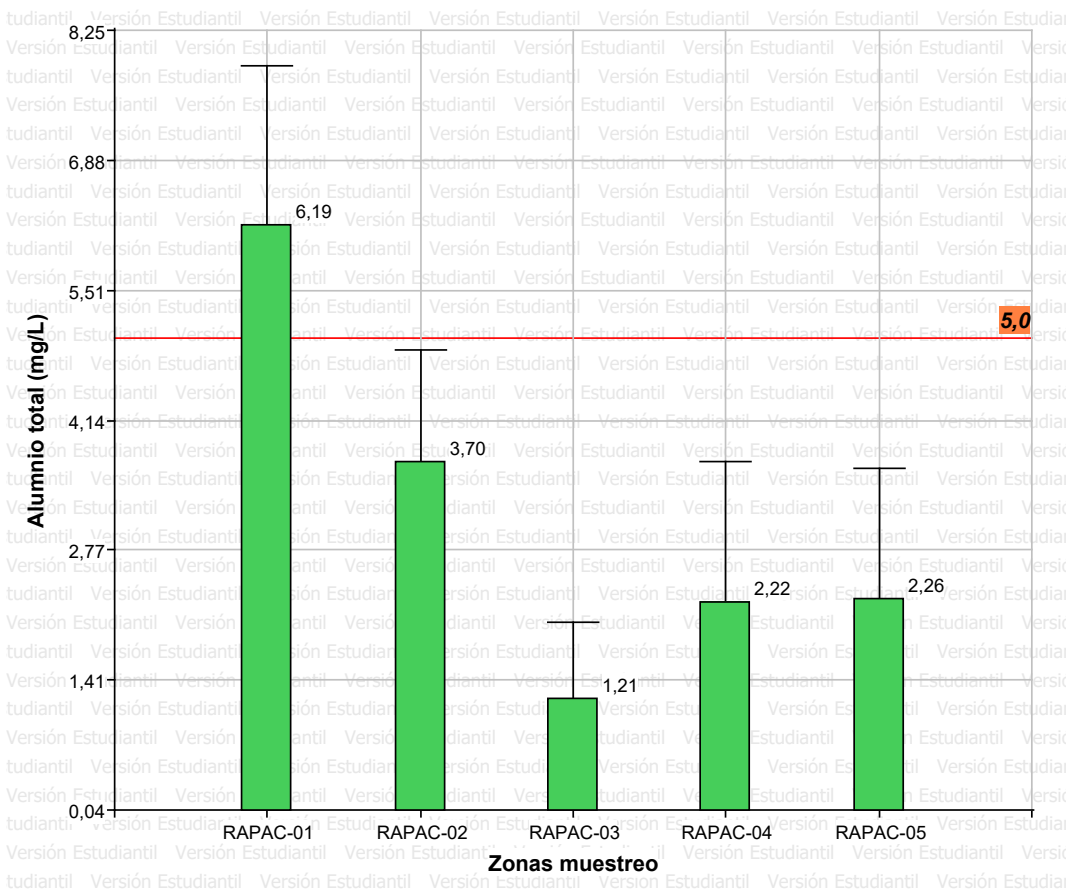


FIGURA 4.1: Valores promedios y desviación estándar de aluminio total en las aguas del río Apacheta de cinco zonas en comparación con los valores referenciales de los estándares de calidad ambiental del agua en la Categoría 3 (DS-004-2017-MINAM).

TABLA 4.16: Resultados obtenidos de la concentración de hierro (mg/L)

Puntos de muestreo	9.12.16	24.12.16	8.01.17	22.01.17	5.02.17	21.02.17	Promedio mg/L
RAPAC-01	3,8762	5,1526	5,1605	6,2260	5,3838	3,9213	4,9534
RAPAC-02	5,4696	5,1119	5,1008	3,6667	2,9351	2,3194	4,1006
RAPAC-03	2,0484	0,5077	2,9035	2,0730	0,4228	1,6165	1,5953
RAPAC-04	3,6327	0,3960	4,4734	2,4172	0,4666	2,8489	2,3725
RAPAC-05	3,2957	0,5035	3,9013	2,9816	1,3013	3,2648	2,5414

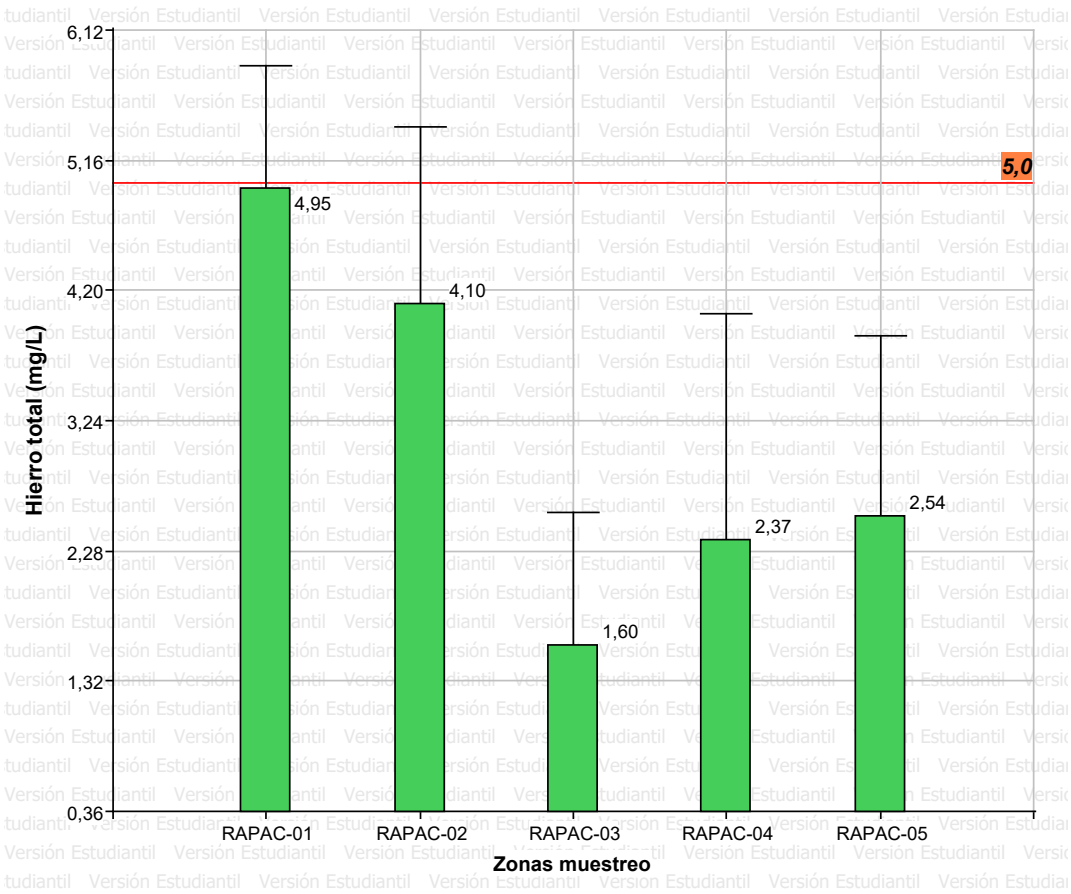


FIGURA 4.2: Valores promedios y desviación estándar de hierro total en las aguas del río Apacheta de cinco zonas en comparación con los valores referenciales de los estándares de calidad ambiental del agua en la Categoría 3 (DS-004-2017-MINAM).

TABLA 4.17: hierro total (mg/L)

Zonas muestreo	N	Medias	H	p
RAPAC-01	6	4,95	16,36	0,0026
RAPAC-02	6	4,1		
RAPAC-03	6	1,6		
RAPAC-04	6	2,37		
RAPAC-05	6	2,54		
Trat.	Ranks			
RAPAC-03	7,33	A		
RAPAC-04	11,33	A	B	
RAPAC-05	13,17	A	B	
RAPAC-02	20,17		B	C
RAPAC-01	25,5			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

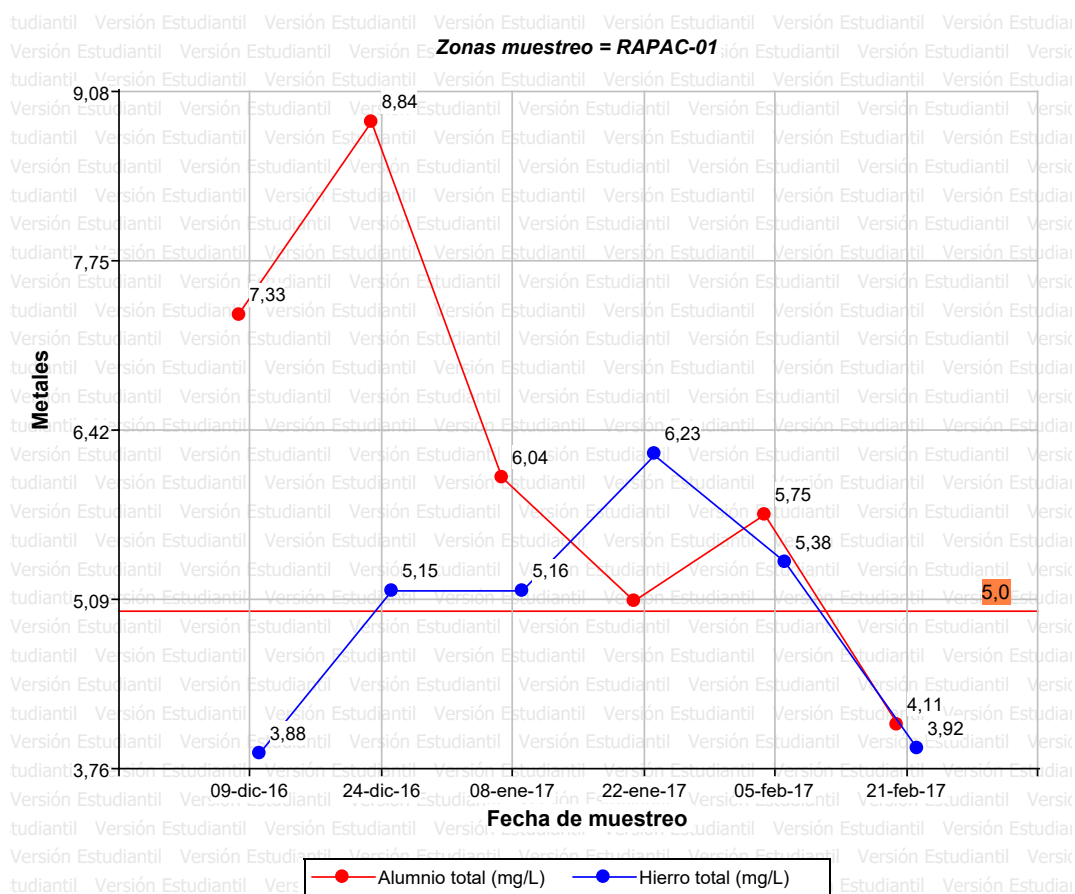


FIGURA 4.3: Tendencia de la concentración de Aluminio total y Hierro total en la zona de muestreo RAPAC-01 según las épocas de muestreo.

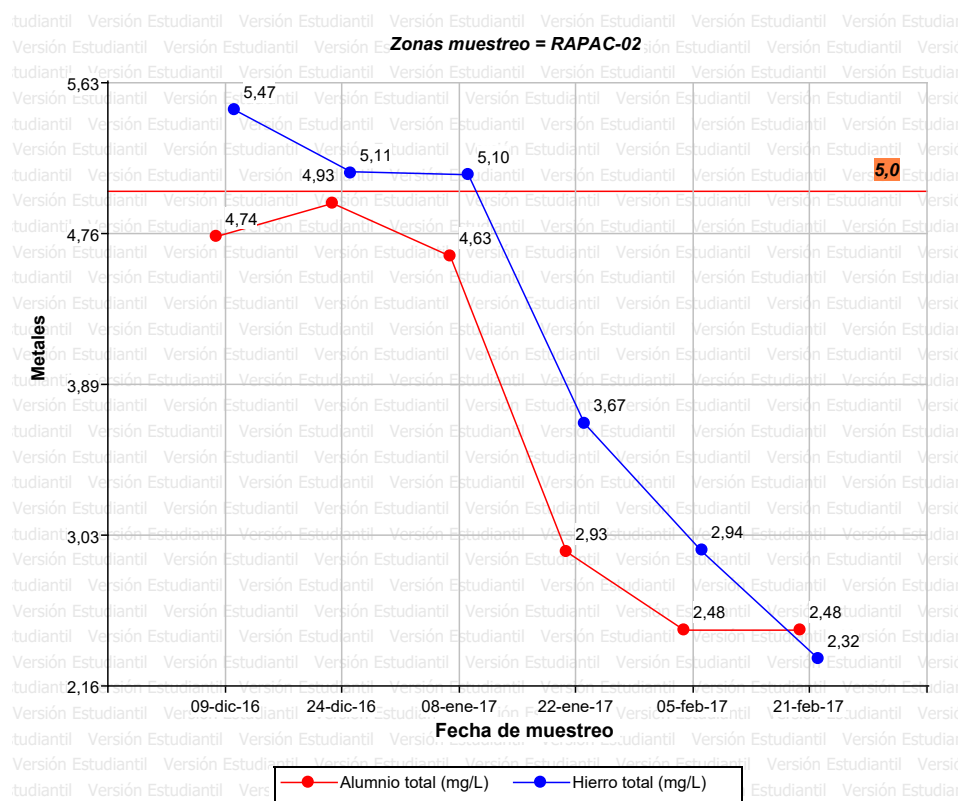


FIGURA 4.4: Tendencia de la concentración de Aluminio total y Hierro total en la zona de muestreo RAPAC-02 según las épocas de muestreo.

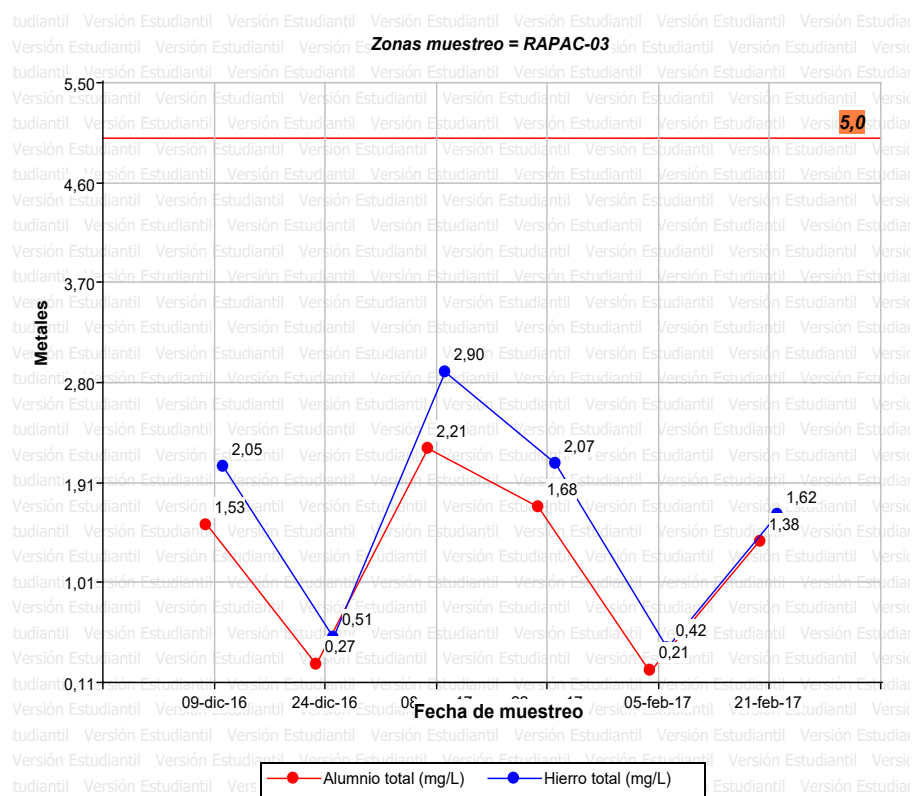


FIGURA 4.5: Tendencia de la concentración de Aluminio total y Hierro total en la zona de muestreo RAPAC-03 según las épocas de muestreo.

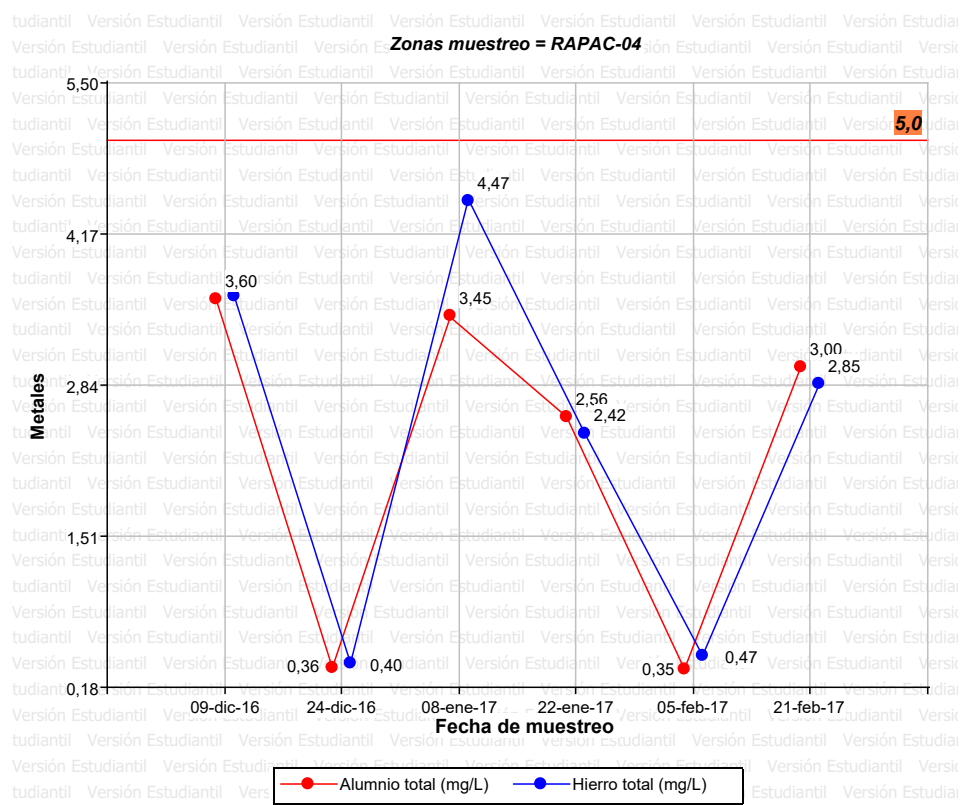


FIGURA 4.6: Tendencia de la concentración de Aluminio total y Hierro total en la zona de muestreo RAPAC-04 según las épocas de muestreo.

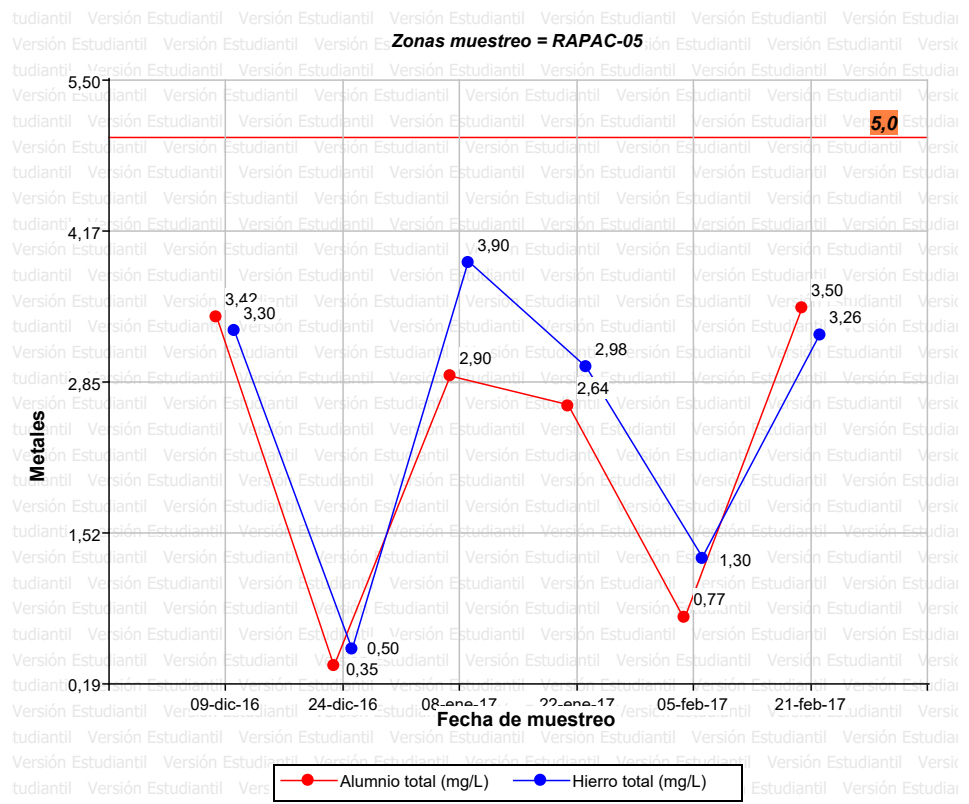


FIGURA 4.7: Tendencia de la concentración de Aluminio total y Hierro total en la zona de muestreo RAPAC-05 según las épocas de muestreo.

TABLA 4.18: Resultados obtenidos de la concentración de arsénico (mg/L)

Puntos de muestreo	9.12.16	24.12.16	8.01.17	22.01.17	5.02.17	21.02.17	Promedio mg/L
RAPAC-01	0,00003	0,00003	0,00003	0,00253	0,00003	0,00003	0,00003
RAPAC-02	0,03609	0,03222	0,02929	0,01114	0,0122	0,00854	0,02158
RAPAC-03	0,42096	0,50061	0,05167	0,03896	0,1033	0,03184	0,19122
RAPAC-04	0,56228	0,41983	0,06995	0,04295	0,08782	0,03869	0,20358
RAPAC-05	0,44978	0,30299	0,06332	0,04427	0,08949	0,04402	0,165645

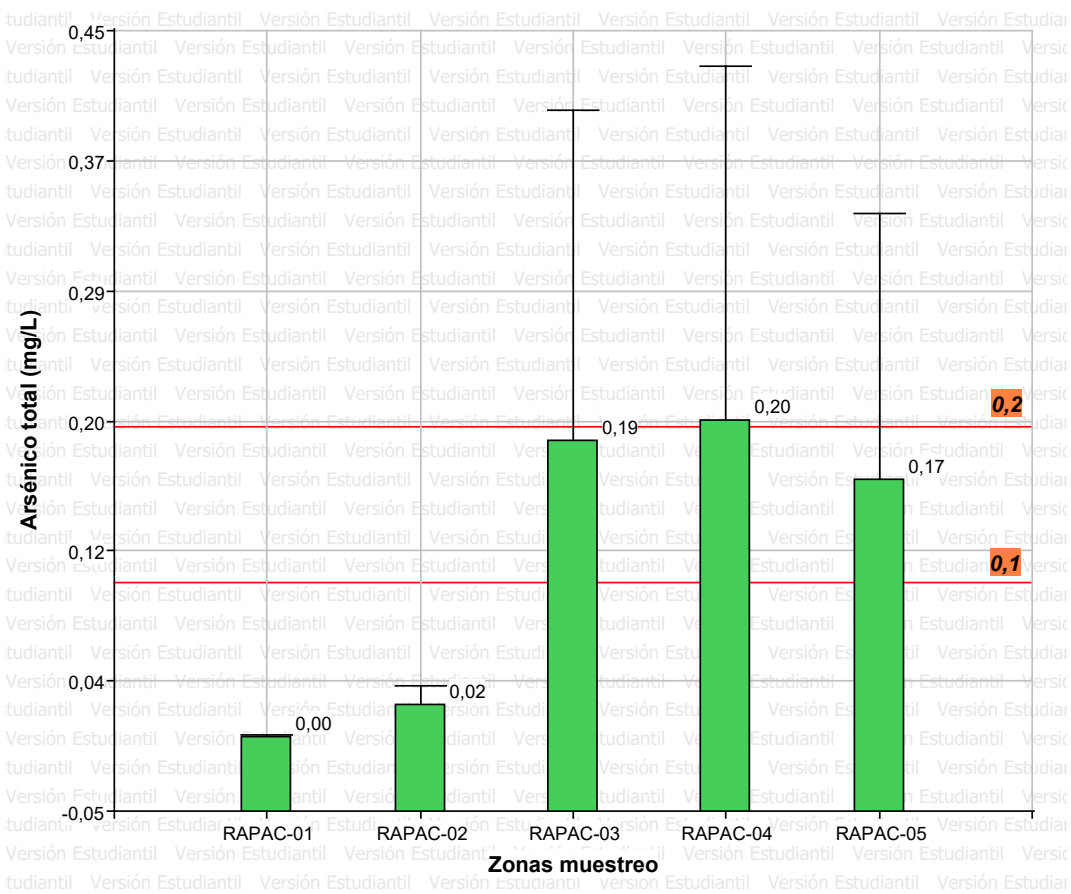


FIGURA 4.8: Valores promedios y desviación estándar de arsénico total en las aguas del río Apacheta de cinco zonas en comparación con los valores referenciales de los estándares de calidad ambiental del agua en la Categoría 3 (DS-004-2017-MINAM).

TABLA 4.19: Arsénico total

Zonas muestreo	N	Medias	H	p
RAPAC-01	6	5E-04	21,73	0,0002
RAPAC-02	6	0,02		
RAPAC-03	6	0,19		
RAPAC-04	6	0,2		
RAPAC-05	6	0,17		

Trat.	Ranks	
RAPAC-01	3,5	A
RAPAC-02	9,83	A
RAPAC-03	20,83	B
RAPAC-04	21,5	B
RAPAC-05	21,83	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

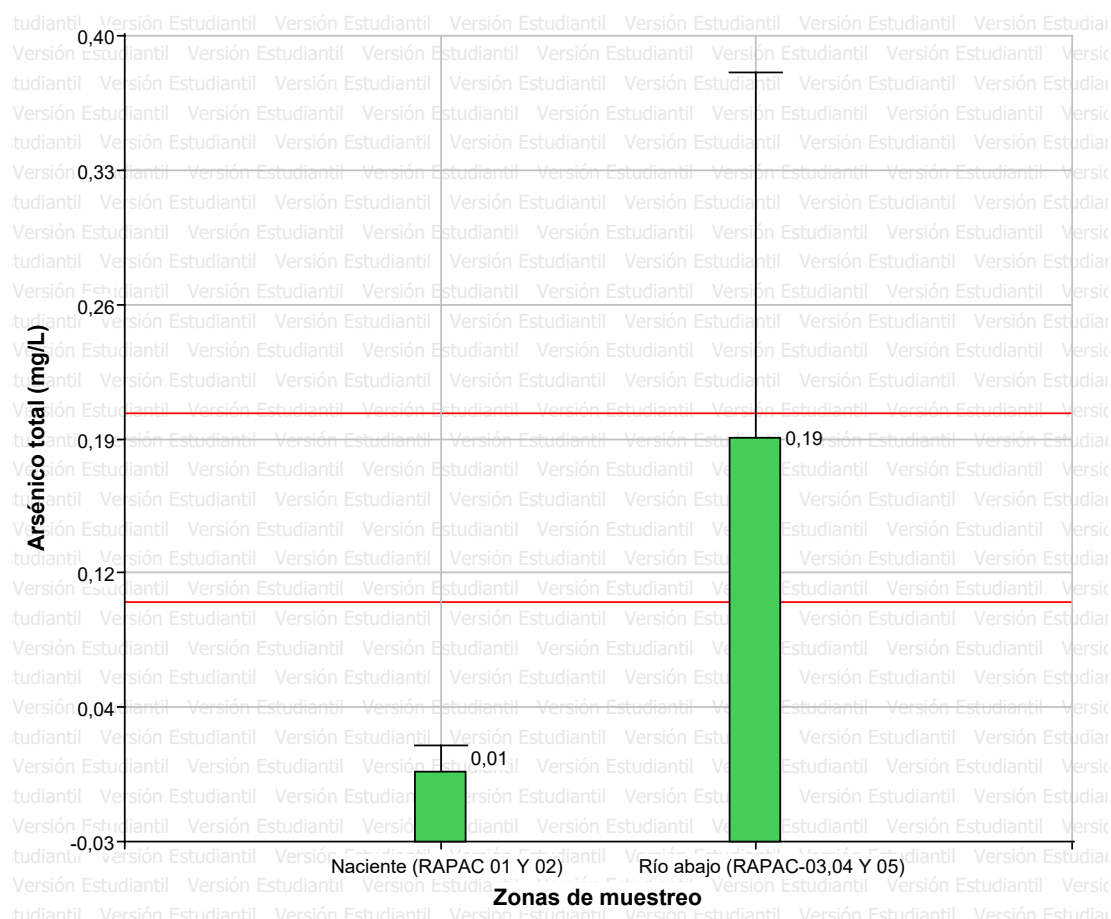


FIGURA 4.9: Valores promedios y desviación estándar de arsénico total en las aguas del río Apacheta de cinco zonas en comparación con los valores referenciales de los estándares de calidad ambiental del agua en la Categoría 3 (DS-004-2017-MINAM).

TABLA 4.20: Resultado obtenidos del análisis concentración del Zinc (mg/L)

Puntos de muestreo	9.12.16	24.12.16	8.01.17	22.01.17	5.02.17	21.02.17	Promedio mg/L
RAPAC-01	0,0494	0,0413	0,0402	0,0292	0,03200	0,0257	0,03630
RAPAC-02	0,0374	00321	0,0273	00191	0,01910	0,0113	0,02438
RAPAC-03	0,0408	0,0539	0,0244	0,0317	0,01870	0,0247	0,03236
RAPAC-04	0,1043	0,0095	0,0245	0,0201	0,01010	0,0225	0,03183
RAPAC-05	0,1035	0,0180	0,0374	0,0192	0,00960	0,0324	0,03668

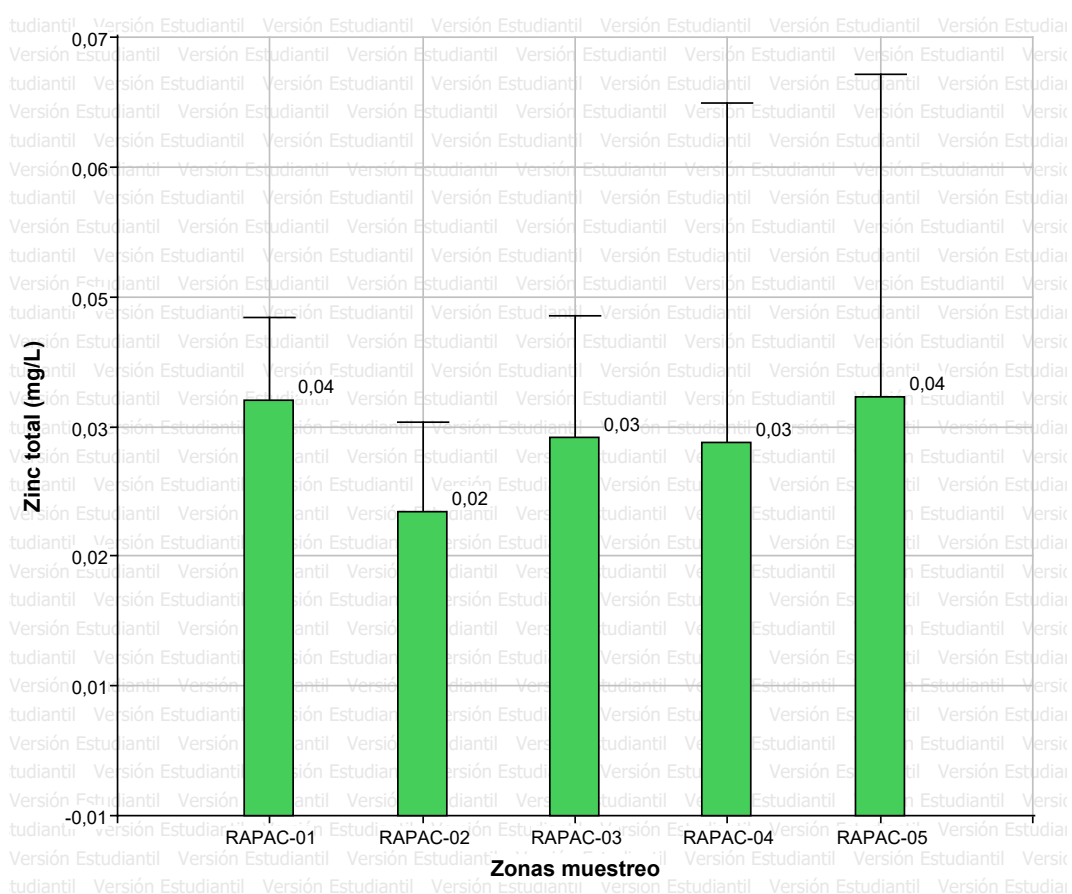


FIGURA 4.10 Valores promedios y desviación estándar de zinc total en las aguas del río Apacheta de cinco zonas en comparación con los valores referenciales de los estándares de calidad ambiental del agua en la Categoría 3 (DS-004-2015-MINAM).

TABLA 4.21: Zinc total

Zonas muestreo	N	Medias	H	p
RAPAC-01	6	0,04	4,75	0,3133
RAPAC-02	6	0,02		
RAPAC-03	6	0,03		
RAPAC-04	6	0,03		
RAPAC-05	6	0,04		

Estadísticamente, la concentración de zinc es semejante ($0,05>0,05$) en las cinco zonas de muestreo.

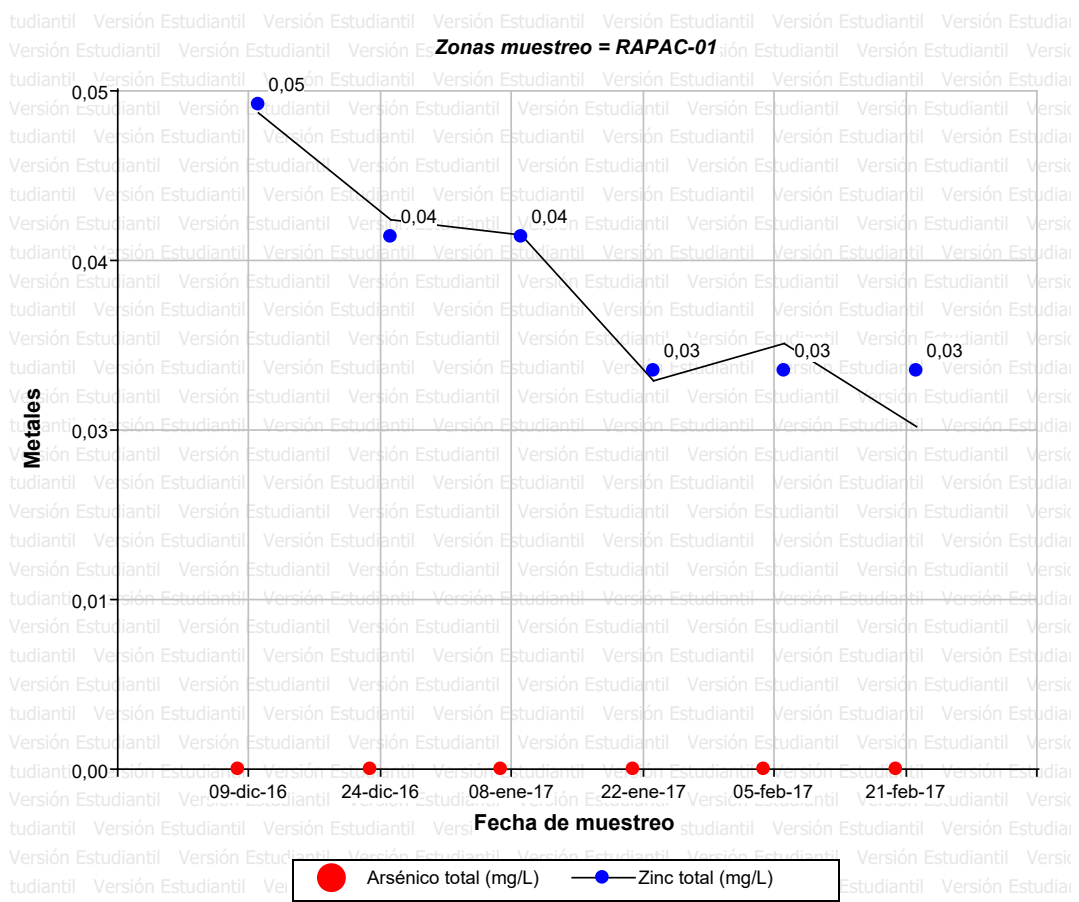


FIGURA 4.11: Tendencia de la concentración de Arsénico total y Zinc total en la zona de muestreo RAPAC-01 según las épocas de muestreo.

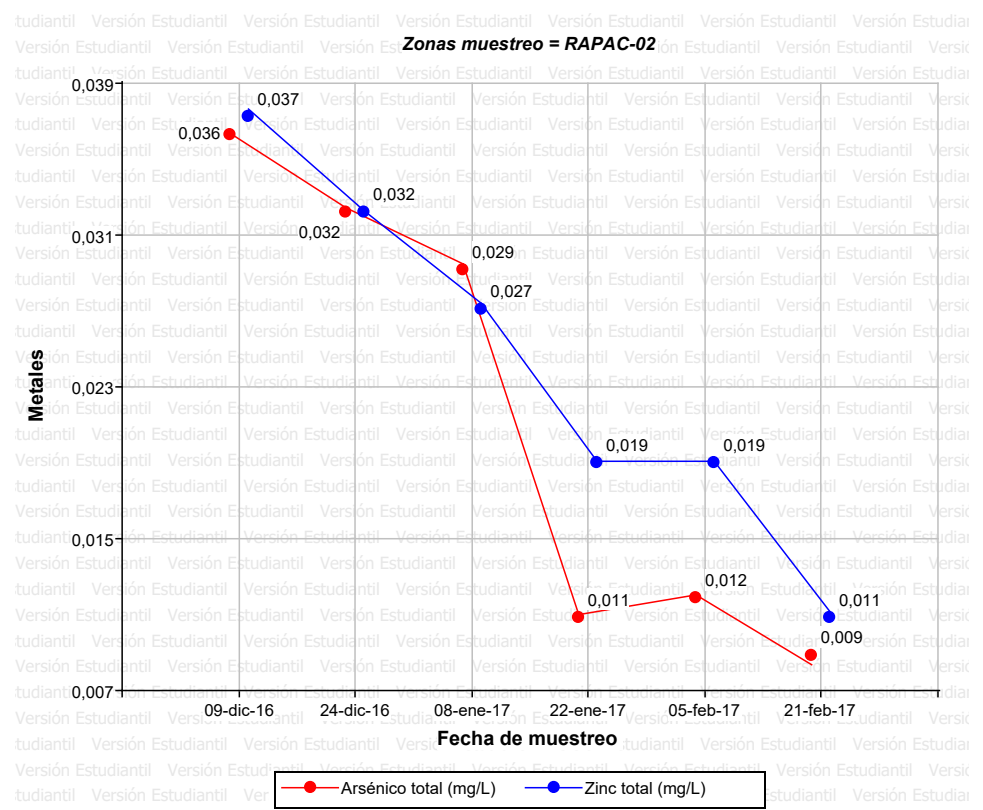


FIGURA 4.12: Tendencia de la concentración de Arsénico total y Zinc total en la zona de muestreo RAPAC-02 según las épocas de muestreo.

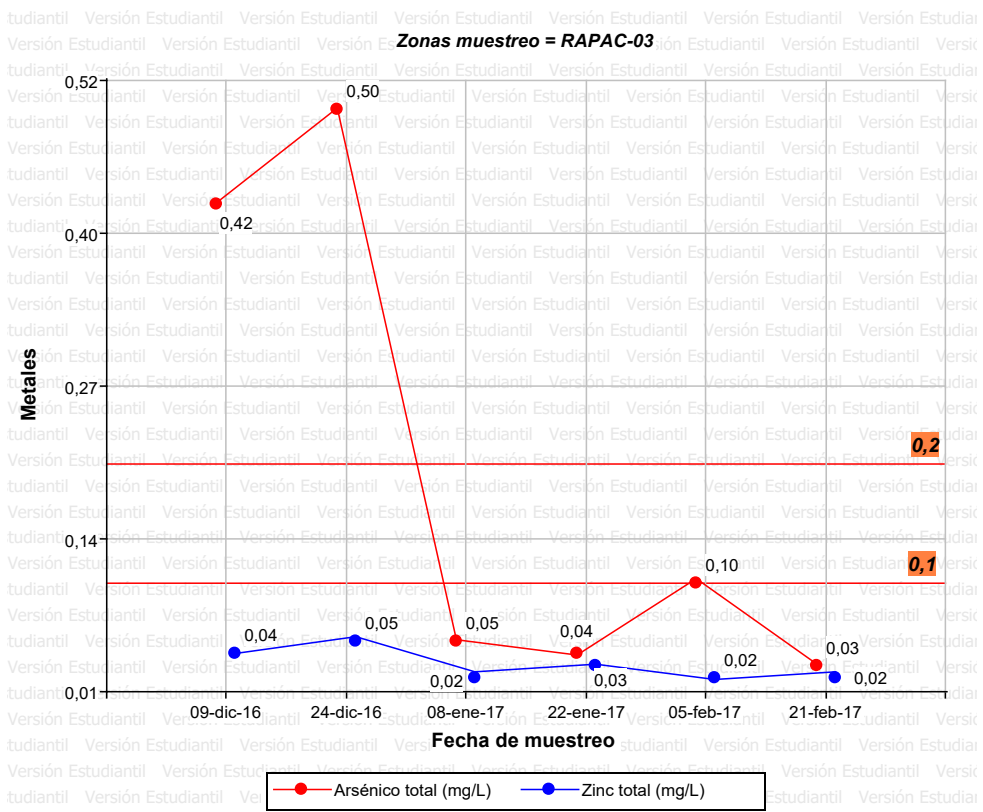


FIGURA 4.13: Tendencia de la concentración de Arsénico total y Zinc total en la zona de muestreo RAPAC-03 según las épocas de muestreo.

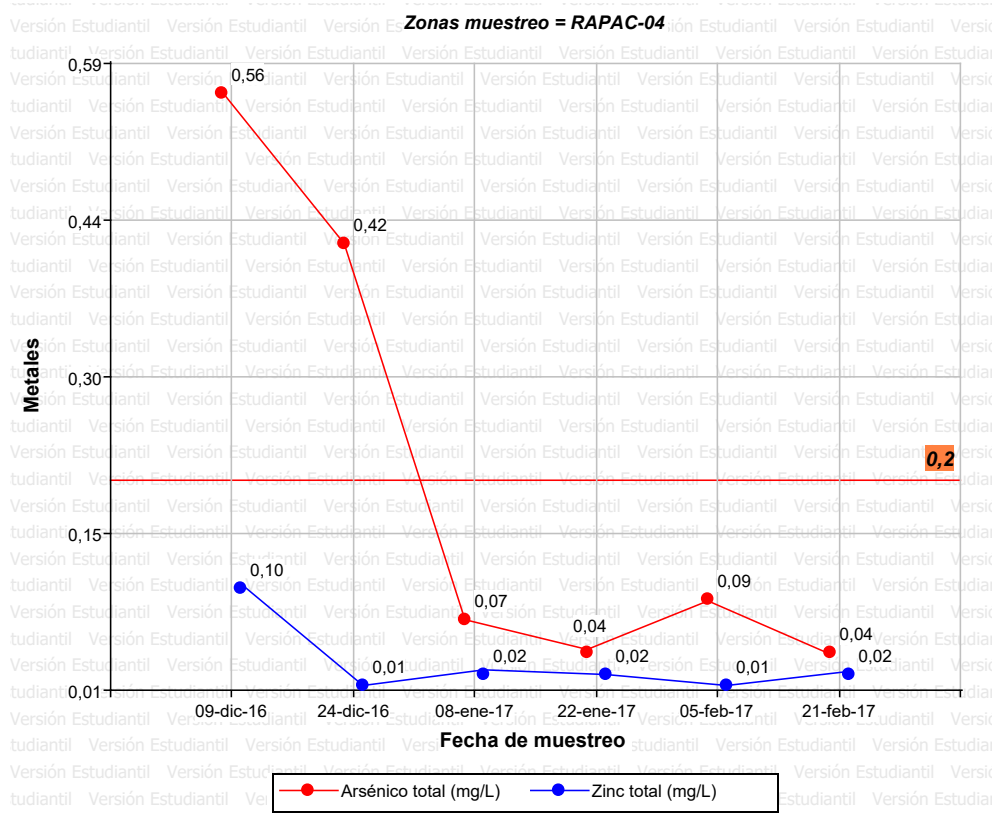


FIGURA 4.14: Tendencia de la concentración de Arsénico total y Zinc total en la zona de muestreo RAPAC-04 según las épocas de muestreo.

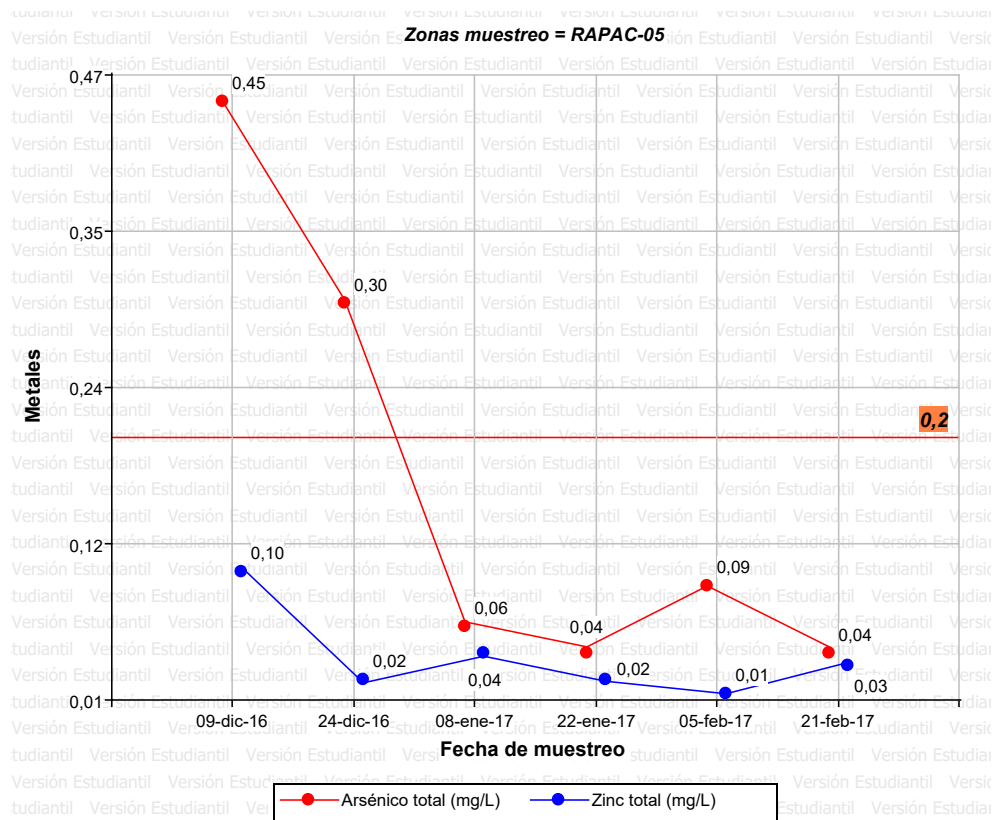


FIGURA 4.15: Tendencia de la concentración de Arsénico total y Zinc total en la zona de muestreo RAPAC-05 según las épocas de muestreo

TABLA 4.22: Resultado obtenido de la concentración de manganeso (mg/L)

Puntos de muestreo	9.12.16	24.12.16	8.01.17	22.01.17	5.02.17	21.02.17	Promedio mg/L
RAPAC-01	0,47816	0,45408	0,46061	0,19238	0,24841	0,16869	0,33372
RAPAC-02	0,5153	0,42795	0,40492	0,17703	0,21204	0,14515	0,31373
RAPAC-03	0,31028	0,21988	0,14987	0,13331	0,10006	0,11208	0,17091
RAPAC-04	0,2573	0,08061	0,1800	0,1138	0,0563	0,16881	0,14280
RAPAC-05	0,29228	0,09348	0,17297	0,15162	0,05686	0,18758	0,15913

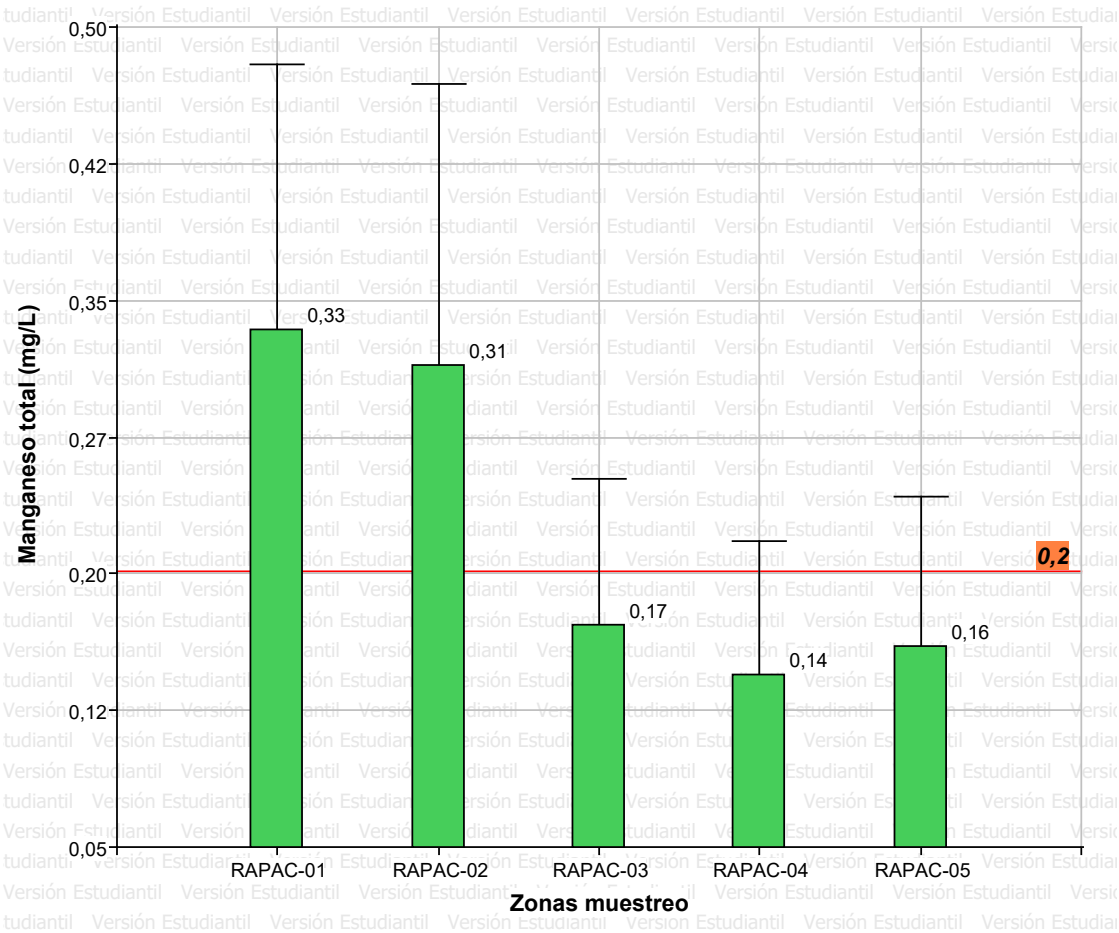


FIGURA 4.16: Valores promedios y desviación estándar de manganeso total en las aguas del río Apacheta de cinco zonas en comparación con los valores referenciales de los estándares de calidad ambiental del agua en la Categoría 3 (DS-004-2017-MINAM).

TABLA 4.23: Manganeso total

Zonas muestreo	N	Medias	H	p
RAPAC-01	6	0,33	9,83	0,0434
RAPAC-02	6	0,31		
RAPAC-03	6	0,17		
RAPAC-04	6	0,14		
RAPAC-05	6	0,16		
Trat.	Ranks			
RAPAC-04	10,33	A		
RAPAC-05	11,83	A	B	
RAPAC-03	12,17	A	B	
RAPAC-02	20,67		B	C
RAPAC-01	22,5			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

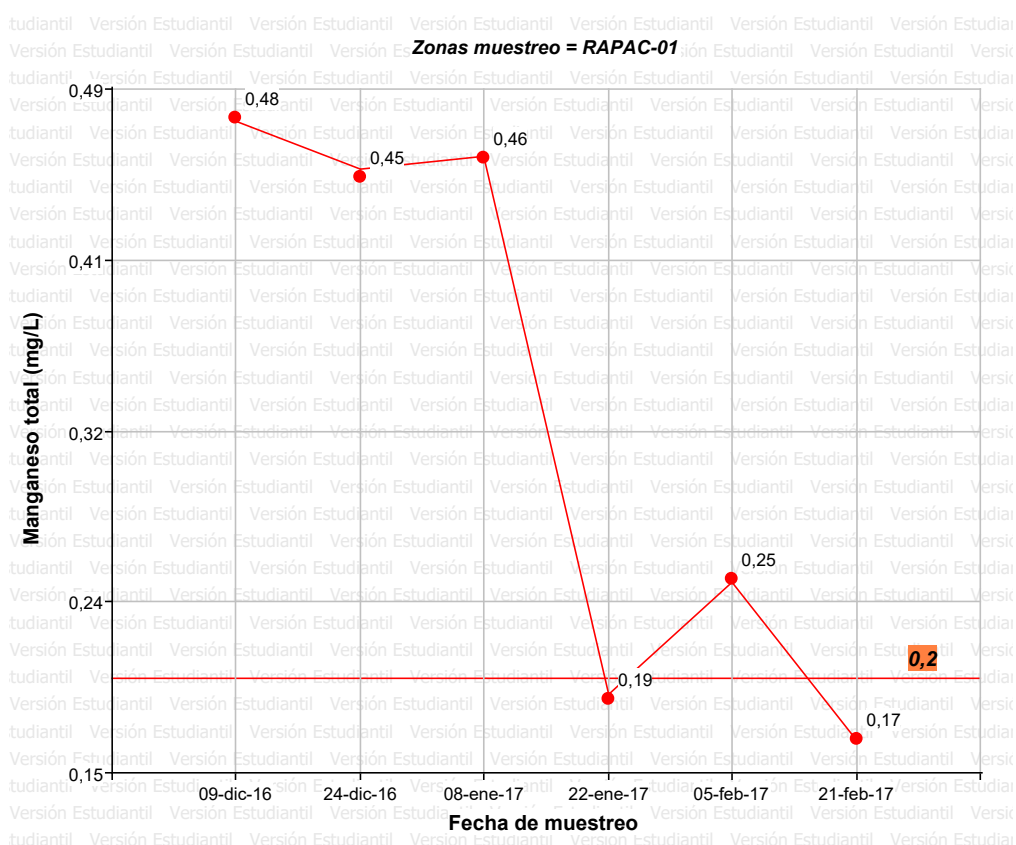


FIGURA 4.17: Tendencia de la concentración de manganeso total en la zona de muestreo RAPAC-01 según las épocas de muestreo.

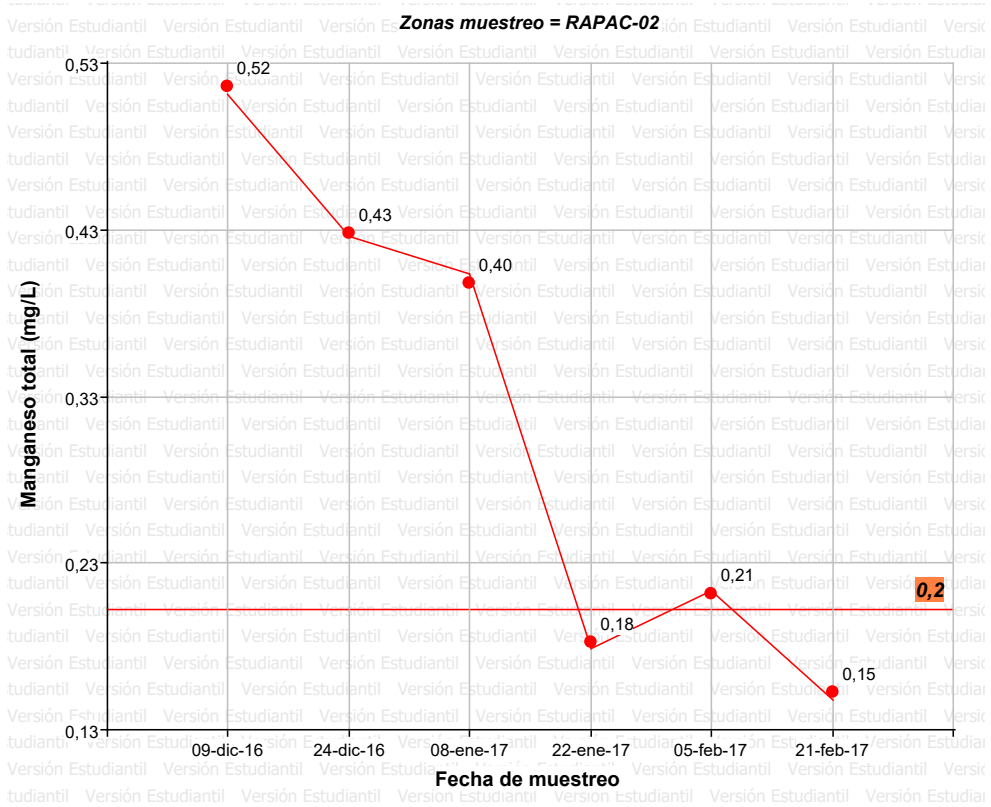


FIGURA 4.18: Tendencia de la concentración de manganeso total en la zona de muestreo RAPAC-02 según las épocas de muestreo.

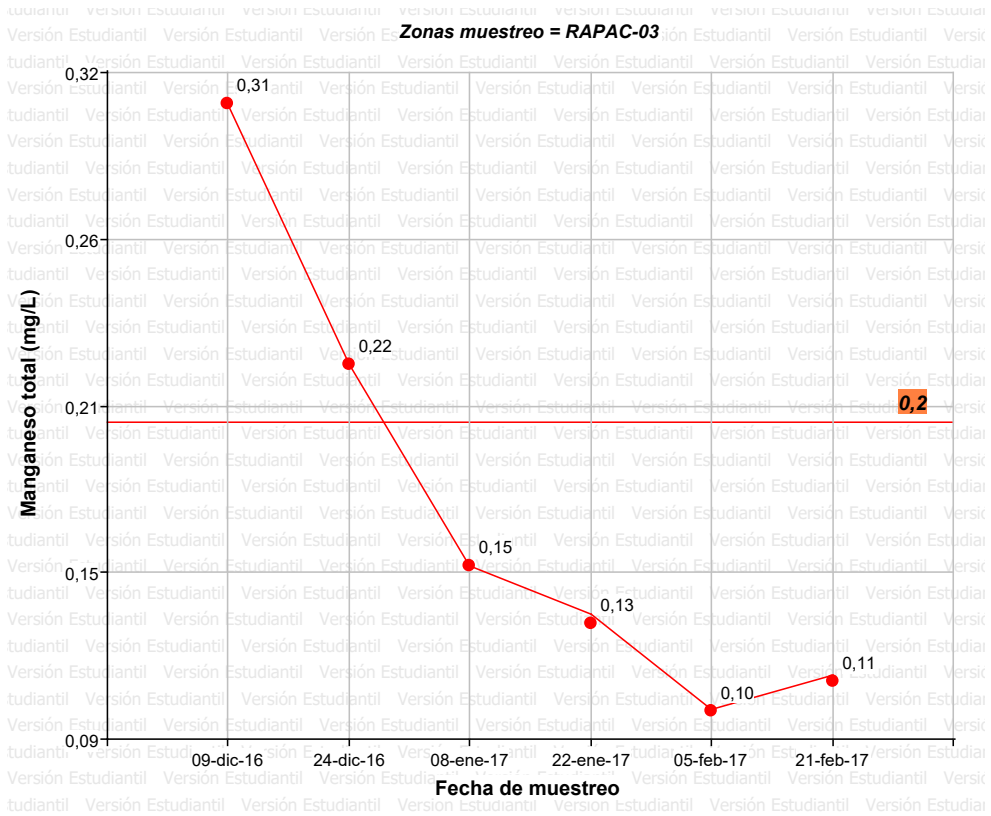


FIGURA 4.19: Tendencia de la concentración de manganeso total en la zona de muestreo RAPAC-03 según las épocas de muestreo.

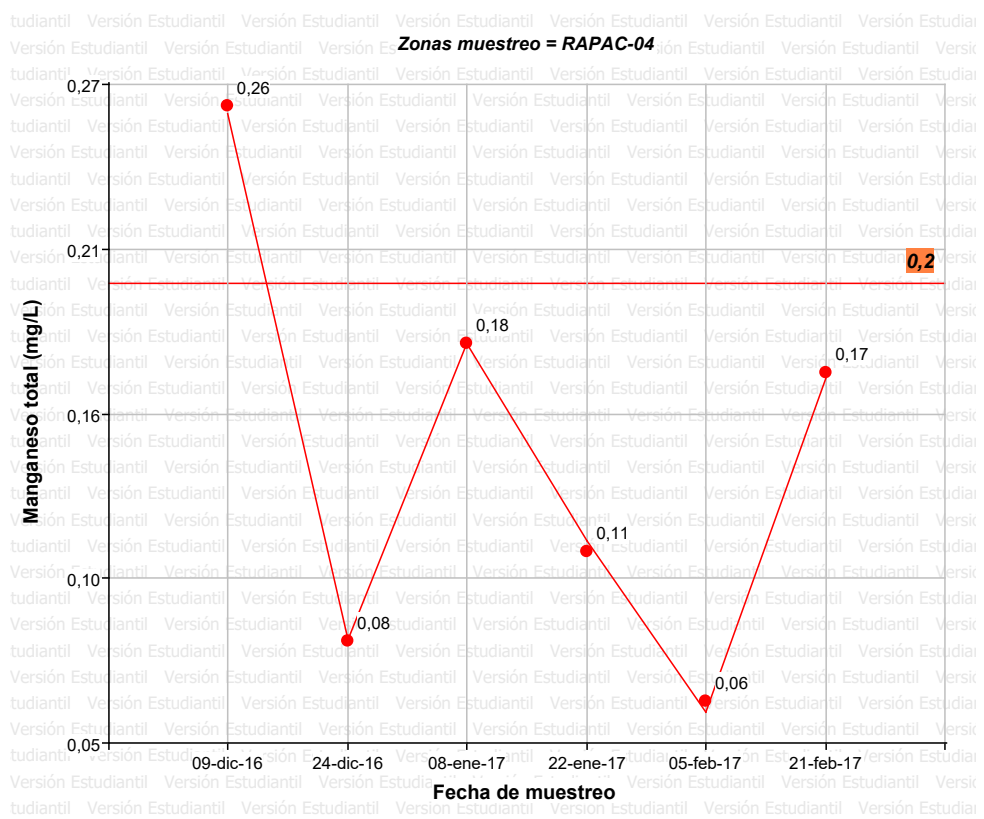


FIGURA 4.20: Tendencia de la concentración de manganeso total en la zona de muestreo RAPAC-04 según las épocas de muestreo.

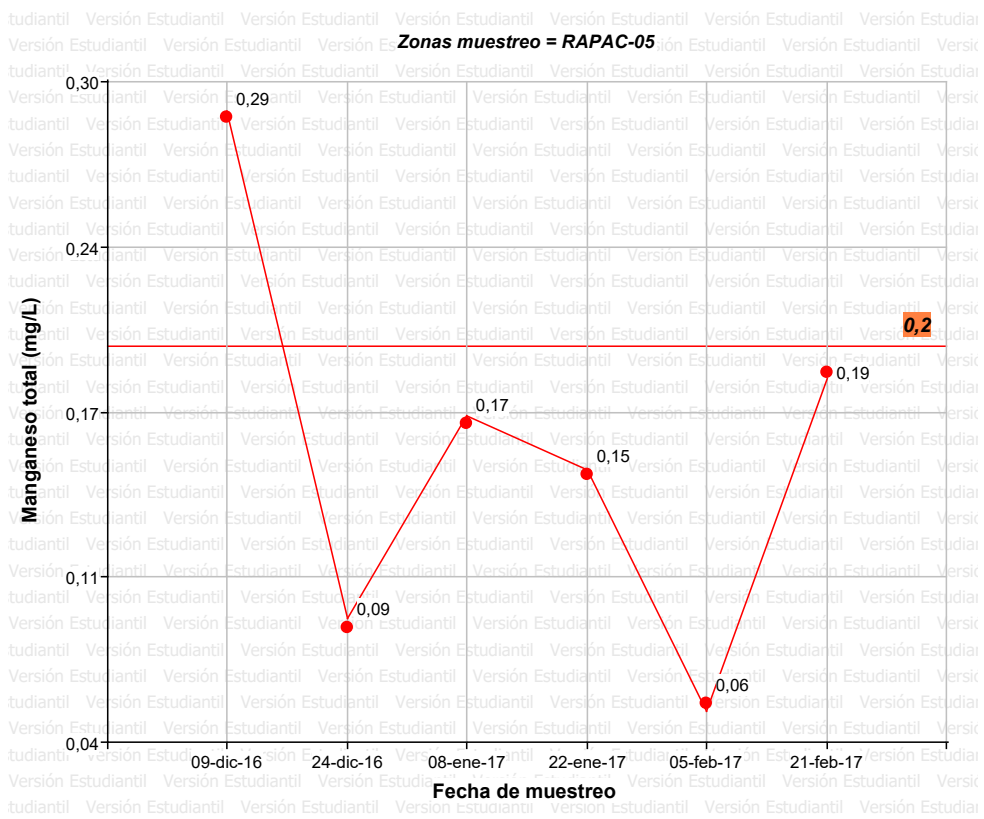


FIGURA 4.21: Tendencia de la concentración de manganeso total en la zona de muestreo RAPAC-05 según las épocas de muestreo

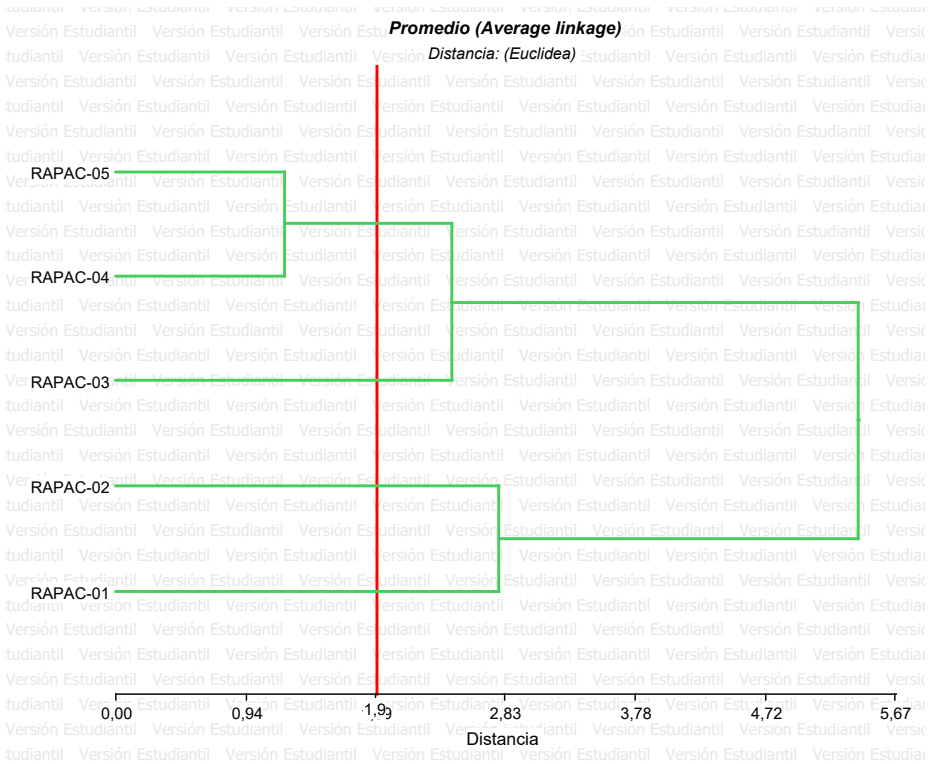


FIGURA. 4.22: Dendrograma de similitud (distancia) de las 5 zonas de muestreo en función de las características fisicoquímicas del agua el río Apacheta.

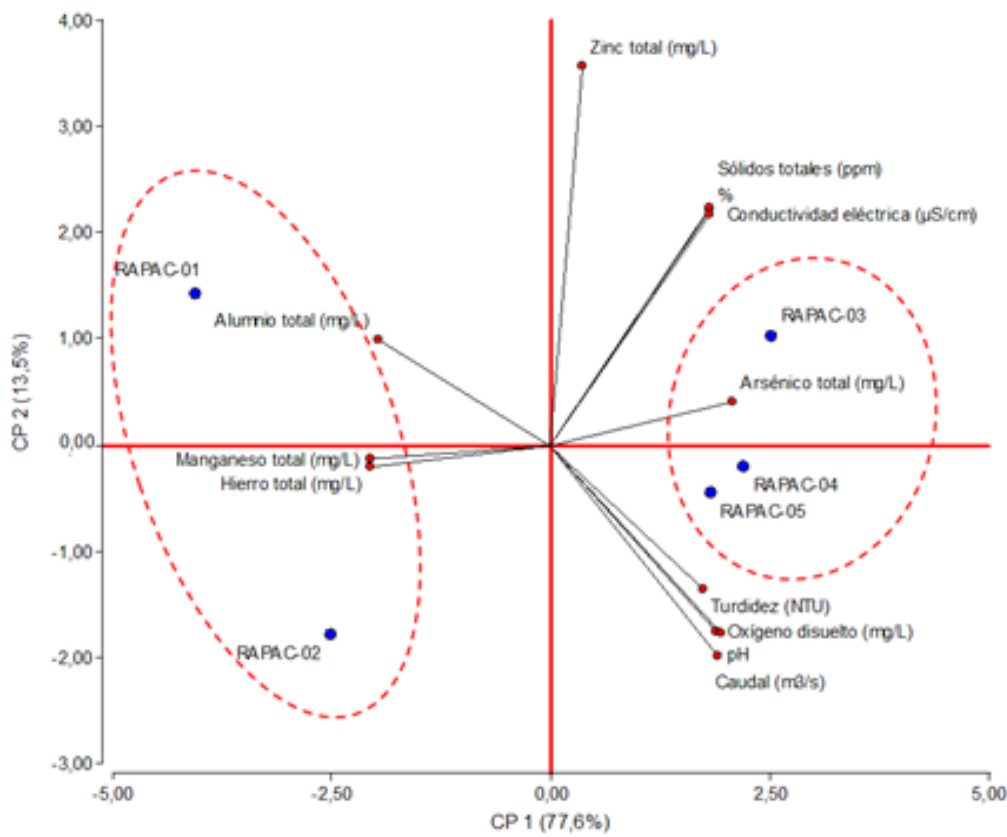


FIGURA 4.23: Diagrama de dispersión de las 5 zonas de muestreo expresados en el primer y segundo componentes principales (CP1 y CP2) según las características fisicoquímicas de sus aguas.

4.7. CORRELACIONES

TABLA 4. 24 caudales de las estaciones de muestreo (m³/s)

Puntos de muestreo	9.12.16	24.12.16	8.01.17	22.01.17	5.02.17	21.02.17	Promedio m³/s
RAPAC-01	0,1107	0,115	0,6215	2,0697	0,561	1,609	0,84782
RAPAC-02	0,7667	0,888	7,2201	12,1669	4,284	9,649	5,8291
RAPAC-03	0,4132	0,4548	11,2981	19,6681	2,2860	14,080	8,03336
RAPAC-04	1,458	0,7648	12,4639	20,7267	4,4520	14,640	9,08423
RAPAC-05	2,0579	1,1186	12,6513	23,4400	4,6190	14,795	9,7803

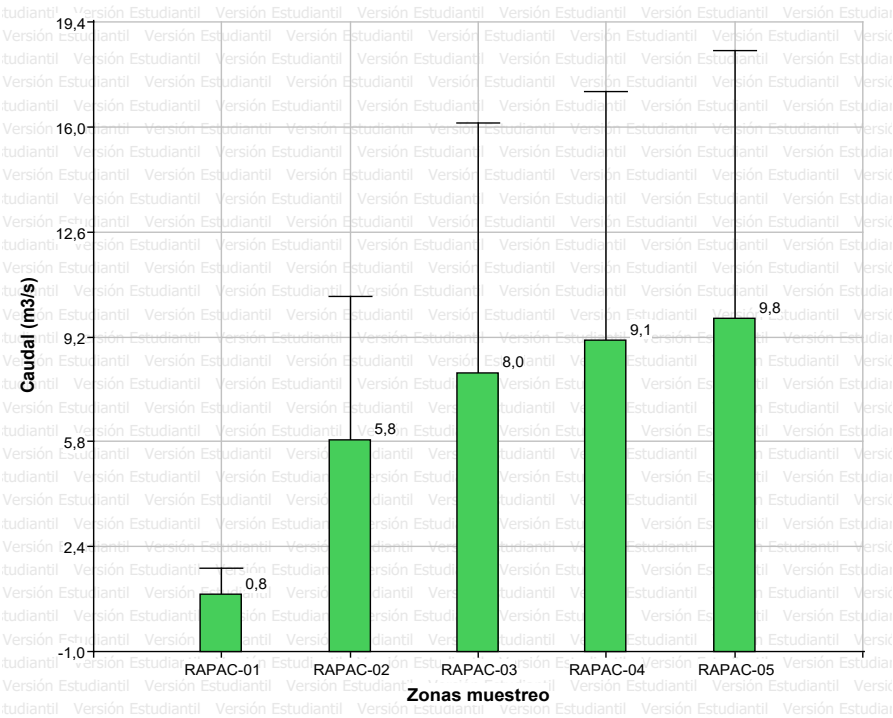


FIGURA 4.24: Valores promedios y desviación estándar del caudal de las aguas del río Apacheta de 5 zonas o estaciones.

TABLA 4.25: Caudal en las zonas de muestreo

Variable	Zonas muestreo	N	Medias	H	p
Caudal (m³/s)	RAPAC-01	6	0,85	8,73	0,0682
Caudal (m³/s)	RAPAC-02	6	5,83		
Caudal (m³/s)	RAPAC-03	6	8,03		
Caudal (m³/s)	RAPAC-04	6	9,08		
Caudal (m³/s)	RAPAC-05	6	9,78		

Las zonas de muestreo son estadísticamente iguales ($p>0,05$) en cuanto al caudal de agua, resaltando el hecho de que sus valores presentan grandes fluctuaciones según los meses de muestreo. (elevados valores de desviación típica).

TABLA 4.26: La concentración de aluminio (mg/L) en función del caudal.

Aluminio total (mg/L) **							
Puntos de muestreo	Unidad	9-12-16	24-12-16	8-01-17	22-01-17	5-2-17	21-02-17
RAPAC-01	mg/L	7,331	8,843	6,04	5,078	5,754	4,114
	m ³ /s*	0,1107	0,115	0,6215	2,0700	0,5610	1,6090
RAPAC-02	mg/L	4,4	4,933	4,633	2,930	2,484	2,484
	m ³ /s*	0,7667	0,888	7,2201	12,1669	4,284	9,649
RAPAC-03	mg/L	1,533	0,272	2,205	1,684	0,208	1,382
	m ³ /s*	0,4132	0,4548	11,2981	19,6681	2,2860	14,080
RAPAC-04	mg/L	3,605	0,363	3,447	2,558	0,348	3,003
	m ³ /s*	1,458	0,7648	12,4639	20,7267	4,4520	14,640
RAPAC-05	mg/L	3,425	0,349	2,904	2,644	0,766	3,498
	m ³ /s*	2,0579	1,1186	12,6513	23,4400	4,6190	14,795
Caudal m ³ /s (*)	D.S. N° 004-2017-MINAN Estándar de calidad ambiental(ECA) para agua (3) (**) 5 – 5 (**)						

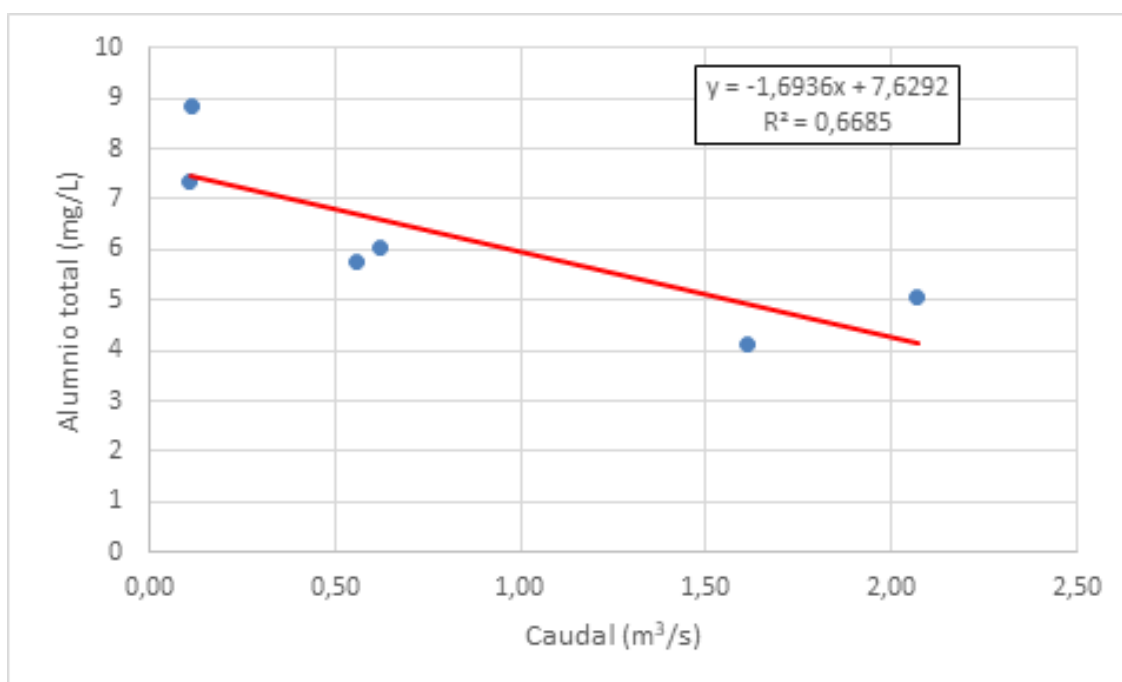


FIGURA 4.25: Tendencia lineal para la relación de caudal del río y aluminio total en las aguas del río Apacheta en la zona de muestreo RAPAC-01.

Existe una estrecha relación en la concentración del aluminio con el caudal en la zona de muestreo RAPAC-01, donde se aprecia que a menor caudal mayor es la concentración del aluminio. La relación del caudal y aluminio es del 66,85%

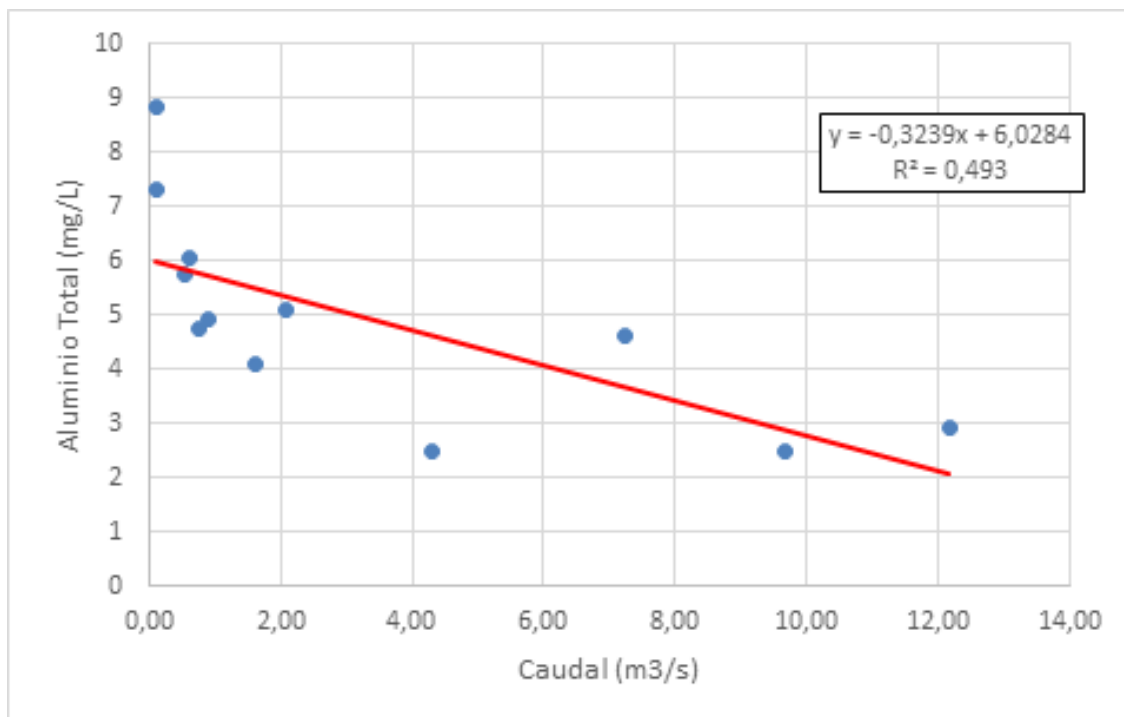


FIGURA 4.26: Tendencia lineal para la relación de caudal del río y aluminio total en las zonas de muestreo RAPAC-01 Y RAPAC-02.

TABLA 4.27: Concentración del hierro total (mg/L) en función del caudal

		Hierro total (mg/L)					
Puntos de muestreo		9-12-16	24-12-16	8-01-17	22-01-17	5-2-17	21-02-17
RAPAC-01	mg/L	3,8762	5,1526	5,1605	6,2260	5,3838	3,9213
	m³/s*	0,1107	0,115	0,6215	2,0700	0,5610	1,6090
RAPAC - 02	mg/L	5,4696	5,1119	5,1008	3,6667	2,9351	2,3194
	m³/s *	0,7667	0,888	7,2201	12,1669	4,284	9,649
RAPAC -03	mg/L	2,0484	0,5077	2,9035	2,0730	0,4228	1,6165
	m³/s*	0,4132	0,4548	11,2981	19,6681	2,2860	14,080
RAPAC-04	mg/L	3,6327	0,3960	4,4734	2,4172	0,4666	2,8489
	m³/s*	1,458	0,7648	12,4639	20,7267	4,4520	14,640
RAPAC-05	mg/L	3,2957	0,5035	3,9013	2,9816	1,3013	0,18758
	m³/s*	2,0579	1,1186	12,6513	23,4400	4,6190	14,795
Caudal m³/s (*)		D.S. N° 004-2017-MINAN Estándar de calidad ambiental(ECA) para agua (3) (**)					
		5- ** mg/L ** no presenta valor en ese parámetro.					

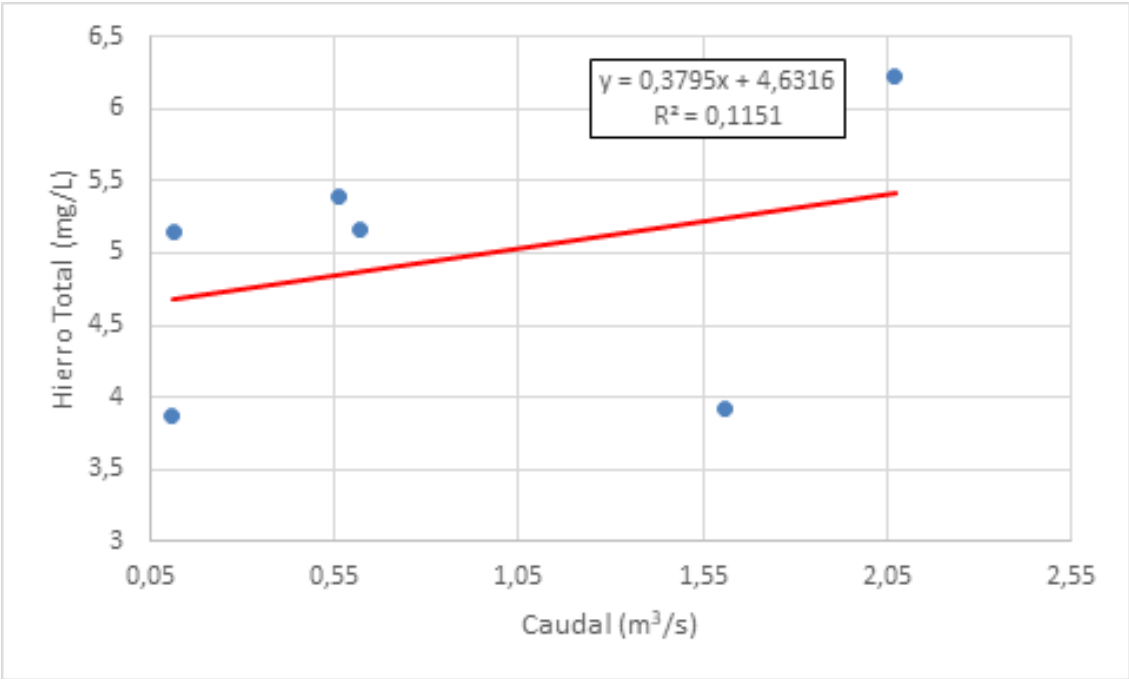


FIGURA. 4. 27: Tendencia lineal para la relación de caudal del río y hierro total en las aguas del río Apacheta en la zona de muestreo RAPAC-01.

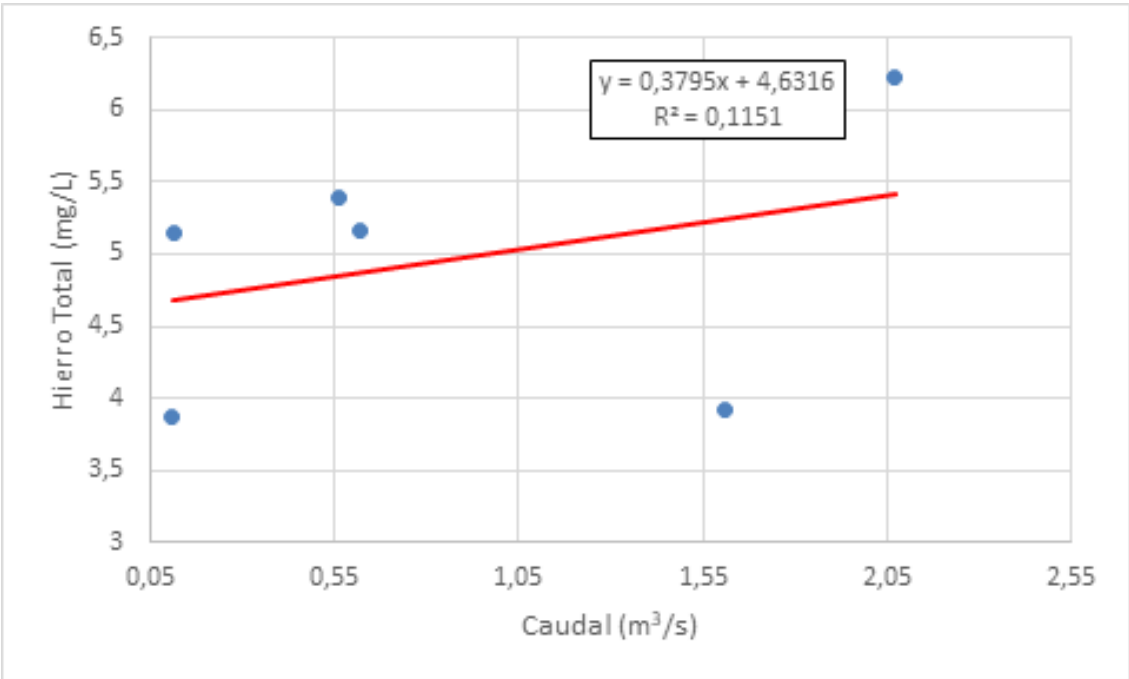
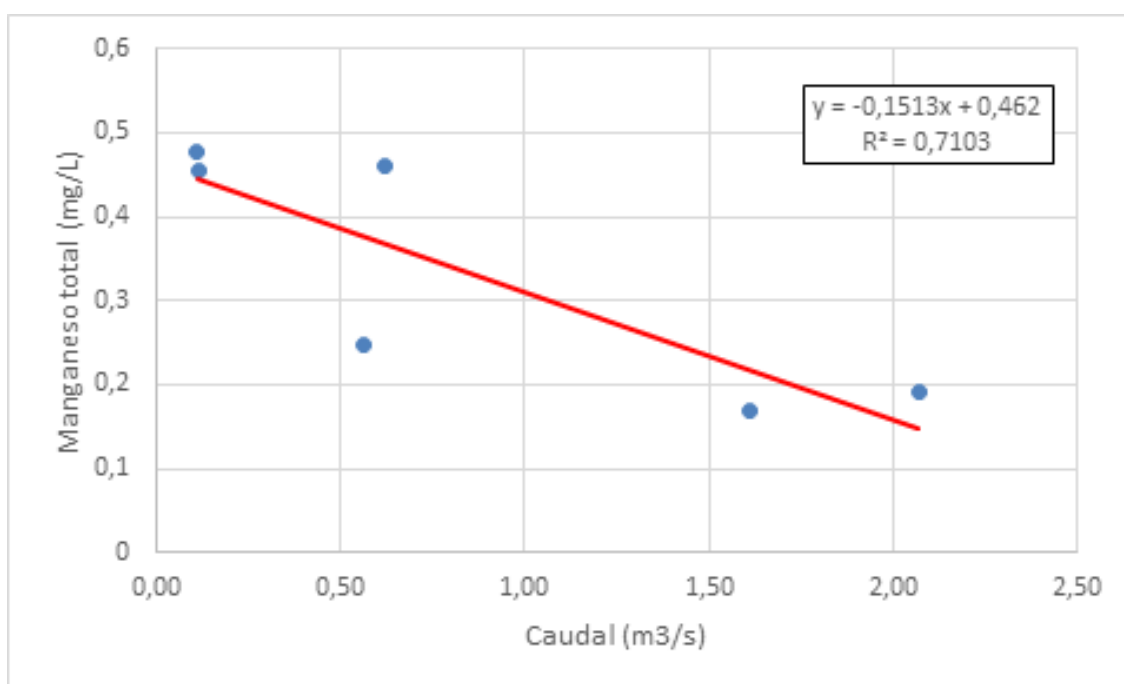


FIGURA 4.28: Tendencia lineal para la relación de caudal del río y hierro en las aguas del río Apacheta en la zona de muestreo RAPAC-02.

TABLA 4.28: Concentración de manganeso (mg/L) en función del caudal.

		Manganeso total (mg/L) **					
Puntos de muestreo		9-12-16	24-12-16	8-01-17	1-17	5-2-17	21-02-17
RAPAC-01	mg/L	0,47816	0,45408	0,46061	0,19238	0,24841	0,16869
	m3/s*	0,1107	0,115	0,6215	2,0700	0,5610	1,6090
RAPAC-02	mg/L	0,5153	0,42795	0,40492	0,17703	0,21204	0,14515
	m3/s *	0,7667	0,888	7,2201	12,1669	4,284	9,649
RAPAC-03	mg/L	0,31028	0,21988	0,14987	0,13331	0,10006	0,11208
	m3/s*	0,4132	0,4548	11,2981	19,6681	2,2860	14,080
RAPAC-04	mg/L	0,2573	0,08061	0,1800	0,1138	0,0563	0,16881
	m3/s*	1,458	0,7648	12,4639	20,7267	4,4520	14,640
RAPAC-05	mg/L	0,29228	0,09348	0,17297	0,15162	0,05686	0,18758
	m3/s*	2,0579	1,1186	12,6513	23,4400	4,6190	14,795
Caudal m3/s (*)	D.S. N° 004-2017-MINAN Estándar de calidad ambiental(ECA) para agua (3) (**) 0.2 – 0.2 (**)						

**FIGURA 4.29:** Tendencia lineal para la relación de caudal del río y manganeso total en las aguas del río Apacheta en la zona de muestreo RAPAC-01.

Existe una estrecha relación en la concentración del manganeso con el caudal en la zona de muestreo RAPAC-01, donde se aprecia que a menor caudal mayor es la concentración del manganeso. La relación del caudal y aluminio es del 71,03%.

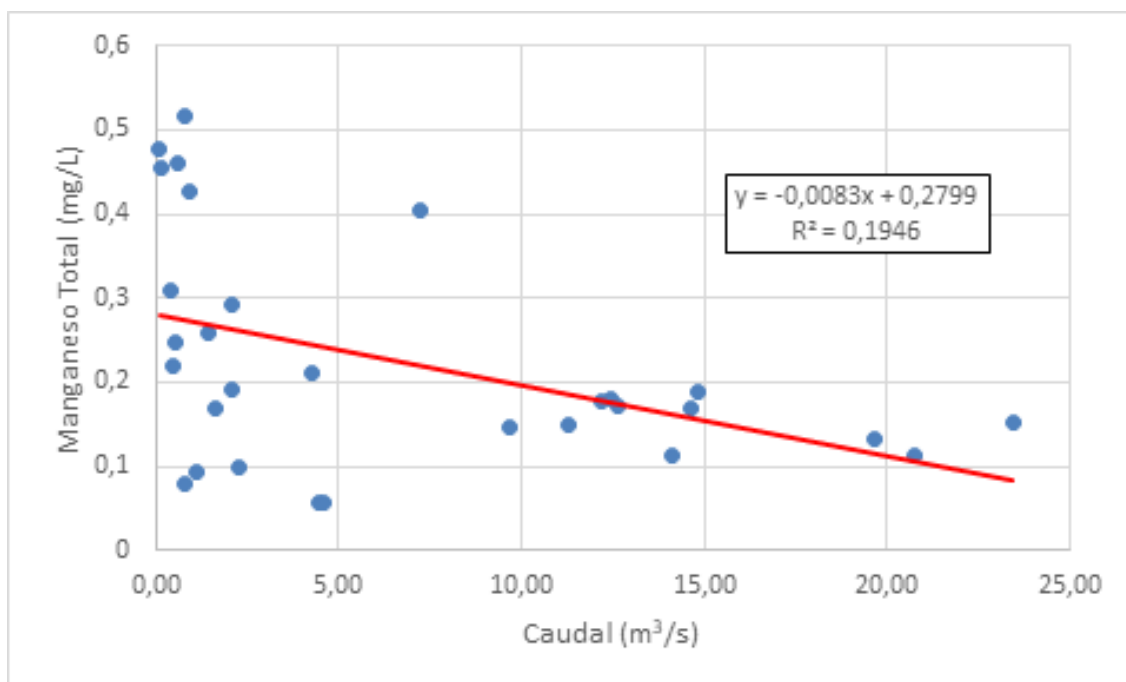


FIGURA 4.30: Tendencia lineal para la relación de caudal del río y manganeso total en las aguas del río Apacheta en las zonas de muestreos

TABLA 4.29: La concentración de arsénico (mg/L) en función del caudal.

		Arsénico total (mg/L) **					
Puntos de muestreo		9-12-16	24-12-16	8-01-17	22-01-17	5-2-17	21-02-17
RAPAC-01	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	0,00253	<0,00003	<0,00003
	m3/s *	0,1107	0,115	0,6215	2,0700	0,5610	1,6090
RAPAC - 02	mg/L	0,03609	0,03222	0,02929	0,01114	0,0122	0,00854
	m3/s *	0,7667	0,888	7,2201	12,1669	4,284	9,649
RAPAC -03	mg/L	0,42096	0,50061	0,05167	0,03896	0,1033	0,03184
	m3/s*	0,4132	0,4548	11,2981	19,6681	2,2860	14,080
RAPAC-04	mg/L	0,56228	0,41983	0,06995	0,04295	0,08782	0,03869
	m3/s*	1,458	0,7648	12,4639	20,7267	4,4520	14,640
RAPAC-05	mg/L	0,44978	0,30299	0,06332	0,04427	0,08949	0,04402
	m3/s*	2,0579	1,1186	12,6513	23,4400	4,6190	14,795
Caudal m³/s (*)	D.S. N° 004-2017-MINAN Estándar de calidad ambiental (ECA) para agua (3) (**) 0.1-0.2 mg/L (**)						

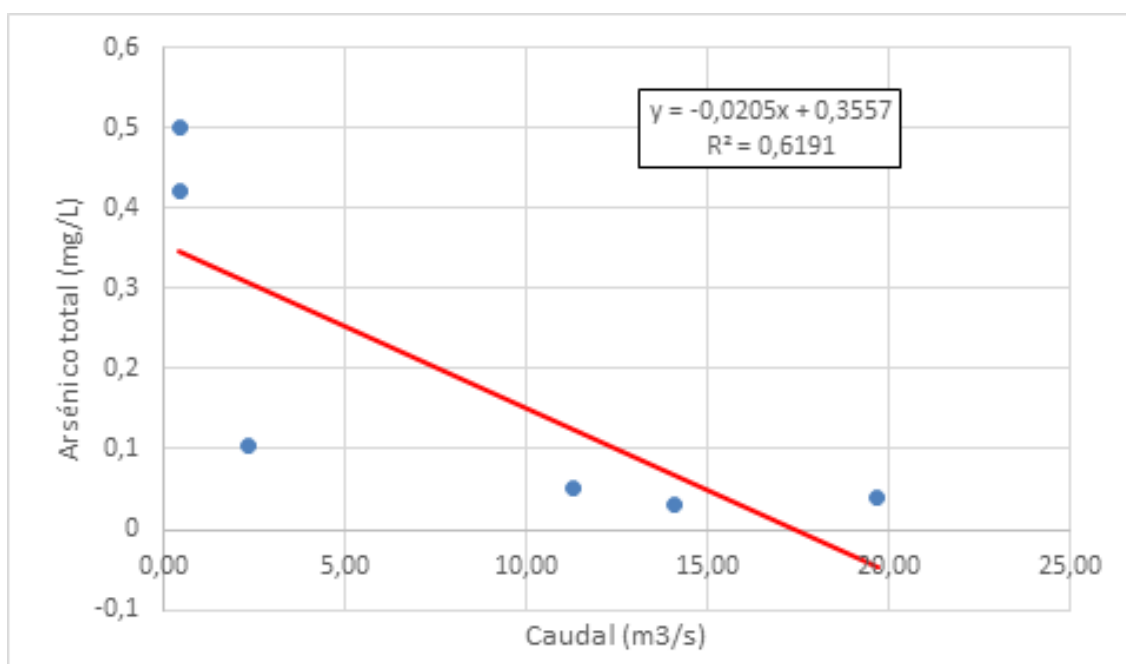


FIGURA 4.31: Tendencia lineal para la relación de caudal del río y arsénico total en las aguas del río Apacheta en la zona de muestreo RAPAC-03.

Existe una relación estrecha entre el caudal registrado en RAPAC-03 con el arsénico, siendo dicha relación de una magnitud de 61,91%.

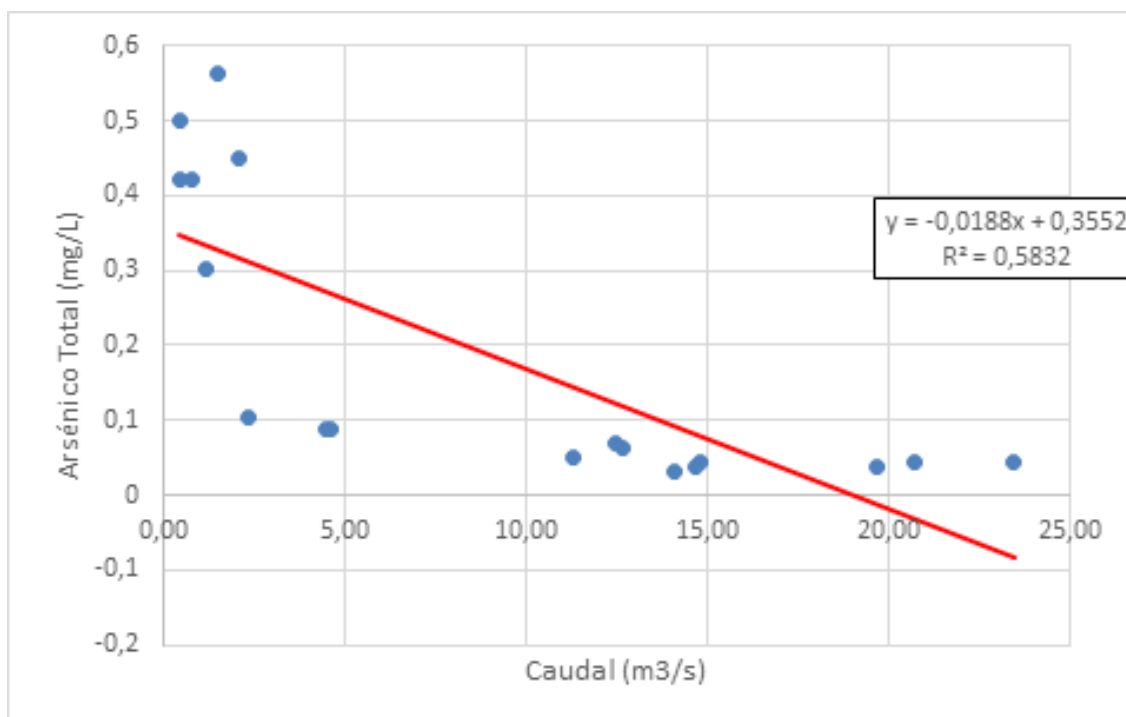


FIGURA 4.32: Tendencia lineal para la relación de caudal del río y arsénico total en las zonas de muestreo RAPAC-03, RAPAC-04 y RAPAC-05.

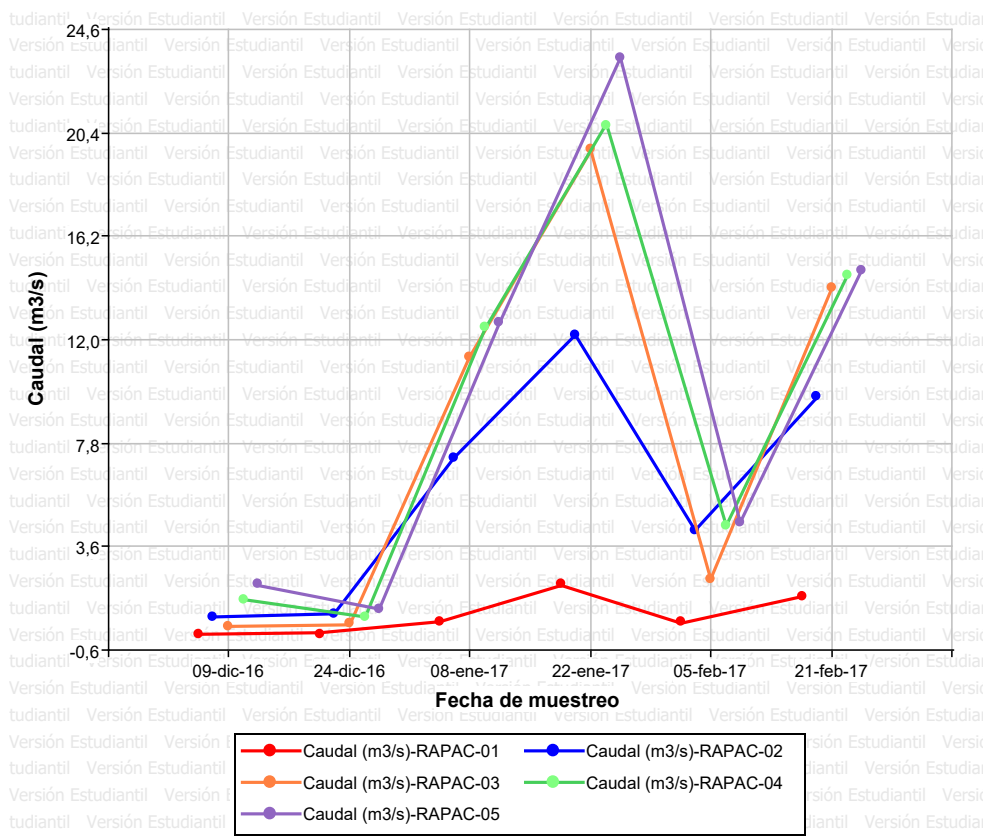


FIGURA 4.33: Tendencia del caudal de agua de las cinco estaciones o puntos de muestreo según las épocas de muestreo.

TABLA 4.30 Potencial de hidrogeno (pH) en los puntos de muestreo.

Puntos de muestreo	9.12.16	24.12.16	8.01.17	22.01.17	5.02.17	21.02.17	Promedio
RAPAC-01	4,25	3,97	4,20	3,91	3,31	4,23	3,97
RAPAC-02	5,87	6,39	5,61	6,28	6,28	6,29	6,12
RAPAC-03	7,25	7,92	6,97	7,15	7,15	7,50	7,32
RAPAC-04	7,56	7,90	6,73	7,36	7,25	7,70	7,42
RAPAC-05	7,80	7,62	7,09	7,46	7,70	7,74	7,56

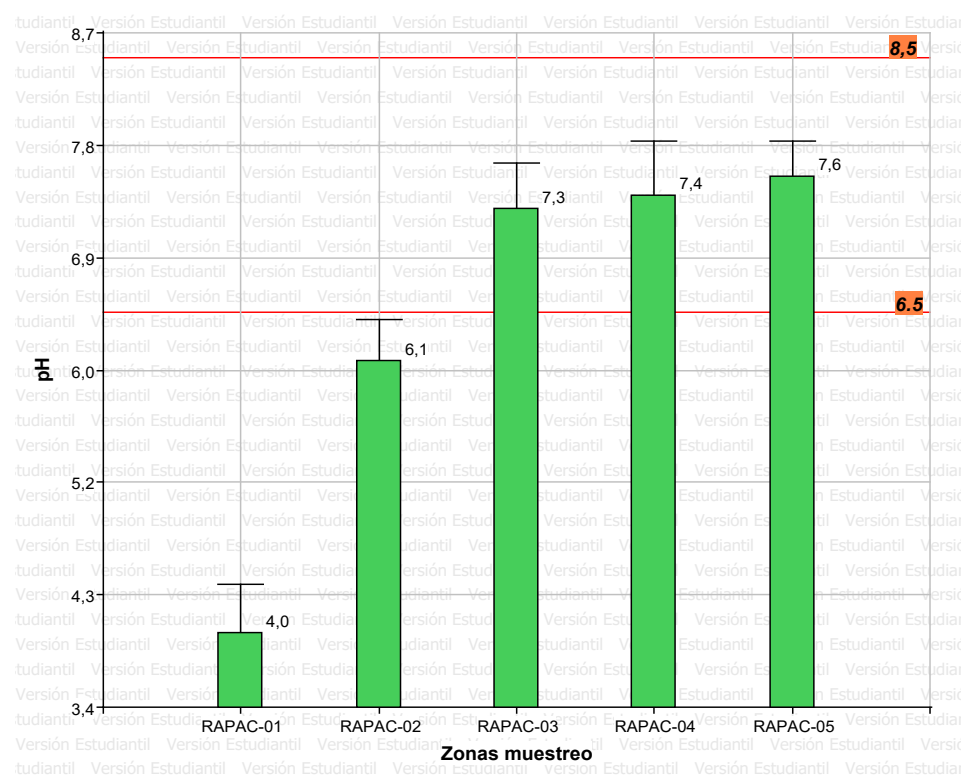


FIGURA 4.34: Valores promedios y desviación estándar del pH de las aguas del río Apacheta de cinco zonas en comparación con los valores referenciales de los estándares de calidad ambiental del agua en la Categoría 3 (DS-004-2017-MINAM).

TABLA 4.31: pH en las zonas de muestreo.

Zonas muestreo	N	Medias	H	p
RAPAC-01	6	3,98	22,87	0,0001
RAPAC-02	6	6,12		
RAPAC-03	6	7,32		
RAPAC-04	6	7,42		
RAPAC-05	6	7,57		
Trat.	Ranks			
RAPAC-01	3,5	A		
RAPAC-02	9,5	A		
RAPAC-03	19,58		B	
RAPAC-04	21,5		B	
RAPAC-05	23,42		B	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Los valores de pH del agua son diferentes según las zonas de muestreo ($p < 0,05$), donde las zonas RAPAC-01 y RAPAC-02 son los que muestran los menores valores.

TABLA 4.32: Concentración del aluminio total (mg/L) en función del pH

		Hierro total (mg/L) **					
Puntos de muestreo		9-12-16	24-12-16	8-01-17	22-01-17	5-2-17	21-02-17
RAPAC-01	mg/L	7,331	8,843	6,04	5,078	5,754	4,114
	pH	4,25	3,97	4,20	3,91	3,31	4,23
RAPAC - 02	mg/L	4,74	4,933	4,633	2,930	2,484	2,484
	pH	5,87	6,39	5,61	6,28	6,28	6,290
RAPAC -03	mg/L	1,533	0,272	2,205	1,684	0,208	1,382
	pH	7,25	7,92	6,97	7,15	7,15	7,50
RAPAC-04	mg/L	3,605	0,363	3,447	2,558	0,348	3,003
	pH	7,56	7,90	6,73	7,36	7,25	7,70
RAPAC-05	mg/L	3,425	0,349	2,904	2,644	0,766	3,498
	pH	7,80	7,62	7,09	7,46	7,70	7,74
D.S. N° 015-2015-MI-NAN 3(*)	pH: 6.5- 8.5 (*) Aluminio total: 5- 5 (**)						

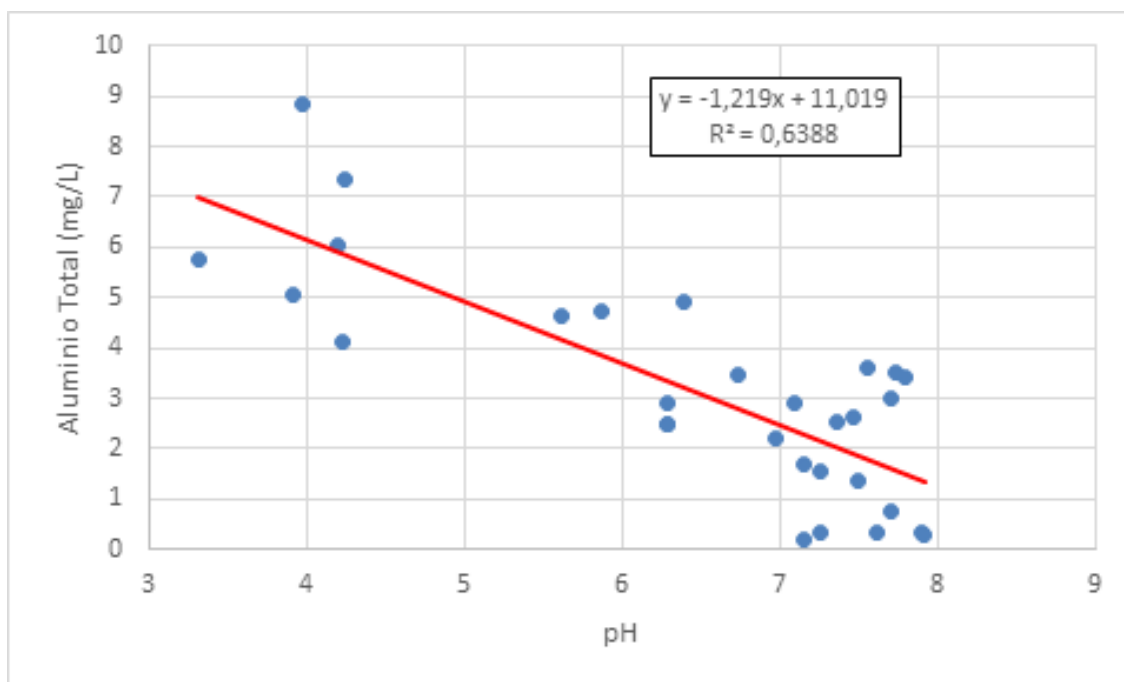


FIGURA 4.35: Tendencia lineal para la relación de pH y aluminio total en las aguas del río Apacheta, en el RAPAC-01.

TABLA 4.33: Concentración del hierro total (mg/L) en función del pH

		Hierro total (mg/L)					
Puntos de muestreo		9-12-16	24-12-16	8-01-17	22-01-17	5-2-17	21-02-17
RAPAC-01	mg/L	3,8762	5,1526	5,1605	6,2260	5,3838	3,9213
	pH	4,25	3,97	4,20	3,91	3,31	4,23
RAPAC - 02	mg/L	5,4696	5,1119	5,1008	3,6667	2,9351	2,3194
	pH	5,87	6,39	5,61	6,28	6,28	6,290
RAPAC -03	mg/L	2,0484	0,5077	2,9035	2,0730	0,4228	1,6165
	pH	7,25	7,92	6,97	7,15	7,15	7,50
RAPAC-04	mg/L	3,6327	0,3960	4,4734	2,4172	0,4666	2,8489
	pH	7,56	7,90	6,73	7,36	7,25	7,70
RAPAC-05	mg/L	3,2957	0,5035	3,9013	2,9816	1,3013	0,18758
	pH	7,80	7,62	7,09	7,46	7,70	7,74
D.S. N° 015-2015-MI-NAN 3(*)	Ph: 6.5- 8.5 (*) *** no presenta valor Hierro total: 5 ***						

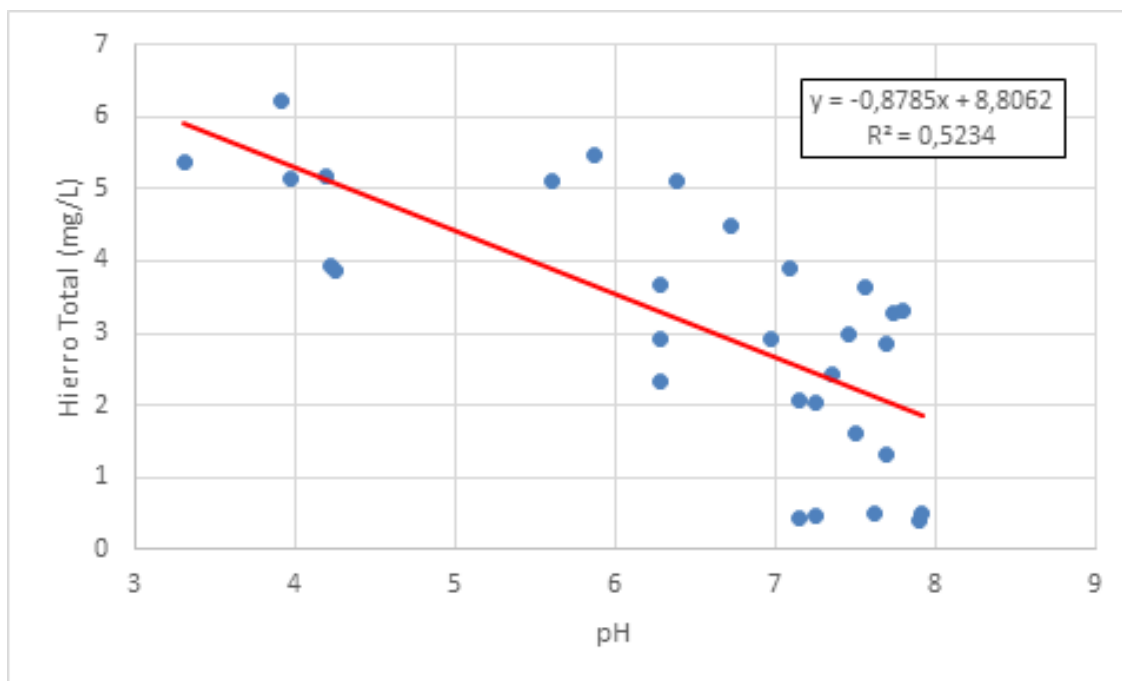
**FIGURA 4.36:** Tendencia lineal para la relación de pH Y hierro Total en las aguas del río Apacheta.

TABLA 4.33: Concentración del manganeso (mg/L) en función del pH

		Manganeso total (mg/L)					
Puntos de muestreo		9-12-16	24-12-16	8-01-17	22-01-17	5-2-17	21-02-17
RAPAC-01	mg/L	0,47816	0,45408	0,46061	0,19238	0,24841	0,16869
	pH	4,25	3,97	4,20	3,91	3,31	4,23
RAPAC - 02	mg/L	0,5153	0,42795	0,40492	0,17703	0,21204	0,14515
	pH	5,87	6,39	5,61	6,28	6,28	6,290
RAPAC -03	mg/L	0,31028	0,21988	0,14987	0,13331	0,10006	0,11208
	pH	7,25	7,92	6,97	7,15	7,15	7,50
RAPAC-04	mg/L	0,2573	0,08061	0,1800	0,1138	0,0563	0,16881
	pH	7,56	7,90	6,73	7,36	7,25	7,70
RAPAC-05	mg/L	0,29228	0,09348	0,17297	0,15162	0,05686	0,18758
	pH	7,80	7,62	7,09	7,46	7,70	7,74
D.S. N° 004-2017-MI- NAN 3(*)	pH: 6.5- 8.5 (*) Manganeso mg/L: 0.2 (*)						

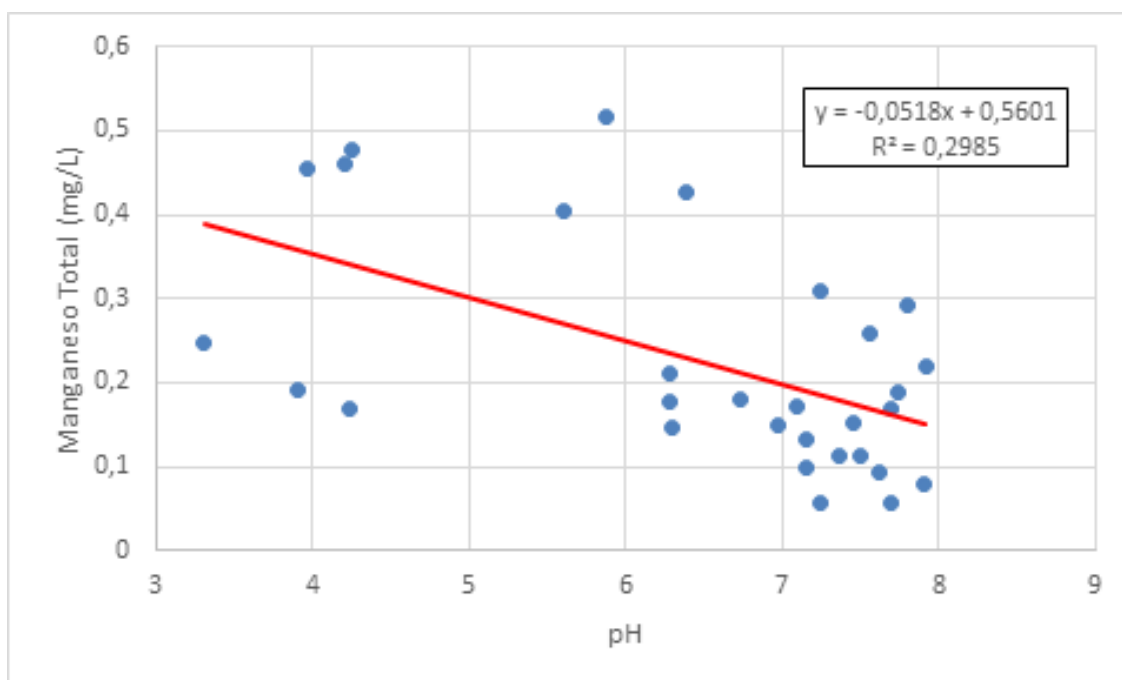
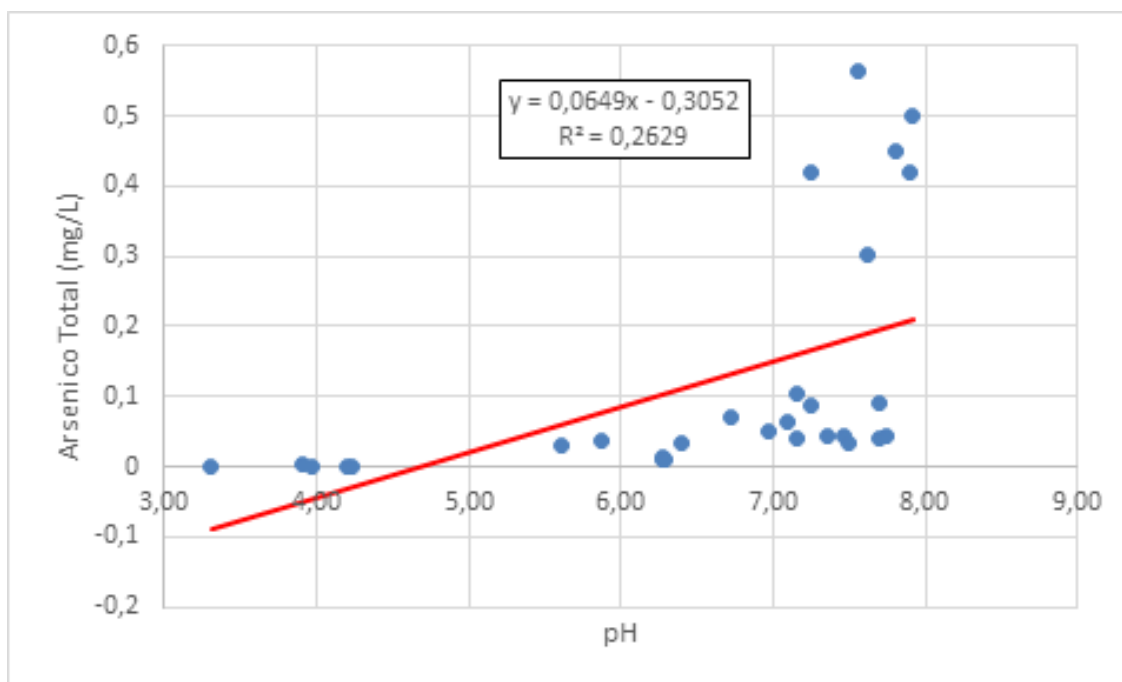
**FIGURA 4.37:** Tendencia lineal para la relación de pH y manganeso total en las aguas del río Apacheta.

TABLA 4.35: Concentración del Arsénico (mg/L) en función del pH.

		Arsénico total (mg/L) *					
Puntos de muestreo		9-12-16	24-12-16	8-01-17	22-01-17	5-2-17	21-02-17
RAPAC-01	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,00253	0,00003	0,00003
	pH	4,25	3,97	4,20	3,91	3,31	4,23
RAPAC-02	mg/L	0,03609	0,03222	0,02929	0,01114	0,0122	0,00854
	pH	5,87	6,39	5,61	6,28	6,28	6,290
RAPAC-03	mg/L	0,42096	0,50061	0,05167	0,03896	0,1033	0,03184
	pH	7,25	7,92	6,97	7,15	7,15	7,50
RAPAC-04	mg/L	0,56228	0,41983	0,06995	0,04295	0,08782	0,03869
	pH	7,56	7,90	6,73	7,36	7,25	7,70
RAPAC-05	mg/L	0,44978	0,30299	0,06332	0,04427	0,08949	0,04402
	pH	7,80	7,62	7,09	7,46	7,70	7,74
D.S. N° 004-2017-MINAN 3(*)	Ph: 6.5- 8.5 (*) Arsénico: 0.1- 0.2 (*)						

**FIGURA 4.38:** Tendencia lineal para la relación de pH y arsénico total en las aguas del río Apacheta.

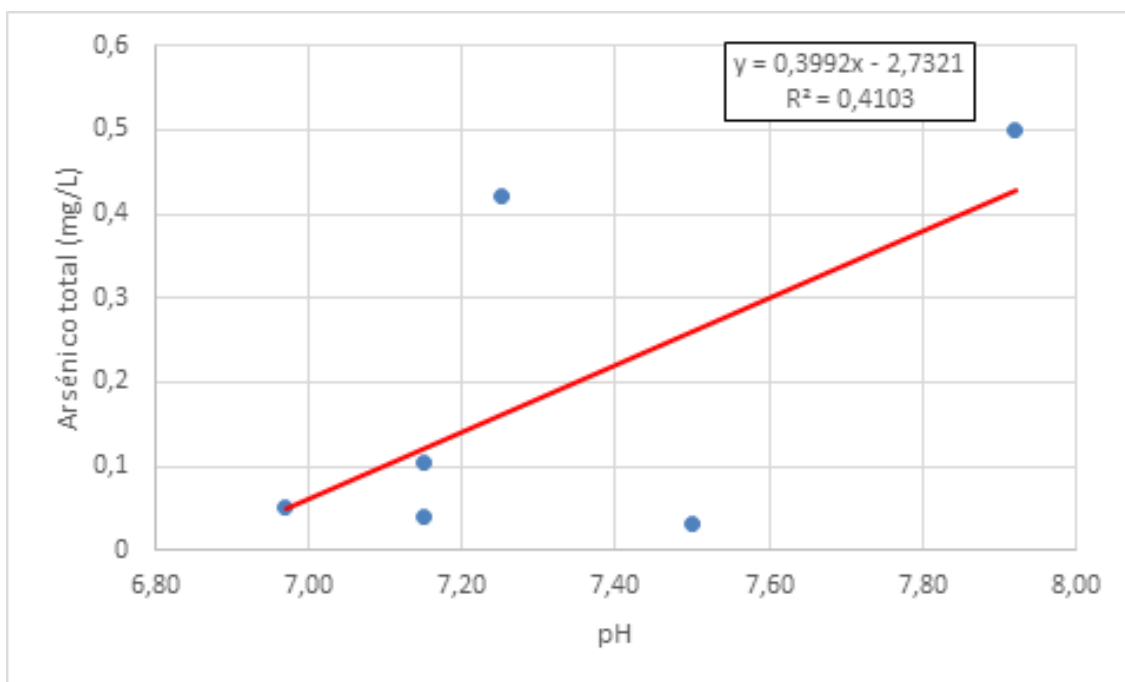


FIGURA 4.39: Tendencia lineal para la relación de pH y arsénico Total en las aguas del río Apacheta, en el RAPAC-03.

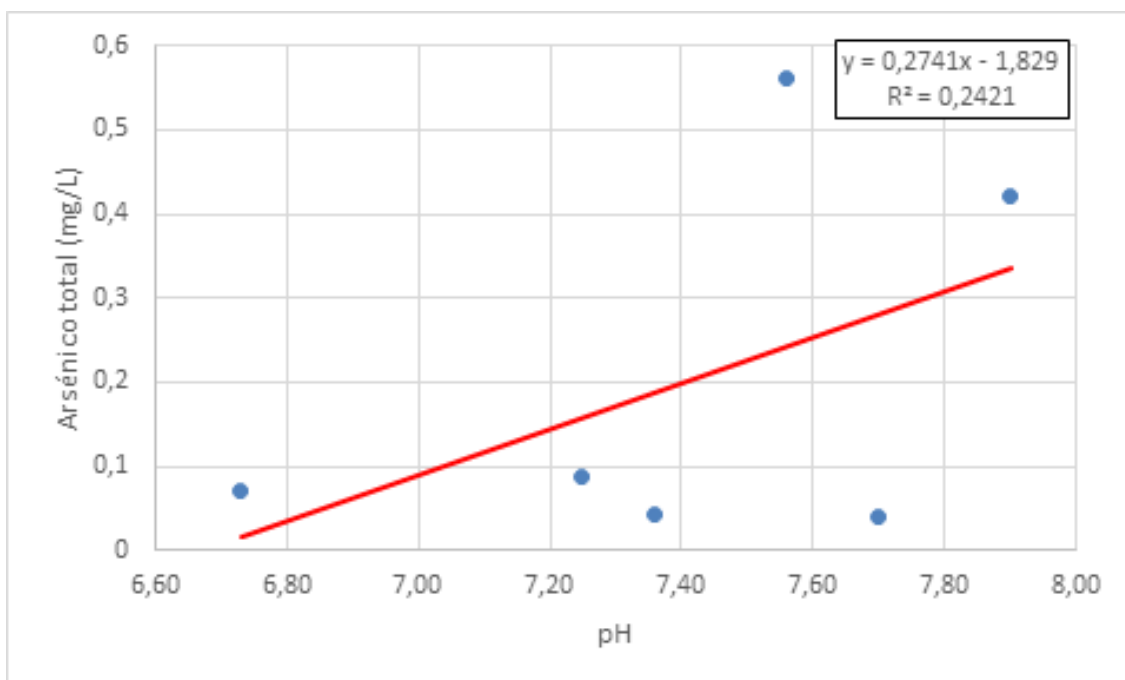


FIGURA 4.40: Tendencia lineal para la relación de pH y arsénico total en las aguas del río Apacheta, en el RAPAC-04.

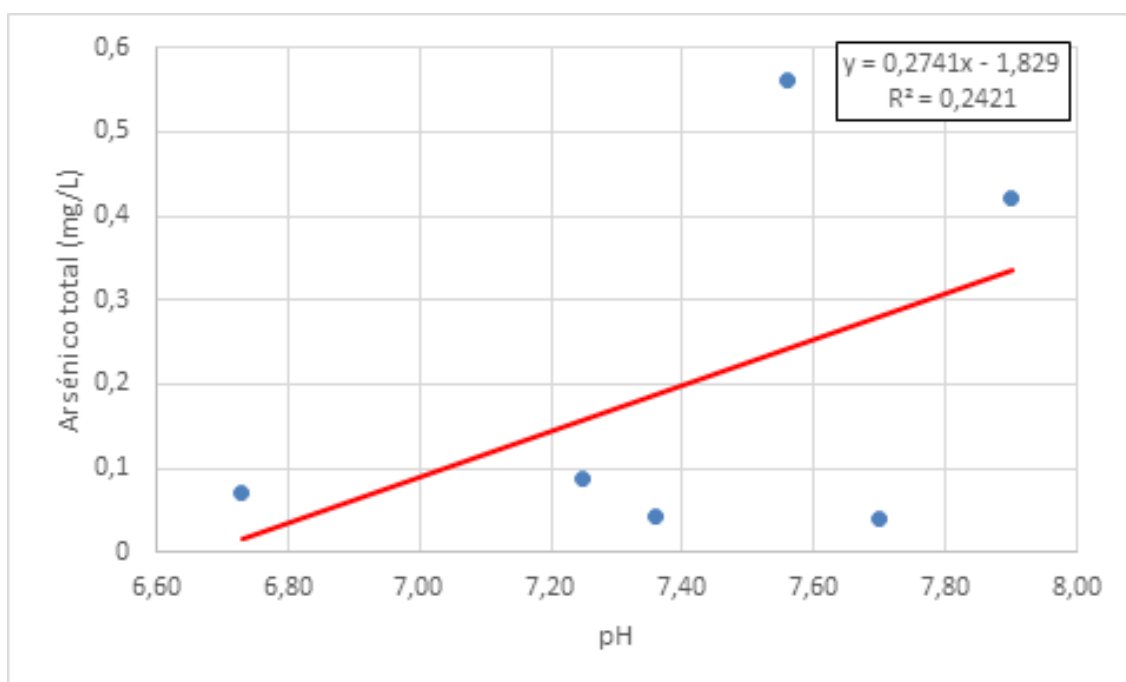


FIGURA 4.41: Tendencia lineal para la relación de pH y arsénico total en las aguas del río Apacheta, en el RAPAC-05.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En las cuencas del Río Apacheta se encuentran varias concesiones mineras sin explotación, sin embargo, es evidente que están exponiendo a la población por la contaminación de las aguas del río Apacheta, en especial los metales referidos en este estudio y a causa de ello, se ven alterados los ecosistemas de la región particularmente los metales mencionados en esta investigación y debido a esto, los ecosistemas del área se ven modificados.

Las muestras de las aguas tomadas se realizaron en las fechas 09 de diciembre del 2016; 24 de diciembre del 2016; 8 de enero del 2017; 22 de enero del 2017; y 5 de febrero del 2017

1) PARA ALUMINIO

RAPAC-01: Los resultados de la concentración fueron de 7,331 mg/L, 8,843 mg/L, 6,04 mg/L, 5,078 mg/L y 5,754 mg/L respectivamente, dichos valores son **superiores** a lo establecido a los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua en lo referente a la categoría 1-A producción de agua potable para el consumo humano que son de 0,9 mg/L (A1), 5 mg/L para (A2) y (A1) y 5 mg/L para categoría 3. (AD1, D2). La muestra de agua tomada de fecha 21 de febrero del 2017, el resultado del análisis del agua arrojó 4,114 mg/L, que es **superior** a ECA para el agua de categoría 1-A (A1) e inferiores a categoría 1-A (A2) y (A3) cuyos valores es 5 ml/L y categoría 3 (D1, D2) cuyos valores es 5mg/L para ambos casos.

RAPAC-02: Los resultaron de las concentraciones fueron 4,74 mg/L, 4,933 mg/L, 4,633 mg/L, 2,930 mg/L, 2,484 mg/L y 2,484 mg/L respectivamente, que son **inferiores** a niveles máximos permisibles para el agua (ECA) de categoría 1-A: (A2, A3) cuyos valores son 5 mg/L y de la categoría 3 cuyo valor también es 5mg/L y **superiores** de la categoría 1-A: (A1) el valor es 0,90 mg/L.

RAPAC-03: Se registraron las siguientes concentraciones 1,533 mg/L, 2,205 mg/L, 1,684 mg/L, y 1,382 mg/L respectivamente es **superior** al valor establecido en el Estándar de calidad ambiental, (ECA) para agua en lo referente a la categoría: 1-A: A1 cuyo valor es 0,9 mg/L e **inferior** de la categoría 1-A: A2 y A3 cuyos valores son 5mg/l, para ambos casos Y de la categoría 3. (D1, D2) cuyos valores son 5mg/L para ambos casos. Las muestras tomadas del agua de los días 24 de diciembre 2016 y de fecha 5 de febrero del 2017, los resultados según el análisis del agua las concentraciones registraron 0.272 mg/L y 0,208 mg/L respectivamente son **inferiores** a la categoría 1-A (A1, A2, A3) cuyos valores son 0,90 mg/L, 5mg/L, 5mg/L y categoría 3 (D1, D2) cuyos valores son 5mg/L para ambos casos.

RAPAC-04: Los resultaron de las concentraciones fueron 3,605 mg/L (9 de diciembre del 2016), 3,447 mg/L (8 de enero del 2017), 2,558 mg/L (22 de enero del 2017) y 3,003 mg/L (21 de febrero del 2017); son **superiores** de los estándares de calidad Ambiental (ECA) de agua de la categoría A1 cuyo valor es 0,90 mg/L e **inferior** de la categoría A2, A3 cuyos valores son 5mg/L para ambos casos y también es **inferior** de la categoría 3 (D1, D2) cuyos valores son 5mg/L para ambos casos. Las muestras tomadas de fechas 24 de diciembre del 2016 fue 0,363 mg/L y de fecha 5 de febrero del 2017 fue 0,348 mg/L, son **inferiores** al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua de las categorías 1-A cuyos valores son para (A1) 0,9 mg/L, para (A2, A3) sus valores son 5 mg/L para ambos casos, y también es inferior para el agua de categoría 3 (D1, D2) cuyos valores para ambos casos son 5mg/L.

RAPAC-05: Los resultados fueron del 9 de diciembre del 2016 es 3,425 mg/L, de 8 de enero del 2017 es 2,904 mg/L, de 8 enero del 2017 es 2,644 mg/L y de 21 de febrero del 2017 es 3,498 mg/L; son **superiores** a los estándares de calidad ambiental (ECA) del agua de la categoría A1 cuyo valor 0,9 mg/L e **inferiores** de la categoría A2, A3 cuyos valores 5mg/L para ambos y de la categoría del agua 3 (D1, D2) cuyo valor son 5mg/L para ambos. Las muestras tomadas de fechas 24 de diciembre del 2016

fue 0,349 mg/L y de la fecha 5 de febrero del 2017 fue 0,766 mg/L; cuyos valores son **inferiores** de la calidad del Estándar Ambiental (ECA) para el agua de las categorías A1, A2, A3 sus valores son 0,9 mg/L y 5mg/L para los dos últimos y categoría 3 (D1, D2) cuyos valores son 5mg/L para ambos.

Los impactos ambientales del aluminio, como están localizados en rocas mineralizadas en aguas subterráneas, están dañando las raíces de los árboles y de los pastos naturales. Los peces también mueren con las reacciones de los iones de aluminio con las proteínas de las agallas de los peces.

2) PARA ARSÉNICO

RAPAC-01: Los resultados fueron para 5 muestras de fechas diferentes menores a 0,00003 mg/L, excepto de fecha 22 de enero del 2017, que resulta 0,00253 mg/l, en ambos casos son **inferiores** al (ECA) para el agua de categoría 1-A (A1), (A2) que son 0,01mg/L para ambos casos y 0,15 mg/L para (A3) y para la categoría 3 que es de 0,1 mg/l (D1) y 0.2mg/L (D2).

RAPAC-02: De acuerdo a la tabla N° 4.18, las muestras de aguas tomadas, con fechas 09 de diciembre del 2016; 24 de diciembre del 2016; 8 de enero del 2017; 22 de enero del 2017; 5 de febrero del 2017, fueron 0,03609 mg/L, 0,0322mg/L, 0,02924 mg/L, 0,01114 mg/L, y 0,0122 mg/L respectivamente y son **superiores** al ECA del agua categoría 1-A: (A1 y A2) cuyos valores son: 0,010 mg/L e **inferiores** a la categoría 1-A (A3) cuyo valor es 0,15 mg/L y categoría 3. (D1, D2) cuyos valores son 0,1 mg/L y 0,20 mg/L. La muestra tomada del agua de fecha 21 de febrero del 2017 resulta 0,00854 mg/L que es inferior a la categoría 1-A (A1, A2, A3) cuyos valores son 0,01 mg/L y 0,15 mg/L y categoría 3 (D1, D2) Cuyos valores son 0,10 mg/L y 0,2mg/L.

RAPAC-03: De acuerdo a la tabla N° 4.18, las muestras tomadas de aguas, con fechas 09 de diciembre del 2016; 24 de diciembre del 2016; resultaron 0,42096 mg/L, 0,50061mg/L, respectivamente, es **superior** al ECA del agua de categoría 1-A (A1, A2, A3) cuyos valores son 0,01mg/L,

0,01mg/L, 0,15 mg/L y categoría 3. (D1, D2) sus valores son 0,1mg/l y 0,2 mg/L. Las muestras tomadas de agua de fechas 8 de enero del 2017; 22 de enero del 2017; de 5 de febrero del 2017 y de fecha 21 de febrero del 2017 resultaron 0,05167 mg/L, 0,03896 mg/L, 0,1033 mg/L y 0,03164 mg/L respectivamente son **superiores** al ECA del agua a la categoría 1-A: (A1 y A2). Sus valores son 0,01 mg/L para ambos casos e **inferiores** a la 1-A (A3) cuyo valor es 0,15 mg/L y también es inferior a la categoría 3 (D1, D2) cuyos valores son 0,1 mg/L y 0,20 mg/L.

RAPAC-04: De acuerdo a la tabla N° 4.18, las muestras de agua tomadas de los días 9 y 24 de diciembre del 2016, fueron 0,56228 mg/L y 0,41983 mg/L que son **superiores** a los estándares del (ECA) de la categoría 1-A (A1, A2, A3) cuyos valores son 0,01 mg/L para los dos primeros y para la última 0,15 mg/L y también es **superior** para la categoría 3. (D1, D2) cuyos valores son 0,1 mg/L y 0,2 mg/L. De las muestras tomadas de fechas 8 de enero del 2017 resultó 0,06995 mg/L; de fecha 22 de enero del 2017 fue 0,04295 mg/L; de fecha 5 de febrero del 2017 fue 0,08782 mg/L y de fecha 21 de febrero del 2017 fue de 0,03869 mg/L; son **superiores** al ECA de la categoría A-1 (A1 y A2) cuyos valores son 0,01 mg/l para ambos casos e **inferiores** a la categoría A3 cuyo valor es 0,15 mg/l y de la categoría 3 (D1, D2) sus valores 0,1 mg/L y 0,2mg/L.

RAPAC-05: Las muestras de agua tomadas de los días 9 y 24 de diciembre del 2016 fueron 3,423 mg/L y 0,30299 mg/L que son **superiores** a los estándares del (ECA) del agua de la categoría 1-A (A1, A2, A3) cuyos valores son 0,01 mg/L, 0,01mg/L, 0,15 mg/L respectivamente y categoría 3 (D1, D2) sus valores son 0,1 mg/L y 0,2mg/L. De las muestras tomadas de fechas 8 de enero del 2017 fue 0,06332 mg/L, de fecha 22 de enero del 2017 fue 0,04427 mg/L, de fecha 5 de febrero 2017 fue 0,08949 mg/L y de fecha 21 de febrero del 2017 fue 0,04402 mg/L; son **superiores** al ECA del agua de la categoría A-1 (A1 y A2) cuyos valores 0.01 mg/L para ambos e **inferiores** a la categoría A3 cuyo valor es 0,15 mg/L y categoría 3 (D1, D2) cuyos valores son 0,1mg/L y 0,2 mg/L.

Impactos en el medio ambiente La contaminación por arsénico es un problema que viene afectando a las aguas del río Apacheta, por dos razones. En primer lugar, el agua del río es naturalmente elevada en niveles de As, encontrándose en el agua y posiblemente en el suelo. Esta contaminación natural viene afectando, por ejemplo, a los lugares circundantes del Río Apacheta, y también estas aguas se viene captando para el suministro de agua potable de la ciudad de Ayacucho y alrededores que naturalmente presentaban altos niveles de concentración de arsénico, consecuentemente se necesita el tratamiento especial para el consumo humano.

3) PARA EL HIERRO

RAPAC-01: La muestra de agua tomada de fecha 9 de diciembre del 2017 registró 3.8762, mg/L y la muestra de agua tomada de fecha 21 de febrero del 2017 registró 3,9213 mg/L, que son **superiores** al Estándar de la calidad Ambiental (ECA) para agua de la categoría A1 cuyo valor es 0,3 mg/L y para la categoría para A2 y cuyo valor es 1 mg/L e **inferiores** a la categoría (A3) cuyo valor es 5mg/L y también es inferior a la categoría 3 (D1) que son de 5mg/L y para (D2) que no se presenta valor en ese parámetro. Las muestras de las aguas tomadas, los días 24 de diciembre del 2016; 8 de enero del 2017; 22 de enero del 2017 y 5 de febrero del 2017, los fueron 5,1526 mg/L, 5,1605 mg/L, 6,2260 ml/L y 5,3838 mg/L; son **superiores** al (ECA) para el agua de las categorías A-1 que son 0,3 mg/L, 1mg/L y 5 mg/L, y también es **superior** para la Categoría 3 (D1) que es de 5 mg/L e **inferiores** a la categoría 3 (D2) que no se presenta el valor en este parámetro para la subcategoría.

PARA RAPAC-02: Las muestras de agua tomadas los días 9; 24 diciembre del 2016 y 08 de enero del 2017 resultaron 5,4696, mg/L, 5,1119 mg/L, 5,1008 mg/L respectivamente; siendo **superior** al ECA del agua de categoría 1-A (A1, A2, A3) cuyos valores son 0,3 mg/l, 1 mg/L y 5 mg/L y también es superior a la categoría 3 (D1) cuyo valor es 5 mg/L e **inferior** a la categoría 3 (D2 bebida de animales). Cuyo valor no se presenta ese parámetro. Las muestras del agua los días 22 de enero 2017, 05 de febrero del 2017 y 21 de febrero del 2017, los resultados del análisis

la concentración fueron 3,6667 mg/L, 2,9351 mg/L y 2,3194 mg/L respectivamente, es **superior** a la categoría del agua A1 y A2 cuyo valor es 0,30 mg/L y 1 mg/L e inferior de A3 cuyo valor es 5 mg/L y de la categoría 3. (D1) cuyo valor es 5 mg/L y de (D2) no se presenta el valor en este parámetro.

RAPAC-03: Como se indica en la tabla 4.16, las muestras tomadas de los días 9 de diciembre del 2016 fue de 2,0484 mg/L; del día 8 de enero del 2017, fue de 2,9035 mg/L; del día 22 de enero del 2017 fue 2,0730 mg/L y con fecha 21 de febrero del 2017 fue de 1,6165 mg/L; son **inferiores** a los valores estándares del ECA de las categorías 1-A (A3) cuyo valor es 5mg/L y a la categoría 3 (D1) cuyo valor son 5mg/L, (D2) no presenta valor en este parámetro. Son **superiores** de la categoría A1 y A2, cuyos valores son 0.3 mg/L y 1 mg/L; sin embargo, el resultado del análisis del agua de fechas del 24 de diciembre del 2016 y del 5 de febrero del 2017, con resultado de 0,5077 mg/L y 0,4228 mg/L respectivamente son **superiores** al ECA del agua de la categoría A1 cuyo valor es 0,3 mg/L e **inferiores** de la categoría A2 y A3 cuyos valores son 1 mg/L y 5mg/L.

RAPAC-04: Como se indica en la tabla 4.16, las muestras tomadas de los días 9 de diciembre del 2016 fue 3,6327 mg/L; del día 24 de diciembre del 2016 fue 0,396 mg/L ; del día 8 de enero del 2017 fue 4,4734 mg/L ; del día 22 de enero del 2017 fue 2,4172 mg/L; de fecha 5 de febrero del 2017 fue 0,4666 mg/L , con fecha 21 de febrero del 2017 fue 2.8489 mg/L; son **inferiores** a los valores estándares del ECA del agua de las categorías A3 cuyo valor es 0,30 mg/L y de la categoría 3 (D1) cuyo valor es 5mg/L, (D2) cuyo valor no presenta en ese parámetro y **superiores** del ECA del agua de la categoría A1 cuyo valor es 0,3 mg/L , sin embargo el resultado del análisis del agua de fechas del 9 de diciembre del 2016 , 8 de enero del 2017 , 22 de enero del 2017 y de fecha 21 de febrero 2017 las concentraciones fueron 3.6327 mg/L, 4,4734 mg/L , 2,4172 mg/L y 2,8489 mg/L respectivamente, son superiores al (ECA) de agua de la categoría A2 cuyo valor 1 mg/L.

RAPAC-05: Como se indica en la tabla 4.16, las muestras tomadas de los días 9 de diciembre del 2016 fue 3,2957 mg/L; del día 24 de diciembre del 2016 fue 0,5035 mg/L; del día 8 de enero del 2017 fue 3,9013 mg/L; del día 22 de enero del 2017 fue 2,9816 mg/L; de fecha 5 de febrero del 2017 fue 1,3013 mg/L, con fecha 21 de febrero del 2017 fue 3,2648 mg/L; son **inferiores** a los valores estándares del ECA del agua de las categorías A3 cuyo valor es 5 mg/L y la categoría 3 (D1) cuyo valor es 5 mg/L, (D2) cuyo valor no se presenta en este parámetro y **superiores** del ECA del agua de la categoría A1, cuyo valor es 0,3 mg/L; sin embargo el resultado del análisis del agua de fechas del 9 de diciembre del 2016, 8 de enero del 2017, del 22 de enero del 2017; de 5 y 21 de febrero del 2017 resultaron 3,2957 mg/L, 3,9013 mg/L, 2,9816 mg/L, 1,3013 mg/L y 3,2648 mg/L respectivamente, son **superiores** al ECA del agua subcategoría A2. Cuyo valor es 1 mg/L.

Efecto ambiental del hierro, es peligroso para el medio ambiente, se debe prestar especial atención a las plantas al aire y el agua, en este caso se ha determinado que hay presencia del hierro con valores por encima del ECA en el agua, por cuanto se recomienda encarecidamente que no se permita que el producto entre en el medio ambiente porque persiste en éste.

4) PARA MANGANESO

RAPAC-01: De acuerdo a la tabla N° 4.21 las muestras de agua tomadas las fechas 9 de diciembre del 2016, 24 de diciembre del 2016, 8 de enero del 2017, fueron 0,47816 mg/L; 0,45408 mg/L; 0,46061 mg/L respectivamente, son **superiores** al ECA para el agua de la subcategoría: A1 y A2 que son 0,40mg/L y de la categoría 3 cuyo valor es 0,2 mg/L e inferior a la subcategoría A3 que es 0,50 mg/L. Analizado los resultados de fechas 22 de enero del 2017, con caudal de 2,07 m³/s y 21 de febrero del 2017 con caudal 1,6090 m³/s, las concentraciones resultaron 0,19238 mg/L y 0,16889 mg/L respectivamente, que son inferiores al ECA para agua de la subcategoría A1, A2, A3 cuyos valores son 0,4 mg/l para los dos primeros y 0,50 mg/L para el tercero y también es **inferior** al ECA para el

agua de la categoría 3 cuyos valores son 0,20 mg/L. El resultado del 5 de febrero del 2017 la concentración fue de 0,24841 mg/L, que es inferior al ECA para el agua de la categoría A-1 cuyos valores son 0,4 mg/l y 0,50 mg/l y de la categoría 3 cuyo valor es 5,00 mg/L.

RAPAC-02: De acuerdo a la tabla N° 4.21, la muestra de agua tomada el día 9 de diciembre del 2016, la concentración arrojó 0,5153 mg/L que es **superior** al ECA del agua categoría 1-A (A1, A2, A3) cuyos valores son 0,4 mg/L, 0,40 mg/L, 0,50 mg/L y también es superior a la categoría 3 (D1, D2) cuyo valor es 0,2 mg/L para ambos. Las muestras de agua tomadas los días 24 diciembre del 2016 y 05 de enero del 2017 las concentraciones fueron 0,42795 mg/L, 0.40492 mg/L respectivamente es **superior** al ECA del agua de categoría 1-A (A1, A2) cuyos valores 0,40 mg/L para ambos y también es **superior** a la categoría 3 (D1, D2) Cuyo valor es 0,20 mg/L para ambos. Las muestras de agua tomadas de fecha 22 de enero del 2017 y de fecha 21 de febrero del 2017 resultaron 0,17703 mg/L y 0,14515 mg/L respectivamente, que es **inferior** al ECA del agua de categoría 1-A (A1, A2, A3) cuyos valores son 0,40 mg/L ,0,40mg/L, 0,50 mg/L y también es menor a la categoría 3 (D1, D2) cuyos valores son 0,20 mg/L para ambos casos. La muestra de agua tomada de fecha 05 de febrero del 2017 resultó 0,21204 mg/L, que es **superior** al ECA del agua de la categoría 3 (D1, D2) su valor 0,20 mg/L para ambos; e **inferior** al agua de categoría 1-A (A1, A2, A3) cuyos valores son 0,4 mg/L y 0,50 mg/L.

RAPAC-03: La muestra tomada del agua las fechas 9 de diciembre del 2016, 24 de diciembre del 2016, 8 de enero del 2017, 22 de enero del 2017 , 05 de febrero del 2017y 21 de febrero del 2017 el resultado del análisis fueron 0,31028 mg/L; 0,21988 mg/L; 0,14987 mg/L, 0,13331 mg/L , 0,10006 mg/L y 0,11209 mg/L respectivamente, son **inferiores** del ECA del agua de categoría 1-A (A1, A2, A3) cuyos valores son 0,4mg/L, 0,40ml/L y 0,50 mg/L ; los dos primeros de fechas 9 y 24 de diciembre del 2016 son **superiores** al agua de categoría 3 (D1, D2) cuyos valores son 0.20 mg/L para ambos casos.

RAPAC-04: De acuerdo a la tabla N° 4.21, la muestra tomada del agua el 9 de diciembre del 2016, el resultado del análisis fue 0,2573 mg/L que es **superior** a los estándares de calidad de agua (ECA) de categoría A-1 (A1, A2, A3) cuyos valores son 0,40 mg/L el mismo valor para A2, y categoría 3. (D1, D2) cuyos valores son 0,2 mg/L para ambos.

La muestra tomada con fecha 24 de diciembre del 2016 el resultado fue 0,08061 mg/L, con fecha 8 de enero del 2017 el resultado fue 0,1800 mg/L, con fecha 22 de enero del 2017 el resultado fue 0,1138 mg/L, la muestra tomada con fecha 05 de febrero del 2017 el resultado fue 0,0563 mg/L y la muestra tomada de fecha 21 de febrero del 2017 el resultado fue 0,16881 mg/L; son **inferiores** a los estándares de calidad del agua categoría 1-A (A1, A2) cuyos valores son 0,4 mg/L para ambos casos y para (A3) cuyo valor es 0,5 mg/L y también es inferior para la categoría 3 (D1, D2) cuyos valores son 0,2 mg/L para ambos.

RAPAC-05: Como muestra en la tabla 4.21, la muestra tomada del agua de fecha 24 de diciembre del 2016, de fecha 8 de enero del 2017, de fecha 22 de enero del 2017, de fecha 5 de febrero del 2017, y de fecha 21 de febrero del 2017 las concentraciones fueron 0,099348 mg/L, 0,17297 mg/L, 0,15162 mg/L, 0,05686 mg/L, y 0,18758 mg/L respectivamente; son **inferiores** a los Estándares de Calidad Ambiental de agua (ECA) de categoría A-1 (A1, A2) cuyo valor es 0,4 mg/L para ambos, (A3) cuyo valor es 0,5 mg/L y categoría 3 (D1, D2) cuyos valores son 0,2 mg/L para ambos. La muestra de agua tomada de fecha 9 de diciembre del 2016 fue 0,29228 mg/L, es **superior** al estándar de calidad del agua ECA categoría 3 (D1, D2) cuyo valor es 0,2 mg/L para ambos.

Los efectos ambientales del manganeso, los compuestos del manganeso existen en forma natural en el ambiente como pequeñas partículas en el agua, como se ha determinado según el estudio y está por encima del ECA, el manganeso que se deriva de las fuentes naturales de las rocas mineralizadas. El manganeso puede causar disturbaciones en los pulmones, hígado y vasculares, decremento de la presión sanguínea, fallos en el desarrollo de fetos de animales y daños cerebrales.

En plantas los iones del manganeso son transportados hacia las hojas después de ser tomados en el suelo. Cuando muy poco manganeso puede ser absorbido desde el suelo esto causa disturbaciones en los mecanismos de las plantas, por ejemplo, disturbaciones en la división del agua en hidrógeno y oxígeno, en lo cual el manganeso juega un papel importante. El manganeso puede causar síntomas de toxicidad y deficiencias en plantas. Cuando el pH del suelo es bajo las deficiencias de manganeso son más comunes.

Concentraciones altamente tóxicas de manganeso en suelo pueden causar inflamación de la pared celular, abrasamiento de las hojas y puntos marrones en las hojas y concentraciones que causan deficiencias una pequeña área de concentraciones donde el crecimiento de la planta es óptimo puede ser detectado.

5) PARA ZINC

RAPAC-01: Como se indica en la tabla 4.20, las muestras tomadas del agua de los días 9 de diciembre del 2016, 24 de diciembre del 2016, 8 de enero del 2017, 22 de enero del 2017, del 5 de febrero del 2017, 21 de febrero del 2017, los resultados fueron de 0,0494 mg/L, 0,0413 mg/L, 0,0402 mg/L, 0,0292 mg/L, 0,03200 mg/L, y 0,0257 mg/L respectivamente; son inferiores a los valores precisados en ECA para el agua de la categoría de agua 1-A que son 3 mg/L (A1), 5 mg/L (A2) y 5 mg/L (A3) y para la categoría 3 cuyos valores son 2 mg/L (D1) y 24 mg/L para D2.

RAPAC-02: Como se indica en la tabla 4.20, la muestra tomada del agua de los días 9 de diciembre del 2016, 24 de diciembre del 2016, 8 de enero del 2017, 22 de enero del 2017, del 5 de febrero del 2017 y 21 de febrero del 2017, los resultados fueron 0,0374 mg/L; 0,0321 mg/L; 0,0273 mg/L, 0,0191 mg/L, 0,01910 mg/L y 0,01113 mg/L respectivamente son **inferiores** a los valores precisados en ECA del agua a la categoría de agua A-1 (A1, A2, A3) cuyos valores son 3 mg/L, 5 mg/L, 5 mg/L; y categoría 3 (D1, D2) sus valores son 2 mg/L y 24 mg/L.

RAPAC-03: Como se indica en la tabla 4.20, la muestra tomada del agua de los días 9 de diciembre del 2016, 24 de diciembre del 2016, 8 de enero

del 2017, 22 de enero del 2017, del 5 de febrero del 2017 y 21 de febrero del 2017, el resultado del análisis del agua las concentraciones fueron 0,0408 mg/L; 0,0539 mg/L; 0,0244 mg/L, 0,0317 mg/L, 0,01870 mg/L y 0,0247 mg/L respectivamente; son inferiores a los valores precisados en ECA a la categoría de agua A-1 (A1) cuyo valor es 3 mg/L y (A2, A3) cuyos valores 5 mg/L para ambos casos. También son inferiores a la categoría 3 (D1, D2) cuyos valores son 2 mg/L y 24 mg/L.

RAPAC-04. Como se muestra en la tabla 4.20, la muestra tomada del agua de los días 9 de diciembre del 2016, 24 de diciembre del 2016, 8 de enero del 2017, 22 de enero del 2017, del 5 de febrero del 2017 y 21 de febrero del 2017 las concentraciones fueron 0,1043 mg/L; 0,0095 mg/L; 0,0245 mg/L, 0,0201 mg/L y 0,01010 mg/L, 0,0225 mg/L respectivamente; son **inferiores** a los valores precisados en ECA del agua a la categoría A-1 (A1) cuyo valor es 3 mg/L, para (A2, A3) cuyos valores son 5 mg/L para ambos, y categoría 3. (D1, D2) cuyos valores son 2 mg/L y 24 mg/L.

RAPAC-05: Como se muestra en la tabla 4.20, la muestra tomada del agua de los días 9 de diciembre del 2016 el resultado fue 0,1035 mg/L; de 24 de diciembre del 2016 el resultado fue 0,018 mg/L, con fecha 8 de enero del 2017 el resultado fue 0,0374 mg/L, con fecha 22 de enero del 2017 el resultado fue 0,0192 mg/L, el 5 de febrero del 2017 el resultado fue 0,00960 mg/L y con fecha 21 de febrero del 2017 el resultado fue 0,0324 mg/L; son **inferiores** a los valores precisados en ECA a la categoría de agua A-1 (A1) cuyo valor es 3 mg/L, (A2, A3) su valor es 5 mg/L para ambos y categoría 3 (D1, D2) sus valores son 2 mg/L y 24 mg/L.

Efectos del Zinc sobre la salud y el ambiente, El Zinc es un elemento traza que es esencial para la salud humana, según el estudio se ha determinado que se encuentra en las aguas producto de las rocas mineralizadas, la concentración del zinc está por debajo del ECA.

Sus efectos negativos del zinc sobre la salud y el medio ambiente. Cuando las personas ingieren insuficiente Zinc, pueden sufrir una disminución del apetito, una reducción en la percepción del gusto y del olfato. También pueden aparecer pequeñas heridas y rash cutáneos. Además, un exceso de Zinc podría provocar malformaciones congénitas.

Por otro lado, un exceso de Zinc puede dar lugar a complicaciones de salud, como úlceras gástricas, irritación dérmica, vómitos, náuseas y anemia. Altos niveles de Zinc pueden perjudicar el páncreas y alterar el proceso de metabolismo de las proteínas, además de inducir arteriosclerosis.

CORRELACIONES DEL ALUMINIO

En la tabla 4.14 se presenta las concentraciones del resultado del análisis de las cinco estaciones del río Apacheta en forma independiente y de cada estación y las medias del metal pesado del aluminio, y en la figura 4.1 se observan los valores promedios y desviación estándar del aluminio total de cinco zonas en comparación con los valores referenciales de los estándares de calidad ambiental del agua en la categoría 3 (DS-015-2015-MINAM).

En la tabla 4.15 se presentan las concentraciones medias del análisis en las aguas del aluminio total en ellas se observan, estadísticamente la concentración de este metal pesado es diferente ($p < 0,05$) en las zonas de muestreo, siendo mayor su concentración en RAPAC-01, con promedio de 6,193 mg/L que es superior al ECA de agua 3 que cuyo valor es 5,00 mg/L; seguido de las zonas de muestreo RAPAC-02, es por ello que RAPAC-03 es la que menor concentración presenta, para posteriormente elevarse para RAPAC-04 y RAPAC-05 (según los resultados).

Según la figura 4.3 la tendencia de concentración de aluminio total en la zona de muestreo RAPAC-01 según la época del muestreo, las muestras tomadas de fechas 09 de diciembre del 2016, 24 de diciembre del 2016, 08 de enero del 2017 del 22 de enero del 2017 y 5 de febrero del 2017 el resultado del análisis fueron 7,331 mg/L, 8,843 mg/L, 6,04mg/L, 5,078 mg/L y 5,754 mg/L respectivamente, que está por encima del ECA de agua para categorías 3, cuyo valor es 5.00 mg/L.

En las figuras 4,4; 4,5; 4,6; y 4,7 se indican la tendencia de la concentración de aluminio en las estaciones de muestreo RAPAC-02; RAPAC-03, RAPAC-04 Y RAPAC-05 según las fechas de muestreo, siendo los resultados de los análisis del agua la concentración de aluminio está por debajo del ECA de agua categoría 3 cuyo valor 5,00 mg/L.

En la figura 4.25 tendencia lineal para la relación de caudal del río y la concentración del aluminio total en el agua del río Apacheta en la estación de muestreo RAPAC-01. Existe una estrecha relación en la concentración del aluminio con el caudal en la zona del muestreo RAPAC-01, donde se aprecia que a menor caudal mayor es la concentración del aluminio. La relación del caudal y la concentración de aluminio es del 66,85 %.

En la figura 4.26 tendencia lineal para la relación de caudal del río y aluminio en el muestreo RAPAC-01 y RAPAC-02 donde se aprecia que a menor caudal mayor es la concentración del aluminio, la relación del caudal y la concentración de aluminio es del 49,30 %.

En la figura 4.33 se presenta la tendencia lineal par la relación de pH y aluminio total en las aguas del río Apacheta, en el RAPAC -01 donde se aprecia que a menor pH mayor es la concentración de aluminio. La relación del pH y aluminio es de 63.88 %.

6) CORRELACIONES DEL ARSÉNICO

En la tabla 4.18 se presenta las concentraciones del resultado del análisis de las cinco estaciones en el río Apacheta en forma independiente y de cada estación, las medias de la concentración del arsénico, y en la figura 4.8 se observan los valores promedios y desviación estándar del arsénico de cinco zonas en comparación con los valores referenciales de los estándares de calidad ambiental del agua en la categoría 3 (DS-004-2017-MINAM).

En la tabla 4.19 se presentan las concentraciones medias del análisis en las aguas del arsénico total en ellas se observan, estadísticamente la concentración de este metal pesado es diferente ($p < 0,05$) en las zonas de muestreo, siendo mayor su concentración en RAPAC-04, con promedio de 0,20358 mg/L que es superior al ECA de agua categoría 3, que cuyo valor es 0,1 mg/L y 0,2 mg/L; seguido de las zonas de muestreo RAPAC-03 y RAPAC-05 (según los resultados), de menor concentración es de las estaciones RAPAC-01 y RAPAC-02 que es prácticamente insignificante.

Según la figura 4.13 la tendencia de concentración del arsénico total en la zona de muestreo RAPAC-03 según la época del muestreo, las muestras tomadas de fechas, 09 de diciembre del 2016, 24 de diciembre del 2016 el resultado del análisis fueron 0,4296 mg/L, 0,50061 mg/L respectivamente, que está por encima del ECA de agua para categorías 3, cuyo valor es 0,1 mg/L y 0,2 mg/L.

Según la figura 4.14 la tendencia de concentración del arsénico total en la zona de muestreo RAPAC-04 según la época del muestreo, las muestras tomadas de fechas, 09 de diciembre del 2016, 24 de diciembre del 2016 el resultado del análisis fueron 0,56228 mg/L, 0,41983 mg/L respectivamente, que está por encima del ECA de agua para categorías 3, cuyo valor es 0,1 mg/L y 0,2 mg/L.

Según la figura 4.15 la tendencia de concentración del arsénico total en la zona de muestreo RAPAC-05 según la época del muestreo, las muestras tomadas de fechas, 09 de diciembre del 2016, 24 de diciembre del 2016 el resultado del análisis fueron 0,44978 mg/L, 0,30299 mg/L respectivamente, que está por encima del ECA de agua para categorías 3, cuyo valor es 0,1 mg/L y 0,2 mg/L.

En la figura 4.31 tendencia lineal para la relación de caudal del río y la concentración del arsénico total en el agua del río Apacheta en la estación de muestreo RAPAC-03. Existe una estrecha relación en la concentración del arsénico con el caudal en la zona de muestreo RAPAC-03, donde se aprecia que a menor caudal mayor es la concentración del arsénico, la relación del caudal y la concentración de arsénico es del 61,91 %.

En la figura 4.32 tendencia lineal para la relación de caudal del río y la concentración del arsénico total en el agua del río Apacheta en la estación de muestreo RAPAC-03, RAPAC-04, RAPAC-05, y existe una estrecha relación en la concentración del arsénico con el caudal en la zona de muestreo RAPAC-03, RAPAC-04, RAPAC-05 donde se aprecia que a menor caudal mayor es la concentración del arsénico, y la relación del caudal y la concentración de arsénico es 58,32 %

En la figura 4.38 Tendencia lineal para la relación de pH y arsénico total en las aguas del río Apacheta, existe una estrecha relación en la concentración de arsénico con el pH en las zonas del muestreo, donde se aprecia que a menor pH mayor es la concentración del arsénico. La relación entre el pH y hierro es de 26,29 %.

7) CORRELACIONES DEL HIERRO

En la tabla 4.16 se presenta las concentraciones del resultado del análisis de las cinco estaciones del río Apacheta en forma independiente y de cada estación y las medias del metal pesado del hierro, y en la figura 4.2 se observan los valores promedios y desviación estándar del hierro de cinco zonas en comparación con los valores referenciales de los estándares de calidad ambiental del agua en la categoría 3 (DS-015-2015-MINAM).

En la tabla 4.17 se presentan las concentraciones medias del análisis en las aguas del hierro total en ellas se observan, estadísticamente la concentración de este metal pesado es diferente ($p < 0,05$) en las zonas de muestreo, siendo mayor su concentración en RAPAC-01, con promedio de 4,9534 mg/L que es ligeramente inferior al ECA de agua 3 que cuyo valor es 5,00mg/L (riego de cultivo de tallo alto y bajo); seguido de las zonas de muestreo RAPAC-02, es por ello que RAPAC-03 es la que menor concentración presenta, para posteriormente elevarse para RAPAC-04 y RAPAC-05 (según los resultados).

Según la figura 4.3 la tendencia de concentración de hierro total en la zona de muestreo RAPAC-01 según la época del muestreo, las muestras tomadas de fechas, 24 de diciembre del 2016, 08 de enero del 2017 del 22 de enero del 2017 y 5 de febrero del 2017 el resultado del análisis fueron 5,1526 mg/L, 5,1605 mg/L, 6,2260mg/L, 5,3838 mg/L respectivamente, que está por encima del ECA de agua para categorías 3, cuyo valor es 5,00 mg/L (para riego de vegetales).

En la figura 4.4. se presentan la tendencia de la concentración de hierro total en la zona de muestreo RAPAC-02 según las épocas de muestreo y las muestras tomadas de fechas 9 de diciembre del 2016, 24 de diciembre del 2016, 8 de enero del 2017, el resultado del análisis del agua fue con

las concentraciones 5,4696 mg/L, 5,1119 mg/L y 5,1008 mg/L respectivamente que son superiores al ECA de agua de categoría 3 (riego para vegetales) cuyo valor es 5,00 mg/L.

En las figuras 4,5; 4,6; y 4,7 se indican la tendencia de la concentración de hierro en las estaciones de muestreo RAPAC-03, RAPAC-04 y RAPAC-05 según las fechas de muestreo, siendo los resultados de los análisis del agua la concentración de hierro está por debajo del ECA de agua categoría 3 cuyo valor 5,00 mg/L.

En la figura 4.27, 4.28 tendencia lineal para la relación de caudal del río y la concentración del hierro total en el agua del río Apacheta en la estación de muestreo RAPAC-01. y RAPAC 02 y existe una relación en la concentración del hierro con el caudal en la zona del muestreo RAPAC-01 y RAPAC-02 donde se aprecia que a mayor caudal mayor es la concentración del hierro. La relación del caudal y la concentración de hierro es del 11,51 %.

En la figura 4.34 Tendencia lineal para la relación de pH y hierro Total en las aguas del río Apacheta, existe una estrecha relación en la concentración de hierro con el pH en la zona del muestreo, donde se aprecia que a menor pH mayor es la concentración del hierro. La relación del pH y hierro es de 52,34 %

8) CORRELACIONES DEL MANGANESO

En la tabla 4.22 se presenta las concentraciones del resultado del análisis de las cinco estaciones en el río Apacheta en forma independiente y de cada estación, las medias de la concentración del manganeso, y en la figura 4.16 se observan los valores promedios y desviación estándar del manganeso de cinco zonas en comparación con los valores referenciales de los estándares de calidad ambiental del agua en la categoría 3 (DS-004-2017-MINAM).

En la tabla 4.23 se presentan las concentraciones medias del análisis en las aguas del manganeso total en ellas se observan, estadísticamente la concentración de este metal pesado es diferente ($p < 0,05$) en las zonas de muestreo, siendo mayor su concentración en RAPAC-01, con promedio

de 0,33372 mg/L que es superior al ECA de agua categoría 3, que cuyo valor es 0,2 mg/L; seguido de las zonas de muestreo RAPAC-02 con promedio 0,31373 mg/L, que también es superior al ECA de agua de categoría 3 cuyo valor es 0,2 mg/L, de menor concentración como promedio es de las estaciones RAPAC-03, RAPAC-04 y RAPAC-05, que resultaron 0,17091 mg/L, 0,14280mg/L y 0,15913 mg/L respectivamente que está por encima del ECA de agua para categorías 3, cuyo valor 0,20 mg/L.

Según la figura 4.17 la tendencia de concentración del manganeso total en la zona de muestreo RAPAC-01 según la época del muestreo, las muestras tomadas de fechas, 09 de diciembre del 2016, 24 de diciembre del 2016, 08 de enero del 2017 el resultado del análisis fueron 0,47816 mg/L, 0,45408 mg/L y 0,46061 mg/L respectivamente, que está por encima del ECA de agua para categorías 3, cuyo valor 0,20 mg/L.

Según la figura 4.18 tendencia de la concentración del manganeso total en la estación de muestreo RAPAC-02 según la fecha de muestreo 09 de diciembre del 2016, 24 de diciembre del 2016 y 8 de enero del 2017, los resultados de los análisis fueron 0,5153 mg/L, 0,42795 mg/L, 0,40492 mg/L respectivamente que está por encima del ECA de agua para categoría 3, cuyo valor es 0,20 mg/L.

Según la figura 4.19 tendencia de la concentración del manganeso total en la estación de muestreo RAPAC-03 según la fecha de muestreo 09 de diciembre del 2016, 24 de diciembre del 2016, los resultados de los análisis fueron 0,31028 mg/L, 0,21988 mg/L, respectivamente que está por encima del ECA de agua para categoría 3, cuyo valor es 0,20 mg/L.

Según la figura 4.19 tendencia de la concentración del manganeso total en la estación de muestreo RAPAC-03 según la fecha de muestreo 09 de diciembre del 2016, 24 de diciembre del 2016, los resultados de los análisis fueron 0,31028 mg/L, 0,21988 mg/L, respectivamente que está por encima del ECA de agua para categoría 3, cuyo valor es 0,20 mg/L.

Según la figura 4.20 tendencia de la concentración del manganeso total en la estación de muestreo RAPAC-04 según la fecha de muestreo 09 de diciembre del 2016, el resultado de los análisis fueron 0,2573 mg/L,

que está por encima del ECA de agua para categoría 3, cuyo valor es 0,20 mg/L.

Según la figura 4.21 tendencia de la concentración del manganeso total en la estación de muestreo RAPAC-05 según la fecha de muestreo 09 de diciembre del 2016, el resultado de los análisis fue 0,29228 mg/L, que está por encima del ECA de agua para categoría 3, cuyo valor es 0,20 mg/L.

En la figura 4.29 tendencia lineal para la relación de caudal del río y la concentración del manganeso total en el agua del río Apacheta en la estación de muestreo RAPAC-01. Existe una estrecha relación en la concentración del manganeso con el caudal en la zona de muestreo RAPAC-01, donde se aprecia que a menor caudal mayor es la concentración del manganeso, la relación del caudal y la concentración de manganeso es del 71,03 %.

En la figura 4.30 tendencia lineal para la relación de caudal del río y la concentración del manganeso total en el agua del río Apacheta en las cinco estaciones de muestreo. Existe una relación en la concentración del manganeso con el caudal en todas las zonas de muestreo, donde se aprecia que a menor caudal mayor es la concentración del manganeso, la relación del caudal y la concentración de manganeso es del 19.46 %

En la figura 4.37 Tendencia lineal para la relación de pH y manganeso total en las aguas del río Apacheta, existe una relación en la concentración de manganeso con el pH en las zonas del muestreo, donde se aprecia que a menor pH mayor es la concentración del manganeso. La relación del pH y manganeso es de 29,85 %.

9) Según la figura 4.22 nos muestra cómo se agrupa los puntos de acuerdo a su comportamiento y características, en forma de clústeres.

De acuerdo al análisis de conglomerados, mediante el método promedio (AVERAGE LINKAGE) en la que se emplea como dato las características físico químicas del agua, así como la concentración de metales pesados; observando la posición de la línea vertical de color rojo como referencia para el corte de las líneas de color verde que une las zonas de

muestreo, se determina éstas forman cuatro conglomerados, donde RAPAC-01, RAPAC-02 y RAPAC-03 forman grupos independientes mientras que RAPAC-04 y RAPAC-05 forman un solo grupo.

En base al análisis realizado se deduce que RAPAC-01 es independiente debido a que ella es la fuente de aluminio, hierro y manganeso, mientras que RAPAC-02 es una zona por el cual las aguas arrastran dicho metal, por lo que muestra menores valores; por otro lado, RAPAC-03 es también independiente debido a que es la zona fuente de arsénico. Por otro lado, RAPAC-04 y RAPAC-05 forman un solo grupo debido a que no son fuentes de metales, y más bien por ella pasan aguas que traen los metales generados aguas arriba.

10) En la figura 4.23 se muestra los resultados del análisis de componentes principales, este se puede explicar a través de dos componentes con una varianza de 91,10 %. Los metales que definen el primer componente principal son aquellos que presentan factores de carga más significativos y son el arsénico con una varianza de 77,6 %. El segundo componente principal está formado por los elementos aluminio, hierro y manganeso, con una varianza de 13,50 %.

Por otra parte, en la misma figura 4.23 se muestra el análisis de la posición de los puntos de muestreo con respecto al primero y segundo componente principal. De este mapa de posición se establece la siguiente explicación:

1° El aluminio se halla muy cerca de RAPAC-01 por lo que es el metal característico de dicha zona, mientras que manganeso y hierro se hallan entre RAPAC-01 y RAPAC-02 debido a que se presentan en ambas zonas.

2° En la zona de los puntos RAPAC-03, RAPAC-04 y RAPAC-05; el arsénico se halla muy próximo a RAPAC-03, debido a que es un metal muy característico a dicha zona.

CONCLUSIONES

1. La conclusión principal de este trabajo es haber determinado que sí existe una posible influencia ambiental de metales pesados en la pureza del agua por la contaminación natural generado por la meteorización y erosión del depósito mineral en la superficie terrestre dispersa en forma natural. De esta manera, este trabajo será un aporte para el futuro desarrollo de un programa nacional de manejo de metales pesados, el cual permitirá realizar una gestión ambiental responsable en este tema.

2. Las presencias naturales de los minerales determinados en el presente trabajo se encuentran, evidenciando un mayor riesgo de contaminación las aguas del río Apacheta, siendo un factor limitante para el uso del agua en las actividades de las poblaciones asentados en las riberas del río.

3. Este estudio muestra el análisis de la cantidad de metales tóxicos en el agua del río Apacheta, donde el nivel de aluminio, hierro, manganeso y arsénico supera el ECA. La técnica utilizada fue la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente, con lo que se determinó que sí existe el impacto ambiental potencial por la presencia de los yacimientos mineros.

4. El arsénico metálico excede los límites establecidos para la calidad ambiental del agua en las subcategorías. A1, A1, A3 cuyos valores son 0,01 mg/L, 0,01mg/L y 0,15 mg/L en las estaciones RAPAC-01, RPAC-02 y RAPAC-05.

5. En cuanto a las aguas de categoría 1-A que es para consumo doméstico (aguas de la superficie que se utilizan en la elaboración de agua potable) se puede afirmar de acuerdo a los contenidos de que algunos elementos tal es el caso de aluminio, sobrepasa en las cinco estaciones de muestreo a los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua A1 (agua que pueden ser potabilizadas con desinfección) cuyo valor es 0,90 mg/L. El metal hierro sobrepasa estándares de calidad ambiental (ECA) en agua de las subcategorías A1 y A2 (aguas que pueden ser potabilizados con tratamiento convencional) cuyo valor se encuentran en 0,30 mg/L y 1,00 mg/L. La concentración de manganeso excede los límites establecidos para la calidad del agua en las subcategorías A1, A2 y A3 (aguas

que se pueden tratar para ser aptas para el consumo), que son de 0,4 mg/L y 0,50 mg/L en los puntos de medición de muestreo en RAPAC-01 y RAPAC-02 en las fechas de bajo caudal del río.

6. Las cantidades de los otros metales: bario, berilio, boro, cadmio, cobre, cobalto, cromo, mercurio, níquel, plomo, selenio y zinc, según los hallazgos del análisis del agua del río Apacheta, no han sobrepasado los criterios de calidad ambiental para el agua de la categoría 3. Por esta razón, no se incluye en el estudio realizado en el presente trabajo de investigación.

7. Las cantidades de aluminio en el río Apacheta en la estación RAPAC-01, durante períodos de bajo caudal, exceden los límites establecidos para la calidad ambiental del agua de la categoría 3. Asimismo, las cantidades de hierro en las aguas del río Apacheta en las estaciones RAPAC-01 y RAPAC-02, también en condiciones de bajo caudal, rebasan los estándares ambientales del agua de la categoría 3 (para riego de cultivos).

8. Las concentraciones de manganeso, en las aguas del río Apacheta en las estaciones RAPAC-01, RAPAC-02, RAPAC-03, RAPAC-04 Y RAPAC-05 Con volúmenes reducidos, exceden los requisitos de calidad del agua de la clase 3.

9. Las cantidades de arsénico presentes en el agua del río Apacheta en los puntos RAPAC-03, RAPAC-04 y RAPAC-05, durante periodos de bajo caudal, exceden los Normas de Calidad Ambiental de la categoría 3.

10. Se determina que las aguas del río Apacheta contienen metales pesados, especialmente en lo que respecta a las aguas de clase III que son utilizadas para el riego. Por lo tanto, hay un posible impacto ecológico debido a la existencia de minas en la zona.

11. Hay una conexión significativa entre la concentración de los metales analizados y el flujo en las distintas estaciones de muestreo, dependiendo del metal de origen, y se observa que mientras menor es el flujo, mayor es la concentración del metal.

12. Se ha determinado las áreas más afectadas por la contaminación de los metales pesados aluminio, hierro, manganeso y arsénico, aproximadamente 11,700 hectáreas (páramo muy húmedo subalpino subtropical) que se encuentra alrededores del río Apacheta.

RECOMENDACIONES

1. No cabe duda que la información sobre el estado general del medio ambiente debe ser pública, al igual que los efectos causados ya sea natural o a la acción antrópica de ciertos productos que causan finalmente contaminación. En general, en nuestro país, el desconocimiento respecto a los efectos nocivos causados por los metales pesados hace que su manejo sea inapropiado en gran parte de los sectores que lo utilizan.
2. Determinar la concentración de los metales que superan el ECA en otras épocas del año y con mayor frecuencia, para observar cómo evoluciona el impacto potencial por la presencia de los yacimientos mineros, lo que se incrementa o disminuye en las aguas del río Apacheta.
3. Las autoridades locales deben preocuparse de cumplir de acuerdo a los estándares de calidad ambiental para el agua.
4. Organizar charlas y campañas a la población sobre prácticas del cuidado del medio ambiente, dándoles a conocer los peligros que se podrían presentar en su salud, en la flora y fauna de la región.
5. Desarrollar una investigación a nivel de las actividades económicas donde se usa el agua del río Apacheta.
6. Determinar la incidencia de enfermedades frecuentes en las poblaciones asentados en la ribera del río Apacheta, por efecto del consumo de agua y alimentos.
7. Determinar la calidad de manantiales de la población aledaña y el efecto de los metales en la salud pública.
8. En definitiva, este, como cualquier otro tema de carácter ambiental, requiere de la participación conjunta de todos los actores involucrados, es decir, de todos. Una visión de conjunto, con sectores públicos y privados integrados en la idea de crecimiento libre de contaminación, permitirá que dicho crecimiento sea sustentable y beneficioso para todas las partes.

9. En cuanto a las aguas de clase I que es para consumo doméstico, se puede afirmar de acuerdo a los contenidos de que algunos elementos tal es caso de arsénico, aluminio, hierro sobrepasa a los ECAS, por consiguiente, se recomienda un tratamiento especial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. (Newmont Perú SRL 2009 Marco geológico local: (proyecto Tunsulla)): Folleto de la declaración de impacto ambiental presentado por la empresa. Año 2009.
2. Purves, D. (1985) Trace element contamination of the environment. Elsevier, Amsterdam Grupo Editor primera Edición Holanda.
3. Forstner, U. and Wittman, G.T.W. 1981, Heavy metal pollution in the aquatic environment, segunda Edición. Springer-Verlag, Berlin. Heidelberg New York.
4. Salomons, W. (1995) Environmental impact of metals derived from mining activities: processes, predictions, prevention. Grupo Editor Elsevier 1994 Holanda.
5. Nelson y Lamothe, 1993; Fernández et al., 1997 Heavy metals anomalies in the Tinto and Odiel river and estuary system, Spain, Estuaries
6. Dekov, V.M. 1997 La medición de sedimentos en México.
7. Degens et al., 1991; Lissitzin, 1991; Dekov et al, 1997). Biogeochemistry of major world rivers. New York, Wiley.
8. Rooney et al. 2006, Zhao et al. 2006 Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. Revista Internacional de contaminación ambiental vol. 28 N° 01 México Feb 2012.
9. Abollino, O., 2002. Distribution and Mobility of Metals in Contaminated Sites. Chemometric Investigation of Pollutant Profiles. Environmental Pollution, Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.
10. Borg L.G. Jorgen Ek, Elizabeth Froberg. Karin Holm. 2000 “The turnover of metals in a eutrophic and oligotrophic lake in Sweden” Ambio V.29 August. 2000.
11. Brian P.B. 1999 “Removal of heavy metals from water; an environmentally significant absorption spectrometry experiment”. Journal of Chemical Education V 76 Dec. 1999.

12. Barber Willian P, David C. Stockey 2000 “Metal bioavailability and tri-valent chromium removal. Journal of Environmental Engineering V.126. jully 2000.
13. Kady EI; G. Al Ahmad; T.A. A. Odozi 1993 “Effect of heavy metal ion concentration and pH values on the sorption behaviour of prepared exchangers”. *Afinidad* ,50 sept.-oct. 1993.
14. Campos C.: Néstor Hermando.1992 “Concentraciones de metales traza en Ariopsis bonillar (Pisces Siluriformes) de Santa María. Caribe colombiano” *Revista de Biología Tropical*.40 (2) agosto 1992.
15. Cervantes, Carlos; Jaime Chavez, Sergio Vacca.1991 “Mecanismo de resistencia bacteriana a metales pesados “*Revista Latinoamericana de Microbiología*. 33(1) enero-marzo 1991.
16. Mondaca, Maria Angelica; Mireyra, Abarzua; Karina, Paredes; Teresa Maureri; Miguel, Martinez 1993 “Transferencia de resistencia a metales pesados en bacterias aislados del río Bío-Bío VIII Región, Chile”. *Revista Latinoamericana de Microbiología*. 35 (1) ene-marzo 1993.
17. Topalián et al. 1999, Principal Component Analysis of Dissolved Heavy Metals in Water of the Reconquista River (Buenos Aires, Argentina). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, revista vol. 10.
18. Alloway y Ayres 1993). *Chemical principles of environmental pollution* . - 2nd ed. - London [etc.] : Blackie Academic & Professional
19. Varela—Romero, 1992 tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/1695/Capitulo5.pdf.
20. Gómez- Álvarez et al. 1994. Metales pesados en el agua superficial del río San Pedro, *Rev. Int. Contam. Ambient.* 20 (1) 5-12.
21. El agua. disponible desde: www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/ consulta 20 de agosto 2016.
22. Corzo R. /1986) El problema de los residuos Mineros en el Perú, encuentro Latinoamericano sobre residuos peligrosos y residuos mineros, Ministerio de Salud, Dirección técnica de saneamiento ambiental, Lima Perú.

23. Minería Ambiental, [https://www.aulados.net/Libros_Aula2pontonet_GEMM/Libro Minería_ MA pdf](https://www.aulados.net/Libros_Aula2pontonet_GEMM/Libro_Mineria_MA.pdf) , consulta 25 de febrero del 2017.
24. Minería y medio ambiente, [http://www.uclm.es/useers/higuera/man/MMAM1. Htm](http://www.uclm.es/useers/higuera/man/MMAM1.Htm), consulta 20 de enero del 2017.
25. Impacto ambiental de las áreas en minería metálica, [http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/288306 / Ogflde1.pdf? sequence=1](http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/288306/Ogflde1.pdf?sequence=1), consulta 20 de enero del 2017.
26. Preguntas y respuestas sobre minería, [http://www.greenpeace.or/argentina/Global/argentina/report/2013/cambio _ climatico/informe-Moran-minería.pdf](http://www.greenpeace.or/argentina/Global/argentina/report/2013/cambio_climatico/informe-Moran-mineria.pdf) , consulta 15 de febrero del 2017.
27. Contaminación por metales pesados: [http://www.scielo.org.bo/scielo php?. Script = Sci _ arttext&pid=S1817-74332009000100013](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?Script=Sci_arttext&pid=S1817-74332009000100013), consulta 15 de marzo del 2017.
28. Impacto de la minería en el medio natural aguas superficiales y subterráneas: [https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag- 15564/Impactos%20 de%20la%20miner%C3%ADa%20-%20Javier%20Lillo.pdf](https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-15564/Impactos%20de%20la%20miner%C3%ADa%20-%20Javier%20Lillo.pdf) Consulta 15 de marzo del 2017.
29. El agua. Biblioteca virtual FAO. Disponible desde: <http://www.fao.org/docrep/006/W1309S/w1309s06.htmf>. Consulta: 25 de agosto 2016.
30. VERNON L. (2002). Química del agua. Universidad de Illinois. Editorial Limusa S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. México.
31. Bases químicas del medio ambiente. Disponible desde <https://books.google.com.pe/books?isbn=8436268059> consulta 30 agosto del 2016.
32. Propiedades físicas y químicas del agua. Disponible desde <https://www.google.com/p/6730198-propiedades-f-sicas-y-quimiicas-del-agua-notes>. Consulta marzo 2017.
33. Tipos de agua. Disponible desde <http://www.cuidoelagua.org/empapate/origendelagua/tiposagua.html> , consulta 15 de abril 2017.
34. Problemática de agua dulce Problemática de agua dulce. Disponible desde [http://www.ecoportal.net/Temas-Especiales/Agua/la _ problematika _ del _ agua _ dulce](http://www.ecoportal.net/Temas-Especiales/Agua/la_problematika_del_agua_dulce) consulta 18 de abril del 2017.

35. Fuentes de agua. Disponible desde. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-2sas.htm> consulta 20 de abril 2017.
36. El agua en el Perú: Disponible desde <http://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/situacion-del-agua-en-el-peru/> . consulta 22 de abril 2017.
37. Contaminación del agua, principales contaminantes. Disponible desde http://html.rincondelvago.com/contaminacion-del-agua_11.html consulta 21 de abril 2017.
38. Bailly, H.1998 Prácticas óptimas de manejo en la explotación y el proceso de metales no ferrosos. Proyecto de prevención de la contaminación ambiental agencia para el desarrollo internacional de Estados Unidos. pp. 1:1.
39. Figueruelo, J. y Marino, M. (2001), química física del medio ambiente primera edición. Editorial Reverté S.A. México. 310 p.
40. La Dou, (1999) Medicina laboral y ambiental; segunda edición. Editorial Manual Mdermo. México DF. 948P.
41. Forstner, U. 1993. Metal speciation General concepts and applications. En: proceedings of the Workshop on the sequential extraction of trace metals in soils and sediments. Int. J. Environ. Anal. Chem. 51, 5-23.
42. Geesey G.G., BORSTAD, L., CHAPMAN, PM. (1984) Influence of flow-related events on concentration and phase distribution of metals in the lower Fraser River and a small tributary stream in British Columbia, Canada. Water Resources 18 (2), 233-238.
43. Forstner, U., Wittman, G.T.W (1981) Heavy metal pollution in the aquatic environment (2^{da}. Edición). Springer- Verlag. Berlin. Heidelberg New York, pp 486.
44. Forstner, U. & Y. Prosi, (1979) Heavy metal pollution in freshwater ecosystems. En: Biological Aspects of Freshwater Pollution. O. Rayner (Ed) , Contamination of the European Communities. Pergamon Press». Págs 129—161.
45. Moalla *et al*, (1998) Distribution and chemical fractionation of some heavy metals in bottom sediments of Lake Nasser. Hidrobiología 364, 31-40.
46. Purves, 1985; Moalla *et al*, 1998 trace element contamination of the environment. Elsevier, Amsterdam, pp 260.

47. Forstner y Wittmann, 1981; Dekov *et al*, 1998). Heavy metal pollution in the aquatic environment (2° edición). Springer – Verlag. Berlin. Heidelberg New York, pp 486.
48. Salomons, W 1995). Environmental impact of metals derived from mining activities, processes, predictions, prevention. Journal Geochemical Exploration 52, 5-23.
49. Nelson, C.H., Lamothe, P.J. (1993); Fernández *et al*, (1997) heavy metals anomalies in the Tinto and Odiel river and estuary system, Spain. Estuaries 16, 496-511
50. El Falaki, 1994; Baruah., 1996, Impacto de los detergentes sobre los sedimentos. Movilización de metales. Tecnología del agua, 128, 25-31.
51. Forstner, U., Hong J. 1987 Binding and mobilization of heavy metals in contaminated sediments affected by pH and Redox potencial. Water science technology Editions. 256.
52. Frimmel, F.H., Grenz, R., Kordik, E Dietz, F. 1989. Nitrotriacetate (NTA) and ethylenedinitrilotetraacetate (EDTA) in rivers of the Federal Republic of Germany. Vom Wasser 72, 175-184.
53. Weiner, 1984; El Falaki, 1994 Contamination in the Upper Mississippi River, In: Wiener, J.C., Anderson, R.V., McConville, D.R. (eds) Butterworth Pub., Stoneham, MA, 139-147.
54. Forstner, U., Salomons W, 1980. Trace metals analysis on polluted sediments, I. Assessment of sources and intensities. Environment Technology Letters 1,494
55. Morrison., 1989; Chen, 1997 contaminación de sedimentos por metales pesados.
56. Dekov, V. M. 1997 Chemical composition of sediments, suspended matter, river water and ground water of the Nile. (India) The Science of the total environment 212,89-105.
57. Degens *et al.*, 1991; Lissitzin, 1991; Dekov *et al*, 1997. Biogeochemistry of major world rivers. New York, Wiley, pp 356.
58. Metcalf y Eddy, 1984; Casas, 1989; Hernández, 1992; Seoáñez, 1999. Ingeniería sanitaria: tratamiento evacuación y reutilización de aguas residuales. Ed. Labor, Madrid, pp 1380.

59. Christman y Gjessing, 1983; Leppard, 1983; Kramer y Duinker, 1984; Aiken *et al.*, 1985; Buffle, 1988; Broekaert *et al.*, 1990). Aquatic and terrestrial humic materiales. Ann Arbor Science, Ann Arbor.
60. Adriano, D.C. 1986 Trace elements in the terrestrial environment. Springer Verlag, New York. Pp 533.
61. Loring, D.H. 1991; Usero *et al.*, 1997). Normalisation of heavy-data from estaurine and coastal sediments. ICES J Mar Science 48,101-115.
62. White, K.D., Tittlebaum, M.E. 1985; Murray, 1996; Tam y Yao, 1998). Metal distribution and contamiantion in sediments, J Environ Engen 111,161-175.
63. Forstner, U., Wittmann, G.T.W. 1981, Heavy metal pollution in the aquatic environmet. (2da. Ed). Spring-Verlag. Berlin. Heidelberg New York, pp486.
64. Poch, M. (2003) Las calidades del agua. Editorial Rubes. Segunda edición Barcelona. España 159p.158N. 84-47-0075-2.
65. Tebbut, T.H (2001) Fundamentos del control de la calidad de agua. Editorial Limusa S.A. México, 239 p. ISBN 968-18-3317-1.
66. Espinoza E. 1978 concentración de nitratos en aguas subterráneas del área GuanareMasparro. CIDIAT-MOP. Proyecto Guanare-Masporro. Venezuela 57P.
67. Artola I. (2002) Diagnóstico socioeconómico y ambiental de la microcuenca del río Jicaro, afluente de la subcuenca del río Tepenaguasapa. Proyecto demostrativo rehabilitación de la subcuenca Tepenaguasapa. Fundación del Río. 148p.
68. Vila, I (2003) caracterización de ecosistemas acuáticas, interacciones sedimentos agua. En: Fernández C.A. el agua en Iberoamérica aportes para la integración entre los organismos de gestión y los centros de investigación. Programa Iberoamericana de ciencia y tecnología para el desarrollo, CYTED Colombia pp.17-23.
69. Figueruelo y Marino, 2001 Química física del medio ambiente. Primera edición Editorial Reverté S.A. México. 310p.
70. Wetzel R.G. 2001 Limonology, lakes and river ecosystems [Limnología, ecosistemas de lagos y ríos] third Edition. Academic Press. United status of América. 1006 p. en Inglés ISBN 0-12- 744760-1.

71. Álvarez y Guevara, 2003 Biorremediación y atenuación natural de acuíferos contaminados por sustancias químicas peligrosas. Primera edición. Consejo de desarrollo científico y humanístico de la Universidad de Carabobo (CDC-UC), Venezuela ISBN: 980-233- 360-3.
72. Dojlido J.R. Bets, G.A. 1993; Doménech, X 1995 Chemistry of water and water pollution. Ellis Horwond. New York, pp 150.
73. Kjedsberg y Ward, 1972; Albert, 1990; Vega, 1990; Doménech, 1995; Marín,1996. Disponible desde www.tdx.cat/bitstream/10803/6978/59/09BI-BLIOGRAFIA.pdf.txt Leukem a in arsenic poisoning. Consulta el 20 abril 2017.
74. Astolfi, 1971; Vega, 1990, Estudio de arsénico en el agua de consumo: hidroarsenicismo crónico regional endémico. Prensa médica Argentina 58, 1342-1343.
75. El arsénico y sus efectos sobre la salud. aguasolutions.com/index.php?option=com...arsenico...efectos...salud. Consulta 25 de marzo 2017
76. Wauchope, R.D., McDowell, L.L. 1984 J. Environ Qual 13,499-504.
77. Marín, R. 1996 Química, microbiológica, tratamiento y control analítico de agua. Ed. Namuk, S.L. pp 246.
78. Al Saleh,I., Al-Doush,I.(1998) Survey of trace elements in household and bottled drinking water samples collected in Riyadh, Saudi Arabia.The Science of the Total Environmental 216, 181-192.
79. Importancia de los análisis de los metales pesados. Disponible desde www.tdx.cat/bitstream/10803/6978/114/02INTRODUCCION.pdf.txt. Consulta 25 de marzo 2017.
80. Haguenoer,J.M., Furon, D 1981.Toxicology et higiene industrielles.Tome I. Les derives minéraux. Technique and Documentación. Paris, pp 148.
81. Propiedades químicas del Hierro. Disponible desde: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/fe.htm>. Consulta: 29 agosto 2016.
82. Hierro. Disponible desde: <https://es.wikipedia.org/wiki/Hierro>. Consulta: 29 agosto 2016.

83. Propiedades del Fe. Disponible desde: http://quimicageneralpapimeunam.org.mx/tabla%20periodoca/TABLA%20PERIODICA_archivos/page0187.htm. Consulta: 29 agosto 2016.

84. Hierro. Disponible desde: <http://glen2016.blogspot.pe/p/hierro.html>. Consulta: 29 agosto 2016.

85. Hierro. Disponible desde: <http://www.monografias.com/trabajos77/hierro/hierro.shtml#ixzz4ImKcWNjl>. Consulta 29 agosto 2016.

86. Manganese. Disponible desde: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/mn.htm>. Consulta 29 agosto 2016.

87. Manganese. Disponible desde: <https://es.wikipedia.org/wiki/Manganese>. Consulta 29 agosto 2016.

88. Propiedades químicas del manganeso (Metal). Disponible desde: <http://www.geocities.ws/quimicavirtualll/manganeso.html>. Consulta 29 de agosto 2016.

89. Manganese. Disponible desde: http://quimicageneralpapimeunam.org.mx/tabla%20periodoca/TABLA%20PERIODICA_archivos/page0183.htm. Consulta 29 agosto 2016.

90. El aluminio: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm#ixzz4x-39ZJdBn> consulta 30 de marzo del 2017

91. Río Apacheta. Biblioteca virtual Getamap.net. Disponibles desde: http://es.getamap.net/mapas/peru/ayacucho/_apacheta_rio/. Consulta 29 de agosto 2016.

92. FORMACIÓN APACHETA, CHAHUARMA, PORTUGUESA: http://geoservidor.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/Huancavelica/Memoria_Descriptiva_Geologia.pdf consulta 20 de febrero 2017.

93. Newmmont Peru S.R.L. Prospecto Tunsulla declaración de impacto ambiental.

94. Legislación ambiental Peruana: disponible desde <http://www.legislacionambientalspda.org.pe/> consulta 10 de febrero 2017.

95. Ley N° 29338 “Ley de Recursos Hídricos” disponible desde www.ana.gob.pe/media/316755/leyrh.pdf consulta 12 de febrero del 2027.

96. Decreto supremo N° 015-2015-MINAM –ANA. Disponible desde www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/ds-ndeg-015-2015-minam.pdf. Consulta 18 de febrero del 2017.

97. Por David Jorge Alarcón Ataucusi: (2012), Tesis: Simulación hidráulica del Río Cachi para diseños de Obras de defensa ribereña en el área urbano de Vinchos-Ayacucho -2012.

98. ICP MS: disponible desde, https://www.uam.es/personal_pas/txrf/icpms.html consulta 20 de octubre del 2016.

SOBRE LOS AUTORES

Fortunato De La Cruz Palomino

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7800-7421>

E-mail: fortunato.delacruz@unsch.edu.pe

Hemerson Lizarbe Alarcón

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3682-7061>

E-mail: hemerson.lizarbe@unsch.edu.pe

Edwin Carlos Garcia Saez

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5760-3070>

E-mail: edwin.garcia@unsch.edu.pe

Alex Sander Ircañaua Huamani

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9780-8836>

E-mail: alex.ircanaupa@unsch.edu.pe



EFFECTO AMBIENTAL DE METALES PESADOS EN EL RIO APACHETA POR PRESENCIA DE YACIMIENTOS MINEROS EN EXPLORACIÓN EN LA REGIÓN AYACUCHO

**www.arcoeditores.com
contato@arcoeditores.com
(55)99723-4952**